

Schlussbericht

**zu dem Forschungsprojekt „Automatisches Adaptives Krisenmonitoring und
-managementsystem“ (AKRIMA)**

**gefördert durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt
(BMFTR)**

Förderkennzeichen: 13N16252

26.09.2025

Projektleiter des Teilvorhabens:

Prof. Dr.-Ing. Frank Gillert

Professur für Logistikmanagement

Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften

Technische Hochschule Wildau

Hochschulring 1

D-15745 Wildau

Inhaltsverzeichnis

I KURZDARSTELLUNG	4
I.1 AUFGABENSTELLUNG	4
I.2 VORAUSSETZUNGEN DES VORHABENS.....	7
I.3 PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS	9
I.4 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK	11
I.5 ZUSAMMENARBEIT MIT DRITTEN	14
II EINGEHENDE DARSTELLUNG	15
II.1 ZUWENDUNGSVERWENDUNG UND ERZIELTE ERGEBNISSE	15
SZENARIEN & RAHMENBEDINGUNGEN (AP 1)	16
KRISENRELEVANTE LIEFERKETTEN (AP2 & AP4)	31
PROZESSANALYSE UND SYSTEMMODELL (AP2 & AP4)	60
KRISENREAKTIONSMECHANISMEN (AP2, AP4 UND AP5)	108
FALLSTUDIEN (AP 4)	125
EXKURS: DER BÄCKEREI „PROOF OF CONCEPT“ (AP2 & AP4)	153
DATENQU. FÜR DAS ADAPTIVE KRISENMANAGEMENT: LOGISTIK- UND GEOINFORMATIONEN (AP3)	153
KENNZAHLENMODELL (AP2, AP4 & AP5)	160
MANAGEMENTKREISLAUF (AP 6)	179
SCHULUNGS- UND QUALIFIZIERUNGSKONZEPT (AP 6)	185

DISSEMINATION (AP 7)	190
ABGLEICH VON FORSCHUNGSZIELEN UND FORSCHUNGSERGEBNISSEN	203
II.2 WICHTIGSTE POSITIONEN DES ZAHLENMÄßIGEN NACHWEISES	205
II.3 NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN ARBEIT	205
II.4 VERWERTUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE, FORTSCHREIBUNG DES VERWERTUNGSPLANS.....	206
II.5 FORTSCHRITTE DRITTER IM DURCH DAS FORSCHUNGSVORHABEN ADRESSIERTEN FORSCHUNGSGEGENSTAND WÄHREND DER PROJEKTLAUFZEIT	207
II.6 ERFOLGTE ODER GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN	208

I Kurzdarstellung

I.1 Aufgabenstellung

Die Corona-Pandemie offenbarte erhebliche Defizite in der Krisenbewältigungsfähigkeit hochvernetzter Systeme, Großschadenslagen wie die verheerenden Überschwemmungen in den Landkreisen Euskirchen und Ahrweiler 2021 demonstrierten die Vulnerabilität gegenüber klimabedingten Extremereignissen, deren Frequenz und Intensität perspektivisch zunehmen werden. In beiden Fällen erwiesen sich die kritischen Infrastrukturen – von der medizinischen Versorgung über Logistikketten bis zur Lebensmittelversorgung – als erheblich fragiler als antizipiert. Ein Grund hierfür ist der Umstand, dass seit längerem eine Transformation von linearen Lieferketten zu hochkomplexen, netzartigen Verflechtungen mit multiplen Interdependenzen stattgefunden hat; diese Akteursnetzwerke haben eine Komplexitätsschwelle überschritten, die ihre externe Stabilisierung durch Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) unmöglich macht. Ein weiterer Grund ist, dass die etablierten Instrumente des Krisenmanagements – Pandemiepläne, Handbücher, Organisationsanweisungen – entfalteten vielfach nicht die intendierte Wirkung. Wirksames Krisenmanagement braucht also erstens neue Lösungen und zweitens müssen die Systeme müssen zur Selbststabilisierung befähigt werden. Gerade hierfür fehlt es vielen Akteuren jedoch an *Systemkenntnis* (moderne Prozesse sind schnell, vielfältig vernetzt, intelligent, akteursübergreifend und oft nur unvollständig dokumentiert, mit unsichtbaren Verknüpfungen und Abhängigkeiten) zur rechtzeitigen Erkennung kritischer Pfade und potenzieller Kaskadeneffekte, an *Adaptivität* (Krisenlagen entwickeln sich dynamisch und erfordern kontinuierliche Anpassungen der Reaktionsmechanismen) und *Motivation* (alternativ: „Grund“, „warum / wofür“; der Markt honoriert Investitionen in resilienzsteigernde Maßnahmen kaum und viele Akteure verfügen gar nicht erst über notwendige Ressourcen und Expertise für die Konzeption und Umsetzung resilienzsteigernder Maßnahmen).

Vor diesem Hintergrund verfolgte AKRIMA die zentrale These, dass *Systemkenntnis kombiniert mit KI-Unterstützung* die Identifizierung und Implementierung optimaler

Krisenreaktionsmechanismen in Abhängigkeit von Akteur, Bezugspunkt, Lage und prognostizierter Lageentwicklung ermöglicht. Das Vorhaben zielte auf die Konzeption und Umsetzung eines neuartigen Systems, das bestehende und potenzielle Krisenreaktionsmechanismen nicht nur analysiert und verbessert, sondern deren kontinuierliche, teilautomatische Anpassung an sich verändernde Krisenlagen durch maschinelles Lernen realisiert. Dazu wurde ein Regelkreis vorgeschlagen, erforscht und im Rahmen des Demonstrators umgesetzt, der vier synergistische Hauptfunktionen integriert:

1. *Auswertung*: Erfassung und Aggregation von Daten des (logistischen) Tagesgeschäfts sowie von Extremszenarien, deren Verarbeitung zu aussagekräftigen Kennzahlen und Darstellung in einem intelligenten Dashboard.
2. *Simulation*: Evaluation von Krisenreaktionsmechanismen mittels agentenbasierter Sozialsimulation und KI-unterstützter Prozessoptimierung auf Grundlage einer systematischen Exploration möglicher Krisenentwicklungen unter Berücksichtigung individueller Verhaltensweisen und emergenter Systemdynamiken.
3. *Planung*: KI-gestützte Evolution von Krisenreaktionsmaßnahmen durch maschinelle Lernverfahren und Meta-Heuristiken. Automatische Generierung optimierter Maßnahmenbündel mit erklärbaren Handlungsempfehlungen (Explainable AI), die Entscheidungsträger:innen die Einschätzung von Auswirkungen und Angemessenheit ermöglichen.
4. *Umsetzung*: Implementierung der Maßnahmen mit kontinuierlicher Erfolgskontrolle durch spezifische Kennzahlen und Parameter, deren Rückführung in den Auswertungsprozess den adaptiven Regelkreis schließt.

Die Operationalisierung erfolgte anhand von vier Krisenszenarien mit unterschiedlichen Schwerpunkttherausforderungen (Pandemie, Bioterror, Starkregen, Dürre), in denen jeweils eine andere repräsentative Logistikkette (Schutzausrüstung/-materialien, Medizintechnik, Fast-Moving Consumer Goods und Lebensmittel) im Krisenkontext betrachtet wurde. Das Vorhaben realisierte mehrere wissenschaftliche Innovationen und einen leistungsfähigen Demonstrator, womit die Grundlagen geschaffen wurden, Krisenmanagement in deutschen Unternehmen neu aufzustellen.

Das Teilvorhaben der TH Wildau sollte wesentliche methodische bzw. systemische Bausteine für die Gesamtlösung liefern, wobei die Schwerpunkte der Arbeiten in der Prozessanalyse krisenrelevanter Lieferketten und der darauf aufbauenden Systemmodellierung liegen sollten. Das Teilvorhaben sollte dabei auf die Herausforderungen fokussieren, erstens die reale Komplexität moderner logistischer Systeme in eine für Künstliche Intelligenz interpretierbare Form zu überführen, und zweitens die Ergebnisse der KI-unterstützten Prozessoptimierung in der Handlungslogik der Akteure versteh- und anwendbar zu machen. Die Forschungsgruppe „Sichere Systeme und Prozesse“ unter Leitung von Prof. Gillert sollte hierzu u.a. ein umfangreiches Systemmodell entwickeln, das die vollständige Abbildung netz- statt kettenartiger Verflechtungen ermöglichen und insbesondere die bislang unsichtbaren Verknüpfungen zwischen Akteuren, Prozessen und Ressourcen transparent machen sollte. Eine in diesem Kontext wichtige Innovation sollte in der Konzeption *archetypischer Prozesse* (standardisierte, aber flexible Grundmuster logistischer Abläufe, die sich auf vielfältige Akteure und Situationen übertragen lassen) liegen, die als Bausteine eines modularen Systems fungieren sollten, das die Komplexität realer Lieferketten auf handhabbare Einheiten reduziert, ohne kritische Interdependenzen zu vernachlässigen. Diese archetypischen Prozesse sollten mittels einer neuartigen *Prozessnotation*, die als Brücke zwischen menschlicher Prozessdokumentation und maschineller Verarbeitung fungieren sollte, dargestellt werden. Diese maschinell interpretierbare Notation sollte das Fundament für die automatisierte Analyse von über 100 verschiedenen Krisenreaktionsmechanismen bilden, die im Projektverlauf identifiziert und typisiert werden sollten. Die systematische Erhebung aller relevanten Prozesse, Lieferketten, Produktionspotentiale und Lagerbestände sollte durch ein iteratives Workshop-Konzept sowie mehrere Fallstudien erfolgen, was Praxispartner aus Industrie, Logistiknetzen und Behörden kontinuierlich einbinden sollte. Diese direkte Kopplung von Wissenschaft und Praxis sollte gewährleisten, dass die entwickelten Modelle nicht nur theoretisch fundiert, sondern auch operativ anwendbar sind. Die TH Wildau sollte dabei implizites Expertenwissen in explizite, maschinell verarbeitbare Strukturen transformieren. Das ebenfalls von der TH Wildau zu konzipierende *Kennzahlenmodell* sollte technische, organisatorische sowie gesellschaftliche Dimensionen integrieren und diese in einem *Logistics Resilience Score* zusammenfassen, der einen deutlichen Schritt hin zu einer ganzheitlichen, quantifizierbaren Bewertung der

Krisenfestigkeit darstellen sollte. Eine maßgebliche Herausforderung während dieser Arbeiten würde die nahezu ständig notwendige Konzeption neuer wissenschaftlicher Methoden und Ansätze sein, da etablierte Methoden den Anforderungen nicht gerecht werden.

Neben diesen Kernaktivitäten (gekennzeichnet durch den größten Ressourcenaufwand) sollte die TH Wildau auch die Entwicklung und Spezifikation der vier Krisenszenarien des Projekts verantworten. Hierfür sollten unterschiedlichste Erkenntnisse aufgegriffen werden (insbesondere aus abgeschlossenen Forschungsprojekten sowie historischen Ereignissen) und mit etablierten Methoden fortgeschrieben werden, um den Untersuchungsrahmen für *AKRIMA* bereitzustellen. Weiterhin sollte die TH Wildau unterschiedliche Managementkreisläufe (innerhalb und außerhalb des Krisenkontextes) untersuchen und die Erkenntnisse zu krisenoptimalem Handeln in der Konzeption von Schulungskonzepten und -unterlagen verarbeiten.

1.2 Voraussetzungen des Vorhabens

Das *AKRIMA*-Konsortium war interdisziplinär aufgestellt, um die notwendigen, komplementären Expertisen (insb. in den Bereichen Künstliche Intelligenz, Systemmodellierung, Datenintegration und Krisenmanagement) abzudecken. Als Konsortialführer übernahm das **Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)** unter der Leitung von Prof. Ingo Timm die zentrale Verantwortung für die Entwicklung von KI-Technologien zur Simulation von Krisenszenarien und zur Evolution von Krisenreaktionsmechanismen. Der Schwerpunkt lag auf den methodisch-technologischen Kernkomponenten des *AKRIMA*-Systems und deren Umsetzung im Rahmen des Demonstrators. Das DFKI wirkte bei der Erstellung und Bewertung der Krisenszenarien unter KI-methodischen Gesichtspunkten (Arbeitspaket 1) mit, war hauptverantwortlich für die Entwicklung des agentenbasierten Simulationsmodells, einschließlich Modellkomponenten für Infrastruktur, Akteure, Ressourcen und deren Zusammenhänge sowie KI-basierte Analysekomponenten zur automatisierten Bewertung von Krisenreaktionsmechanismen (Arbeitspaket 4), übernahm eine Führungsrolle bei der automatischen situationsspezifischen Optimierung von Krisenreaktionsmaßnahmen durch erklärbare KI-Verfahren, einschließlich

der Entwicklung von Modelltransformatoren und KI-Planungsalgorithmen (Arbeitspaket 5) und erarbeitete den Demonstrator (Arbeitspaket 7). Die **Aimpulse Intelligent Systems GmbH (AIM)** realisierte unter der Leitung von Dr. Arne Schuldt die technische Infrastruktur für die Datenversorgung des *AKRIMA*-Systems und verantwortete die Erschließung, Anbindung, Integration und Bereitstellung von Datenquellen für die komplexen KI-Simulationen. Der Hauptverantwortungsbereich war dementsprechend das Datenmanagement, einschließlich der Implementierung des Data Storage, der Erschließung von Datenquellen (KOSIS, OpenStreetMap, DESTATIS, etc.) und der Entwicklung hochskalierbarer Schnittstellen (Arbeitspaket 3); daneben leistete sie Unterstützung bei der Entwicklung von Modellgeneratoren und -analysten für die Simulation (Arbeitspaket 4), trug zur technischen Umsetzung der Optimierungsalgorithmen bei (Arbeitspaket 5) und wirkte bei der Demonstration der Datenintegrationsfunktionalitäten (Arbeitspaket 7) mit. Die **G2K Group GmbH (G2K)** sollte ursprünglich die Visualisierungs- und Analysekomponenten des *AKRIMA*-Systems entwickeln, schied jedoch nach 18 Monaten aufgrund eines Mergers mit ServiceNow aus dem Projekt aus. Nach dem Ausscheiden von G2K wurden diese Aufgaben im Wesentlichen durch das DFKI übernommen. Die **Technische Hochschule Wildau (WIL)** verantwortete unter Leitung von Prof. Gillert die systemanalytischen und methodischen Grundlagen des Projekts, mit besonderem Fokus auf Szenarien, System- und Kennzahlenmodelle sowie die Parametrierung zur Erfassung des lageabhängigen Status Quo. Sie hatte die Führungsrolle bei der Auswahl und Beschreibung der Anwendungsfälle sowie der Spezifikation der vier Krisenszenarien (Arbeitspaket 1), war hauptverantwortlich für die Prozess-, Struktur- und Zustandsanalyse, einschließlich der Entwicklung des Systemmodells, der Prozessnotation, der Parametrierung und des Kennzahlenmodells mit dem „Logistics Resilience Score“ (Arbeitspaket 2), erarbeitete Krisenreaktionsmechanismen unterstützte bei der Modellierung der Anwendungsfälle auf Grundlage der entwickelten Systemmodelle und Parameter (Arbeitspaket 4), wirkte bei der Definition von Syntax, Semantik und Inhalten für die modulare Beschreibung von Krisenreaktionsmechanismen mit (Arbeitspaket 5), leistete einen Beitrag für den Management- / Entscheidungskreislauf (Arbeitspaket 6), erarbeitete Konzepte für Schulung sowie Qualifizierung und unterstützte maßgeblich in der Dissemination

(Arbeitspaket 7). Die TH Wildau fungierte dabei vielfach als methodische Brücke zwischen der technischen KI-Entwicklung und der praktischen Anwendbarkeit.

Das Verbundprojekt begann am 01.01.2022 und endete regulär am 31.12.2024. Alle Partner waren jedoch auf Grund einer dreimonatigen zuwendungsneutralen Verlängerung bis zum 31.03.2025 mit dem Projekt befasst.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Zeitplanung im Projekt, bzw. in den maßgeblich durch die TH Wildau verantworteten Arbeitspaketen 1 und 2 wurde so vorgenommen, dass notwendige Grundlagen (z.B. konzeptionelle Vorarbeiten, Ist-Analysen) frühzeitig abgeschlossen sein würden und die entsprechenden Ergebnisse den weiteren Projektphasen zur Verfügung stünden. Grundsätzlich wurden jedoch Arbeitsinhalte so geplant, dass der jeweils zu leistende Beitrag mit den Bedarfen der anderen Arbeitspakete bzw. Partner inhaltlich und zeitlich abgestimmt ist. In der Praxis ergaben sich in allen Arbeitspaketen und für alle Partner immer wieder Verschiebungen im Zeitplan, die aber im Konsortium gut harmonisiert wurden. Hinzu kam eine gewisse Unschärfe, da sich die Arbeiten in verschiedenen Arbeitspaketen nicht immer (sinnvoll) trennen ließen (bspw. im Falle der TH Wildau in den Arbeitspaketen 2 und 4) und viele Aspekte daher parallel bearbeitet wurden. Schlussendlich war dies aber dem Projektergebnis zuträglich und wurde von allen Projektpartnern goutiert. Die ursprüngliche Arbeitsplanung ist der folgenden Übersicht (Abbildung 1) zu entnehmen.

	Jahr 1												Jahr 2												Jahr 3											
	Q1			Q2			Q3			Q4			Q1			Q2			Q3			Q4			Q1			Q2			Q3			Q4		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
VT	1								2									3					4					5								6
AP1																																				
AP2																																				
AP3																																				
AP4																																				
AP5																																				
AP6																																				
AP7																																				
WS		1,2			3			4-6								7, 8	9					10, 11						12, 13							14	

VT1 = Kick Off Meeting, VT3 = Meilenstein Meeting, VT6 = Abschlusstreffen

Abbildung 1: Übersicht über die Projektplanung.

I.4 Stand von Wissenschaft und Technik

Anmerkung: Hier wird der Stand von Wissenschaft und Technik zu Beginn des Projekts dargestellt, welcher sich im Laufe der Bearbeitung aber nicht wesentlich verändert hat.

Im Krisenmanagement existieren vor allem akteursinterne, häufig implizite Richtlinien, die durch institutionalisierte Aus- und Weiterbildung (z. B. im Rahmen der Stabsschulungen der BABZ) eine Verbreitung erfahren. Dadurch bilden sich vielfach kleinere Schnittmengen sowie „Good Practices“ durch den organischen Austausch von Führungskräften, z. B. die Krisenstabsarbeit nach Art der Feuerwehr. Es existiert jedoch keine Best Practice des Krisenmanagements, auf die zurückgegriffen werden könnte. Eine gewisse Ersatzfunktion erfüllen die verschiedenen (inter-) nationalen Standards, etwa *ISO 31000 Risikomanagement - Leitlinien*, *ISO 22301 Sicherheit und Resilienz - Business Continuity Management System - Anforderungen*, *ISO 22316 Sicherheit und Resilienz - Resilienz von Organisationen - Grundsätze und Attribute* oder *DIN CEN/TS 17901 Krisenmanagement – Strategische Grundsätze*. Sie geben Rahmenbedingungen sowie Handlungsempfehlungen für Krisenfälle vor.

Die genannten Standards greifen zwar prinzipiell den Stand der Wissenschaft auf (z. B. in Bezug auf Resilienzzyklen oder die Idee der Durchführung von Stresstests), allerdings meist mit mehreren Jahren Verzögerung und mit erheblicher Komplexitätsreduktion. Bspw. findet das Verständnis von „komplexen adaptiven Systemen“ (mit sich ständig verändernden Problemlandschaften¹) als „verschlungene, mehrschichtige Netzwerke“² mit oft auch unsichtbaren Verknüpfungen bisher keine Berücksichtigung und die Durchdringung der Praxis

¹ Vgl. Gell-Mann, M. (1997). Fundamental Sources of Unpredictability. *Complexity*, 3 (1), S. 9-13; Ackermann, F., Franco, L. A., Rouwette, E., & White, L. (2014). Special Issue on Problem Structuring Research and Practice. *EURO Journal on Decision Processes*, 2 (3-4), S. 165-172. doi: 10.1007/s40070-014-0037-6; Woods, D. D. (2018). The Theory of Graceful Extensibility: Basic Rules that Govern Adaptive Systems. *Environment Systems and Decisions*, 38, S. 433-457. doi: 10.1007/s10669-018-9708-3; sowie Reuter, C. (2018). *Sicherheitskritische Mensch-Computer-Interaktion: Interaktive Technologien und Soziale Medien im Krisen- und Sicherheitsmanagement*. Springer Vieweg, Wiesbaden. doi: 10.1007/978-3-658-32795-8

² Woods, D. D. (2018). The Theory of Graceful Extensibility: Basic Rules that Govern Adaptive Systems. *Environment Systems and Decisions*, 38, S. 433-457. doi: 10.1007/s10669-018-9708-3

ist gering. Sowohl etablierte Praxis, als auch die diversen Regelwerke sowie Standards betonen die Zyklizität des Krisenmanagements und die Notwendigkeit eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses, legen hierfür aber kein ausreichendes Fundament: Die Abläufe sind oft wenig flexibel und langsam, vorhandene digitale Potenziale³ bleiben weitgehend ungenutzt, die Fehlerkultur ist ausbaufähig. Die Evaluation (etwa von überstandenen Krisen oder (Groß-)Übungen) hinsichtlich der Prozesse und Entscheidungen steht noch am Anfang, während die Evaluation vom Verhalten der Einsatzkräfte schon fortgeschrittener ist.⁴ In der Folge ist wirksames Krisenmanagement zu einem großen Teil von der Expertise der Entscheidungstragenden und der Organisationskultur abhängig, was kaum skalierbar und im Vorfeld zu evaluieren ist.

Etablierte Evaluationsmethoden (wie z. B. randomisierte kontrollierte Studien zum Testen möglicher Szenarien) können im Kontext des Krisenmanagements kaum eingesetzt werden, da diese sowohl zeit- als auch ressourcenintensiv sind und die Ergebnisse stark vom jeweiligen Kontext der Experimente abhängen können.⁵ Andere Erkenntnismethoden wie Befragung und qualitative/empirische Analysen reichen ebenfalls nicht aus, um belastbare Handlungsempfehlungen zu formulieren, wie etwa im Gesundheitswesen festgestellt wurde;

³ Vgl. Reuter, C. (2018). Sicherheitskritische Mensch-Computer-Interaktion: Interaktive Technologien und Soziale Medien im Krisen- und Sicherheitsmanagement. Springer Vieweg, Wiesbaden. doi: 10.1007/978-3-658-32795-8; Vogt, C., Endreß, C., & Peters, P. (2019). Wirtschaftsschutz in der Praxis - Positionen zur Unternehmenssicherheit und Kriminalprävention in der Wirtschaft. Springer, Wiesbaden. doi: 10.1007/978-3-658-24637-2; sowie Reuter, C., Ludwig, T., & Pipek, V. (2016). Kooperative Resilienz: ein soziotechnischer Ansatz durch Kooperationstechnologien im Krisenmanagement. Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO), 47, S. 159-169. doi: 10.1007/s11612-016-0317-7.

⁴ Cranmer, H., & Johnson, K. (2014). Pathway to Professionalization: A Competency-based Evaluation of Humanitarian Aid Workforce Personnel during a Humanitarian Crisis Simulation Exercise. *Annals of Global Health*, 80 (3). S. 157-158. doi: 10.1016/j.aogh.2014.08.011; und Mitchell, J. T., & Everly, G. S. (2014). Handbuch Einsatznachsorge. S+K Verlag, Edewecht. ISBN 3943174964.

⁵ Gilbert, N., Ahrweiler, P., Barbrook-Johnson, P., Narasimhan, K. P., & Wilkinson, H. (2018). Computational Modelling of Public Policy: Reflections on Practice. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(1). doi: 10.18564/jasss.3669.

stattdessen eignet sich die Nutzung von Computersimulationen,⁶ da diese individuellen Verhaltensweisen und die daraus resultierenden Dynamiken der betroffenen Personen, Gruppen und Institutionen abbilden können.⁷ Zu deren Repräsentation hat sich die Agentenbasierte Modellierung und Simulation (ABM) etabliert,⁸ welche auch in der Planung und Evaluation von adaptiven Logistikprozessen gängig ist.⁹ So wurde ABM in der Vergangenheit ebenso genutzt, um Maßnahmen des Infektionsschutzes vor deren Umsetzung auf Wirksamkeit zu untersuchen,¹⁰ zuletzt im Zuge der COVID-19-Pandemie.¹¹

⁶ Schaaf, S., Bogenstahl, C., Goluchowicz, K., Heinen-Kammerer, T. & Weide, S. (2020). Sozialsimulationen innovationspolitischer und medizinischer Maßnahmen. Working Paper of the Institute for Innovation and Technology, 49; Bortz, M., Burger, M., Fiedler, J., Gramsch, S., Leithäuser, N., & Mohring, J. (2020). Epidemiologie – Modellierung, Simulation und Entscheidungsunterstützung für lokale Entscheidungsträger. Whitepaper. Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM; Squazzoni, F., Polhill, J. G., Edmonds, B., Ahrweiler, P., Antosz, P., Scholz, G., & Gilbert, N. (2020). Computational Models That Matter During a Global Pandemic Outbreak: A Call to Action. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23(2) 10. doi: 10.18564/jasss.4298.

⁷ Squazzoni, F., Polhill, J. G., Edmonds, B., Ahrweiler, P., Antosz, P., Scholz, G., & Gilbert, N. (2020). Computational Models That Matter During a Global Pandemic Outbreak: A Call to Action. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23(2) 10. doi: 10.18564/jasss.4298; und Epstein, J. M. (2009). Modelling to Contain Pandemics. *Nature*, 460(687). doi: 10.1038/460687a.

⁸ Bortz, M., Burger, M., Fiedler, J., Gramsch, S., Leithäuser, N., & Mohring, J. (2020). Epidemiologie – Modellierung, Simulation und Entscheidungsunterstützung für lokale Entscheidungsträger. Whitepaper. Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM; und Lorig, F., & Timm, I. J. (2020). Simulation-Based Data Acquisition. *Principles of Data Science. Transactions on Computational Science and Computational Intelligence*, 1-15. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-43981-1_1.

⁹ van Heeswijk, W. J. A., Mes, M. R., Schutten, J. M. J., & Zijm, W. H. M. (2020). Evaluating Urban Logistics Schemes Using Agent-based Simulation. *Transportation science*, 54(3), 651-675. doi: 10.1287/trsc.2019.097.

¹⁰ Bortz, M., Burger, M., Fiedler, J., Gramsch, S., Leithäuser, N., & Mohring, J. (2020). Epidemiologie – Modellierung, Simulation und Entscheidungsunterstützung für lokale Entscheidungsträger. Whitepaper. Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM; Law, A. M., Kelton, W. D., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis* (Vol. 3). New York: McGraw-Hill; Axelrod, R. (1997). *Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences. Simulating Social Phenomena*, S. 21-40. Springer, Berlin; sowie Lee, B. Y., Brown, S. T., Korch, G. W., Cooley, P. C., Zimmerman, R. K., Wheaton, W.

D., & Burke, D. S. (2010): A Computer Simulation of Vaccine Prioritization, Allocation, and Rationing during the 2009 H1N1 Influenza Pandemic. *Vaccine* 28(31), S. 4875–4879. doi: 10.1016/j.vaccine.2010.05.002.

¹¹ Chang, S. L., Harding, N., Zachreson, C., Cliff, O. M., & Prokopenko, M. (2020). Modelling Transmission and Control of the COVID-19 Pandemic in Australia. *Nature communications*, 11(1), 1-13. doi: 10.1038/s41467-020-19393-6; Klein, E., Lin, G., Tseng, K., Schueller, E., Kapoor, G., & Laxminarayan, R. (2020). COVID-19 for India updates, Doctoral dissertation, Princeton University; und The Washington Post. A chilling scientific paper helped upend U.S. and U.K. coronavirus strategies (März 2020). Abgerufen am 17. September 2020 von https://www.washingtonpost.com/world/europe/a-chilling-scientific-paper-helped-upend-us-and-uk-coronavirus-strategies/2020/03/17/aaa84116-6851-11ea-b199-3a9799c54512_story.html.

I.5 Zusammenarbeit mit Dritten

Neben den Projektpartnern wurden durch die TH Wildau diverse Dritte vielfach über Workshops und Interviews in das Projekt eingebunden; hierbei handelte es sich im Schwerpunkt um die assoziierten Partner im Projekt. Besonders hervorzuheben ist die Beteiligung der Drägerwerk AG & Co. KGaA, die sich vielfältig, umfangreich, hochengagiert und auf verschiedenen Ebenen unentgeltlich in das Projekt einbrachte.

II Eingehende Darstellung

II.1 Zuwendungsverwendung und erzielte Ergebnisse

Das AKRIMA-Projekt wurde entlang von sieben Arbeitspaketen strukturiert (siehe auch den Abschnitt „Planung und Ablauf“), die systematisch aufeinander aufbauen und unterschiedliche methodische Schwerpunkte zur Entwicklung eines KI-gestützten adaptiven Krisenmanagements für logistische Lieferketten adressieren. **Arbeitspaket 1 (Szenarien & Rahmenbedingungen, Monate 01 bis 06)** bildete die konzeptionelle Grundlage des AKRIMA-Projekts durch die systematische Auswahl und detaillierte Beschreibung relevanter Krisenszenarien (hier um im Folgenden wird nur auf die Arbeiten der TH Wildau Bezug genommen; für die Arbeiten der Partner siehe deren Abschlussberichte). Arbeitspaket 2 (**Prozess-, Struktur- & Zustandsanalyse, Monate 07 bis 24**) fokussierte die systematische Analyse und Modellierung komplexer logistischer Prozesse zur Schaffung einer methodischen Basis für die KI-gestützte Simulation. Kernleistung war die Entwicklung eines neuartigen Systemmodells, das die tatsächliche Komplexität moderner Lieferketten abbildet und gleichzeitig die Anforderungen maschineller Verarbeitung erfüllt. Zudem wurde ein integriertes Kennzahlenmodell konzipiert, um die Resilienz- und Krisenbewältigungsfähigkeit von Lieferketten quantitativ bewertbar zu machen. Die praktische Validierung erfolgte durch detaillierte Fallstudien. Arbeitspaket 3 (**Datenakquise & -management, Monate 01 bis 24**) adressierte die systematische Erschließung und strukturierte Aufbereitung der für das adaptive Krisenmanagement erforderlichen Datenbestände (die TH Wildau war hier unterstützend tätig). Arbeitspaket 4 (**Simulation & Evaluation von Krisenreaktionsmechanismen, Monate 04 bis 30**) konzentrierte sich auf die empirische Analyse bestehender Krisenreaktionsmechanismen und deren systematische Evaluation durch agentenbasierte Simulation. Eine spezialisierte Modellierungsnotation wurde entwickelt, die es ermöglicht, die Wirkweisen und systemischen Verknüpfungen von Krisenreaktionsmechanismen formal zu beschreiben und für die maschinelle Verarbeitung zugänglich zu machen. Ergänzend wurde eine Typisierung der Mechanismen nach Wirksamkeit, Voraussetzungen und strukturellen

Rahmenbedingungen vorgenommen, die als Grundlage für die nachfolgende Optimierung diente. Arbeitspaket 5 (**Evolution von Krisenreaktionsmaßnahmen, Monate 13 bis 36**) zielte auf die automatische, situationsspezifische Optimierung von Krisenreaktionsmaßnahmen, Arbeitspaket 6 (**Darstellung, Auswertung & Managementkreislauf, Monate 13 bis 36**) auf die Erforschung optimaler Managementkreisläufe sowie ein AKRIMA-geeignetes / -inspiriertes Schulungskonzept und Arbeitspaket 7 (**Demonstration, Etablierung & Transfer, Monate 07 bis 36**) auf die kontinuierliche Erfolgskontrolle und systematische Disseminierung der Forschungsergebnisse.

Die Durchführung des AKRIMA-Projekts war geprägt von einer hohen methodischen Vernetzung zwischen den einzelnen Arbeitspaketen. Die ursprünglich sequenziell geplanten Arbeitsschritte erwiesen sich in der praktischen Umsetzung als stark interdependent, wodurch eine flexible, iterative Bearbeitung erforderlich wurde. Insbesondere die Entwicklungsarbeiten in AP 2 (Prozessanalyse) und AP 4 (Simulation) sowie die Transferaktivitäten aus AP 7 durchdrangen kontinuierlich die gesamte Projektlaufzeit und ermöglichten wichtige Synergieeffekte. Die enge Verschränkung der Arbeitspakete erwies sich als methodischer Vorteil, da beispielsweise Erkenntnisse aus der Szenarioentwicklung (AP 1) unmittelbar in die Systemmodellierung (AP 2) einfließen und gleichzeitig die Simulationsergebnisse (AP 4) iterativ zur Verfeinerung der Kennzahlenmodelle beitrugen. Diese integrative Arbeitsweise ermöglichte eine kontinuierliche Validierung der Zwischenergebnisse durch die Praxispartner und eine zeiteffiziente Projektdurchführung.

Vor dem Hintergrund dieser methodischen Integration erfolgt die Darstellung der Projektergebnisse in den nachfolgenden Abschnitten nicht entlang der ursprünglichen Arbeitspaketstruktur, sondern orientiert sich an thematischen Ergebnisblöcken. Diese Strukturierung erleichtert eine kohärente Darstellung der entwickelten Methoden und Instrumente sowie ihrer praktischen Anwendung.

Szenarien & Rahmenbedingungen (AP 1)

Zentraler Inhalt des Arbeitspakets 1 war die Erstellung der Szenarien zur weiteren Verwendung in AKRIMA. Die Arbeiten lagen zum überwiegenden Teil in der Verantwortung der Technischen Hochschule, sämtliche Verbund- und Praxispartner waren aber in unterschiedlichem Umfang involviert.

Szenarien erfüllen in Projekten zumeist, so auch in AKRIMA, die Rolle der prinzipiellen Untersuchungsgrundlage und sie sind der Dreh- und Angelpunkt sowohl der Einbindung der Praxispartner als auch der weiteren Bearbeitung etwa in Form der KI-unterstützten Simulationen. Gute Szenarien müssen vier zentrale Qualitätsmerkmale aufweisen: Erstens müssen sie fachlich stichhaltig sein und als eine ‚realistische Möglichkeit‘ bewertet werden können, um die praxisnahe Einbindung der Anwender überhaupt erst möglich zu machen. Diese realistische Möglichkeit muss zweitens durch eine breite Datenbasis gestützt werden. Drittens müssen die Szenarien die Anwender gedanklich und emotional ‚abholen‘ und viertens müssen die Szenarien die „Messlatte“ ausreichend hoch hängen, dass neuartige Gedankengänge und Lösungen erforderlich sind. Die Szenarien dürfen und müssen die Kapazitäten der Praxisanwender überfordern, damit die Grenzen des Machbaren ausgelotet werden können und abgeschätzt werden kann, welche Belastungen das System noch aushält – und welche nicht (mehr). Neben diesen Herausforderungen muss zudem grundsätzlich ein Spagat zwischen Belastbarkeit und Detailgrad gelingen: Da Szenarien (zumindest in der Sicherheitsforschung) immer eine Vorausschau auf mögliche Ereignisse bzw. Ereignisketten und deren Auswirkungen auf komplexe Systeme sind, ist jede Festlegung im Rahmen eines Szenarios per se mit Unsicherheit behaftet. Unter diesen Rahmenbedingungen war die Erstellung der Szenarien wenig überraschend von vielen Herausforderungen begleitet, die weitgehend vorab antizipiert wurden. Dazu gehören die sehr heterogene Wissenslage für die unterschiedlichen Situationen, die Balance zwischen der Vordefinition von Reaktionen im Rahmen des Szenarios gegenüber dem Offenlassen dieser, sowie die Problematik, dass insbesondere in komplexen Szenarien (etwa nach Maßgabe von Akteursanzahl oder Dauer) die zugrundeliegende Variantenvielfalt sehr schnell ein unüberschaubares Maß annimmt.

Grundszenarien

In AKRIMA werden gemäß des Projektantrags vier Grundszenarien betrachtet: Pandemie, Bioterror, Starkregen / Überschwemmung und Dürre. Die Szenarien zeichnen sich durch unterschiedliche generelle Schwerpunkte in den Tätigkeitsbereichen der Akteure aus: Während einer Pandemie kommt es zur Ressourcenverknappung und der Notwendigkeit zur Bewältigung zusätzlicher Aufgaben; bei Starkregen / Überschwemmung treten primär

Handlungsbeschränkungen auf, während bei Dürre ebenfalls hauptsächlich eine Ressourcenverknappung stattfindet. Demgegenüber zeichnet sich Bioterror wiederum durch zusätzliche Aufgaben aus. Neben den unterschiedlichen Auswirkungen auf Akteure allgemein sind die Szenarien auch dadurch charakterisiert, dass jeweils unterschiedliche Lieferketten als besonders krisenrelevant anzunehmen sind, was beispielsweise vom spezifischen Bedarf an bestimmten Produkten, dem Zeithorizont und den benötigten Ressourcen abhängt. Parallel dazu gibt es bestimmte Lieferketten, die für Krisenszenarien generell, wenn auch hier mit unterschiedlichen Schwerpunkten, von herausgehobener Bedeutung sind. Zu diesen Lieferketten gehören „Schutzausrüstung / -materialien“, „Medizintechnik“, „Fast Moving Consumer Goods“ und „Lebensmittel“, welche entsprechend in AKRIMA betrachtet und jeweils durch mindestens einen Praxispartner repräsentiert wurden. Entlang der größten Schnittmengen zwischen den Lieferketten und ihrer jeweiligen Relevanz in den verschiedenen Szenarien wurde in jedem Szenario jeweils eine Lieferkette im Schwerpunkt betrachtet.

Als Vorarbeit für die eigentliche Szenariendefinition wurden Kurzbeschreibungen für jedes Szenario erstellt und mit den Projektpartnern abgestimmt. Diese Kurzbeschreibungen umfassten einen generellen „Steckbrief“ sowie eine Übersicht über typische Handlungsoptionen (siehe Abbildungen 2, 3, 4 und 5).

Steckbrief (1)	
 	
Ursache	Großwetterlage „Tief Mitteleuropa“ verhält sich ortsfest und bringt extreme Niederschlagsereignisse über Tage
Örtlichkeit	- dicht besiedelte Wirtschaftsregion, wichtige Produktions- und Technologiestandorte, europa- und deutschlandweit bedeutende Verkehrsadern, hohes Verkehrsaufkommen, wichtige Logistikstandorte, zwei Binnenhäfen (1x trimodal), - Landschaft hügelig, breite Flusstäler, moderne Infrastruktur (Brücken...), Mittelgebirge angrenzend, hohes Risiko für Starkregen und Hochwasser
Dauer	- ca. eine Woche Extremniederschläge + Hochwasser - drei Tage Chaos und Überforderung, danach zunehmend eingespielter Krisenmodus - ca. ein Monat Rückkehr zu einer Normalität
Parameter	- Ausfall Stromversorgung und Telekommunikation über Tage - Ausfall Binnenschifffahrt und Schienenverkehr für ca. eine Woche - Überflutung regional und überregional bedeutender Straßeninfrastruktur über Tage - Autobahnabschnitt und Umfahrungen überflutet, Vollsperrungen lange Staus, hunderte Lkw-Fahrer sitzen mit ihren Ladungen fest - Wohngebiete, Innenstadt, Industriegebiete und Standorte von Behörden/BOS überflutet, acht Kommunen, drei Landkreise, > 40.000 Anwohner:innen betroffen - Evakuierungen, stellenweise Panik und Chaos, Tote, Verletzte, Rettungskräfte überlastet

Abbildung 2: Szenario Starkregen / Überschwemmung, Steckbrief (1). Ausschnitt aus der Präsentation.

Steckbrief (2)		
 		
Ereignis	im Vorfeld	- über Wochen unbeständiges Wetter, hoher Vorregenindex - T1 – 1 Tag Warnung vor Extremniederschlägen in der gesamten Region
	T1	- Serie von Starkregenereignissen, dadurch lokal Überschwemmungen - Binnenschifffahrt und Schienenverkehr werden eingestellt - Warnung vor weiteren Extremniederschlägen in der gesamten Region „Jahrhundert“-Hochwasser - Vorhersagen schwierig, unklare Informationslage, keine Verstärkung für BOS
	T2 bis T4	- anhaltend/wiederkehrend Extremniederschläge, dadurch entlang der Flüsse von Süden nach Norden fortschreitend Hochwasser, flächig HQ_{extrem} - Ausfall Stromversorgung und Telekommunikation - Überflutung ausgedehnter Siedlungs-, Verkehrs- und Industrieflächen - Rettungs- und Evakuierungsaktionen, Chaos, Todesopfer, Versorgungslage zunehmend kritisch, Überlastung von Rettungskräften und Notunterkünften - auf Autobahnabschnitt und mehreren Bundesstraßen Überschwemmungen, Unfälle, Vollsperrungen, lange Staus - Industriegebiete mit Chemieanlagen bedroht - Wegfall von Transporten betrifft Unternehmen im weiten Umfeld - Unternehmen unterstützen BOS

Abbildung 3: Szenario Starkregen / Überschwemmung, Steckbrief (2). Ausschnitt aus der Präsentation.

Steckbrief (3)		
 		
Ereignis	T5 (T1 + 4 - 6 Tage)	- Tief ist abgezogen, das Hochwasser geht zurück - Aufräumarbeiten laufen an - flächig kein Strom, IT, Telekommunikation, Wasser, Abwasser, Gas - Verkehrsinfrastruktur an vielen Stellen stark verschmutzt und/oder beschädigt, umfangreiche Sperrungen
	T6 (T1 + 7 Tage)	- Hochwasser ist zurückgegangen, Aufräumarbeiten beginnen, erste Verkehrswege sind wieder für Transporte nutzbar am Ende von T6: - Stromversorgung zum Teil (provisorisch) wiederhergestellt - Nutzung Strom und Telekommunikation noch eingeschränkt - Gas und Wasserversorgung in einigen Bereichen weiterhin unterbrochen einige Bahnstrecken weiter gesperrt - einige Straßenabschnitte weiter gesperrt - Straßenverkehr weiter stark beeinträchtigt
	T7 (T1 + ca. 1 Monat)	- schrittweise Aufräumarbeiten und Rückkehr zur Normalität am Ende von T7: - Stromversorgung ist weitestgehend wiederhergestellt. - Weiter große Schäden an Gas-, Trink- und Abwasserleitungen - weiter Sperrungen von Infrastruktur und erhöhter Transportaufwand

Abbildung 4: Szenario Starkregen / Überschwemmung, Steckbrief (3). Ausschnitt aus der Präsentation.

Maßnahmen			
 			
	Wetterwarnung	Ereignis	nach dem Ereignis
vom Ereignis betroffene Unternehmen	- Krisenstab bilden, Wetterlage verfolgen - Personal, Transporteure, Lieferanten, Kunden informieren - Hochwasserschutz aktivieren - Gefahrenabwehr vorbereiten - Vorräte prüfen - Strom und Wasser abstellen, stromunabhängige Kommunikation sicherstellen	- Wetterlage verfolgen, behördliche Anweisungen beachten - Gefahren abwehren, wenn möglich - Personal evakuieren oder im Unternehmen versorgen - Transporte umleiten, erhöhten Aufwand für Transporte stemmen - Produktion ggf. herunterfahren	- Entsorgung beschädigter Rohstoffe, Waren etc. Reinigung von Anlagen, Gebäuden, ... - Beseitigung von Umweltschäden - Reparaturen, Wiederaufbau - weiter erhöhter Aufwand für Transporte und eingeschränkte Produktivität - Analyse der Ereignisse
an Notfall-einsätzen beteiligte Unternehmen	Alarmbereitschaft	Vorbereitung und ggf. Start Notfalleinsatz	Notfall-Versorgungsketten Aufbauen

Abbildung 5: Szenario Starkregen / Überschwemmung, Maßnahmen. Ausschnitt aus der Präsentation.

Ausgestaltung und Formulierung der finalen Szenarien

Diese Grundszenarien wurden mittels zwei unterschiedlicher Werkzeuge expliziert. Das erste dieser Werkzeuge waren die **Szenariokriterien**, in denen beschrieben wurde, welchen Kriterien die Erarbeitung und Beschreibung der Szenarien in Bezug auf betrachtete Akteure, zentrale Elemente oder bestimmte systemische Zusammenhänge genügen müssen. Insgesamt wurden hierfür 25 Kriterien formuliert; je Kriterium war zudem vermerkt, welche Akteursgruppe (z. B. „UNT“ für Unternehmen, „ZIV“ für Zivilbevölkerung) jeweils im Schwerpunkt zu betrachten ist. Beispielhaft seien hierfür folgende Elemente kurz dargestellt:

- *Personal der Unternehmen, Ausfall:* Die Auswirkungen auf den Ausfall von Personal werden sowohl im Gesamtbild als auch über den Zeitverlauf beschrieben. Hierbei werden Ausfälle durch Krankheit, Tod oder anderweitiges Fortbleiben berücksichtigt. Zudem werden die Auswirkungen der Ereignisse auf die individuelle Leistungsfähigkeit grob beschrieben. Dabei wird auch berücksichtigt, wie sich der Personalausfall in verschiedenen Personengruppen (z. B. Führungskräfte, Leiharbeiter) ausdrückt. (Zuordnung: UNT)
- *Infrastruktur, Transportwege:* Im Szenario werden die Auswirkungen der Lage auf die Transportwege beschrieben. Dabei wird zwischen temporärer und dauerhafter Nicht- bzw. Teilverfügbarkeit getrennt, etwaige Schadenszeiträume prognostiziert und ausgeführt, ob (und wenn ja, in welcher Art und Kapazität) prinzipiell jeweils noch alternative Transportwege zur Verfügung stehen. (Zuordnung: -)
- *Verhalten (in) der Öffentlichkeit, Gebietskörperschaften, Verwaltung und Politik:* Typischerweise zu erwartende Reaktionen von Gebietskörperschaften, Verwaltung und Politik auf die Krisenlage werden beschrieben und deren Effekte auf andere Akteure skizziert. Ebenso werden etwaige Auswirkungen der Krise auf diese selbst (eigene Betroffenheit) kursorisch ausgeführt. (Zuordnung: ZIV)
- *komplexe Systeme, überregionale Verflechtungen:* Es werden besondere regionale Verflechtungen zwischen den verschiedenen Akteuren beschrieben. Darüber hinaus werden durch Interaktion zwischen Akteuren (besonders Wirtschaft / öffentl.

Einrichtungen) entstehende Effekte, insbesondere wenn sich diese in der Krise neu ergeben, untersucht und aufbereitet. (Zuordnung: -)

- *Sonstiges, Arbeitsgrundlage:* Das Szenario ist derart beschrieben, dass es allen Projektteilnehmern eine geeignete Arbeitsgrundlage zur Einschätzung der Ist-Situation in Form eines umfassenden Daten- und Informationspakets an die Hand gibt. Das Szenario ist als Rahmenwerk geeignet, um den Projektteilnehmern die Entwicklung von Soll-Strukturen zu ermöglichen.

Als Ergänzung und zweites Werkzeug wurde dazu eine Matrix der **Szenarioparameter** erstellt, in der verschiedene Arten von direkten Auswirkungen auf Akteure und deren Wechselwirkungen nachgehalten wurden. Diese Auswirkungen wurden in die Kategorien „Externe Faktoren“, „Interne Faktoren“, „Input“ und „Output“ aufgegliedert und umfassten Elemente wie „Aus- bzw. Wegfall von Lieferanten“, „unvollständige (Lage-) Informationen“, „Mehraufwand (Dokumentation, Schutzmaßnahmen)“, „unzureichende Qualität der eingehenden Ressourcen“ und „fehlende Abnehmer“. Zur Abbildung möglicher Kaskadeneffekte wurden Wechselwirkungen („A“ verursacht direkt definitiv / direkt wahrscheinlich / indirekt „B“) aus der Systemanalyse und der Literaturrecherche abgeleitet (siehe Abbildung 6).

y verursacht x bzw. Zeile verursacht Spalte												
Externe Faktoren												
Aus- bzw. Wegfall von Lieferanten												
Aus- bzw. Wegfall von Kunden												
zerstörte und / oder blockierte Infrastruktur		X	X							X		
fehlende Fähigkeit und / oder Bereitschaft zu arbeiten												
fehlender Zugriff auf DL (z. B. Werkstatt)												
unvollständige (Lage-) Informationen												
schwer erreichbare Behörden												
Interne Faktoren												
Mehraufwand (Dokumentation, Schutzmaßnahmen)												
Überbeanspruchung, Belastungsschäden und / oder Ausfälle an bzw. von physischen Werten										X	X	
Prozessumstellung, Produktumstellung und / oder Substitution										X	X	
erhöhte Leerlaufzeiten und / oder verlangsamte Prozesse										X	X	
erhöhte Fehlerquote, Nacharbeiten und Korrekturen										X	X	

Abbildung 6: Szenarioparameter, Ausschnitt. Parameter in den Zeilen haben einen potenziellen Zusammenhang bzw. verursachen die Parameter in der Spalte. „X“ steht für eine starke Korrelation, „~“ für eine mäßige Korrelation. Starke und mäßige Korrelationen in grauer statt schwarzer Schriftfarbe implizieren Kaskadeneffekte („weil X ausfällt, wird Y verursacht, was wiederum Z verursacht“). Die Parameter bilden übliche Korrelationen ab, keine zwingenden Kausalitäten.

Maßgeblich aus den Szenarioparametern leiten sich schlussendlich auch die Impact-Faktoren ab, also die konkreten Auswirkungen – mit Relevanz für das Handeln (z. B. der Ausfall einer bestimmten Brücke durch Unterspülung der hin- und fortführenden Straßen sowie die sich daraus ergebenden Effekte) – der Szenarien auf die betrachteten Akteure, welche entsprechend in den Szenariobeschreibungen dargelegt sind.

Bei der Szenarienerstellung kamen beide Dokumente prinzipiell so zur Anwendung, dass erstens eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, zweitens der grobe Szenariorahmen definiert, drittens zu beschreibende Akteure und Sachverhalte entlang der Szenariokriterien gewählt und viertens mögliche Effekte im Szenario bzw. aus diesem heraus auf die beteiligten Akteure (entlang der definierten Szenarioparameter) hinterfragt wurden. Daraus entstand eine umfangreiche Daten- und Ereignisgrundlage, welche anschließend durch

verschiedene Story-Elemente angereichert (um die Ereignisse „greifbarer“ zu machen) und im vorab definierten Szenariotemplate dargelegt wurde.

Dieses **Szenariotemplate** (siehe Abbildung 7) umfasst vier Hauptbereiche: Erstens ist jedem Szenario eine Art Prolog vorangestellt, der die Situation umreißt und zeitlich vor dem Szenariobeginn steht. Hier werden die Anwender „abgeholt“ und es findet ein Priming statt. Zweitens ist jedes Szenario durch Zeitstempel charakterisiert, welche jeweils einzelne Zeitpunkte oder Zeiträume charakterisieren, immer beginnend mit einem „T0“, dem Start des eigentlichen Szenarios. Die Zeitstempel bilden den Zeitverlauf bzw. Zeitstrahl ab, auf dem sich das Szenario entwickelt. Drittens ist jedem Zeitstempel eine Beschreibung beigefügt, aus welcher hervor geht, wie die aktuelle Situation ist, welche (anstehenden) Entwicklungen relevant sind und wie Akteure reagieren. Viertens ist zudem kurz vermerkt, für welche Akteursgruppen (z. B. „ZIV“ für Zivilbevölkerung) der aktuelle Zeitstempel besonders relevant ist.

Szenariotitel

(Vorbemerkung – Einleitung, „dramatis personae“) In diesem Szenario wird beschrieben... (inkl. grobem Verlaufs-/Handlungsabriss) Dazu werden die Perspektiven der [Akteure: BOS; GEBietskörperschaften und übergeordnete Behörden; UNTernehmen; ZIVilbevölkerung] betrachtet ... Ziel ist ...

Prolog

(Die Szenarien „beginnen“ jeweils zu einem Moment, zu dem erste echte Reaktionen auf die Lage (egal von wem) durchgeführt werden bzw. werden sollten. Jedoch geschehen ja auch davor schon Dinge, Ereignisse bahnen sich an... Es mag daher sinnvoll sein, diesen Rahmen im Sinne eines „Prologs“ zu setzen.) An einem trüben Junimorgen im Jahre 2027...

ggf. mit Karte

Zeitpunkt / -raum	Ereignis(se)	Akt.
T0 17.06.2027, 12 Uhr	Die Alla tritt <u>am Stauwehr „Bunte Höh“</u> erstmals über die Ufer...	-
	Die Alarmsirenen ertönen, die Feuerwehr rückt aus. Das Technische Hilfswerk trommelt seine Freiwilligen zusammen.	BOS
	Der Stadtrat verliest im Radio eine vorbereitete Presseerklärung...	GEB
	Bisher bleiben größere Reaktionen aus, da das Stauwehr eher abgelegt ist. Lediglich einige der unmittelbar angrenzenden Unternehmen beginnen damit, tiefliegende Eingänge mit Sandsäcken zu sichern...	UNT
	Leichte Unruhe macht sich in den sozialen Medien breit...	ZIV

Abbildung 7: Szenariotemplate, Ausschnitt.

Auf Grundlage des Tandems aus Szenariotemplate, Szenariokriterien und Szenarioparametern sowie entlang der beschriebenen Qualitätskriterien und sonstigen Anforderungen entstanden hochwertige, **finale Szenarien**, die für den weiteren Projektverlauf zur Verfügung gestellt wurden. Ein Beispiel für Gestaltung und Inhalt der Szenarien sei hier gegeben:

Szenario: Dürre; T1; ab Mai; erste Sorgen

Weiterhin ist es durchgehend trocken und sonnig. Es herrschen sommerliche Temperaturen und die ersten Freibäder öffnen. Die Bodentrockenheit nimmt weiter zu. Die außergewöhnliche Dürre macht Natur und Landwirtschaft zu schaffen. Die

Vegetation zeigt teilweise bereits kurz nach dem Austrieb Trockenstress. Im Wald sinkt die Feuergefährdung durch den Laubaustrieb und die frische Vegetation zunächst. Ernste Sorgen bereitet inzwischen das anhaltende Niedrigwasser. Auf den Wasserstraßen, an denen bereits eine Wasserstandsvorhersage operationell mit der Perspektive 10 Tage für die Binnenschifffahrt umgesetzt ist, ist diese bei der Planung der Transportlogistik zu beachten und wirkt sich auf die Auswahl von Schiffstyp und Beladung aus. Die Trendvorhersage über den Zeitraum von sechs Wochen sagt weiter sinkende Pegelstände voraus. Eine Einschränkung der Entnahme und Einleitung von Wasser kündigt sich an.

Für die Feuerwehr und die Waldbrandzentralen gibt es nun einige Wochen Entspannung, da die Belastung durch Brände zurückgeht. (BOS)

Die Stadtverwaltung gibt Warnungen sowie Verhaltenshinweise zum Baden im Fluss heraus und lässt einige Freibäder früher öffnen: die Möglichkeiten sind aufgrund des Personalmangels in den Bäderbetrieben und der aufwendigen Vorbereitung aber begrenzt. Straßenbäume (insbesondere junge Bäume) und Grünanlagen müssen gewässert werden, wofür auf Grund des auch hier herrschenden Personalmangels die Bürger:innen zum Gießen junger (erst kürzlich angepflanzter) Bäume aufgerufen werden. (GEB)

Unternehmen der Binnenschifffahrt beobachten die Wasserstandsvorhersage und planen Transporte entsprechend (Schiffstyp, Beladung). Für einige Unternehmen ist der Anschluss an die Seehäfen das wichtigste Kriterium. Sie beobachten deshalb auch die Pegelstände des Rheins, auf dem es üblicherweise früher Transporteinschränkungen gibt, und verhandeln mit Auftraggebern über die Weitergabe von möglicherweise im weiteren Jahresverlauf steigenden Kosten. Nur wenige Unternehmen leiten bisher Transporte vom Binnenschiff auf andere Verkehrsträger um und organisieren neue Transportketten. Vor allem Logistikunternehmen und einige große Verlader sind besorgt über die Entwicklung und bilden Krisenstäbe. Sie beobachten systematisch die Märkte und die zunehmenden Einschränkungen (Transportmöglichkeiten,

Wasserverfügbarkeit). Einzelne Unternehmen erarbeiten bereits jetzt Konzepte, wie mit einer möglichen Einschränkung der Wasserentnahme und Einleitung umzugehen ist. (UNT)

Die meisten Menschen freuen sich über sommerliche Temperaturen und Sonnenschein. Sie genießen die Zeit im Freien, gehen Baden, Eis essen, flanieren und machen sich wenig Gedanken um den Naturhaushalt. Durch ihr unbedachtes Freizeitverhalten stören sie Wildtiere in den Parkanlagen und im Uferbereich des Flusses und verursachen Schäden an der Flusssohle. Naturschützer beobachten die anhaltende Trockenheit mit Sorge. In den sozialen Medien kursieren Tipps zum richtigen Gießen von Bäumen und zum Aufstellen von Tränken für Tiere. Viele Bürger: Innen beteiligen sich begeistert an den Gießaktionen für Straßenbäume. Einige Bäume und Anpflanzungen erleiden schon Schäden durch ein Zuviel des Guten, aber der Enthusiasmus hält an. Trinkwassermangel spielt in der Diskussion noch keine Rolle. (ZIV)

Alle Szenarien wurden weiterhin durch begleitende Dokumente in unterschiedlichen Formaten (Artikel, Präsentationen, Tabellen etc.) unterfüttert, in denen die Datenbasis und Entscheidungsgrundlagen sowie die in den Szenarien verarbeiteten Elemente in anderer Form dargelegt sind (siehe Abbildungen 8 bis 12).

	Priorisierte Erregerliste					
Krankheit	Crimean Congo Fever	Filovirus (Ebola, Marburg)	Corona	Lassa	Nipah, Hendra	Rift Valley Fever
	Krim-Kongo-Fieber-Virus					Phleboviren
Verlauf	Fieber, Schmerzen, Erbrechen, nach 5 Tagen hämorrhagischer Verlauf möglich, in 2-50 % tödlich	1. Phasen: 2 Tage grippeartiges Fieber, 2. Phase: hämorrhagisches Fieber, septischer Schock, Multiorganversagen 25-90% tödlich			Atemwegsinfektion,	grippeähnlich, selten tödlich
Inkubationszeit	1-13 Tage	2-21 Tage			<14 Tage	3-12 Tage
Infektiosität		hoch			Fieber, Kopf- und Muskelschmerzen, bei 1% hämorrhagisches Fieber (tödlich), oder tödliche Meningitis	
Kontagiosität		hoch durch hohe Virenlast				

Abbildung 8: Übersicht über verschiedene Erreger, deren Eigenschaften und relevante Rahmenbedingungen. Ausschnitt aus der Tabelle.

adelphi / PRC / EURAC (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt. Climate Change, 24/2015. Dessau-Roßlau. Bundesamt für Umwelt (BAFU) (Hg.) (2016): Hitze und Trockenheit im Sommer 2015. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Umwelt-Zustand Nr. 1629. Bern. Bissolli, Peter; Deutschländer, Thomas; Imbery, Florian; Haeseler, Susanne; Lefebvre, Christiana; Blahak, Jutta et al. (2019): Hitzewelle Juli 2019 in Westeuropa – neuer nationaler Rekord in Deutschland. Deutscher Wetterdienst (DWD). Brasseur, Guy P.; Jacob, Daniela; Schuck-Zöller, Susanne (Hg.) (2017): Klimawandel in Deutschland. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, zuletzt geprüft am 10.02.2022. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2022): Dürreatlas. https://atlas.bkg.bund.de/webapps/duerreatlas/. zuletzt geprüft am 9.11.2022. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2022): Hitzeatlas. https://atlas.bkg.bund.de/webapps/hitzeatlas/. zuletzt geprüft am 9.11.2022. Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): Hydrologischer Atlas Deutschland. https://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/HAD/index.html?lang=de. zuletzt geprüft am 9.11.2022. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); Bonn (Hg.) (2019): GIS-ImmoRisk Naturgefahren. Geoinformationssystem zur bundesweiten Risikoabschätzung von zukünftigen Klimafolgen für Immobilien. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn.

Abbildung 9: Übersicht über die für das Szenario "Dürre" gesichtete Literatur. Ausschnitt.

Abbildung 10: Übersicht über den Verlauf im Szenario "Pandemie". Ausschnitt aus der Tabelle.



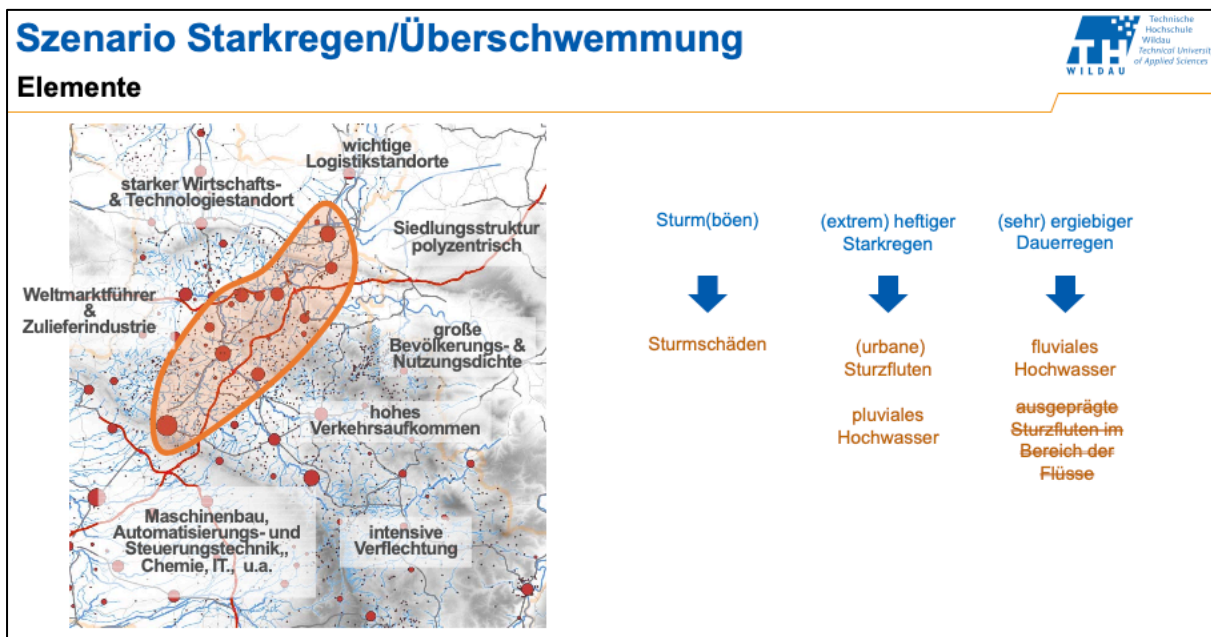


Abbildung 12: Skizzierung der Verortung und Wirkvektoren im Szenario "Starkregen / Überschwemmung". Ausschnitt aus der Präsentation.

Szenario-Workshops

Die Szenarien entstanden in enger Zusammenarbeit mit sämtlichen Projektpartnern. Eine zentrale Rolle hierbei spielten die Workshops 1-3, welche hybrid im Jahr 2022 durchgeführt wurden. Diese Workshops dienten dazu, die jeweils aktuellen Forschungsergebnisse vorzustellen, zu diskutieren und das weitere Vorgehen (neu) auszurichten. Jedem Workshop lag ein dezidiertes Workshop-Konzept entlang etablierter Methoden zugrunde, welches den notwendigen Rahmen setzte, entsprechende Informationen bereitstellte und Grundlage der Diskussion war. Ziel des Workshops 2 war es beispielsweise, die vier Grundszenarien mit den durch die verschiedenen Anwender repräsentierten Lieferketten zu verknüpfen, um in jedem Szenario auch eine hierfür besonders relevante Lieferkette zu betrachten, sowie aus Sicht der Anwender besonders drängende Herausforderungen in einem solchen Szenario zu definieren. Zentrale Ergebnisse des Workshops waren erstens das Matching der Szenarien zu geeigneten Use Cases (Dräger: Schutzausrüstung im Fall Bioterror, Medizintechnik im Fall Pandemie; Beiersdorf / BASF: FMCG in Verbindung mit Dürre; BACKMACHER: Lebensmittel in Verbindung mit Überschwemmung / Starkregen), die Einholung von Feedback zum aktuellen Stand der Szenarien (sehr positiv) und die Priorisierung der Szenarioparameter durch die

Anwender, was für die weitere Bearbeitung der Szenarien richtungsweisend war. Durch den Wegfall von BACKMACHER im weiteren Projektverlauf und die parallele Akquise von FROSTA als assoziiertem Partner wurde die Zuordnung des Fallbeispiels „Lebensmittel“ zu FROSTA vorgenommen.

Krisenrelevante Lieferketten (AP2 & AP4)

In AKRIMA wurden ‚krisenrelevante Lieferketten‘ betrachtet, also Lieferketten, welche in Zeiten von Krisen von entscheidender Bedeutung sind. Solche Krisen können durch unerwartete und unberechenbare Ereignisse wie Naturkatastrophen oder Pandemien hervorgerufen, aber auch durch wirtschaftliche oder politische Instabilität und sogar künstlich durch politische Maßnahmen (z. B. Wirtschaftssanktionen) erzeugt werden, sodass die normale Funktionsweise einer oder mehrerer Lieferketten gestört ist. In der Regel sind krisenrelevante Lieferketten mit kritischen Infrastrukturen und lebenswichtigen Gütern verbunden und umfassen typischerweise:

- die medizinische Versorgung (Bereitstellung von Medikamenten, medizinischen Geräten und persönlicher Schutzausrüstung),
- den Bereich der Lebensmittelversorgung (Lebensmittel und Getränke sowie indirekt die Disponibilität von Futtermitteln),
- die Energieversorgung (Verfügbarkeit von Brennstoffen, Aufrechterhaltung des Betriebs von Anlagen zur Stromerzeugung und -verteilung),
- die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung bzw. -aufreinigung,
- die Verfügbarkeit von Informationstechnologie und Kommunikation mit ausreichender Kapazität (Hardware, Software und Netzwerkinfrastruktur) zur Aufrechterhaltung der Kommunikation und den Betrieb von Rettungsdiensten und anderer kritischer Infrastruktur und
- Transport- und Logistikdienstleistungen selbst.

Krisenrelevante Lieferketten finden sich demnach sowohl in der Grundversorgung als auch im Bereich von Spezialgütern (bspw. Impfstoffen oder Beatmungsmaschinen). Lieferketten in den

genannten Bereichen werden oft von Regierungen, Unternehmen und internationalen Organisationen überwacht und gesteuert, um sicherzustellen, dass sie widerstandsfähig sind und in Notfällen reibungslos funktionieren können. Dies kann Maßnahmen zur Diversifizierung der Lieferanten, zur Lagerung von Vorräten und zur Schaffung von Redundanzen in den Lieferketten umfassen, um die Auswirkungen von Störungen zu minimieren.

Auch Lieferketten außerhalb der oben genannten Sektoren können krisenrelevant werden, wenn sie in Zeiten von Krisen, Notfällen oder unerwarteten Störungen eine entscheidende Rolle spielen und bspw. Einfluss auf die kontinuierliche Versorgung mit lebenswichtigen Gütern oder Dienstleistungen haben. Auch werden Lieferketten krisenrelevant, wenn

- Störungen in ihnen weitreichende Auswirkungen auf andere Bereiche der Wirtschaft haben,
- sie selbst eine hohe Abhängigkeit von vielen Akteuren, Organisationen oder Branchen aufweisen,
- spezialisierte Abhängigkeiten (Rohstoffquellen, Lieferanten) bestehen,
- sie durch technische Besonderheiten anfällig für Störungen und Engpässe sind oder in anderer Weise risikobehaftet sind.

Zudem können Lieferketten zusammenbrechen und krisenrelevant werden, wenn Wirtschaftlichkeit oder Preisfindung gestört sind.

Das zentrale Ereignis für die Betrachtung von Lieferketten in Krisensituationen in der aktuellen Literatur ist die Covid-19-Pandemie. Bis zu dieser global wirkenden Krise konnten sich Logistikketten seit dem Ende des kalten Krieges nahezu ungestört entwickeln. Gleichzeitig erfuhren Logistikprozesse in dieser Zeit einen umfassenden Wandel in einer bis dahin ungekannten Geschwindigkeit. Ausgelöst durch die Globalisierung der Industrie- und Produktionsprozesse und einhergehend mit sinkenden Transportkosten sowie Kosten für den (Ideen- und) Informationsaustausch entstanden Logistikparks (in Deutschland zumeist als ‚GVZ‘, Güterverkehrszentrum, bezeichnet) als Lösung für die Konsolidierung der Abläufe und die Optimierung der Lieferketten. Die zunehmende Digitalisierung und Automatisierung von

Logistikprozessen führten zur Beschleunigung dieser rasanten Entwicklung^{12,13}. Unternehmen waren gezwungen, sich an die steigende Dynamik und Komplexität durch Logistik-Outsourcing anzupassen¹⁴ (wobei insbesondere größere Akteure diese Entwicklung inzwischen teilweise wieder rückgängig gemacht haben, zumeist in Abhängigkeit von der Steuerbarkeit und dem tatsächlich erreichten Qualitätsniveau). Durch diese Entwicklungen wurden die früheren Lieferketten zu den heute bestehenden Liefernetzen integriert^{15,16}. Diese Entwicklung fand in einer Phase der Weltwirtschaft statt, die durch nur wenige Krisen und unter fast stetigem Abbau von Handelshürden durch immer größer werdende Zollunionen und Wirtschaftszonen mit harmonisierter Standardisierung sowie zunehmender Anzahl an internationalen Freihandelsabkommen gekennzeichnet war.

Diese verstärkte Verflechtung führte jedoch im Gegenzug dazu, dass Unternehmen zunehmend im globalen Wettbewerb stehen und auch eigentlich entfernten regionalen Krisen mit nun globaler Wirkung ausgesetzt sind, wodurch Unterbrechungen der Versorgungskette auftreten und sich negativ auf die lokalen oder sogar globalen Märkte auswirken können¹⁷. Die Covid-19-Pandemie verdeutlichte die multiplen Störungen ganz konkret, als Unterbrechungen der Lieferketten gleichzeitig auf lokale Probleme stießen, wie die Notwendigkeit zur Anpassung der Produktion unter Einhaltung von Schutzmaßnahmen (insbesondere Abstands- und

¹² Henrique, Luiz, Corrêa. (2012). Crossing borders: trends in Operations and Global Supply Chain Management. Brazilian journal of operations & production management, DOI:10.4322/BJOPM.2013.010

¹³ El, Amrani., Ali, (Ali, El, Jautei). (2007). The impact of international logistics parks on global supply chains.

¹⁴ Đurđica, Stojanović. (2012). Paradoxes and Opportunities in Logistic Outsourcing Research. Promet-traffic & Transportation, DOI: 10.7307/PTT.V24I6.1204

¹⁵ Alex, Levrints., D.M., Steblak. (2022). The crisis of global supply chains in the context of divergence of global development. Naukovij visnik Užgorods'kogo nacional'nogo universitetu, doi: 10.32782/2413-9971/2022-43-2

¹⁶ Im allgemeinen Sprachgebrauch werden ‚Lieferketten‘ und ‚Liefernetze‘ immer wieder synonym und wechselnd verwendet. Im Rahmen des Berichts wurde versucht, mit ‚Lieferkette‘ explizit auf Lieferketten und ‚Liefernetz‘ explizit auf Liefernetze abzuheben, was aber vielfach nicht überschneidungsfrei möglich ist.

¹⁷ Rajaeifar, M. A., Ghadimi, P., Raugei, M., Wu, Y., & Heidrich, O. (2022). Challenges and recent developments in supply and value chains of electric vehicle batteries: A sustainability perspective. In (Vol. 180, pp. 106144): Elsevier.

Hygieneregeln), verstärktem Personalmangel durch erhöhten Krankenstand oder auf ungewisse Zeit anhaltender Kaufzurückhaltung in der Bevölkerung, welche zu Liquiditätsengpässen und zur Verringerung von Investitionen führten. Diese Verkettung zeigt deutlich, dass die Resilienz gegenüber Pandemien – im Gegensatz zu vielen anderen Arten von Unterbrechungen, die möglicherweise nur einzelne oder wenige Lieferketten betreffen – erfordert einen nahezu gesamtgesellschaftlichen Betrachtungsansatz¹⁸. Auf Grund der einschneidenden Erfahrungen dieser Pandemie treten Veröffentlichungen in der jüngeren Literatur zu kleineren Unterbrechungen in den Lieferketten konsequenterweise zurück und die Covid-19-Pandemie dominiert die meisten Untersuchungen; diese Entwicklung hat zwar zu einem deutlichen Wissenszuwachs im Kontext von Liefernetzen / -ketten und Pandemien geführt, verdrängte aber punktuell die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit anderen Herausforderungen.

Maßnahmen gegen die allgemein verstärkte Krisenanfälligkeit reichten von verstärktem Protektionismus mit Schutzzöllen („America first“ unter Trump, aber auch der Brexit) oder Austeritätspolitik, wodurch Produktionskosten und Absatzmärkte verzerrt wurden, bis zur De-Globalisierung, insbesondere von kritischen Lieferketten in der Corona-Pandemie. Vor dem Hintergrund epochaler Transformationsprozesse wie dem Bestreben zur Treibhausgasneutralität, zusätzlicher Verantwortung im Rahmen des Lieferkettengesetzes oder geopolitischen Auseinandersetzungen, welche umfassende Sanktionen und Handelsembargos mit einer Neustrukturierung der Märkte und einer Energiekrise nach sich ziehen, besteht grundsätzlich das Risiko multipler, sich überlappender und verstärkender Krisen, die auf Unternehmen, Verwaltung und die Gesellschaft einwirken.

¹⁸ Wang, C., Huang, X., Hu, X., Zhao, L., Liu, C., & Ghadimi, P. (2021). Trade characteristics, competition patterns and COVID-19 related shock propagation in the global solar photovoltaic cell trade. *Applied Energy*, 290, 116744

Gewissermaßen als ‚Sonderform‘ der krisenrelevanten Lieferketten können „Kritische Infrastrukturen“ (KRITIS)¹⁹ betrachtet werden, zu deren Sektoren u.a. „Transport und Logistik“ gezählt werden: Kritische Infrastrukturen sind Einrichtungen, Systeme und Versorgungsleistungen, deren Ausfall oder Beeinträchtigung schwerwiegende Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit, die nationale Sicherheit, die Wirtschaft und die soziale Stabilität haben kann. Diese Lieferketten sind eng miteinander verbunden und voneinander abhängig. Der besondere Schutz der KRITIS und deren Verbesserung der Fähigkeit zur Bewältigung von Krisen werden in der EU RCE-Direktive (resilience of critical entities; EU 2022/2557) bzw. in der CER-Richtlinie (Critical Entities Resilience Directive) reguliert und zielen auf die Erhöhung der Resilienz der europäischen KRITIS durch Maßnahmen in Unternehmen und staatliche Aufsicht ab. Während RCE die Ausfallsicherheit bei Betreibern reguliert, wird mit NIS2 (EU 2022/2555) parallel der europäische Rahmen für Cyber-Security-Mindeststandards in der EU für Betreiber Kritischer Infrastrukturen festgelegt. Beide gesetzlichen Regelungen zur Erhöhung der Resilienz und der Sicherheit der KRITIS müssen im Jahr 2024 auf nationaler Ebene umgesetzt werden, insbesondere durch das KRITIS-Dachgesetz. Unter dieses Gesetz fallen alle kritischen Infrastrukturen: Die Sektoren Energie, Transport und Verkehr, Finanz- und Versicherungswesen, Gesundheit, Trinkwasser, Abwasser, Siedlungsabfallentsorgung, Informationstechnik und Telekommunikation, Ernährung, Weltraum, und Öffentliche Verwaltung. Diese sollen unidirektional nach dem „All-Gefahren-Ansatz“ (bei welchem alle denkbare Risiken, ob durch Natur verursacht oder durch Menschen, in Betracht gezogen werden – sei es ein Unwetter, menschliches Versagen oder ein Sabotageakt) abgesichert werden. Vom KRITIS-Dachgesetz sind Betreiber kritischer Anlagen und Einrichtungen betroffen, welche (1) essenziell für die Gesamtversorgung in Deutschland sind und (2) mehr als 500.000 Personen versorgen. Die genauen Anlagen und Schwellenwerte in den Sektoren werden derzeit definiert; zudem ist im Gespräch, kritische Anlagen auch unterhalb dieser Schwellenwerte zu definieren (in

¹⁹ Im Rahmen der europäischen CER-Regulierung und der entsprechenden nationalen Umsetzungsgesetze ist derzeit ein sprachlicher bzw. begrifflicher Wechsel von „kritischen Infrastrukturen“ (undefiniert) zu „(Betreibern) kritischer Anlagen“ (definiert) zu beobachten.

gewisser Weise analog zum „Realbedarf“ (s.u.) im Sinne einer „Realbedeutung“). Insgesamt geht der Gesetzgeber in Deutschland von 2000 Unternehmen aus, für die die Regelungen gelten. Aber auch das deutsche NIS2-Umsetzungsgesetz zielt auf KRITIS ab, sieht Anpassungen und leichte Abweichungen gegenüber dem EU-Gesetz vor (Sektoren und betroffene Betriebsgrößen) und tritt wahrscheinlich im Herbst 2024 in Kraft. Beide Gesetze decken fast die gleichen KRITIS-Sektoren ab, es gibt aber insbesondere im NIS2-Umsetzungsgesetz zahlreiche Ausnahme- und Sonderregelungen. In den bisherigen Formulierungen des KRITIS-Dachgesetzes werden u.a. Maßnahmen zur Aufrechterhaltung des Betriebs (z. B. Notstromversorgung) und die Ermittlung alternativer Lieferketten zur Wiederaufnahme der Erbringung des jeweiligen wesentlichen Dienstes, genannt. Eine Resilienzstärkung der Lieferketten selbst wird aber in der Regelung nicht explizit angesprochen. Dennoch ist davon auszugehen, dass NIS2 und KRITIS-Dachgesetz indirekt dazu beitragen, die Widerstandsfähigkeit von Lieferketten in Katastrophensituationen zu stärken, indem die Infrastruktur, die für ihr Funktionieren entscheidend ist, widerstandsfähiger gemacht wird und die Fähigkeit von Betrieben gestärkt wird, die Bedarfe der Bevölkerung und der Unternehmen in der jeweiligen Krisensituation zu erfüllen.

Die Definition von kritischen Infrastrukturen ist gut und richtig, stellt aber schlussendlich eben genau eine *Definition* des Schutzbedarfs, keine Untersuchung dessen dar. Es lohnt sich daher bei jeder Betrachtung und Diskussion von KRITIS, auch die Fragen nach dem Realbedarf und der tatsächlichen Systemrelevanz zu stellen.

Realbedarf und Systemrelevanz

Realbedarfe stellen den tatsächlichen Bedarf an bestimmten Gütern oder Dienstleistungen dar. Im Kontext der oben genannten kritischen Infrastrukturen bezieht sich der Realbedarf auf die tatsächlichen Bedarfe der zugehörigen Lieferketten, die in der jeweiligen Krisensituation unverzichtbar (= krisenrelevant) sind. Realbedarfe bestehen dann bspw. bei Gütern und Dienstleistungen der lebenswichtigen Grundversorgung, also für die Aufrechterhaltung der öffentlichen Gesundheit, der nationalen Sicherheit und des grundlegenden sozialen Wohlergehens oder bei der Krisenbewältigung. In der allgemeinen Betriebsführung schließt dies jedwede Produktions- und Betriebsmittel ein, welche in Krisensituationen grundlegend

notwendig sind, um die als krisenrelevant identifizierten Prozesse im Betrieb aufrechtzuerhalten und für welche die dazugehörigen Lieferketten ermittelt und deren Deckung sichergestellt werden; dadurch sind in der Praxis in einer Krise zumeist sehr viele unterschiedliche Lieferketten automatisch krisenrelevant, wenn auch zu unterschiedlichen Schweregraden und in Bezug auf unterschiedliche Zeithorizonte. Die Identifizierung und Bereitstellung des Realbedarfs sind wichtige Aspekte bei der Vorbereitung auf Krisensituationen, um durch die Entwicklung von Notfallplänen, die Lagerung von Vorräten, die Schaffung von Redundanzen in den Lieferketten und die Zusammenarbeit zwischen Regierung(en), Unternehmen und anderen Akteuren sicherzustellen, dass die Bevölkerung und die kritische Infrastruktur in Krisenzeiten ausreichend versorgt werden können.

Charakteristisch für den Realbedarf ist, dass dieser häufig entweder eine konstante Größe ist, wenn es um Güter oder Dienstleistungen in Bereichen der Grundversorgung geht, oder sehr variabel sein kann, wenn es um die akute Versorgung in der Krise geht. Variable Realbedarfe sind bspw. in einer Pandemie die Versorgung mit Medikamenten, medizinischen Geräten, Schutzausrüstung und Impfstoffen oder die Bereitstellung von Schnell- und PCR-Tests, Intensivbetten und Beatmungsgeräten vor dem Hintergrund des wellenartigen Auftretens des Pandemiegeschehens. Ein Beispiel eines konstanten Realbedarfs entlang von kritischen Lieferketten könnte die Menge an Grundnahrungsmitteln zur Bevölkerungsversorgung sein, welcher sich in den meisten Krisen nicht stark vom üblichen Regelbedarf unterscheidet. Der Begriff „Regelbedarf“ bezieht sich dagegen auf den üblichen oder normalen Bedarf an Gütern oder Dienstleistungen, der während regulärer Betriebszustände ohne das Vorhandensein von Krisen oder außergewöhnlichen Ereignissen erwartet wird und unterscheidet sich somit vom Realbedarf durch den Umfang und den Zeitpunkt des Auftretens. Charakteristisch für Regelbedarfe ist üblicherweise eine geringere Schwankungsbreite und somit eine bessere Planbarkeit (generell gilt, dass Produktions- und Lieferketten mit eng beieinanderliegenden Regelbedarfen und Realbedarfen in Krisenlagen leichter auszusteuern sind). Mit Bezug zu den kritischen Lieferketten können sich Regel- und Realbedarf somit in der Bedeutsamkeit der Ressourcen und Dienstleistungen unterscheiden, die insbesondere beim variablen Realbedarf häufig direkte Auswirkungen auf die Bewältigung der Krise haben. Besonders zur Deckung der

variablen Realbedarfe erfordern die kritischen Lieferketten daher Anpassungsfähigkeit, Flexibilität und Widerstandsfähigkeit in besonderem Maße, um unerwartete Herausforderungen zu bewältigen, wohingegen Regelbedarfe üblicherweise mit stabilen und gut etablierten Lieferketten bewältigt werden. Während einer Krise empfiehlt es sich grundsätzlich, ein Monitoring für das Verhältnis von Regel- und Realbedarf durchzuführen und so die Entscheidungsfindung zu unterstützen.

Als Besonderheit können variable Realbedarfe darüber hinaus auch unterschiedliche (teils diskrete) Werte gleichzeitig annehmen. Beispielsweise sieht der „Notfallplan Gas“ bei höchster Eskalationsstufe einen Eingriff des Staates in die Gasversorgung durch die Bundesnetzagentur vor. Hier kann man krisenbedingt auch von abgestuften Realbedarfen sprechen, da die Versorgung bestimmter Gruppen geschützter Verbraucher – dazu gehören soziale Einrichtungen wie etwa Krankenhäuser, private Haushalte und Anlagen, die der Wärmeversorgung dienen – primär sichergestellt wird. Die Versorgung von Dienstleistern und des produzierenden Gewerbes würde im Falle einer Mangellage in Abhängigkeit des Ausmaßes stufenweise oder individuell erfolgen, so dass sich situationsbedingt immer neue Realbedarfe ergeben. In der Gesamtabwägung sind neben der netztechnischen Situation und den bestehenden Gasflüssen für die Entscheidungen vor allem die Belange und die Bedeutung der betroffenen Akteure, also deren Systemrelevanz ausschlaggebend.²⁰

Mit dem Begriff der Systemrelevanz (dieser tauchte breitenwirksam zuerst in der Finanzkrise auf und war auf Banken bezogen, die gerettet werden mussten, da diese durch ihre Verflechtungen „too big to fail“ waren) wird eine besondere Unterstützungs- und Schutzwürdigkeit abgeleitet. In der Coronakrise wurde der Begriff hauptsächlich auf Berufe der oben genannten Sektoren oder solchen, die sekundär zur deren Entlastung beigetragen haben (Kinderbetreuung von Beschäftigten oder die Tätigkeit von Reinigungskräften in diesen

²⁰ Bundesnetzagentur: Der Notfallplan Gas. Link:

https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Allgemeines/DieBundesnetzagentur/Insight/Texte/BNetzA/Blog10_BNetzA_Notfallplan_Gas.html, zuletzt abgerufen am 08.02.2024

Sektoren), angewandt. Die Bundesländer veröffentlichten dazu Listen entsprechender Berufsgruppen²¹. In der Coronakrise kam das ‚too big to fail‘ auch in der Industrie weit außerhalb der KRITIS zum Tragen, insbesondere bei Firmen, die durch ihre wirtschaftlichen Verflechtungen von entscheidender Bedeutung für die Gesamtwirtschaft waren und / oder eine besondere politische Aufmerksamkeit genossen. Ein Beispiel dafür ist die während der Pandemie weniger stark regulierte Autoindustrie mit ihren 827.000 Beschäftigten in Deutschland (Stand 01/2020), wobei 70 % der Wertschöpfung in der Zulieferindustrie (etwa Brose, Magna, Bosch, Continental, ZF Friedrichshafen, Schäffler, aber auch viele kleinere Mittelständler) erfolgen. Im Gegensatz dazu war die weniger stark verflochtene Tourismus- und Gastronomiebranche weitaus stärkeren Restriktionen unterworfen, obwohl 2019 in Deutschland 2,8 Mio. Menschen (6,1 % aller Erwerbstätigen) direkt in der Tourismusbranche beschäftigt waren und dabei 123,8 Mrd. € (3,99% der Bruttowertschöpfung in Deutschland) erwirtschafteten.²²

Neben dieser, teils politisch motivierten, unterschiedlichen Schwerpunktsetzung in den Branchen sowie in Bezug auf einzelne neuralgische Akteure ist die Frage nach der ‚Systemrelevanz‘ in einem Land wie Deutschland tatsächlich mit besonderer Schwierigkeit zu beantworten, da die deutsche Wirtschaft in sehr hohem Maße in internationale Märkte und Wertschöpfungsketten eingebunden ist²³. Dies führte dazu, dass die freiwilligen Werksschließungen Anfang 2020, die zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie durchgeführt wurden, starke Auswirkungen auf die Zulieferbetriebe hatten. Die unterschiedliche Ausbreitung der Pandemie und die variierenden Gegenmaßnahmen in den einzelnen Ländern führten zu einer asynchronen Wiederaufnahme der Produktion in den Zulieferländern. Zusammen mit längerfristigen Behinderungen an den Grenzen erschwerte dies das Hochfahren

²¹ Liste für die Notbetreuung Kita auf der Grundlage der KRITIS Liste der Senatsverwaltung für Inneres und Sport (abrufbar über <https://www.rbb24.de/politik/thema/corona/beitraege/2021/01/liste-systemrelevante-berufe.file.html/uebersicht-der-berufsgruppen-fuer-die-notbetreuung-1.pdf>)

²² Deutscher Tourismusverband e.V. (DTV), Zahlen Daten Fakten 2023 mit Daten des Statistischen Bundesamts: Aktuelle Daten zur Tourismuswirtschaft, Wirtschaftliche Bedeutung und Nachhaltigkeit, Wiesbaden 2021

²³ <https://www.bmz.de/de/themen/lieferketten>, zuletzt abgerufen am 08.02.2024

der Herstellerwerke und störte somit auch die Produktion in anderen Zulieferunternehmen sowie nachgelagerte Kundenprozesse. Aufgrund des Mangels an Elektronikkomponenten kam es zu weiteren Werksstillegungen. Die Krise war einflussreicher als die Finanzkrise 2009, da nicht nur Nordamerika, sondern auch die anderen beiden großen Absatzmärkte Europa und China von der Wirtschaftskrise betroffen waren. Infolge der anhaltenden Kaufzurückhaltung von Bevölkerung und Unternehmen, die im April 2020 ihren Höhepunkt erreichte (Zulassung von Neuwagen um 61,1% niedriger als im Vorjahresmonat²⁴), kam es im gesamten Sektor zu Kurzarbeit. Der Staat unterstützte die Branche durch eine Kaufprämie für Elektro- und Hybridautos zur Stabilisierung des deutschen Absatzmarktes und durch die Zahlung von Kurzarbeitergeld, während die Autohersteller gleichzeitig Dividenden in Milliardenhöhe ausschütteten²⁵.

Ein Umbau der Lieferketten wurde in der Krise angestrebt (Abbildung 13), jedoch war eine umfassende Entflechtung beim vorhandenen Verflechtungsmaß in einer globalen Krise kurzfristig nicht möglich.

²⁴ Kraftfahrt-Bundesamt. (2020). Fahrzeugzulassungen im April 2020. Pressemitteilung Nr. 12/2020. Link:

https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugzulassungen/2020/pm12_2020_n_04_20_pm_komplett.html, zuletzt abgerufen am 17.06.2024

²⁵ SZ: Staatshilfen trotz Milliardengewinnen. Link: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/corona-automobilindustrie-praemie-1.4906362>, zuletzt abgerufen am 17.06.2024

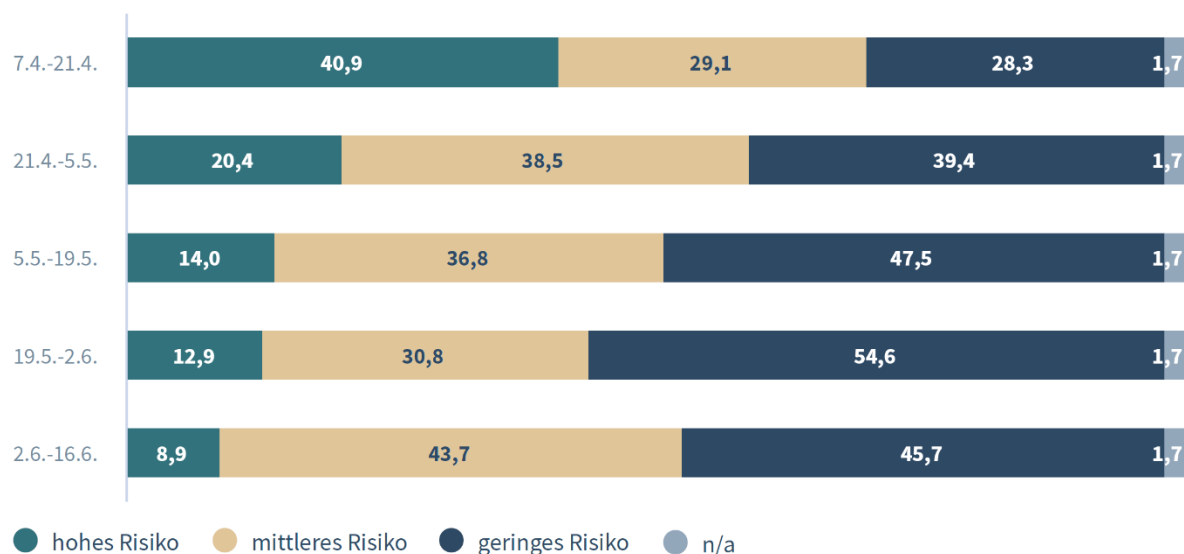


Abbildung 13: Anteil der Vorleistungsimporte aus Ländern mit unterschiedlichen Corona-Risiken in Prozent im Jahr 2020. Der sinkende Anteil an Lieferketten mit hohem Risiko kann auf einen kurzfristigen Umbau der Lieferketten hinweisen, jedoch auch durch einen sinkenden Anteil der Lieferketten erklärt werden.

Mit einem Blick in Gegenwart und Zukunft lässt sich zudem feststellen, dass die Transformation der Automobilindustrie hin zu Elektrofahrzeugen und digitalen Systemen für Vernetzung, Entertainment und autonomes Fahren dazu geführt hat, dass Mikroelektronik zunehmend systemrelevant für die Branche wird und somit eine weitere ‚Flanke‘ der Versorgungs- bzw. Lieferkettensicherheit entsteht. Die derzeit führenden Herstellungsorte für Mikrochips sind Taiwan, das jedoch aufgrund seiner Lage in einem Erdbebengebiet und der bedrohten politischen Stabilität Risiken birgt, sowie Südkorea²⁶. Um die Abhängigkeit von diesen Regionen zu verringern, werden bis 2025 enorme Investitionen und staatliche Förderungen zum Aufbau eigener Chipfabriken getätigt²⁷.

Inwieweit eine Entflechtung und Regionalisierung von Lieferketten in zukünftigen Krisen tatsächlich hilfreich sein wird, bleibt abzuwarten. Die Energiekrise hat gezeigt, dass die

²⁶ Kleinhans, J.-P., & Baisakova, N. (2020). The global semiconductor value chain: A technology primer for policy makers. Stiftung Neue Verantwortung. Link: https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf, zuletzt abgerufen am 17.06.2024

²⁷ Europäische Kommission (2022). A Chips Act for Europe. Link: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-chips-act>, zuletzt abgerufen am 17.06.2024

Bundesnetzagentur aufgrund der Vielzahl möglicher Szenarien und der äußersten Komplexität des Entscheidungsprozesses keine Abschalt-Reihenfolge oder Regelung für den Fall einer Gasmangellage festlegen konnte bzw. wollte²⁸. Dies verdeutlicht, dass weiterhin alle Lieferketten in der Krisenbetrachtung von Bedeutung sind. Allerdings kann der krisenrelevante Realbedarf je nach betrachteten Szenarien unterschiedlich ausgelegt werden.

Exkurs: Wie wirken sich Krisen auf Lieferketten aus?

Krisen wirken sehr vielfältig auf die Lieferketten und Produktionsprozesse. Dabei können alle Punkte einer Lieferkette betroffen sein, also die Produktion selbst, Upstream-Prozesse der Zulieferer oder die Absatzseite durch fluktuierende oder fehlende Nachfrage nach den Produkten oder Dienstleistungen. Der Transport stellt mit der physischen Warenbewegung zwischen den Entitäten der Lieferkette aber auch innerhalb eines Betriebes (Intralogistik) ebenfalls einen kritischen Punkt dar. Übliche Störungen in Lieferketten betreffen die Produktion, den Transport selbst, die Abnahme sowie die Rahmenbedingungen, wie z. B. finanzielle Belastungen (siehe Tabelle 1). Die Störungen können einander bedingen und sich sogar gegenseitig verstärken.

Tabelle 1: Übliche Störungen in Lieferketten, welche auch in den in AKRIMA betrachteten Krisen relevant sind.

Produktion	Transport	Abnahmeseite	Andere
- herabgesetzte Produktion - geschlossene Produktionsstätte - Mangel an Roh- oder Vorprodukten	nicht erreichbare Destinationen (zerstörte Infrastruktur, Grenzschließungen)	- Verschiebung von Kaufverhalten, Nachfrage und Bedarfen - unterbrochene Distribution	finanzielle Belastung (gestiegene Kosten, Umstellung Produktion, verringerte Abnahme)

²⁸ Bundesnetzagentur (2024). Bundeslastverteilung in der Praxis. Lastverteilung Gas – Handlungsoptionen und Abwägungsentscheidungen. Link:
https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Gasversorgung/Krisenvorbereitung/Download/Lastverteilung.pdf?__blob=publicationFile&v=9, zuletzt abgerufen am 17.06.2024

• Mangel an Arbeitskräften • Mangelnde Abnahme • ...	• Mangel an Arbeitskräften • verlängerte Lieferzeiten • Mangel an Transportmitteln (Containern, Paletten, etc.) • ...	• fehlende Lagermöglichkeit • ...	• steigende Risiken (z. B. Vertragseinhaltungspflichten) • behördliche Auflagen und Verordnungen • gestörte Kommunikation entlang der Lieferkette • ...
--	---	---	---

Allgemein lassen sich die größten Risiken, die auf Lieferketten wirken, auf geopolitische Krisen und den Klimawandel zurückführen und sind somit beide menschengemacht. Seit 2021 werden wissenschaftliche Untersuchungen anhand standardisierter sozioökonomischer Modelle durchgeführt, den sogenannten SSP-Szenarien (Shared Socioeconomic Pathways, dt.: gemeinsame sozioökonomische Entwicklungspfade), welche unterschiedliche sozioökonomische Entwicklungen (Demographie, Gesundheitsstatus u.ä.) und verschiedene Verläufe des atmosphärischen Treibhausgasgehaltes vereint²⁹. In einer im März 2024 in Nature veröffentlichten Studie³⁰ entwickelten Forscher der UCL einen methodischen Kopplungsmechanismus für die Module Klima, Gesundheit und Wirtschaft, anhand dessen sie die indirekten wirtschaftlichen Verluste durch klimawandel-verursachte Unterbrechungen in den globalen Lieferketten berechneten und prognostizierten Nettoverluste zwischen 3,75

²⁹ Die Nomenklatur der Modelle wird über fünf verschiedene sozioökonomische Entwicklungspfade bis zum Jahr 2100 (1 – Nachhaltigkeit bis 5 – weitere ungebremsste fossile Entwicklung) mit dem durch Treibhausgasen verursachten zusätzlichen Erwärmungspotential (zwischen 1,9 bis 8,5 W/m²) eine Matrix aufgespannt. Im Weltklimaforschungsprogramm wurden daraus 4 Standardszenarien entwickelt (SSP126, SSP245, SSP370 und SSP585), welche als internationale Vergleichsgrundlage in Untersuchungen verwendet werden. SSP126 stellt eine nachhaltige sozioökonomische Entwicklung mit einer zusätzlichen Einstrahlungsenergie von 2,6 W/m² dar und entspricht der Erwärmung um 2,0°C gegenüber der vorindustriellen Zeit; SSP585 führt zu einer Erwärmung von 7,0°C. Weitere Informationen: <https://www.dkrz.de/de/kommunikation/klimasimulationen/cmip6-de/die-ssp-szenarien>

³⁰ Sun, Y., Zhu, S., Wang, D. et al. Global supply chains amplify economic costs of future extreme heat risk. Nature (2024). <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07147-z>

Billionen und 24,7 Billionen US-Dollar für die verschiedenen SSP-Szenarien. Die größten Ursachen für wirtschaftliche Verluste und damit die einflussreichsten Risikofaktoren entstehen durch Gesundheitskosten von Menschen, die unter Hitze leiden, Arbeitsunterbrechungen, wenn es zu heiß zum Arbeiten ist und den daraus folgenden kaskadenhaft wirkenden wirtschaftliche Störungen, die sich durch Lieferketten fortsetzen. Dabei steigern sich die Schäden und wirtschaftlichen Verluste exponentiell, je langanhaltender und heißer die Erwärmung ist, wobei die Störungen in den Lieferketten einen immer größeren Anteil an den Kosten ausmachen (siehe Tabelle 2). Dadurch sind auch die Auswirkungen in Ländern, deren Region nicht zu den am stark erwärmten Gebieten gehört, betroffen.

Tabelle 2: Anteil der Verluste in den Lieferketten am globalen BIP-Verlust in verschiedenen Klimaerwärmungsszenarien

Globale Erwärmung	1,5°C	3,0°C	7,0°C
Verlust des globalen BIP bis 2060	0,8%	2,0%	3,9%
Davon Verlust des globalen BIP in Lieferketten	0,1%	0,5%	1,5%
Anteil des Lieferkettenverlustes am Gesamt-BIP-Verlust in %	13 %	25 %	38 %

Obwohl extreme Hitzeereignisse häufiger in Ländern in niedrigen Breiten auftreten, sind auch Regionen in hohen Breiten, wie Europa oder die Vereinigten Staaten, einem erheblichen Risiko ausgesetzt. Zukünftige extreme Hitze wird voraussichtlich Europa und die USA unter dem Szenario hoher Emissionen etwa 2,2% bzw. etwa 3,5% ihres BIP kosten. Das Vereinigte Königreich würde etwa 1,5% seines BIP verlieren, wobei die chemische Industrie, der Tourismus und die Elektronikindustrie die größten Verluste erleiden würden. Einige dieser Verluste stammen aus Schwankungen in den Lieferketten, die durch extreme Hitze in Ländern nahe dem Äquator verursacht werden. Auch der direkte menschliche Schaden ist signifikant. Selbst im niedrigsten Szenario wird es 2060 24% mehr Tage mit Hitzewellen geben und jährlich zusätzliche 590.000 Hitzewellettote geben, während unter dem höchsten Pfad mehr als doppelt so viele Hitzewellen zu erwarten sind und mit jährlich 1,12 Millionen zusätzlichen Opfern

gerechnet wird. Diese Auswirkungen werden nicht gleichmäßig auf der Welt verteilt sein, sondern Länder in der Nähe des Äquators (denen das höchste Bevölkerungswachstum prognostiziert wird) am meisten treffen.

Auch Deutschland und andere Ländern der EU in mittleren bis hohen Breiten sind betroffen. Der BIP-Verlust im landwirtschaftlichen Bereich wird in der Studie geringer eingeschätzt als der Verlust an Arbeitsproduktivität im Bau- oder Bergbausektor. Indirekte Verluste sind im metallverarbeitenden Sektor am höchsten (bis zu 2,4% geringere Wertschöpfung bis 2060) aufgrund unzureichender Versorgung von ausländischen Handelspartnern. Die Hauptproduzenten von Rohstoffen wie Kohle und Metallen, die für die Metallprodukteindustrie wesentlich sind, liegen hauptsächlich in Regionen, die anfällig für den Klimawandel sind. Ebenso erleiden Hochtechnologien, Ausrüstungen und chemische Produkte indirekte Verluste aufgrund mehrstufiger kaskadierender Effekte, selbst in sehr kühlen Klimazonen. Insgesamt werden indirekte Verluste in vielen Branchen zu einem Hauptproblem, da nationale Anpassungsstrategien oder enge regionale Handelsströme (wie in der EU) die Produktion nicht mehr unterstützen können, wenn sich der Hitzestress global zunehmend verschärft. Dies gilt neben den Leichtindustrien (einschließlich Metallprodukte) auch für Gummi- und Kunststoffprodukte, Lebensmittelverarbeitung und Getränke sowie Tabak (siehe Abbildung 14), die aufgrund eines Mangels an Rohstoffversorgung wie Mineralien, Ernten, Ölsaaten und Gemüse anfällig für indirekte Effekte sind, da Importe von Plantagenprodukten (Palmöl, Sojabohnen, Kaffee, Gewürze usw.) aus Südamerika, Südostasien und Afrika vermutlich um etwa 5% bis 8% abnehmen werden. Insbesondere Palmöl spielt aufgrund seiner vielseitigen Anwendung in Lebensmitteln, Wasch- und Reinigungsmitteln, Chemische Industrie und Kosmetik eine wichtige Rolle in Liefer- und Prozessketten, welches bei Ernteausfällen aufgrund der Menge und der Abhängigkeiten nicht einfach substituiert werden kann.

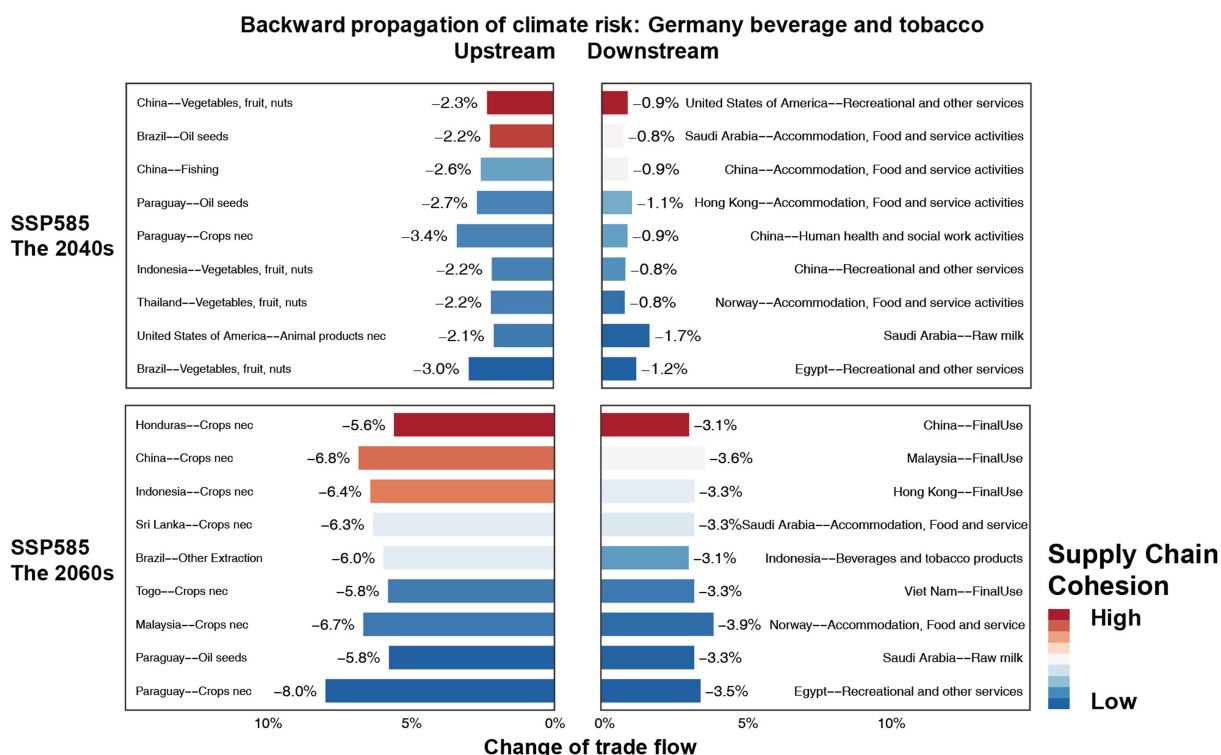


Abbildung 14: Auswirkungen von Hitzestress auf die Lieferketten von Getränken und Tabakprodukten in Deutschland in den upstream (Angebot) Sektoren (a) und (c) sowie in den downstream (Nachfrage) Sektoren (b) und (d) im Jahr 2040 bzw. 2060.

Diese erheblichen zu erwartenden klimabedingten Herausforderungen für Lieferketten auf der Makroebene ergeben den Impetus für Versorgungsengpässe und -krisen, die aber im Detail sehr vielfältig und abhängig von verschiedenen Faktoren, wie bspw. den Branchen, Art und Ausmaß der Krise, örtlichen Gegebenheiten, gesellschaftlichen Gegebenheiten, der Geschwindigkeit von getroffenen Maßnahmen und geltenden Regelungen oder Verordnungen sein können.

Auch die Charakteristik der betrachteten Lieferketten ist entscheidend dafür, ob und wie stark sich eine Krise auf eine Lieferkette auswirkt. Horizontale Lieferketten können resilienter sein, wenn Unternehmen in einem Netzwerk von Partnern eng zusammenarbeiten, um Risiken zu teilen und Ressourcen zu kombinieren. Dies ermöglicht eine schnellere Anpassung an Veränderungen und eine breitere Palette von Fähigkeiten und Ressourcen. In globalen Krisen, wie der Corona-Pandemie, können aber auch horizontale Lieferketten durch die veränderten Bedingungen unter Druck stehen, wenn gesamte Branchen betroffen sind. Vertikale Lieferketten können resilienter sein, wenn ein Unternehmen die volle Kontrolle über alle

Aspekte der Produktion hat, von der Beschaffung der Rohstoffe bis zum Vertrieb der Endprodukte, da dies zumeist eine schnellere Reaktion auf Veränderungen und eine bessere Kontrolle über Qualität und Lieferzeiten ermöglicht. Aktuell produzieren Tesla und BYD als Beispiele für stark vertikal integrierte Betriebe deutlich günstiger als andere Hersteller, was zu höheren Gewinnmargen oder der Sicherung von Marktanteilen durch die Gewährung von hohen Rabatten führt. Jedoch ist davon nicht abzuleiten, dass eine der beiden Varianten der anderen überlegen ist. Dies zeigt sich bei den Marktführern in der Elektronikindustrie: Apple maximiert den Synergieeffekt durch ein horizontales SCM, das sich auf ein einziges Modell konzentriert, das es dem Unternehmen ermöglicht, seinen Kunden einen Mehrwert zu bieten und gleichzeitig den Zulieferern ein großes Auftragsvolumen zu garantieren. Samsung Electronics hingegen hat seine hohe Wettbewerbsfähigkeit in der Produktion mit einer kostenorientierten vertikalen SCM-Strategie aufrechterhalten, bei der Kernteile wie Halbleiter, Bildschirme, Batterien und Materialien internalisiert und Tochtergesellschaften sowie kleine und mittlere Zulieferer für Rohstoffe, Teile und Fertigprodukte eingesetzt werden.³¹

Unternehmen, die über gemeinsame Austauschbeziehungen entlang einer Wertschöpfungskette in einer engen Beziehung zueinander stehen, führen häufig aufgrund gemeinsamer günstiger Standortfaktoren zur Bildung regionaler Cluster. Die Nutzung dieses Dichtevorteils (engl. „economies of density“) ermöglicht eine effizientere Logistik, eine schnellere Reaktion auf Änderungen und eine bessere Zusammenarbeit. Allerdings birgt die Konzentration von Produktionsstätten und Lieferanten auch Cluster- bzw. das sogenannte Klumpenrisiko. Als prominentes Beispiel wurde die Festplattenindustrie im Jahr 2011 mehrfach von Naturkatastrophen beeinträchtigt: Zunächst wurden die in der gleichen japanischen Region angesiedelten Hersteller von Festplattensubstrat Kobe Steel und Furukawa Denko im März vom Erdbeben getroffen, so dass alle großen Festplattenhersteller betroffen waren und Ersatzlieferanten suchten, auf teurere Glassubstrate statt Aluminiumsubstrate wechseln und

³¹ Son I, Kim S. Supply Chain Management Strategy and Capital Structure of Global Information and Communications Technology Companies. *Sustainability*. 2022; 14(3):1844. <https://doi.org/10.3390/su14031844>

aufwändig ihre Produktionskapazitäten in andere Ländern verlegen mussten³². Durch eine Flutkatastrophe in Thailand im Herbst des gleichen Jahres wurde der Sektor erneut auf verschiedenen Ebenen getroffen: Western Digital musste seine beiden Fertigungsfabriken in Thailand schließen und durch den Ausfall des Festplattenmotoren-Herstellers Nidec litten Seagate und andere Festplattenhersteller unter Nachschubproblemen. Wie sich zeigte, waren Hersteller von Festplatten zwar bereits sowohl horizontal als auch vertikal integriert, die Lieferketten jedoch noch nicht ausreichend diversifiziert und einem erheblichen Clusterrisiko ausgesetzt, die zu einem globalen Mangel an Festplatten und anderen Elektronikbauteilen führte und Preissteigerungen von 300% und mehr nach sich zogen.³³ Sicherlich vor allem politisch motiviert, aber auch als Lehre aus diesen Ereignissen wird derzeit versucht, mit der Ansiedelung der für viele Wirtschaftszweige kritischen Chipindustrie in Europa (insbesondere in Ostdeutschland), Abhängigkeiten zu Clustern wie in Taiwan zu verringern.

Auch andere Parameter einer SCM sind entscheidend für die Aufrechterhaltung des Betriebes. Minimierte Lagerbestände, welche durch JIT-Lieferketten (**Just-in-Time**) stark verringerte Lagerhaltungskosten ermöglichen, indem sie Produkte oder Komponenten nur dann bestellen, wenn sie benötigt werden, erfordern präzise Planung und eine reibungslose Zusammenarbeit mit Lieferanten. Störungen, wie Umleitungen auf Transportwegen, können die Stilllegung ganzer Werke nach sich ziehen. So musste die deutsche Tesla-Gigafactory wegen fehlender Bauteile die Produktion für zwei Wochen einstellen, da Schiffe aufgrund der Angriffe der Huthi-Rebellen in der Straße von Aden den zwei Wochen längeren Weg um Afrika statt durch den Suezkanal nehmen mussten.

Auswirkungen von Krisen auf Lieferketten variieren auch je nach Branche, Geschäftsmodell oder Bezug der Lieferkette. Produktionslieferketten sind in stärkerem Maße davon abhängig,

³² DigiTimes Asia: Digitimes Insight: Japan earthquake to affect HDD industry. Link: <https://www.digitimes.com/news/a20110318VL202.html>, zuletzt abgerufen am 24.06.2024

³³ Welt: So verändert die Flut die Festplatten-Preise. Link: <https://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article13709968/So-veraendert-die-Flut-die-Festplatten-Preise.html>, zuletzt abgerufen am 24.06.2024.

dass Rohstoffe, Vorprodukte, Betriebs- und Verbrauchsmittel rechtzeitig und in ausreichender Menge beschafft oder gelagert werden können. Dienstleistungsintensive Lieferketten können dagegen stärker von der Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitskräfte, IT-Technologie und Infrastruktur abhängig sein. Allgemein zeichnen sich Lieferketten in der Dienstleistungsbranche gegenüber denen in der Produktion häufig durch mehr Flexibilität und Agilität aus, da Dienstleistungen oft weniger standardisiert und stärker kundenorientiert sind. Im Gegensatz zu diesen kommerziellen Lieferketten sind Notfallversorgungsketten noch stärker auf Lager- und Distributionsfähigkeiten angewiesen. Rottkemper et al. arbeiteten dennoch viele Gemeinsamkeiten zwischen diesen Lieferketten heraus und wiesen darauf hin, dass aufgrund der Ähnlichkeit zueinander das Wissen, die Methoden und die Geschäftsmodelle des Lieferkettenmanagements der kommerziellen Versorgungsketten in Notfallversorgungsketten zu humanitären Zwecken genutzt werden sollten.^{34,35} Dabei geht es aber vor allem um Optimierungsmethoden für die Platzierung von Lagerstandorten, die Distribution von Hilfsmitteln und die Steigerung der Resilienz der Lieferketten. Kennzahlen bzw. „Schlüsselleistungsindikatoren“ (engl.: Key Performance Indikatoren, KPI) kommerzieller Lieferketten wie Cash-to-cash Time Cycle, Perfect Order Index, Inventory to sales ratio oder Gross Margin Return On Investment oder andere dienen der Überprüfung der Lieferketteneffizienz, der Kostenoptimierung oder dem Qualitätsmanagement und können nur bedingt angewandt werden, da Notfallversorgungsketten häufig auf die Lagerung von ausreichend Hilfsmitteln und schnelle Bereitstellung von Hilfsgütern ausgerichtet sind und Kostenoptimierung eher eine sekundäre Rolle spielt. Verschiedene KPI sind dennoch anwendbar, bspw. kann die Erfüllungsquote (engl. Fill Rate), die den Anteil der Kundennachfragen, der durch die Verfügbarkeit von Lagerbeständen befriedigt wird, ohne dass es zu Rückständen oder entgangene Verkäufe kommt, genutzt werden, um Lagerbestände und Bedarfe abzugleichen. Die Supply Chain Cycle Time (Zykluszeit der Lieferkette) gibt im

³⁴ Blecken, A. et al. (2010). Optimal stock relocation under uncertainty in post-disaster humanitarian operations. In: Proceedings of the 43rd Hawaii international conference on system sciences (pp. 1–10). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2010.296>.

³⁵ Rottkemper, B., Fischer, K., Blecken, A., & Danne, C. (2011). Inventory relocation for overlapping disaster settings in humanitarian operations. *OR Spectrum*, 33(3), 721–749. <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0260-5>.

Gegensatz dazu an, wie lange die Ausführung eines (Kunden-)Auftrags benötigen würde, wenn alle Lagerbestände zum Zeitpunkt der Auftragserteilung gleich Null wären. Diese Kennzahl ist die Summe der längsten möglichen Durchlaufzeiten für jede Phase des Lieferkettenzyklus und somit ein wichtiger Indikator für die Gesamteffizienz und die Flexibilität der Lieferkette. Jedoch muss dieser Indikator regelmäßig aktualisiert werden, um bestehende oder potenzielle Probleme zu erkennen und Korrekturmaßnahmen ergreifen zu können. Inventory Turnover, zu Deutsch Lagerumschlag, ist im Gegensatz dazu ein Indikator, welcher anders als in der kommerziellen Lieferkette nicht genutzt werden könnte, um Lagerbestände dem Umsatz anzupassen, sondern um Haltbarkeitsbeschränkungen von verderblichen Hilfsgütern (Impfstoffe, Konserven, sterile Medizinprodukte) zu erfassen und Inventare zeitgerecht zu erneuern.

Darüber hinaus gibt es auch weitere Indikatoren oder Kenngrößen von Lieferketten, die speziell der Beobachtung und Erhöhung der Resilienz dienen. Diese können sowohl in kommerziellen als auch behördlichen Lieferketten genutzt werden, um typische Auswirkungen von Krisen auf Lieferketten zu verringern. Die Lieferantenleistung etwa kann durch verschiedene Kennzahlen wie Lieferversögerungen, Fehlerquoten, Qualität der gelieferten Produkte usw. quantifiziert werden und ist bei Einsatzrüstung, Schutzartikeln oder Pharmaka wichtig. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Lieferkette aufgrund verschiedener Faktoren ausfällt, kann als Kennzahl der Ausfallwahrscheinlichkeit verwendet werden, um das Risiko von Störungen zu bewerten. Die Lieferausfallzeit, also die Dauer, für die eine Lieferkette aufgrund einer Störung nicht normal funktionieren kann, kann dann zur Bewertung der Kritikalität verwendet werden. Die Wiederherstellungszeit ist die Zeit, die benötigt wird, um eine Lieferkette nach einer Störung wiederherzustellen und kann ähnlich der Supply Chain Cycle Time als Maß für die Resilienz und Reaktionsfähigkeit der Lieferkette verwendet werden. Die Berechnung der Kosten der Lieferkettenstörung fasst direkte und indirekte Kosten, die durch Lieferkettenstörungen verursacht werden können, als Kennzahl zusammen. In der Wirtschaft beinhaltet diese z. B. Ausfallkosten, Kosten für Ersatzlieferungen, Reparaturen, Produktionsausfallkosten, für verlorene Umsätze usw. und wird verwendet, um Auswirkungen zu quantifizieren. Übertragen auf Notfallversorgungsketten könnten die Größen auch

Infektions- oder Sterberaten sein (wobei dieser Aspekt mit Vorsicht zu genießen ist, da Wissenschaft und Gesellschaft sich bisher nicht auf den monetär zu bemessenden Wert eines Menschenlebens geeinigt haben). Kosten der Lieferkettenstörung stellen somit ein Maß für die Kritikalität des Lieferkettenausfalls dar. Die Erstellung eines Supply Chain Risk Index, der die Risiken in der Lieferkette bewertet und quantifiziert, kann zudem als Maß für die potenziellen Störungen verwendet werden. Dieser Index kann Faktoren wie politische Stabilität, Risiken für Naturkatastrophen, logistische Risiken usw. berücksichtigen und ist daher häufig individuell zusammengesetzt.

Kennzahlen und Indikatoren sind dazu geeignet, verschiedene Problembereiche, die entlang einer Lieferkette auftreten können, aufzuzeigen, die Risiken zu bewerten und ein Lagebild zu verschaffen, welches zumeist gut auf einem Dashboard abbildbar ist (siehe Abbildung 15). Solche Indikatoren sind wertvoll, da Probleme auf spezielle Bereiche einer Lieferkette eingegrenzt und zumindest erste Ansatzpunkte für Verbesserungsmaßnahmen zügig abgeleitet werden können.

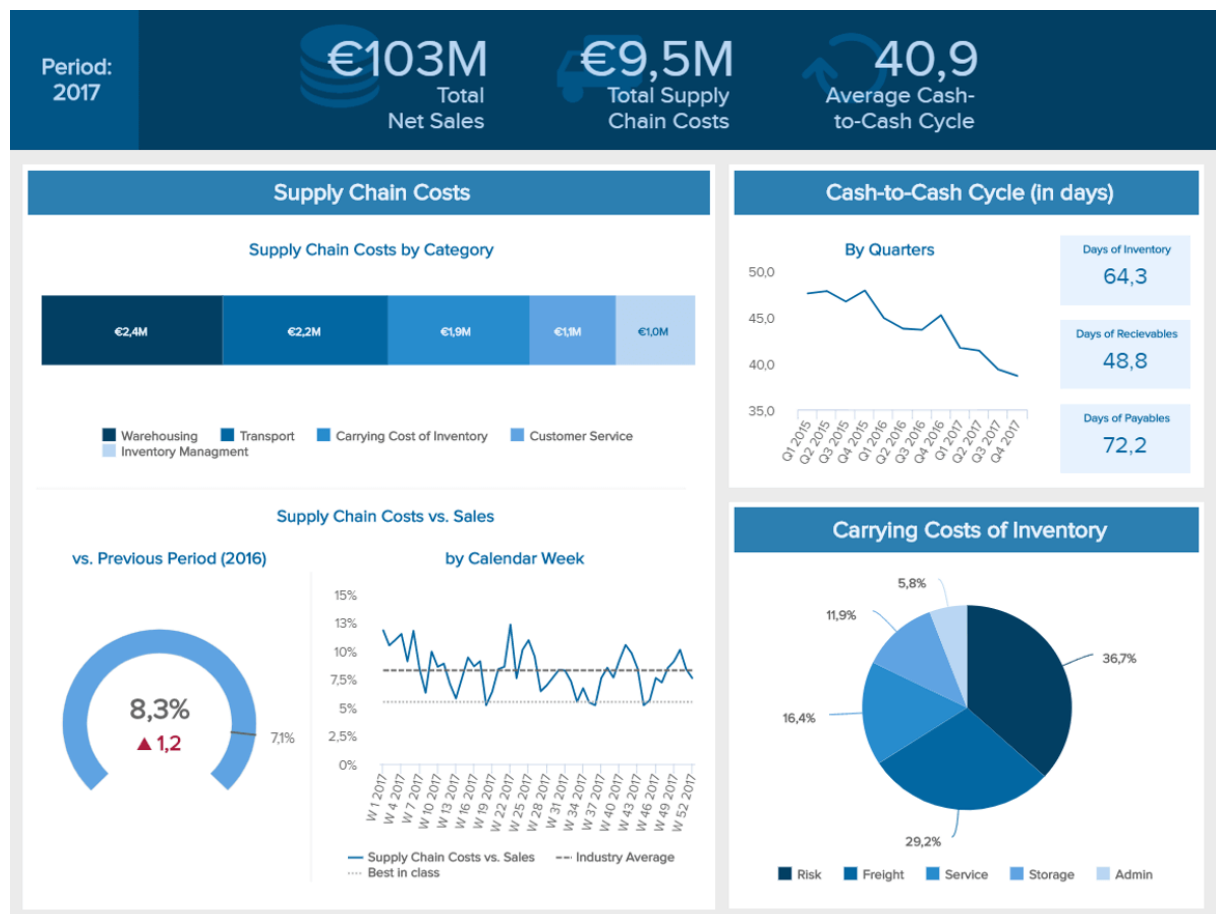


Abbildung 15: Dashboard mit der Darstellung verschiedener Lieferkettenindizes. Link: <https://www.datapine.com/blog/wp-content/uploads/2021/01/supply-chain-financial-dashboard-fmcg.png>, zuletzt abgerufen am 20.02.2024

Diese Vielfalt im Detail stellt sich auf Prozessebene und im Rahmen einer Metabetrachtung wesentlich weniger komplex dar. Anhand der in AKRIMA betrachteten Szenarien, aber auch weiterer Krisen lassen sich die Einschränkungen kategorisieren und beispielhaft belegen:

Zum *Ausfall von Prozessen* (sicherlich die ‚Standardvorstellung‘ einer Krisenauswirkung auf einen Prozess) kommt es, wenn Betriebsstätten nicht mehr erreichbar sind (Starkregen/Überschwemmung), Personal nicht mehr verfügbar ist (Pandemie), die Arbeitssicherheit nicht mehr gewährleistet werden kann (Bioterrorismus, Pandemie, Hitze), Roh-, Hilfs- oder Betriebsstoffe nicht mehr verfügbar sind und keine Alternativen zur Verfügung stehen. Ein sehr aktuelles Beispiel ist der vor dem Hintergrund zunehmender gesellschaftlicher Spannung hervorgerufene Anschlag auf die Stromversorgung des Produktionsstandortes der Firma Tesla. Während andere Automobilwerke in Deutschland über

eine eigene Stromproduktion verfügen, musste aufgrund fehlender alternativer Quellen und der nicht gegebenen Arbeitssicherheit die Produktion am Standort Grünheide komplett niedergelegt werden. Neben dem finanziellen Ausfall kam es zu Lager- und Verkehrsproblemen, da die Abarbeitung von weiterhin eintreffenden Zuliefergütern nicht zeitnah gestoppt werden konnte³⁶.

Zur *Verlangsamung von Prozessen* kommt es, wenn bspw. Maschinen nicht unter voller Last betrieben werden können, z. B. weil wiederum nicht genügend Ausgangsstoffe zur Verfügung stehen, Lager volllaufen, Personal nicht in vollem Maße zur Verfügung steht, um bspw. einen Mehrschichtbetrieb aufrechtzuerhalten oder wie in der Pandemie durch Abstandsregeln die Anzahl an Personen an Arbeitsplätzen begrenzt ist. Auch die Notwendigkeit der Durchführung zusätzlicher Aufgaben wie Dokumentationspflichten, Durchführung von aufwendigen Übergabeprozessen oder der Einhaltung zusätzlicher Sicherheitsmaßnahmen (z. B. begrenzte Arbeitszeit unter Atemschutz) können zur Verlangsamung von Prozessen führen. Ein aktuelles Beispiel für die verlangsamte Produktivität ist die Umstellung der Raffinerieprozesse in der Schwedter Erdölraffinerie PCK: Nach der Sanktionierung russischen Erdöls findet zum einen die Umstellung von einer leitungsgebundenen Versorgung zu einer see- und tankergebundenen Versorgung statt und zum anderen müssen nun 25 verschiedene Ölsorten statt einer einzelnen verarbeitet werden. Entsprechend sind mehr Vorverarbeitungsschritte, Rüstzeiten und andere Umstellungen für die Anlagen und zusätzliche Analysen notwendig, so dass derzeit nur noch eine Auslastung von 80 % erreicht werden kann.³⁷

Zu *erhöhten Fehlerquoten* kann es kommen, wenn bspw. Maschinen nicht an Substituenten angepasst sind oder die Bedienung durch unerfahrenes Personal erfolgt, etwa aufgrund von Personalausfall, wie er in verschiedenen Krisen vorkommen kann. Zudem kann es zur erhöhten

³⁶ SZ.de: Tesla-Produktion steht bis Ende nächster Woche still. Link: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/tesla-anschlag-gruenheide-strommast-linksextremismus-folgen-1.6427720>, zuletzt abgerufen am 24.06.2024

³⁷ RBB24.de: Welche Folgen das Öl-Embargo gegen Russland für PCK in Schwedt hatte. Link: <https://www.rbb24.de/studiofrankfurt/wirtschaft/2023/12/schwedt-embargo-oel-pck-raffinerie-russland-eu-auswirkungen-ein-jahr.html>, zuletzt abgerufen am 24.06.2024

Fehlerquote durch eine Überbeanspruchung der Maschinen kommen, z. B. wenn eine erhöhten Marktnachfrage bedient werden muss und bspw. Betriebszeiten erhöht oder Pflege- und Wartungsintervalle verkürzt werden. Auch menschliche Fehlerraten steigen unter Stress und physischer oder psychischer Belastung in Krisen, z. B. bei Hitze oder Ängsten durch Ansteckungsgefahr. Da sich diese Effekte wiederum auf vorgelagerte Prozesse in den Zulieferbetrieben erstrecken, kann sich durch den notwendigen erhöhten Überprüfungsaufwand zusätzlich eine Verlangsamung der Prozesse ergeben. Besonders gekennzeichnet von erhöhter Ausfallquote und geminderter Qualität sind in den Szenarien Dürre und Starkregen/Überschwemmungen die Sektoren Forst- und Agrarwirtschaft.

In diese drei Kategorien (Ausfall, Verlangsamung, Fehlerquote) lassen sich quasi alle Auswirkungen von Krisenlagen auf Betriebsprozesse eingruppieren. Allerdings ergibt sich je Krisenlage, Sektor und Situation des betroffenen Akteurs eine große Bandbreite an Effekten und Handlungsmöglichkeiten (s.o.), wie folgendes ergänzendes Beispiel aus der Forstwirtschaft zeigt: Durch den klimatischen Stress und begünstigt durch Monokulturen kommt es in den letzten Jahren verstärkt zur Ausbreitung von Borkenkäfern, die zum Absterben von Wäldern führen. Die darauffolgende massenhafte Entnahme von Schadholz führt zum einen zu einer Holzflut (und damit zur Störung der Preisbildung auf dem Markt), zum anderen wird das Schadholz meist nicht für die angedachte hochwertige Verwertung im Bau genutzt, sondern wird als Brennstoff in Form von Brennholz der Hackschnitzel verwertet. Aufgrund der Energiekrise gab es in den letzten Jahren in diesem Bereich eine erhöhte Nachfrage, so dass durch Verschiebung der Warenflüsse in den Lieferketten Marktnachfragen gut bedient werden konnten. Minderwertige Produkte wie Latten, Paneele, Schalbretter oder OSB-Platten aus Holzschnitzeln konnten weiterhin produziert werden. Jedoch führte der Mangel an hochwertigem Bauholz (z. B. Vollbalken für Dachkonstruktionen) wiederum dazu, dass auch Schadholz in den Sägewerken unter hohem Aufwand und unter Verlangsamung der Prozesse „gesund“ geschnitten wurde, um es teilweise weiter zu verwenden. Andererseits wurde durch

den Preisverfall und die gestiegene globale Nachfrage nach Holz der Export nach China und in die USA rentabel, so dass neue Lieferketten entstanden.³⁸

Auch in der Landwirtschaft wirken die Überflutung von Flächen oder Dürren direkt auf die Qualität der Erzeugnisse, die dann nicht mehr für hochwertige Weiterverarbeitung zur Verfügung stehen. In Folge von Dürre steigt der Anteil sogenannter Schmachtkörner, aus denen nicht nur weniger Mehl gewonnen werden kann, sondern die auch den ganzen Mühlenprozess qualitativ beeinträchtigen. Die Folge für Lieferketten sind dann nicht nur Gewinnausfälle bei den Bauern, sondern können sich auch entlang der gesamten Lieferkette auswirken. In den Mühlen als nächsten Verarbeitungsstufe machen schätzungsweise 80% der Kosten die Rohstoffbeschaffung aus. In Deutschland beziehen die Mühlen das Getreide zu 95% aus dem Inland. Im Dürresommer 2018 kam es zu Ernteaussfällen von bis zu 70%. Insbesondere in Norddeutschland mussten Substituenten gefunden werden. Als verstärkender Effekt kam hinzu, dass Bauern mit guten Ernten und Lagerkapazitäten das Getreide zurückhielten, und auf weiter steigende Getreidepreise setzten, was zu weiteren Spannungen in den Lieferketten führte.³⁹

Andere Beispiele lassen sich zuhauf im Kontext von Krisen und außerhalb finden, bspw. Prozessverlangsamung durch Zollkontrollen, Stillstände durch fehlende Europaletten oder erhöhte Fehlerquote durch fehlendes Fachpersonal. Die Primärfolge jeder Auswirkung auf den Betriebsablauf ist eine Veränderung des Kostengerüsts, die Sekundärfolge einer Veränderung der Verfügbarkeit; diese beiden Faktoren können dann zu einer Vielzahl an miteinander verwobenen Folgeeffekten führen, wie sie oben bereits angerissen wurden.

³⁸ BR.de: Käferholz: Dafür kann man es noch benutzen. Link: <https://www.br.de/nachrichten/bayern/kaeferholz-dafuer-kann-man-es-noch-benutzen,TMELTQv>, zuletzt abgerufen am 24.06.2024

³⁹ Deutsche Handwerks Zeitung: Dürre in Deutschland: So trifft es die Müller. Link: <https://www.deutsche-handwerks-zeitung.de/getreideernte-2018-zu-wenig-und-schlechte-qualitaet-93550/>, zuletzt abgerufen am 24.06.2024

Kurzreflexion

Aus Sicht der Forschenden verdienen die Punkte Krisenrelevanz, Pandemieforschung und Methoden einen ergänzenden Kommentar.

Krisenrelevanz: In der Praxis wird immer wieder von ‚krisenrelevanten‘ Lieferketten gesprochen, ohne dass dieser Terminus sonderlich gut definiert wäre. Im Rahmen des Berichts haben wir uns diesem Aspekt angenähert, sind aber nicht zu einer definitiven, sondern ‚nur‘ zu einer kontextabhängigen Aussage gelangt, die später dann mit Bezug zu Systemrelevanz und Realbedarf weiter ausgeführt wurde. Die ergänzende Betrachtung von kritischen Infrastrukturen hilft dabei interessanterweise nicht, obwohl hier genau der reziproke Ansatz gewählt wurde: eine Definition von krisenrelevanten Infrastrukturen ohne besondere Kontextualisierung. Die Wahrheit – was krisenrelevante Lieferketten genau sind – wird irgendwo in der Mitte liegen und auch einer gewissen Agenda Genüge tun müssen, da sowohl für die kontextunabhängige Definition, als auch kontextabhängige Identifikation von krisenrelevanten Strukturen ausreichend Pro- und Contra-Argumente zu finden sind.

Mit Blick auf die vergangenen Jahre stellt sich natürlich die Frage, ob diese Unterscheidung wichtig ist, denn schließlich ist Deutschland verhältnismäßig unbeschadet (zumindest was die physischen Schäden angeht, möchte man ergänzen) aus den letzten Krisen hervorgegangen; auf der anderen Seite nimmt der Schutz kritischer Infrastrukturen regulativ (CER-Richtlinie bzw. KRITIS-Dachgesetz und NIS2UmsuCG) sowie praktisch (derzeit insbesondere als Reaktion und Prävention auf Ausspähung und Sabotage seitens Russlands) eine zunehmend hohe Priorität ein. Vor diesem Hintergrund scheint es angezeigt, endlich einen guten Mechanismus zu finden, wie ‚potenziell kritische Infrastrukturen‘ mit einer Art „Standardsicherheitsniveau“ ausgestattet und wie kontextabhängig ‚real kritische Infrastrukturen‘ ad hoc identifiziert und gestärkt werden können. Eine erhöhte Krisenfähigkeit und ‚Krisenmündigkeit‘ der Infrastrukturen und Lieferketten mag auch deswegen angezeigt sein, weil Krisen durchaus künstlich erzeugt werden können (insb. durch politische Maßnahmen, z. B. Wirtschaftssanktionen), was in einer Zeit der sich zumindest anekdotisch wahrnehmbar vertiefenden Grabenlinien zwischen verschiedenen Interessensräumen (China vs. USA, ‚der Westen‘ vs. Russland, BRICS als aufstrebende Nationen, verstärkter Führungsanspruch Indiens

etc.) vielleicht nicht unbedingt eine direkte Gefahr, wohl aber eine permanente Möglichkeit darstellt. Wie verändert diese Situation unser Verständnis von Krisenmanagement und Lieferkettenresilienz?

In dieselbe Kerbe schlagen die Aspekte der Systemrelevanz und des Realbedarfs. Dabei ist die Systemrelevanz grundsätzlich erstmal ein interessantes Konstrukt, weil es theoretisch den Betrachtungswinkel weg von einzelnen Akteuren und hin zum ‚System‘ lenkt, mit all seinen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen. In der Praxis sieht das dann aber durchaus so aus, dass – auf Grund vermutlich der erheblichen Komplexität – die Systemrelevanz lediglich auf die „too big to fail“-Akteure sowie einige vor- und nachgelagerte Stufen angewendet wird (die eben ‚systemrelevant‘ sind, während andere dies scheinbar nicht sind), was entsprechende Unterstützung rechtfertigt. Die Vermutung liegt nahe, dass diese Systemrelevanz eine erhebliche politische Komponente in Ergänzung zur realen Situation hat, was hier aber nicht weiter ausgeführt werden soll. (Der muss aber noch sein: systemrelevant oder wahlerfolgsrelevant?) So oder so lohnt sich wohl eine konkrete Hinterfragung dessen, was Systemrelevanz überhaupt sein soll, wer immer / situationsbezogen / nie systemrelevant ist, wie das bewertet werden kann und, wichtig!, was diesen Erkenntnissen an gesamtgesellschaftlichen Veränderungen folgt. Ein Element einer solchen Neubetrachtung könnte der im Bericht angeführte ‚Realbedarf‘ sein, gewissermaßen als Echtzeitmaß für die sich in einer Lage verändernde Systemrelevanz, mit der offensichtlichen Herausforderung der Datenerhebung und -verarbeitung.

Pandemieforschung: Weiterhin dominiert die Covid-19-Pandemie – und, in Erweiterung dessen, generell das Thema ‚Pandemie‘ – die wissenschaftlichen Aktivitäten. Auf der einen Seite führt dies zu einem erheblichen Erkenntniszuwachs im gegebenen Kontext und auch die praktische Anschlussfähigkeit ist nicht zu unterschätzen: In der Sicherheitsforschung ist es immer einfacher, bei Praktiker:innen und Politiker:innen Gehör zu finden, wenn eine gewisse eigene Betroffenheit vorliegt bzw. sich dieser noch gut erinnert werden kann, was bei der durchaus auf unterschiedliche Weise einschneidenden Corona-Pandemie (noch?) der Fall ist. Insofern ist eine Pandemie in gewisser Weise ein ‚dankbares‘ Thema, das nachvollziehbar und

-föhlbar ist sowie prinzipiell bewältigt werden kann (ein gutes Beispiel für ein im Gegensatz dazu extrem unbeliebtes Thema ist der Blackout).

Auf der anderen Seite ergibt sich durchaus eine gewisse Sättigung mit der Betrachtung von Pandemien und es kann tatsächlich ketzerisch die Frage gestellt werden, inwieweit die Beschäftigung damit sinnvoll ist, denn schon seit Jahren ist eine Pandemie und die Reaktion darauf immer wieder Forschungsgegenstand, ohne dass flächendeckend erkennbare Lerneffekte eingetreten wären. Vielleicht müssen wir aber auch einfach besser darin werden, nicht nur die Pandemie ständig als Betrachtungsgegenstand auszuwählen, sondern sie auch – bildlich gesprochen – deutlich sichtbar ‚an die Wand zu pinnen‘ und wirklich an die Neugestaltung der Systeme und Prozesse zu gehen, denn die im Bericht formulierte Erkenntnis, dass die Resilienz gegenüber Pandemien einen nahezu gesamtgesellschaftlichen Betrachtungsansatz erfordert, ist unbestreitbare Realität (und auch keine ganz neue Erkenntnis). Unterdessen bleibt zu hoffen, dass die Dominanz einzelner Forschungsthemen – jetzt Pandemie, zwischenzeitlich Hochwasser, zu anderen Zeiten andere, ‚drängende‘ Themen – nicht darüber hinwegtäuscht, dass im Bereich der Resilienz von Lieferketten tatsächlich noch viel Grundlagenforschung angebracht ist, die derzeit eher unterhalb des Radars verbleibt und quasi ‚mindergefordert‘ ist.

Methoden: Die Erkenntnis, dass Forschungen zum Logistik- und Lieferkettenmanagement in Verbindung mit Epidemien und Pandemien primär auf deterministischen Ansätzen beruhen, ist in beide Richtungen überraschend. Erstens, weil deterministische Ansätze deutliche Schwächen in einer dynamischen VUCA-Welt haben und daher argumentiert werden kann, dass stochastische Ansätze eine größere Verwendung erfahren sollten. Zweitens aber auch der durchaus respektable Anteil der stochastischen Verfahren, wenn man berücksichtigt, wie Kennzahlen-getrieben und rational-normativ die Logistik ‚durchoptimiert‘ ist. Der Kritiker mag an dieser Stelle anführen, dass das ein Effekt davon ist, dass Logistik zum einen nicht als wertschöpfende Tätigkeit gilt (was stimmen mag, wobei aber oft vergessen wird, dass Logistik zumeist eine zentrale ‚wertrealisierende‘ Funktion einnimmt, also ohne die Logistik wunderbare Produkte ‚auf Halde‘ lägen und eben nicht ihren Weg zum Kunden finden würden, womit entsprechend auch kein Umsatz generiert werden könnte), und zum anderen

Logistikakteure zumeist leicht austauschbar sind. Dadurch ist der Preis das Hauptargument in der Logistik, wenn auch punktuell besondere (Leistungs-) Fähigkeiten (z. B. 1-Tages-Lieferung, Liefertreue > X %, Kühlkapazitäten) sowie weiche Kriterien (z. B. positive Erfahrungen in der Vergangenheit, kein Einsatz von Subunternehmern) über die Auswahl des Dienstleisters mitentscheiden.

Dennoch wirkt, wie oben angerissen, der geringe Anteil der stochastischen Verfahren in einer VUCA-Welt nahezu befremdlich. Auch wäre ein verstärkter Einfluss von qualitativen Methoden wie Multi-criteria decision making (MCDM) zu erwarten gewesen, wenn auch die Abhängigkeit solcher Methoden von Expertenmeinungen real ist und die Qualität entsprechend stark von den Überzeugungen und möglichen Voreingenommenheiten der Experten abhängt. Aber was ist die Alternative? In einer Zeit von Big Data fehlen weiterhin zahlreiche Daten(-arten), die für holistische deterministische Analysen erforderlich wären. Zudem ist es fraglich, ob sich jemals ‚alle‘ Zusammenhänge quantitativ-rational in Zusammenhängen und Formeln ausdrücken lassen. Der Blick auf die mitunter verschlungenen und mehrstufigen Feedbackschleifen in komplexen Systemen, die je nach Ausmaß der menschlichen Beteiligung zudem Emotions- und Agenda-getrieben sein können, stimmt hier skeptisch. Auf absehbare Zeit ist daher wohl davon auszugehen, dass der reine Einsatz von quantitativen Methoden nicht ausreichend sein wird, was bedeutet, dass ‚wir‘ uns mit der Steigerung der Ergebnisgüte von qualitativen Methoden befassen müssen.

Das ist ein Unterfangen, bei dem die eher quantitativ geprägten Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften vielleicht Inspiration bei den Sozialwissenschaften finden können, wie auch in *AKRIMA* phasenweise demonstriert und gelebt. Eine ähnliche Herausforderung ergibt sich mit dem KI-Ansatz, denn zahlreiche Künstliche Intelligenzen benötigen genau jene Daten (und noch viel mehr), deren Fehlen überhaupt erst der Grund für den Einsatz qualitativer Methoden ist. Demgegenüber stehen Ansätze wie in *AKRIMA*, die bspw. KI-Fähigkeiten für Simulation und Optimierung nutzen und mit wesentlich geringeren Datenmengen zurechtkommen, die dafür aber tendenziell ‚handverlesen‘ sind. Damit haben wir eine Situation, in der qualitative Methoden neben quantitativen Methoden (analog: stochastisch zu deterministisch) in einer gewissen Gleichberechtigung nebeneinander existieren (müssen),

Akzeptanz und Anspruch der Realität aber eindeutig die quantitativen sowie deterministischen Verfahren favorisiert, was sich auch in der Forschung widerspiegelt und tendenziell dazu führt, dass die Etablierung von guten Methodenmixes in der Praxis schwierig ist. Hier besteht noch Diskussions- und Handlungsbedarf.

Prozessanalyse und Systemmodell (AP2 & AP4)

Nachfolgend werden die Genese und das Vorgehen der *AKRIMA*-Prozessanalyse dargelegt. Ausgehend von dem Umstand, dass im Projekt aus unterschiedlichen Gründen nur sehr begrenzt auf die bei den Unternehmen bereits vorhandenen Daten aufgebaut werden konnte, musste zunächst eine passgenaue Prozessanalysemethode erarbeitet werden. Dabei entstand ein disziplinübergreifender Methodenmix, der in *AKRIMA* die für die Datennutzung durch das DFKI erforderlichen Angaben erbracht und sich somit bewährt hat.

Die Darstellung der erhobenen Informationen erfolgte über einen ‚Archotypenansatz‘, der es ermöglicht, mit flexibel anpassbaren Grundmustern von Tätigkeiten sowohl sehr generische, als auch sehr spezielle Prozesse (sowie Mischformen) abzubilden. Die Abbildung bzw. Dokumentation erfolgte auf Basis eines Excel-Tools, innerhalb dessen die Eintragungen vorgenommen wurden. Zudem wurde eine Notation erarbeitet, um die Prozesse auch grafisch darstellen zu können. Auf dieser gemeinsamen Grundlage wurden die Fallstudien erarbeitet.

Im Folgenden werden zahlreiche Überlegungen und Rahmenbedingungen dargelegt, die verwendeten Methoden bzw. Tools vorgestellt und diskutiert. Dabei wurde an vielen Stellen auf die Evolution der einzelnen Elemente über die Projektlaufzeit abgehoben, ebenso auf Ansätze die besonders gut, aber auch nicht funktioniert haben (und in der Regel eingestellt wurden). Diese Iterationen gehören vielfach zum wissenschaftlichen Alltag und werden in diesem Bericht ungeschminkt aufgegriffen. Gleichzeitig erhebt der Bericht keinen Anspruch daran, jedes relevante Element und jede interessante Entwicklung wiederzugeben, sondern soll einen Gesamteindruck verschaffen.

Notwendigkeit der Prozessanalyse

Im Kern von *AKRIMA* steht die KI-unterstützte optimale Anpassung der Unternehmensprozesse an die Anforderungen in Krisenlagen. Natürlich berücksichtigt diese Anpassung menschliche Expertise und Kreativität (ganz im Sinne einer Entscheidungsunterstützung), dennoch spielen reale (bzw. möglichst realitätsnahe) **Daten** die wesentliche Rolle, um insbesondere den aktuellen Zustand des betrachteten Systems (z. B. eines bestimmten Unternehmens) und, davon ausgehend, mögliche Entwicklungspfade bewerten zu können. Der Fokus auf Resilienz (gegenüber dem Fokus auf Leistungsfähigkeit und Qualität) erfordert dabei, nicht nur ‚übliche‘ Daten bezüglich der Unternehmensprozesse (z. B. Durchsatz, Fehlerquote oder erforderlichen Ressourcen) zu erheben, sondern ganz konkret auch auf Sachverhalte mit Resilienzbezug (z. B. Anpassungsfähigkeit, Abhängigkeit von knappen Ressourcen oder Wechselwirkungen) zu schauen. Zwar sind zahlreiche Unternehmen unterschiedlicher Art in das Projekt über assoziierte Partnerschaften eingebunden sowie über weitere Netzwerke bzw. Verbände ansprechbar, dennoch stellen diese Partner in gewisser Weise eine ‚**Blackbox**‘ dar: Erstens verfügen sie teilweise gar nicht explizit über manche der erforderlichen Informationen (wohl aber implizit, insbesondere in den ‚Köpfen‘ der Entscheidungsträger:innen); zweitens existieren keine Schnittstellen, um die vorhandenen Daten in einem einheitlichen Format in das *AKRIMA*-System einzuspeisen; und drittens bestehen, trotz Geheimhaltungsvereinbarung, berechnete Interessen seitens der Unternehmen, bestimmte markt- und sicherheitsrelevante Daten eben nicht für die Verarbeitung durch ein Forschungsprojekt bereitzustellen.

Das ist eine besondere Herausforderung, denn obwohl *AKRIMA* keine Big-Data-basierende KI-Lösung einsetzt, sind Daten natürlich ‚das A und O‘; die Qualität der *AKRIMA*-Lösung verhält sich grob proportional zu der Qualität der verwendeten Daten, wenn der Demonstrator über eine bloße Machbarkeitsstudie hinausgehen und stattdessen den Unternehmen direkt applizierbaren Mehrwert aufzeigen soll („schau doch mal an, was man mit unseren Daten alles machen kann“). Es ist jedoch nicht möglich, bei den Unternehmen (und öffentlichen Akteuren, aber die Unternehmen stehen im Fokus) ‚lediglich‘ die erforderlichen Daten anzufordern, da diese (s.o.) die Daten teilweise gar nicht verfügbar haben, sie nicht teilen können oder wollen

sowie der Aufwand der Datenerhebung und -bereitstellung sehr leicht über das für eine assoziierte Partnerschaft theoretisch und in der aktuellen (?) Phase der ‚Multikrisen‘ realistisch erwartbare Maß hinausgeht. Aus diesen Gründen ist die Prozessanalyse durch die TH Wildau gemeinsam mit den Praxispartnern ein wichtiges Werkzeug, um die von den Unternehmen bereitgestellten Daten mit konkretem Blick auf die Projektziele zu ergänzen und die für die KI-Lösung erforderlichen Daten überhaupt erst zu generieren.

Notwendigkeit der Prozessmodellierung

Die sich selbst aus einer guten Prozessanalyse ergebenden Daten erlauben zumeist nicht die direkte maschinelle Verarbeitung: In der Regel werden diese Daten noch von sogenannten „Data Scientists“ (oder Personen mit ähnlichem Aufgaben- / Kompetenzspektrum) aufbereitet, angereichert und (vor-) verarbeitet. Dabei kann es durchaus erforderlich sein, die Daten wieder zu „re-kontextualisieren“: Zwar sind die Daten allein auf Grund ihrer Herkunft implizit kontextgebunden, dieser ist aber zumeist nur eingeschränkt ‚menschenslesbar‘, da individuell eindimensional und fragmentiert (wobei gerade bei großen Datenmengen das Gegenteil argumentiert werden kann; diese Diskussion führt an dieser Stelle aber zu weit). Gerade für die ‚Verarbeitung‘ durch Menschen ist es aber wichtig, Daten nicht ‚irgendwie im Raum hängen zu haben‘, sondern diese und ihre Implikationen doch wieder sehr konkret in der Praxis zu verorten (z. B. sind Daten zu den Durchlaufzeiten einzelner Prozessschritte sicherlich interessant, wirklich mit ihnen arbeiten kann aber nur, wer den Prozess kennt, aus dem die Daten entstanden sind; zumindest, wenn Management mit Fingerspitzengefühl, nicht nur nach Kennzahlen, gefragt ist).⁴⁰

Zur Operationalisierung dieser Daten nutzen Unternehmen üblicherweise Prozess- und Systemmodelle (ab hier: PSM) sowohl zur Herstellung eines (Selbst-) Verständnisses, als auch als Grundlage geplanter Veränderungen. Dabei wird in allen verfügbaren Methoden das

⁴⁰ In gewisser Weise kann man bei der Prozessanalyse davon sprechen, dass die Daten oft erst aus dem Prozesskontext „extrahiert“ und dann wieder in den Prozesskontext „injiziert“ werden, wobei die Notwendigkeit beider Schritte vor allem den unterschiedlichen Perspektiven und Methoden geschuldet ist. Eine vollumfängliche, voll-kontextuelle „in situ“-Prozessanalyse wäre in vielen Bereichen eine echte Innovation - vielleicht in einem anderen Projekt.

vorhandene Wissen in eine spezifische Form gebracht, die bestimmten Bildungsregeln sowie Terminologien folgt (entlang bspw. etablierter Formen wie Flussdiagramme, oder entlang individuell festgelegter Formen). Diese legen etwa fest, welche Prozesselemente und welche Verbindungen wie darzustellen sind, welche ergänzenden Informationen zugelassen sind oder welche Daten überhaupt benötigt werden. In der Regel haben PSM eine ausgeprägte visuelle Komponente (‚grafische Notation‘); dies ist aber nicht zwingend erforderlich.

Mit fortschreitender Komplexität der Prozesse und Systeme (grundsätzlich wird in der Forschung von ‚komplexen Systemen‘ gesprochen, die in der Regel mit weiteren Attributen belegt bzw. beschrieben werden, etwa ‚verschränkte komplexe Systeme‘⁴¹) wird die PSM immer wichtiger, um die tatsächliche Komplexität auf ein adäquates, noch verständliches Maß zu abstrahieren und zu reduzieren, wobei üblicherweise verschiedene Details verloren gehen können. Dies ist jedoch ein „trade-off“, der von vielen Organisationen in Kauf genommen wird, um selbst in hochkomplexen Systemen noch eine gewisse ‚menschliche Steuerbarkeit‘ zu realisieren. Die Bedeutung der PSM steigt zusätzlich durch die vermehrte Integration von KI-Lösungen in Unternehmensabläufe, da diese zumeist sehr konkrete Rahmenbedingungen (explizite Daten vs. implizites Prozesswissen) erfordern, deren Herstellung von vorhandenen Prozess- und Systemmodellen sehr profitiert: Präzise Modelle stellen sicher, dass die richtigen Daten (oder zumindest ein konsistentes Datenset) erfasst und analysiert werden, was zur Ergebnissicherung beiträgt. Dies ist umso wichtiger, da KI-Lösungen anfällig für Fehler und Verzerrungen sind, die sich aus einer falsch zusammengestellten Datenbasis oder

⁴¹ In der Forschung zu komplexen Systemen, der Systemdynamik (System Dynamics) und des Systemdenkens (Systems Thinking) bezieht sich der Begriff der ‚verschränkten komplexen Systeme‘ (entangled complex systems; neben ‚entangled‘ finden sich auch bedeutungsähnliche Begriffe wie ‚interlinked‘) auf einen konzeptionellen Rahmen, der die inhärente Komplexität und Vernetzung von Systemen in verschiedenen Bereichen anerkennt. Diese Systeme zeichnen sich durch Komponenten aus, die nicht nur individuell komplex, sondern auch mehrschichtig miteinander verbunden sind, was zu einem Netzwerk von Beziehungen führt, die dynamisch, nicht linear und oft unvorhersehbar sind. Verschränkte komplexe Systeme zeichnen sich etwa durch Interdependenzen, Rückkopplungsschleifen, emergente Verhaltensweisen und Nichtlinearität aus (vgl. Cilliers 1998; Sterman 2000; Meadows 2008). Das Konzept (und man möchte sagen, auch die Realität) der verschränkten komplexen Systeme findet seinen Ausdruck auch in den Konzepten VUCA (volatility, uncertainty, complexity, ambiguity; vgl. Stiehm & Townsend 2002) und BANI (brittle, anxious, nonlinear, incomprehensible; vgl. Cascio 2020) wieder, die sich als Umschreibungen ‚unserer Zeit‘ etabliert haben.)

realitätsferner Prozess- und Systemlogik ergeben (und insbesondere bei Projektion / Prädiktion unter Unsicherheit auftreten können); sie bieten mit ihren Kapazitäten und ihrer Geschwindigkeit echte Mehrwerte für viele Unternehmen, sind aber keine magischen Werkzeuge für „Sense-making“ und Entscheidungsfindung. „Garbage in, garbage out“ gilt für KI-Lösungen wie für Aktivitäten in der Digitalisierung allgemein.

Dies vorangestellt ist die PSM in *AKRIMA* dringend notwendig, um die im Rahmen der Prozessanalyse zu erhebenden komplexen Daten und Zusammenhänge in ein kohärentes Modell zu überführen, das erstens die Übertragung der Daten an die KI-Lösung erlaubt, zweitens die Verschränkung mit von den Unternehmen bereitgestellten Daten erleichtert und es drittens den Unternehmen ermöglicht, die in *AKRIMA* verwendeten Daten zu validieren, bspw. dahingehend wie realitätsnah die Ergebnisse der *AKRIMA*-Prozessanalyse sind. Die PSM erfüllt somit eine wichtige Rolle intern für die Lösung selbst, wie auch extern für die Interaktion mit den Praxispartnern. Dementsprechend ergeben sich Anforderungen gleichermaßen der ‚Menschenlesbarkeit‘ wie auch der Maschinenlesbarkeit, denen die PSM in *AKRIMA* zu genügen hat.

Wissenschaftliche Methode(n) zur Informationserhebung

Eine gute Prozessanalyse und -modellierung erfordert die Anwendung der geeigneten wissenschaftlichen Methode(n), um in einem ersten Schritt die erforderlichen Informationen zu generieren. Für den Anwendungsfall in *AKRIMA* sind prinzipiell eine Vielzahl an wissenschaftlichen Methoden zur Informationserhebung geeignet (etwa narrative Analyse, teilnehmende Beobachtung, Grounded Theory, Data Mining, Diskursanalyse, Process Tracing, SIPCO, BPMN). Diese Methoden lassen sich grob in ein Spektrum einordnen, das durch die Achsen Top-Down vs. Bottom-Up und Sammlung vs. Präsentation/Mapping charakterisiert wird. Top-Down-Ansätze, wie komparative Analysen oder Szenario-Analysen, beginnen mit einer breiten Perspektive und verengen sich auf spezifische Details, während Bottom-Up-Ansätze, wie Fallstudien oder Interviews, von spezifischen Einzelbeobachtungen ausgehen und zu allgemeineren Schlussfolgerungen zu gelangen suchen. Dabei sind die Übergänge zwischen den jeweiligen Methoden oft fließend, insbesondere im sozialwissenschaftlichen Bereich.

Beispielsweise sind 1) narrative Analysen (Verständnis der persönlichen und kollektiven Erfahrungen), 2) Fokusgruppen und Diskursanalysen (kollektive Positionen) sowie 3) Interviews (individuelle Perspektiven) Beispiele für Methoden, die in ihrer Anwendung überlappen und sich gegenseitig ergänzen können. In ähnlicher Weise beleuchten etwa Fallstudien, Szenario-Analysen, Process Tracing und historische Prozessanalyse zugrundeliegende Prozesse und Strukturen aus unterschiedlichen, überlappenden Blickwinkeln. Einige Methoden, z. B. das Mapping von Prozessen mittels BPMN, sind eher visualisierender Art; sie werden in *AKRIMA* dennoch als Analysemethoden verstanden und genutzt, da sie eine vorhergehende Analyse voraussetzen und diese entsprechend anleiten (im Falle von BPMN werden bspw. spezifisch diejenigen Elemente identifiziert, die auch modelliert werden können, was die Untersuchungen fokussiert).

Keine der Methoden ist für sich genommen ausreichend, um die komplexe Natur von Lieferketten und die dort verankerten (und darüber hinaus möglichen) Krisenreaktionsmechanismen vollständig zu erfassen; insbesondere die Betrachtung der Resilienz erfordert einen Ansatz, der über singuläre Perspektiven hinausgeht. Daher war in *AKRIMA* ein Methodenmix erforderlich, der es ermöglichte, verschiedene Perspektiven zu integrieren und ein ganzheitliches Bild zu entwickeln. Konkret wurden dazu im Rahmen der Prozessanalyse 1) Data Farming, 2) Process Tracing, 3) komparative Analysen, 4) Fallstudien, 5) Szenario-Analysen und 6) Interviews verwendet, während die Darlegung der so gewonnenen Information in einer spezifischen Form in Excel sowie mittels einer an BPMN angelehnten Notation erfolgte. In diesem Methodenmix waren Interviews mit Kompetenz- und Entscheidungsträger:innen jedoch das bedeutendste und leitende Werkzeug, die anderen Methoden hatten eher unterstützende, bestätigende oder ergänzende Funktion.

Die Darstellungsebene in AKRIMA: Archetypen

Die in *AKRIMA* betrachteten Lieferketten zeichnen sich durch verschiedene Akteure, Prozesse und Anforderungen aus. Gleichzeitig sind es aber auch ‚einfach nur‘ Lieferketten mit zahlreichen Gemeinsamkeiten, die den Transport bestimmter Güter nach bestimmten Kriterien ‚von A nach B‘ realisieren: Alle Lieferketten kennen Wareneingang und Warenausgang, Kommissionierung usw., es gibt bestimmte Standards der Datenübertragung und auch die Steuerung der Transporte ist ähnlich. Zwar gibt es nicht ‚die eine‘ universelle Lieferkette, denn jede Lieferkette ist durch ihre spezifischen Charakteristika und Anforderungen einzigartig (z. B. in Bezug auf transportierte Produkttypen, relevante Marktdynamiken, geografische Gegebenheiten und tatsächliche Geschäftsbeziehungen), aber viele Lieferketten ähneln sich auch sehr. In der Betrachtung dieser Lieferketten ist es daher essenziell, auf den Gemeinsamkeiten als einheitliches Gerüst aufzubauen, gleichzeitig aber die zahlreichen Besonderheiten angemessen zu berücksichtigen.

Diese Herausforderung - eine einheitliche Grundlage, die Raum für Individualität lässt - ist auch in der täglichen Praxis der Unternehmen vielfach anzutreffen, etwa wenn Prozesse optimiert werden sollen. Dafür kommen oft **Prozessreferenzmodelle** zum Einsatz: Standardisierte Modelle, welche die allgemeinen Prozesse und Strukturen eines betrachteten Systems, z. B. einer Lieferkette, in seiner typischen Ausprägung beschreibt. Der Hauptzweck einer solchen Referenz liegt darin, ein gemeinsames Verständnis für die Grundelemente und Funktionen dieses Systems zu schaffen, um darauf aufbauend spezifische Strategien und Lösungen für einzelne Unternehmen oder Branchen entwickeln zu können, Benchmarking durchzuführen und Analysen zu erleichtern. Dabei erlauben es Referenzmodelle, a) die in der Praxis oft erhebliche Komplexität auf einen handhabbaren Rahmen zu begrenzen (was wird in welchem Detailgrad überhaupt betrachtet) sowie b) die Systemgrenzen abzustecken (was wird definitiv nicht betrachtet).

Die Entwicklung von Referenzmodellen ist herausfordernd. Zunächst gilt es, genügend Gemeinsamkeiten unterschiedlicher Prozess(-ketten-)ausprägungen zu identifizieren, um ein möglichst breit anwendbares Modell (z. B. allgemein für Logistikprozesse) zu umreißen. Im nächsten Schritt muss ein gutes Maß für die modellhafte Berücksichtigung der realen Komplexität gefunden werden, wobei es nicht darum geht, die Komplexität der Komplexität

willen abzubilden, sondern möglichst alle für den Einsatzzweck relevanten Elemente zu erfassen; es kommt hinzu, dass die Meinungen bezüglich der ‚Relevanz‘ gern auseinandergehen. Weiterhin muss der Balanceakt zwischen einer generischen, tendenziell gut vergleichbaren Beschreibung und einer individuellen, tendenziell schlecht vergleichbaren Beschreibung gefunden werden, mit dem Ziel, mit möglichst wenigen Sonderlösungen dennoch eine möglichst große Bandbreite individueller Ausprägungen (z. B. Darstellung eines besonderen Wareneingangsprozesses bei einem bestimmten Akteur) abzudecken. Denn ein gutes Referenzmodell sollte flexibel genug sein, um Anpassungen und Erweiterungen zu ermöglichen, die die spezifischen Bedürfnisse und Besonderheiten verschiedener Lieferketten berücksichtigen. Praktisch lösen die verschiedenen etablierten Referenzmodelle diese Herausforderungen individuell, aber stellvertretend kann das allgemeine Muster kurz anhand des für Lieferketten besonders geeigneten und verbreiteten SCOR-Modells erläutert werden.

Das **Supply Chain Operations Reference Model** (SCOR-Modell¹) ist ein weltweit anerkanntes Prozessreferenzmodell, das einen standardisierten Rahmen für die Beschreibung, Analyse und Optimierung von Lieferketten bietet. Es wurde und wird vom Supply Chain Council (SCC, heute Teil von APICS) entwickelt und bietet eine strukturierte Möglichkeit, um komplexe Lieferketten abzubilden, relevante Leistungsmetriken zu erheben, Prozesse und ganze Lieferketten zu benchmarken sowie Prozesse zu optimieren. Dabei fokussiert das SCOR-Modell immer die tatsächlichen Tätigkeiten, nicht die ausführenden Personen oder Organisationselemente. Zur Ermöglichung des Benchmarkings definiert das SCOR-Modell eine Reihe von Leistungsattributen, die zur Messung der Leistung der Lieferkette verwendet werden können. Beim Benchmarking werden die Metriken ‚von unten nach oben‘ aggregiert, d.h.

¹ Das SCOR-Modell in seiner jeweils aktuellen Version kann von APICS-Mitgliedern kostenfrei heruntergeladen werden. Die TH Wildau besaß übergangsweise während eines Vorgängerprojekts eine entsprechende Mitgliedschaft (damals noch beim Supply Chain Council selbst) und verfügt aus dieser Zeit noch über Zugriff auf Version 11 des SCOR-Modells (Supply Chain Operations Reference Model, Revision 11.0, Supply Chain Council 2012). Inzwischen liegt Version 13 (2022) vor. Auf Grund der Tatsache, dass das SCOR-Modell selbst in AKRIMA nicht zum Einsatz kam, wurde auf eine erneute, kostenpflichtige Mitgliedschaft verzichtet. Detailangaben in diesem Abschnitt entstammen also der Modellversion 11 und könnten veraltet sein. Eine Aktualisierung wäre ‚nice to have‘ gewesen, aber man soll ja sorgsam mit Projektmitteln umgehen.

Metriken der Ebene 3 werden aggregiert zu Metriken der Ebene 2 und diese zu Metriken der Ebene 1. Weiterhin beinhaltet das SCOR-Modell eine Sammlung von Praktiken („emerging“, „best“, „standard“; z. B. Transportation Management System, Expedited Logistics, Vendor-managed Inventory), die passend für die einzelnen Elemente vorgeschlagen werden. Diese Praktiken basieren primär auf den Erfahrungen von Unternehmen, die erfolgreich ihre Lieferketten optimiert haben, können aber ganz allgemein auch als ‚Stand von Wissenschaft und Praxis‘ bezeichnet werden. Praktisch beschreibt das SCOR-Modell alle relevanten Prozesse auf den unterschiedlichen Ebenen kurz in Textform, listet relevante Metriken, Praktiken und durchführende Personen sowie den „Workflow“, der die Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Prozessen abbildet. Analog sind auch die Metriken usw. beschrieben. Derzeit befindet sich das SCOR-Modell in einer erheblichen Überarbeitung, die als „open access“ angelegt ist und entsprechend eingesehen werden kann (siehe <https://scor.ascm.org/processes/introduction>). Das zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Berichts noch aktuelle SCOR-Modell im Überblick findet sich in Abbildung 16.

SCOR Process

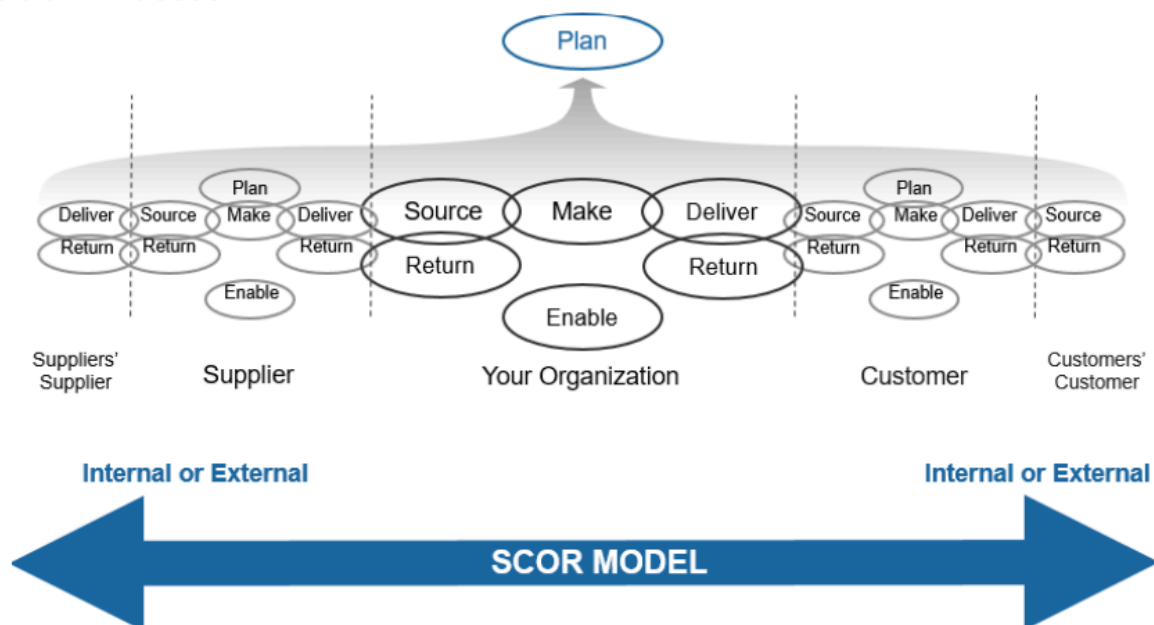


Abbildung 16: Überblick über die Elemente des SCOR-Modells (APICS 2017).

Das SCOR-Modell ist sehr umfangreich, aber mächtig, und ist - zumindest bei größeren Unternehmen - definitiv in der Praxis angekommen (es wird bspw. von Dräger eingesetzt). Es geht aber über den Untersuchungskontext von *AKRIMA* teils weit hinaus und greift gleichermaßen zu kurz, was stellvertretend auch für andere Referenzmodelle, die hier nicht vorgestellt wurden, gilt. Das hat mehrere spezifische Ausprägungen:

- Der Bezugsrahmen ist unterschiedlich (Forschung vs. Praxis), woraus sich andere Betrachtungsweisen, Fragen und relevante Daten ergeben.
- Die Detailebene der Prozesse weicht teils stark voneinander ab, insbesondere was die Betrachtung von Resilienzaspekten (siehe unten den Abschnitt zur Methode) angeht.
- *AKRIMA* berücksichtigt nicht ‚nur‘ die eigentlichen Prozesse der Lieferkette, sondern auch Krisenreaktionsmechanismen, die sich als konkrete Prozesse manifestieren können (aber nicht müssen), bestimmten Regeln folgen (siehe den Bericht „Krisenreaktionsmechanismen“) und ebenfalls zu simulieren sind, daher also wie die normalen Prozesse nach einem einheitlichen Muster beschrieben werden müssen.

Aus diesen Gründen kann sich *AKRIMA* zwar an bestehenden Referenzmodellen orientieren, aber nicht direkt diese nutzen. Konkret werden in *AKRIMA* stattdessen Archetypen bzw. **„archetypische Abläufe“** als Grundlage der Prozessbeschreibung genutzt.

Ein Archetyp ist so etwas wie eine ‚Grundform‘, ein ‚Idealtyp‘ oder eine ‚Basisvariante‘, die so oder so ähnlich in der Praxis zu finden ist und von welcher sich Ableitungen bzw. Varianten bilden oder finden lassen. Ein Archetyp fungiert im Allgemeinen als ursprüngliches Muster oder Modell, von dem alle Dinge gleicher Art abgeleitet oder auf das sie zurückgeführt werden. Entsprechend beziehen sich Archetypen weniger auf konkrete Eigenschaften von Objekten etc., sondern eher auf wiederkehrende, ‚typische Muster‘. Konsequenterweise sind Archetypen üblicherweise nicht in ihrer ‚Reinform‘ (exakt passend zur Beschreibung) in der Realität zu finden. Zur Erklärung dieses Umstands hilft der Rückgriff auf das grundlegende (philosophische) Verständnis des Archetyps, welches im Wesentlichen zwischen der ‚Idee‘ oder dem ‚Konzept‘ und deren bzw. dessen Entsprechung in der Realität unterscheidet (wobei der Archetyp im Geistigen zu finden ist). Am vereinfachten Beispiel ‚Berg‘ stellt sich das wie folgt

dar: Unterschiedliche Personen verbinden mit dem Wort ‚Berg‘ jeweils unterschiedliche Ideen oder Konzepte. Dabei unterscheiden sich aber nicht nur diese Ideen oder Konzepte, sondern es gilt auch, dass die jeweils ‚imaginierten Berge‘ nicht oder ‚nicht so‘ in der Realität existieren, also eine Diskrepanz zwischen Idee bzw. Konzept und der Realität besteht. Kurzum: Jede(r) hat eine eigene Idee von ‚dem‘ Berg, der in dieser Form aber gar nicht existiert. Dennoch erlaubt diese Ebene eine Operationalisierung, da wesentliche Eigenschaften universell genug sind, um z. B. Vergleiche anzustellen, Kennzahlen zu bilden oder Abgrenzungen zu definieren (z. B. ‚Berg vs. Hügel‘).

In der Betriebswirtschaft und im Prozessmanagement wird das Konzept zur Beschreibung typischer Muster in Prozessen und Organisationsstrukturen in ähnlicher Weise verwendet, hier jedoch begrifflich zumeist als ‚Referenzprozess‘ u.ä. (oft eingebettet in Referenzmodelle, s.o.) umrissen. Ganz praktisch wird dies etwa bereits im SCOR-Modell genutzt, das logistische Prozessarchetypen (z. B. Wareneingang, Scheduling, Kommissionierung) in ihren Grundzügen, mit relevanten Kennzahlen und (Best) Practices beschreibt. Gleichzeitig gibt es ‚den‘ Wareneingang, wie er im SCOR-Modell beschrieben wird, nicht (nicht zuletzt, da die Ebene der eigentlichen Handlungen, Ebene 4 - was ist genau wie zu tun - im SCOR-Modell ausgespart wird). Stattdessen muss bei Nutzung des SCOR-Modells immer ein ‚Matching‘ der realen Unternehmensprozesse zu den Prozessen im SCOR-Modell erfolgen. Dadurch entsteht ein Konstrukt, in dem unterschiedliche Akteure jeweils ihre eigenen Entsprechungen der archetypischen SCOR-Prozesse in der Praxis verwenden, aber gleichzeitig eine einheitliche Grundlage besteht, mit der bspw. Strukturvergleiche und Benchmarks durchgeführt werden können. In vielerlei Hinsicht ist das SCOR-Modell somit eine Operationalisierung von Archetypen; *AKRIMA* reiht sich hier in eine praxiserprobte Tradition ein.

Dennoch sind der Begriff und die Idee des ‚Archetypen‘ nicht ganz einfach, da er ein ebenso von Ambiguität gekennzeichnetes Konzept ist wie die Konzepte, die er beschreibt: Jede Person, die sich mit dem Begriff auseinandersetzt, hat sicherlich ein bestimmtes Verständnis von ‚Archetyp‘, das in dieser Form womöglich nicht von allen anderen Personen geteilt wird. Daher wird in *AKRIMA* - in Anlehnung an den gebräuchlicheren, wenn auch ebenso mit Mehrdeutigkeit beladenen Begriff des ‚(Referenz-) Prozesses‘ - nicht von ‚Archetypen‘, sondern

von ‚archetypischen Abläufen‘ gesprochen, wobei ‚Abläufe‘ ein Platzhalter für die unterschiedlichen in AKRIMA betrachteten Gliederungsebenen von Abläufen (Maßnahme, Prozesskette, Prozess, Aktion) ist. Diese ‚archetypischen Abläufe‘ zeichnen sich dadurch aus, dass sie typische (in der Praxis häufig zu findende) Abläufe auf eine generalisierte Weise beschreiben, ohne den Anspruch zu erheben, ‚der‘ Archetyp zu sein. Konkret wird zur Operationalisierung der im Projektantrag und den Vorhabensbeschreibungen eingeführten ‚Prozessarchetypen‘ in Form der ‚archetypischen Abläufe‘ folgende Definition genutzt:

Ein archetypischer Ablauf ist eine allgemeine Beschreibung eines Ablaufs bzw. einer Gruppe von Abläufen, die als solche nicht in einen spezifischen Kontext (z. B. einen konkreten übergeordneten Unternehmensprozess) eingebettet ist, sondern für sich allein genommen betrachtet wird, gleichzeitig aber passfähig zu anderen archetypischen Abläufen ist.

Ein archetypischer Ablauf entsteht durch Reduktion auf und Beschreibung seiner markanten Elemente. Diese Beschreibung dient nicht der Abbildung der möglichen Komplexität dieses Ablaufs, die in verschiedenen Kontexten entstehen kann, sondern ist so formuliert, dass sie ohne größeren Verlust an Aussagekraft auf viele unterschiedliche Anwendungsfälle übertragen werden kann. Er kann in dieser Hinsicht als ‚Basisversion‘ eines Ablaufs angesehen werden.

Ein archetypischer Ablauf ist also eine bestimmte Art, einen gegebenen Ablauf zu beschreiben, keine besondere Ablaufart. Jeder beliebige Ablauf kann archetypisch beschrieben werden. Ein Beispiel für einen archetypischen Ablauf wäre etwa „Wareneingang“ mit den üblicherweise im Wareneingang stattfindenden Abläufen, nicht aber „Wareneingang bei Firma X“ mit den dort für das Unternehmen spezifischen Abläufen.

Archetypische Abläufe können für Maßnahmen (etwa KRM), Prozessketten, Prozesse und Aktionen formuliert werden. Damit beziehen sich archetypische Abläufe auf grundlegende, typische Prozessmuster, die in verschiedenen Lieferketten auftreten können. Sie können auch als ‚typischer Mittelpunkt in einem Kontinuum‘ unterschiedlicher Ausprägungen einer bestimmten Prozessart (z. B. Wareneingang, Kommissionierung, Kühltransport, Avisierung) verstanden werden. Sie sind damit keine starren Modelle, sondern dienen als Ausgangspunkt für die Entwicklung spezifischer Prozessabläufe. Die Verwendung dieser archetypischen

Abläufe bietet den Vorteil, dass sie keine eng definierten Standards darstellen, sondern eher Leitlinien oder Rahmenbedingungen bieten, an denen entlang sich z. B. Analysen orientieren und Simulationen aufsetzen lassen. Beispiele für solche Archetypen, die für *AKRIMA* katalogisiert und rudimentär beschrieben wurden, sind etwa ‚Logistik‘, ‚Wareneingang‘, ‚Warenannahme‘ und ‚Zuweisung einer Entladestelle‘, die eine gegliederte Prozesskette ähnlich dem SCOR-Modell darstellen, aber besser auf die Belange von *AKRIMA* zugeschnitten sind. Ähnliches existiert bspw. für die Produktion, die Qualitätskontrolle, die Beschaffung oder das Controlling.

Innerhalb von *AKRIMA* fungieren die archetypischen Abläufe als Bausteine der Teillösungen (z. B. der Prozessanalyse) und ermöglichen eine effektive ‚Übersetzung‘ zwischen verschiedenen Akteuren und ihren Prozess- bzw. Lieferketten. Dieser Ansatz bietet Vorteile, vor allem:

- Standardisierung: Die Verwendung von archetypischen Abläufen ermöglicht einen konsistenten Ansatz zur Beschreibung von Prozessketten. Diese Einheitlichkeit erleichtert das Verständnis insbesondere in der Zusammenarbeit mehrerer Akteure.
- Effizienz: Archetypische Abläufe bieten eine Vorlage, die schnell auf verschiedene Prozesse angewendet werden kann. Dies spart Zeit und Aufwand bei der Beschreibung und Analyse von Prozessketten.
- Aufbau auf Bekanntem: Die archetypischen Abläufe orientieren sich eng an der Idee der Referenzmodelle, sodass die Grundprinzipien leicht nachvollziehbar sind.

Dem gegenüber stehen aber auch Nachteile, insbesondere:

- Vereinfachung: Die Nutzung von archetypischen Abläufen führt automatisch zu einer Vereinfachung komplexer Prozesse, wodurch individuelle Ausprägungen oder unübliche komplexe Zusammenhänge übersehen werden können.
- Schema F: Die ausschließliche Verwendung von archetypischen Abläufen kann zu dem Versuch führen, eine Prozesskette in ein vorgegebenes Muster zu pressen, was ebenso mögliche Prozessdetails kaschieren könnte.

Im Kern besteht hier ein Zielkonflikt zwischen einer Verallgemeinerung der Prozessketten (die für die Arbeiten im Projekt unerlässlich ist, um den Arbeitsaufwand innerhalb des gegebenen Rahmens auch realisieren zu können) und der Erfassung der notwendigen Details (die für die Simulation durchaus relevant sind, denn schlussendlich können, plakativ ausgedrückt, ganze Lieferketten von der Verfügbarkeit einer einzelnen Person oder einer einzelnen Produktgruppe abhängen). Dieser Zielkonflikt ist kaum ganz aufzulösen, wird in *AKRIMA* aber dadurch moderiert, dass die archetypischen Abläufe nicht starr vorgegeben werden, sondern gewissermaßen ein hybrider Ansatz genutzt wird: Entlang grob formulierter archetypischer Abläufe (z. B. Wareneingang) wird in der Prozessanalyse geprüft, ob der betrachtete Prozess mit einem vordefinierten archetypischen Ablauf beschrieben werden kann oder ob dafür ein neuer archetypischer Ablauf zu definieren ist (ggf. mit Referenz auf den ursprünglichen Archetypen, um die Zuordnung zu erleichtern). Dadurch wächst zwar mit jeder Prozessanalyse potenziell der Katalog der archetypischen Abläufe an, in der Praxis der mit den Industriepartnern durchgeführten Prozessanalysen hat sich dies aber als ein guter Mittelweg herausgestellt.

Informationserfassung und -darstellung: Das Excel-Tool

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, die im Rahmen der Interviews und begleitenden Methoden erhobenen Informationen darzustellen. Dazu gehören insbesondere Datenbanklösungen und grafische Darstellungen, wobei viele moderne Lösungen für grafische Darstellungen auch eine Datenebene unterlegt haben (z. B. Microsoft Visio, yED), die mittels einer gewissen Kombinationslogik bestimmte Berechnungen durchführen können. Nach Prüfung unterschiedlicher Applikationen, unter Berücksichtigung der finanziellen Restriktionen (State-of-the-Art-Lösungen, wie sie in der Wirtschaft mitunter zum Einsatz kommen, waren für die TH Wildau nicht bezahlbar) und mit Blick auf die möglichst universelle Anwendbarkeit wurde in *AKRIMA* eine **auf Microsoft Excel basierende Lösung** pilotiert und umgesetzt.

Die Vorteile von Excel liegen auf der Hand: Die Daten sind (spätestens über eine entsprechende Exportfunktion, z. B. per CSV, mit oder ohne vorherige Umformatierung) prinzipiell maschinenlesbar, das Programm ist bei der Mehrzahl der Akteure in Wirtschaft und

Wissenschaft verfügbar, und zumindest in seinen Grundfunktionen leicht verständlich und bedienbar. Zudem lassen sich mit Excel zahlreiche Anwendungsfälle bei einer guten Mischung aus Flexibilität und ‚Mächtigkeit‘ abdecken – von einer ersatzweisen Datenbanklösung bis zu Excel als Herzstück einer ganzen Produktions- und Logistikplanung. (Dabei sei dahingestellt, ob das zu empfehlen ist, es ist aber für viele Akteure die Realität.) Für *AKRIMA* ergab sich die besondere Herausforderung, dass die Konzeption und Erstellung des Excel-Tools – zumindest in seiner ersten Version – den Interviews vorausgingen. Das bedeutet, dass die gesamte Grundstruktur der Informationen und Zusammenhänge vorgedacht werden musste. Insbesondere die Frage, welche Informationen (z. B. zur Prozessart) besser über Freitext- oder Auswahlfelder (und welche Elemente diese aufweisen sollten) einzutragen sind, stellte eine große Herausforderung dar. Damit entstand das gesamte Excel-Tool zunächst am Reißbrett und unter großer Unsicherheit bezüglich der Informationen, die tatsächlich erhebbbar sein würden. Auch die Bedienbarkeit war und ist ein Thema: Zwar ist die Eintragung von Informationen in das Tool relativ einfach, wenn bestimmte Grundstrukturen verstanden wurden; aber es sind mitunter sehr viele Eintragungen zu machen und Abhängigkeiten zu berücksichtigen. Das Tool durchlief einige Iterationen und wurde dabei stetig besser, wenn es auch nicht zu einem Punkt gelangte, an dem seine Benutzung eine ‚Freude‘ gewesen wäre (wobei dieses Problem auf zahlreiche Tools im Praxiseinsatz zutrifft). Rückblickend kann festgestellt werden, dass der Ansatz mit dem Excel-Tool erstaunlich zuverlässig funktioniert hat.

Elemente, Funktionen, Bedienung

Die aktuelle Excel-Umsetzung der Prozessanalyse („PROCESS DESCRIPTION MASTER v2023-05-03.xlsx“) besteht aus mehreren **Tabellenblättern**, auf denen jeweils thematisch gruppiert bestimmte Eintragungen vorzunehmen sind. Diese Tabellenblätter (siehe Abbildung 17) beziehen sich auf:

- die eigentlichen Prozessschritte (A – ACTION A00-A61),
- die für diese Prozessschritte erforderlichen Personen bzw. Rollen und ggf. Sonderfähigkeiten (A & B – A80-82, B50),
- den für die Prozessschritte erforderlichen Input (B – INPUT B10-B42),

- den durch die Prozessschritte erzeugten Output (C – OUTPUT C00-C100) sowie
- die möglichen Prozessalternativen („Change Vectors“; D – CHANGE VCTOR D10-D22).

A - ACTION (A00-40)	A - ACTION (A50-51)	A - ACTION (A60-61)	A & B - A80-82, B50	B - INPUT (B10-B42)	C - OUTPUT (C00-C100)	D - CHANGE VCTR (D10-D22)	+
---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	-----------------------	---------------------------	---

Abbildung 17: Tabellenblätter des Excel-Tools.

Auf jedem Tabellenblatt findet sich die *ACTION ID* (A00) als zentrales Identifikationsmerkmal: Jede Aktion (Prozessschritt) erhält eine ACTION ID, während sich alle nachfolgenden Einträge in der Relation 1:n auf diese ACTION ID beziehen (z. B. gibt es in der Regel mehrere INPUT IDs, welche einzelne Inputs – Eingänge in einen Prozessschritt – kennzeichnen, die sich auf eine gemeinsame ACTION ID beziehen). In den Spalten werden jeweils Angaben entweder in der Form *Freitext* (z. B. ACTION DESCRIPTION – Bezeichnung der Aktion) oder *Auswahl / Dropdown* (z. B. ACTION TYPE – Art der Aktion; siehe Abbildung 18) vorgenommen. Die auszufüllenden Felder werden durch eine konditionale Formatierung kenntlich gemacht (z. B. ändert die Eintragung von „CLUSTER“ in der Abfrage „ELEMENT OF CLUSTER?“ die Hintergrundfarbe des Feldes „CLUSTER ID“ auf hellgelb, was bedeutet, dass hier eine Freitexteingabe erforderlich ist; zudem ist in einer Feldnotiz vermerkt, welche Art der Eingabe erwartet wird und wie sie zu formatieren ist), sodass der Durchlauf durch die Spalten relativ zügig vonstattengeht. Ebenso wird bereits durch die konditionale Formatierung kenntlich gemacht, welche Art der Eingabe erwartet wird. Felder mit Auswahl / Dropdown sind entweder in den jeweiligen Zellen fest hinterlegt oder beziehen sich auf einen zugrundeliegenden *Katalog*: Dabei gilt, dass unveränderliche Auswahlmöglichkeiten (z. B. die Varianten AUTOMATIC, MANUAL oder BOTH bei ACTION MODE, also der generellen Art der Aktionsdurchführung – automatisch, manuell, gemischt; die Auswahl „N/A“ – keine Angabe – ist immer eine Option) grundsätzlich fest in den Zellen hinterlegt sind, während veränderliche Auswahlmöglichkeiten (z. B. die Auswahl der für eine Aktion erforderlichen Rollen) grundsätzliche über eine interne Verlinkung auf den Katalog („CATALOGUES.xlsx“) referenzieren, ihre Daten also aus dieser Datei erhalten.

Die Aufteilung der verschiedenen Abfragen bzw. Analyseelemente in thematische Gruppen (z. B. Rolle / Fähigkeiten / Erfahrung; s. u.) hat zwei Gründe: Erstens werden bei einer vollumfänglichen Prozessanalyse weit mehr als 50 verschiedene Sachverhalte (mit jeweils einer oder mehreren relevanten Spalten) abgefragt, was schnell eine echte Herausforderung in Bezug auf Bedienbarkeit und Übersichtlichkeit wird. Zweitens finden sich zwischen den verschiedenen Elementen immer wieder 1:n-Relationen, z. B. kann eine Aktion mehrere Inputs haben, was in Excel – da es sich nicht um eine echte Datenbanklösung handelt – nur über einen Umweg sauber abgebildet werden kann: An diesen ‚Bruchpunkten‘ wird daher der Wechsel auf ein neues Tabellenblatt vollzogen, was Datenredundanz vermeidet und die Bedienbarkeit verbessert (sowie etwas Gehirnakrobatik erfordert). Anstatt großer Mengen identischer, kopierter Daten wird die ACTION ID als zentrales Identifikationsmerkmal (1) genutzt und im neuen Tabellenblatt die ergänzenden Daten (n) eingetragen. In der Verarbeitung durch das DFKI werden schlussendlich alle Daten zusammengeführt.

A00					A10			
ID 1 (PROCESS)	ID 2 (ACTION)	RESULTING ID	DESCRIPTION	TYPE	ACTION TYPE			
1	10	1.10	Produktionsplanung	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.PRPL	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Produktionsplanung
1	20	1.20	Bedarfsermittlung	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.BEDE	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Bedarfsermittlung
1	30	1.30	Auswahl Lieferanten	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.ALIE	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Lieferantenauswahl
1	40	1.40	Bestellung	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.BEST	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Bestellung
2	10	2.10	Transport durch Lieferanten	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.TRLI	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Transport durch Lieferanten
2	20	2.20	Wareneingang	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.WARE	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Wareneingang
2	30	2.30	Stichprobenprüfung Labor	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.STPR	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Stichprobenprüfung Labor
2	40	2.40	Einlagern	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.EINL	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Einlagern
3	10	3.10	Wiegen	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.WIEG	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Wiegen
3	20	3.20	Mischen	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.MISH	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Mischen
3	30	3.30	Kneten	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.KNET	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Kneten
3	40	3.40	Gären	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.GAER	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Gären
3	50	3.50	Schneiden	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.SCHN	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Schneiden
3	60	3.60	Gehen lassen	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.GEHL	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Gehen lassen
3	70	3.70	Backen	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.BACK	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Backen
3	80	3.80	Kühlen	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.KUEH	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Kühlen
3	90	3.90	Verpacken	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.VERP	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Verpacken
4	10	4.10	Bestellerfassung	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.BSER	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Bestellerfassung
4	20	4.20	Konsolidierung	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.KONS	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Konsolidierung
4	30	4.30	Ladungs-Tourenplanung	CUSTOM ACTION	BRBW.BACK.LATP	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Ladungs-Tourenplanung

Abbildung 18: Ausschnitt der IDs und Aktionsbezeichnungen aus dem Bäckerei PoC.

Viele Dropdown-Felder sind nicht statisch, sondern dynamisch. Diese Dynamik wird erreicht, indem sie auf den bereits oben erwähnten **Katalog** referenzieren. In diesem Katalog finden sich sämtliche veränderliche Daten für den gegebenen Untersuchungskontext. Der Katalog beinhaltet die folgenden Elemente (für Beispiele siehe Abbildungen 19 bis 21):

- **ACTION CATALOGUE:** Die in der aktuellen Prozessanalyse relevanten Aktionen, z. B. Produktionsplanung, Backen, Transport.

- *OUTPUT CATALOGUE*: Die in der aktuellen Prozessanalyse relevanten Outputs (Prozessergebnisse), z. B. Produktionsplan, Weizenbrot, Transportauftrag.
- *ROLE CATALOGUE*: Die in der aktuellen Prozessanalyse relevanten Rollen, z. B. Planer, Techniker/in – Anlagentechnik (Bäckereitechnik), Disponent/in.
- *SKILL CATALOGUE*: Die in der aktuellen Prozessanalyse relevanten ergänzenden Sonderfähigkeiten oder Erlaubnisse bzw. Freigaben, z. B. Gabelstaplerschein.
- *RESOURCE CATALOGUE*: Die in der aktuellen Prozessanalyse relevanten Inputs, z. B. Waage, Rollcontainer, Absatzplanung, 7,5t-LKW.
- *EXPERIENCE CATALOGUE*: Die in der aktuellen Prozessanalyse relevanten Abschlüsse und Berufserfahrungen, z. B. Gesamtschulabschluss, Bachelor, Kauffrau/-mann.
- *DESTINATION CATALOGUE INTERNAL*: Die in der aktuellen Prozessanalyse relevanten internen Destinationen bzw. Zielorte, z. B. Hochregallager, Wareneingang, Verladerampe.
- *DESTINATION CATALOGUE EXTERNAL*: Die in der aktuellen Prozessanalyse relevanten externen Destinationen bzw. Zielorte, anzugeben als Adressen (Adressat, Straße, PLZ, Ort, Land).
- *INFRASTRUCTURE CATALOGUE*: Die in der aktuellen Prozessanalyse relevanten Infrastrukturen (z. B. Aufzug, Hebebühne, Laderampe) als Teilmenge des RESOURCE CATALOGUE. Diese Unterscheidung ist sinnvoll, da im Excel-Tool in der Abfrage zu den Infrastrukturen auch nur Infrastrukturen als gültige Auswahlmöglichkeiten angezeigt werden sollen, gleichzeitig aber Infrastrukturen inhaltlich auch als Inputs zu deklarieren sind.
- *RECIPIENT CATALOGUE*: Die in der aktuellen Prozessanalyse relevanten allgemeinen Rezipienten bzw. eingebundenen Akteursgruppen, z. B. Lieferanten, Kunden.
- *SOURCE CATALOGUE*: Die in der aktuellen Prozessanalyse relevanten, allgemeinen internen ‚Quellen‘ von Inputs, z. B. „Fuhrpark“, wenn für benötigte Fahrzeuge keine

konkrete Herkunft (eine bestimmte Aktion), angegeben werden kann oder soll; analog dazu auch Quellen wie „Lager“ oder andere.

- *ENVIRONMENTAL IMPACT*: Ursprünglich war vorgesehen, für betrachtete Prozesse auch die relevanten Einwirkungen auf die Umwelt (z. B. Luftverschmutzung) zu erfassen. Dieses Vorhaben wurde aber mit Blick auf den Scope des Projekts (und den hohen Aufwand der quantitativen Erfassung) nicht verwirklicht und der Katalog verblieb ungenutzt.

ID	CATEGORY 1	CATEGORY 2	CATEGORY 3	CATEGORY 4	CATEGORY 5
BRBW.BACK.PRPL	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	PRPL_Produktionsplanung		
BRBW.BACK.BEDE	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	BEDE_Bedarfsermittlung		
BRBW.BACK.ALIE	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	ALIE_Lieferantenauswahl		
BRBW.BACK.ALIE.ABLI	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	ALIE_Lieferantenauswahl	ABLI_Ausschluss blockierter Lieferanten	
BRBW.BACK.ALIE.AA	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	ALIE_Lieferantenauswahl	AA_Alternative A	
BRBW.BACK.BEST	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	BEST_Bestellung		
BRBW.BACK.TRLI	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	TRLI_Transport durch Lieferanten		
BRBW.BACK.TRLI.BAHN	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	TRLI_Transport durch Lieferanten	BAHN_mit Bahn	
BRBW.BACK.TRLI.AA	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	TRLI_Transport durch Lieferanten	AA_Alternative A	
BRBW.BACK.TRLI.AB	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	TRLI_Transport durch Lieferanten	AB_Alternative B	
BRBW.BACK.TRLI.AC	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	TRLI_Transport durch Lieferanten	AC_Alternative C	
BRBW.BACK.TRLI.ABLS	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	TRLI_Transport durch Lieferanten	ABLS_Ausschluss blockierter Strecken	
BRBW.BACK.TRLI.ALTV	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	TRLI_Transport durch Lieferanten	ALTV_Alternativen Verkehrsträger heranführen	
BRBW.BACK.WARE	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	WARE_Wareneingang		
BRBW.BACK.WARE.AA	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	WARE_Wareneingang	AA_Alternative A	
BRBW.BACK.STPR	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	STPR_Stichprobenprüfung Labor		
BRBW.BACK.STPR.AA	BRBW_Brot- und Backwaren	BACK_Bäckerei	STPR_Stichprobenprüfung Labor	AA_Alternative A	

Abbildung 19: Einblick in den ACTION CATALOGUE des Bäckerei PoC.

CATEGORY 1	CATEGORY 2	CATEGORY 3	CATEGORY 4	CATEGORY 5	CATEGORY 6	CATEGORY 7	COMMENT(S)
LOGI_Logistik	PPRZ_Produktionsprozess	PLOR_Planung und Organisation	PLAN_Planer				
PROD_Produktion	PPRZ_Produktionsprozess	FKPR_Fachkraft Produktion	PLBI_Produktionsleitung - Backwaren - Industrie				
PROD_Produktion	PPRZ_Produktionsprozess	FKPR_Fachkraft Produktion	PMBI_Produktionsmeister - Backwaren - Industrie				
PROD_Produktion	PPRZ_Produktionsprozess	FKPR_Fachkraft Produktion	PBIB_Produktionsfachkraft - Backwaren - Industrie - Bäcker				
PROD_Produktion	PPRZ_Produktionsprozess	FKPR_Fachkraft Produktion	PBIS_Produktionsfachkraft - Backwaren - Industrie - Teigformer				
PROD_Produktion	PPRZ_Produktionsprozess	FKPR_Fachkraft Produktion	PBIT_Produktionsfachkraft - Backwaren - Industrie - Teigmacher				
PROD_Produktion	PPRZ_Produktionsprozess	FKPR_Fachkraft Produktion	PBIO_Produktionsfachkraft - Backwaren - Industrie - Ofenführer				
PROD_Produktion	PPRZ_Produktionsprozess	FKPR_Fachkraft Produktion	PBIM_Produktionsfachkraft - Backwaren - Industrie - Maschinen- und				
PROD_Produktion	PPRZ_Produktionsprozess	FKPR_Fachkraft Produktion	PHBI_Produktionshelfer/in - Backwaren - Industrie				
PROD_Produktion	WART_Wartung und Insta	FKTK_Fachkraft Anlagentechnik	LTBI_Leitung Betriebliche Instandhaltung				
PROD_Produktion	WART_Wartung und Insta	FKTK_Fachkraft Anlagentechnik	TKTA_Techniker/in - Anlagentechnik (Bäckereitechnik)				
PROD_Produktion	WART_Wartung und Insta	FKTK_Fachkraft Anlagentechnik	FKTA_Fachkraft - Anlagentechnik (Bäckereitechnik)				
PROD_Produktion	WART_Wartung und Insta	FKTK_Fachkraft Anlagentechnik	HTKB_Helfer/in Anlagentechnik				
PROD_Produktion	ENTW_Entwicklung, Verb	FKENT_Fachkraft Produktionstechnol	PRODI_Produktionsingenieur/in - Lebensmittel				
QSSI_Qualität u PLAB_Prüflabor		FKPL_Fachkraft Lebensmittelprüfung	TQSL_Techniker/in - Qualitätssicherung der Lebensmittelprod.				
QSSI_Qualität u PLAB_Prüflabor		FKPL_Fachkraft Lebensmittelprüfung	LQSL_Laborant/in - Lebensmittel				
LGPL_Logistik	PLOGG_Logistik gesamt	FKLG_Fachkraft Logistik	LLOG_Leitung - Logistik				

Abbildung 20: Einblick in den ROLE CATALOGUE des Bäckerei PoC.

ID	CATEGORY 1	CATEGORY 2	CATEGORY 3	CATEGORY 4	CATE
DILE.INST	DILE_Dienstleistung	INST_Instandhaltung			
FEPR.BRBA.BAMI	FEPR_Fertigprodukt	BRBA_Brot- und Backwaren	BAMI_Backmischung		
FEPR.BRBA.ROBR	FEPR_Fertigprodukt	BRBA_Brot- und Backwaren	ROBR_Roggenbrot		
FEPR.BRBA.WZBR	FEPR_Fertigprodukt	BRBA_Brot- und Backwaren	WZBR_Weizenbrot	VERP_verpackt	
FEPR.BRBA.WZBR	FEPR_Fertigprodukt	BRBA_Brot- und Backwaren	WZBR_Weizenbrot		
FEPR.FEST.ALLG	FEPR_Fertigprodukt	FEST_fest	ALLG_Allgemein		
FEPR.FLUS.ALLG	FEPR_Fertigprodukt	FLUS_flüssig	ALLG_Allgemein		
FEPR.GEPR	FEPR_Fertigprodukt	GEPR_geprüft			
FEPR.VERP	FEPR_Fertigprodukt	VERP_verpackt			
FEPR	FEPR_Fertigprodukt				
HFPR.BRBA.ROTK	HFPR_Halbfertigprodukt	BRBA_Brot- und Backwaren	ROTK_Roggenbrotteigling		
HFPR.BRBA.ROTL	HFPR_Halbfertigprodukt	BRBA_Brot- und Backwaren	ROTL_Roggenbrotteigling		
HFPR.BRBA.WZTK	HFPR_Halbfertigprodukt	BRBA_Brot- und Backwaren	WZTK_Weizenbrotteigling		
HFPR.BRBA.WZTL	HFPR_Halbfertigprodukt	BRBA_Brot- und Backwaren	WZTL_Weizenbrotteigling		
HFPR.FEST.ALLG	HFPR_Halbfertigprodukt	FEST_fest	ALLG_Allgemein		
HFPR.FLUS.ALLG	HFPR_Halbfertigprodukt	FLUS_flüssig	ALLG_Allgemein		
HFPR.GEPR	HFPR_Halbfertigprodukt	GEPR_geprüft			
HFPR.VERP	HFPR_Halbfertigprodukt	VERP_verpackt			

Abbildung 21: Einblick in den OUTPUT CATALOGUE des Bäckerei PoC.

Alle Einträge im Katalog folgen einem *Kategorisierungsschema*, das sich in der *individuellen ID* (in der Informatik als „qualifizierter Name“ bzw. „fully qualified identifier“ bekannt) niederschlägt. So etwa hat die Produktionsplanung in der Bäckerei die ID „BRBW.BACK.PRPL“, wobei sich die ID aus den Teil-IDs der Oberkategorien „Brot- und Backwaren“ (BRBW) und „Bäckerei“ (BACK) sowie der abschließenden Kategorie „Produktionsplanung“ (PRPL) zusammensetzt. Ergänzend wird am Ende eine Zeichenkette gebildet, die sich aus der gesamten ID und den verwendeten Kategorien zusammensetzt (z. B. „BRBW.BACK.PRPL | Brot- und Backwaren | Bäckerei | Produktionsplanung“). Jede Kategorie kann in weitere Teilaktionen untergliedert werden (z. B. BRBW.BACK.ALIE Lieferantenauswahl mit seinem Teilprozess BRBW.BACK.ALIE.ABLI Ausschluss blockierter Lieferanten). Genutzt werden können bis zu sieben Kategorien bzw. Gliederungsebenen (BRBW.BACK.PRPL nutzt z. B. die Gliederungsebenen 1-3), wobei jede Gliederungsebene eine eindeutige vierstellige ID aufweist. Durch diese Untergliederung kann systemseitig bspw. eindeutig zwischen der Produktionsplanung in der Bäckerei und der Produktionsplanung für Medizinprodukte unterschieden werden. Diese Gliederungs- und Kennzeichnungslogik findet sich im gesamten Katalog. Eine solche Lösung ist phasenweise etwas sperrig in der Benutzung, realisiert aber eine eindeutige Zuordnung und reagiert robust auf nachträgliche Veränderungen im Katalog, was bspw. bei einer fortlaufenden Nummerierung nicht der Fall wäre.

In bestimmten Bereichen des Katalogs, insbesondere ACTION, OUTPUT und RESOURCE, kann es zu sehr vielen Einträgen kommen. Dadurch erschwert sich die Bedienbarkeit

derjenigen Zellen, welche als Dropdown-Feld auf diese Katalogelemente verweisen, weil innerhalb dieser Zellen keine Filterung vorgenommen werden kann (also z. B. nicht nur Aktionen einer bestimmten Kategorie angezeigt werden können). Um die Bedienbarkeit möglichst zu erhalten (durch eine möglichst geringe Menge an relevanten Einträgen) wurde entschieden, je Fallstudie einen separaten Katalog zu verwenden. Es gibt also einen eigenen Katalog je Fallstudie bzw. betrachteten Unternehmen in AKRIMA, sodass etwa der Katalog aus der Beiersdorf-Untersuchung von dem Katalog aus der Dräger-Untersuchung abweicht. Dies zählt auch auf die Geheimhaltung ein, ist aber ein Aspekt, der in einem möglichen Folgeprojekt noch einmal aufgegriffen und mit Blick auf eine möglichst elegantere Lösung hinterfragt werden sollte.

Technisch sind die jeweiligen Tabellenblätter im Katalog als Tabelle mit Eigennamen (z. B. „C_ACTION“ für den Aktionskatalog) angelegt, was gewissermaßen einen Array mit den betreffenden Werten erzeugt. Auf der Gegenseite sind im Excel-Tool Variablen mit identischen Namen definiert worden, die jeweils nur auf den „STRING“ aus dem betreffenden Array des Katalogs verweisen (also z. B. „BRBW.BACK.PRPL | Brot- und Backwaren | Bäckerei | Produktionsplanung“); die jeweiligen Dropdown-Felder beziehen ihre Daten dann aus den im Excel-Tool definierten Variablen, wodurch eine direkte Verknüpfung zwischen den Einträgen im Katalog und den relevanten Feldern im Excel-Tool realisiert wurde. Die Zuordnung individueller Kataloge zu den Prozessanalysen in den Fallstudien wird pragmatisch durch die Trennung in verschiedene Ordner gelöst: Jede Prozessanalyse bzw. Fallstudie hat ihren eigenen Ordner mit ihrer eigenen Version des Excel-Tools und ihrem eigenen Katalog.

Beispielelemente

Um den Ablauf und Inhalt der Prozessanalyse bzw. der Eintragung der Daten in das Excel-Tool etwas ‚anfassbarer‘ zu machen, sollen im Folgenden eine Anzahl an Elementen genauer vorgestellt werden:

A00 TYPE & A10 ACTION TYPE: In A00 finden sich die wichtigsten Eingaben jeder Prozessanalyse mit dem Excel-Tool. Hier wird die ID vergeben und die Aktion benannt (z. B. „1.1 Produktionsplanung“). Anschließend wird die Art des Eintrags spezifiziert, wobei

folgende Optionen möglich sind: *ARCH. ACTION* (archetypischer Ablauf, s. u.), *CUSTOM ACTION* (nicht-archetypischer Ablauf, ebenfalls s. u.), *PROCESS(CHAIN)* (Prozess bzw. Prozesskette und *GATEWAY* (Verzweigung). Der übliche Fall ist *ARCH. ACTION* bzw. *CUSTOM ACTION*, während *PROCESS(CHAIN)* impliziert, dass es sich bei dem gegebenen Eintrag nicht um eine einzelne Aktion, sondern um einen ganzen Prozess (mehrere Aktionen) oder sogar eine Prozesskette (mehrere Prozesse) handelt. Über dieses Konstrukt lassen sich auch größere Prozesswelten mit mehreren Gliederungsebenen komfortabel abbilden. *GATEWAY* steht für Elemente, in denen Prozesse sich in eine oder mehrere von verschiedenen möglichen Richtungen verzweigen (klassisch: „Wenn-Dann-Sonst“) und wieder zusammengeführt werden können. Direkt im Anschluss ist in A10 der *ACTION TYPE* (ein String, der ‚menschenslesbar‘ die eigentliche Aktion beschreibt, also z. B. „Wareneingang | Prüfung Lieferschein“ mit der entsprechenden ID) anzugeben, sofern es sich bei dem Eintrag entweder um eine *ARCH. ACTION* oder eine *CUSTOM ACTION* handelt. Praktisch handelt es sich dabei um ein Dropdown-Feld, das auf den jeweiligen Katalog zugreift und sämtliche Einträge aus dem *ACTION CATALOGUE* auflistet, aus denen einer auszuwählen ist. Direkt im Anschluss findet sich noch ein *VALIDATION*-Feld, das prüft, ob der ausgewählte Eintrag im Katalog zu finden ist.

A12 CLUSTER & A21 ACTION OCCURENCE: Üblicherweise laufen die Aktionen in einer vorgegebenen Reihenfolge ab. Insbesondere in Entscheidungs- und Dienstleistungsprozessen kann es jedoch vorkommen, dass die erforderlichen Aktionen insgesamt abgeschlossen sein müssen, dies aber nicht zwingend in einer bestimmten Reihenfolge geschehen muss. Für solche Fälle wird in A12 abgefragt, ob die Aktion *ELEMENT OF CLUSTER?* ist, also einem „Cluster“ aus Aktionen angehört. Wenn ja, erhält dieses Cluster im folgenden Feld eine *CLUSTER ID*. Im weiteren Verlauf werden alle Aktionen mit derselben Cluster-ID für verschiedene Operationen (z. B. Festlegung von Folgeaktionen) als eine einzelne Aktion behandelt. Aktionen können zudem einen unterschiedlichen Zeithorizont aufweisen. Für dessen Erfassung wird in A21 die *ACTION OCCURENCE* abgefragt (Optionen: *CONTINUOUS*, *RECURRING*, *LIMITED*, *ONE-TIME* – kontinuierlich, wiederholend, begrenzt, einmalig), wobei der Regelfall *RECURRING* ist, also eine sich in dieser Form beständig wiederholende, aber nicht kontinuierliche Aktion. Bei

der Angabe von *LIMITED* wird zusätzlich die Art der Limitierung abgefragt, z. B. Anzahl der Wiederholungen vor Beendigung der Aktion.

A22 GATEWAY & A23 & A24 PREVIOUS & NEXT: Alle Aktionen haben einen Vorgänger und einen Nachfolger. Zur Herstellung dieser Beziehung werden in A23 das *PREVIOUS ELEMENT* (Vorgängerelement bzw. Vorgängeraktion; mehrere Vorgänger sind möglich) und das *NEXT ELEMENT* (Nachfolgeelement bzw. Nachfolgeaktion; mehrere Nachfolger sind prinzipiell möglich, sollten aber über das Konstrukt des „Gateways“ angesteuert werden) abgefragt, welche jeweils *ACTION ID* und / oder *CLUSTER ID* erwarten. Hierüber entstehen schlussendlich die zusammenhängenden Aktions- bzw. Prozessketten. Handelt es sich bei dem aktuell bearbeiteten Eintrag um ein *GATEWAY*, dann wird in A22 der *GATEWAY TYPE* abgefragt (Optionen: *XOR*, *OR*, *AND*, *XOR EVENT*, *AND EVENT* – exklusives Oder, Oder, Und, Ereignis-ausgelöstes exklusives Oder, Ereignis-ausgelöstes exklusives Und). Anschließend können in A24 bis zu vier Varianten (nach welcher Bedingung welche Aktion folgt) als „Ausgänge“ des Gateways definiert werden. Bei einem zusammenführenden Gateway findet eine solche Ausdifferenzierung nicht statt, stattdessen verfügt dieses Gateway schlichtweg über mehrere Vorgänger.

A80-82 ROLE, SKILL, EXPERIENCE: Schlussendlich werden auch die für die Durchführung der Aktion erforderlichen Personen in A80 eingetragen, da diese vielfach ein Schlüsselement des Prozesserfolgs sind. Im Mittelpunkt hierbei steht die Abfrage, welche Personen in welchen Rollen (z. B. „Produktionsleitung – Backwaren – Industrie“; die Rollen sind im Katalog hinterlegt) und welche Anzahl Personen je Rolle für die Aktion erforderlich sind. Mit den Rollen wird immer ein bestimmtes Set an Fähigkeiten und Erfahrungen impliziert (z. B. „Fachkraft Lagerlogistik“ mit den üblicherweise mit dieser Rolle assoziierten Fähigkeiten und Erfahrungen), dennoch können für bestimmte Aktionen weitere Fähigkeiten erforderlich sein, die über den ‚Standard‘ hinausgehen (z. B. die Fähigkeit zur Führung und Freigabe für Benutzung eines Gabelstaplers oder die Zertifizierung nach bestimmten Kriterien, etwa HACCP); diese werden entsprechend in A81 abgefragt. Zusätzlich ist es möglich, in A82 allgemeine ‚Erfahrungsschätze‘ zu definieren, die für die Rolle erforderlich sind, z. B. „Abitur“ oder „Kauffrau / -mann“, um die Frage nach dem erforderlichen Personal mit noch mehr

Kontext anzureichern. Der Abfrageblock A80-82 ist für AKRIMA von zentraler Bedeutung, da er die agentenbasierte Sozialsimulation mit der Prozesssimulation verknüpft: Nur wenn in den Prozessen die erforderlichen Rollen, Fähigkeiten und Erfahrungsstufen bekannt sind, ist feststellbar, ob in der jeweils gegebenen Situation auch die dafür erforderlichen Personen, inkl. einer Betrachtung möglicher ‚Ersatzpersonen‘ verfügbar sind und der Prozess entsprechend – zumindest aus dieser Betrachtungsrichtung – durchführbar ist.

B00 INPUT RESOURCE: Ebenso wie in AKRIMA jede Aktion zwingend mindestens einen Vorgänger und einen Nachfolger hat, hat jede Aktion auch mindestens einen Input (Ressourcen – abgesehen von Personal, da bereits zuvor erfasst – die für einen Prozess erforderlich sind) und einen Output (Prozessergebnisse unterschiedlicher Art). Zunächst werden in B00 sämtliche erforderlichen Inputs aufgenommen, die sich aus dem *RESOURCE CATALOGUE* speisen. Die TH Wildau verfolgte hierbei grundsätzlich einen Vollständigkeitsansatz, was zu einer großen Varianz möglicher Inputs führen kann (z. B. „Transportflugzeug“, „Hebebühne“, „Transportauftrag“, „Weizenbrotteigling“, „Wasser“, „Strom“ oder „PC mit Systemanbindung“), die sonst oftmals nicht (dezidiert) betrachtet werden. Der einfache Hintergrund ist, dass auch viele ‚unbedeutende‘, leicht übersehbare oder ‚als generell gegeben angenommene‘ Inputs (z. B. Drucker, Smartphone, Papier) bei ihrem Fehlen den Prozesserfolg beeinträchtigen können und deren Betrachtung im Resilienzkontext daher grundsätzlich sinnvoll ist.

B10 USAGE MODE: Anschließend wird in B10 für jeden Input der relevante *USAGE MODE* vermerkt, im Grunde also die Art des Inputs definiert. Dabei gilt:

- Inputs der Art *USE* werden in der Aktion ‚gebraucht‘, sind also dafür erforderlich und werden verwendet, aber nicht verbraucht (insbesondere Maschinen und Anlagen).
- Inputs der Art *CONSUME* werden in der Aktion ‚verbraucht‘, sind also erforderlich und gehen entweder direkt (als Vorprodukt, z. B. Mehl > Brot) oder indirekt (als Hilfs- oder Betriebsstoff, z. B. Strom) in einen oder mehrere Outputs ein.
- Inputs der Art *BASE* sind eine Sonderform von *CONSUME*-Inputs; hier kann spezifiziert werden, dass diese Inputs als ‚Basis‘ fungieren, zu der andere Inputs

hinzugefügt werden (z. B. in der Montage von Autotüren könnte die Tür selbst als *BASE*, der anzubringende Handgriff als *CONSUME* deklariert werden). Systemseitig werden *CONSUME* und *BASE* identisch behandelt, diese Unterscheidung ist eher dafür gedacht, die Nachvollziehbarkeit für Nutzende zu erhöhen.

- Inputs der Art *PERMISSION* müssen ‚vorliegen‘. Sie werden für die Aktion weder gebraucht noch verbraucht, sind aber aus unterschiedlichen Gründen (insb. Compliance, Einhaltung von Zertifizierungsrichtlinien) erforderlich.
- Inputs der Art *TRANSIT* sind eine Sonderform von *USE*-Inputs und geben an, dass diese Inputs in unterschiedlicher Form für den Transport anderer Inputs von A nach B genutzt werden (z. B. Straße, Europalette). Ähnlich wie im Falle *BASE* werden *USE* und *TRANSIT* systemseitig identisch behandelt, die Unterscheidung dient auch hier eher dem Bediener (um z. B. leichter zu überprüfen, ob einer Transportaktion auch die notwendigen Inputs zugeordnet sind).

Diese gesonderte Abfrage ist notwendig, da die Inputs mit ihrer Bezeichnung durch Menschen zwar in der Regel direkt klassifiziert werden können (z. B. ist klar, dass ein Produktionsplan für die Produktion erforderlich ist, aber durch die Produktion selbst nicht verbraucht wird), dies in der automatischen, maschinellen Verarbeitung aber nicht der Fall ist und daher besonders spezifiziert werden muss.

C00 OUTPUT ELEMENT & C10 OUTPUT TYPE: Teilweise analog zu den Inputs werden die Outputs einer Aktion gehandhabt. Auch hier wird in C00 zunächst das *OUTPUT ELEMENT* aus dem *OUTPUT CATALOGUE* ausgewählt, wobei auch hier die Varianz (z. B. „Weizenbrotteig“, „Abschluss der Planung“, „Rezeptur“, „Lieferschein“, „Produktionsplan“) groß sein kann. Da, wie auch bei den Inputs, aus der Outputbezeichnung selbst (noch?) nicht maschinenverständlich die Outputart (Outputs im Sinne von AKRIMA können nicht nur Produkte und Leistungen, sondern auch Ereignisse bzw. Veränderungen sein) herausgelesen werden kann, wird diese in C10 abgefragt. Dabei gilt:

- Outputs der Art *RESOURCE* sind physisch handhabbar und können als Inputs in nachfolgende Aktionen eingehen. Hier finden sich vorwiegend die ‚klassischen‘ Produktionsergebnisse, aber auch Ergebnisse von Planungen.
- Outputs der Art *RESOURCE PLACE CHANGE* markieren den Übergang einer Ressource von einem Ort zu einem anderen. Die Ortsveränderung kann auch in einer separaten Transportaktion dargelegt werden, teilweise ist das aber nicht unbedingt gerechtfertigt (z. B. wenn ein Produkt von einer Maschine unmittelbar per Förderband zur nächsten Maschine befördert wird).
- Outputs der Art *POTENTIAL* sind Ressourcen, die von nachgelagerten Aktionen verwendet werden können, bei denen zum Zeitpunkt der Erstellung diese Verwendung aber nicht unmittelbar klar ist (z. B. Entwicklung eines Produkts ohne unmittelbaren Übergang in Testreihen oder Produktion). Diese Outputart ist rar.
- Outputs der Art *CHANGE INDICATION* sind Outputs, die eine Veränderung signalisieren. Ein klassisches Beispiel wäre ein Indikator, der bei Abschluss eines bestimmten Prozesses umspringt. Die Art von Outputs ist insbesondere dort relevant, wo zahlreiche Holpflichten bestehen und / oder Prozesse nicht unmittelbar verkettet sind, also Indikatoren wichtig sind, um bspw. zu erkennen, ob ein Input bereitsteht oder nicht und ob der Prozess dementsprechend weitergehen kann.
- Outputs der Art *UNDESIRED* sind Outputs, die in der Aktion entstehen, aber idealerweise nicht entstehen sollten (z. B. Ausschuss, Abgase, Verschmutzung). In dieser Outputart können also unerwünschte Outputs erfasst werden, die klassische Ansatzpunkte für die Optimierung darstellen. Allerdings wurde diese Art in den Analysen praktisch bisher nicht verwendet, da auf die Betrachtung unerwünschter Outputs aus Gründen der Vereinfachung und mit Blick auf die Kernprojektziele verzichtet wurde.

D20-22 „X“ CHANGE: Hier werden Möglichkeiten der Anpassung von Aktionen abgefragt:

- *D20 OUTPUT CHANGE:* Veränderter Output der Aktion, z. B. Produktion von Roggenbrot statt Weizenbrot. Veränderter Output erfordert in aller Regel auch einen veränderten Input.

- *D21 INPUT CHANGE*: Veränderter Input im Sinne einer Substitution, bei der das Endprodukt (weitgehend) unverändert bleibt. In der Praxis gibt es jedoch nur relativ wenige Fälle, in denen eine Substitution von Eingangsprodukten auf diese Art möglich ist. Vielfach ist die Substitution sogar explizit nicht möglich, da in zahlreichen Branchen die Produkte spezifisch zusammengesetzt sind (fest definierte Zutaten bzw. Eingangsprodukte), die Produktion selbst nur begrenzt flexibel ist (bspw. vordefiniert durch die Art und Anzahl der verfügbaren Werkzeuge und Maschinen) und auch die Regulierung dem entgegenstehen kann (für AKRIMA z. B. konkret der Fall bei den betrachteten Ketten „Schutzausrüstung“ und „Medizinprodukte“, die weitgehend zulassungspflichtig sind, was eine schnelle Substitution quasi ausschließt).
- *D22 PATHWAY CHANGE*: Abweichungen in den Arbeitsschritten, aber nicht (oder nur minimal) bei Inputs und Outputs. Ein *PATHWAY CHANGE* wäre z. B. die Nutzung einer anderen Fahrtstrecke für den Transport (in der Tat ist D22 der übliche Change Vector für Logistikprozesse). Dafür kann eine andere Transportplanung erforderlich sein, was nominell auch ein anderer Input wäre, im Sinne der Change Vectors aber nicht als solcher betrachtet wird, da er ohne besonderen (zusätzlichen) Aufwand entsteht (ggf. erneuter Planungsdurchlauf) und sich auch benutzte Schnittstellen und Übergabepunkte nicht oder nur minimal ändern (in diesem Fall wird weiterhin eine Transportplanung an die Folgeaktionen übergeben, deren Inhalt ist nur ein anderer).

In D20-22 werden konkrete IDs von sogenannten „**Prozessalternativen**“ erwartet. Eine Prozessalternative ist eine alternative Variante eines herkömmlichen Prozesses; so existieren etwa im Fall „Bäckerei“ Prozessalternativen für die Produktion, bei denen Roggenmehl statt Weizenmehl als Input verwendet wird und entsprechend Roggenbrot statt Weizenbrot den Output darstellt. Nach ähnlichem Muster gibt es einen Prozess für die Beschaffung bei den Lieferanten, der über eine Alternative verfügt, bei der zunächst die nicht mehr verfügbaren Lieferanten ausgeschlossen werden. Prozessalternativen sind dafür gedacht, ihre jeweiligen ‚Originale‘ im Bedarfsfall zu ersetzen. Sie können in AKRIMA auf zwei verschiedene Arten entstehen: Sie sind entweder vordefiniert und ergeben sich in diesem Fall aus den Untersuchungen mit den Praxispartnern oder sachlogischen Prozesszusammenhängen. Oder

sie werden im Rahmen der Simulation und Optimierung ad hoc generiert. Die Prozessalternativen stehen in engem Zusammenhang mit den KRM und werden im Bericht „Krisenreaktionsmechanismen“ genauer betrachtet.

Exkurs: Nomenklatur

Die einzelnen Elemente der Prozessanalyse - A10, B20, C60 & C61 usw. - folgen einer auf den ersten Blick seltsamen Nomenklatur. Diese ist ein Resultat der bereits früh im Projekt durchgeführten Überlegungen zu den Elementen der durchzuführenden Resilienzanalyse, die zunächst einem ‚Maximalansatz‘ folgten, also so strukturiert waren, dass alle für den Untersuchungsgegenstand in AKRIMA relevanten Aspekte abgedeckt waren (für einen Eindruck siehe Abbildung 22. Dazu gehörten:

- Block „A“: Action Description, z. B. „A10 Action Description“, „A20 Action Type“
- Block „B“: Input Mapping, z. B. „B10 Input Resources“, „B20 Usage Mode“
- Block „C“: Output Mapping, z. B. „C10 Output Elements“, „C20 Output Type“
- Block „D“: Change Vector Definition, z. B. „D10 Change Vectors“, „D11 Substitution Pathways“
- Block „E“: Change Action Planning, z. B. „E10 Change Projects“, „E20 Intended Change Level“
- Block „F“: Variation Handling Planning, z. B. „F10 Inflow Variation“, „F11 Likelihood of Variation“
- Block „G“: Change Detection Planning, „G10 Change Detection Targets“, „G20 Change Detection Approach“
- Block „H“: „Change Detection Action & Change Evaluation, z. B. „H10 Deviation Log“, „H20 Characteristic“

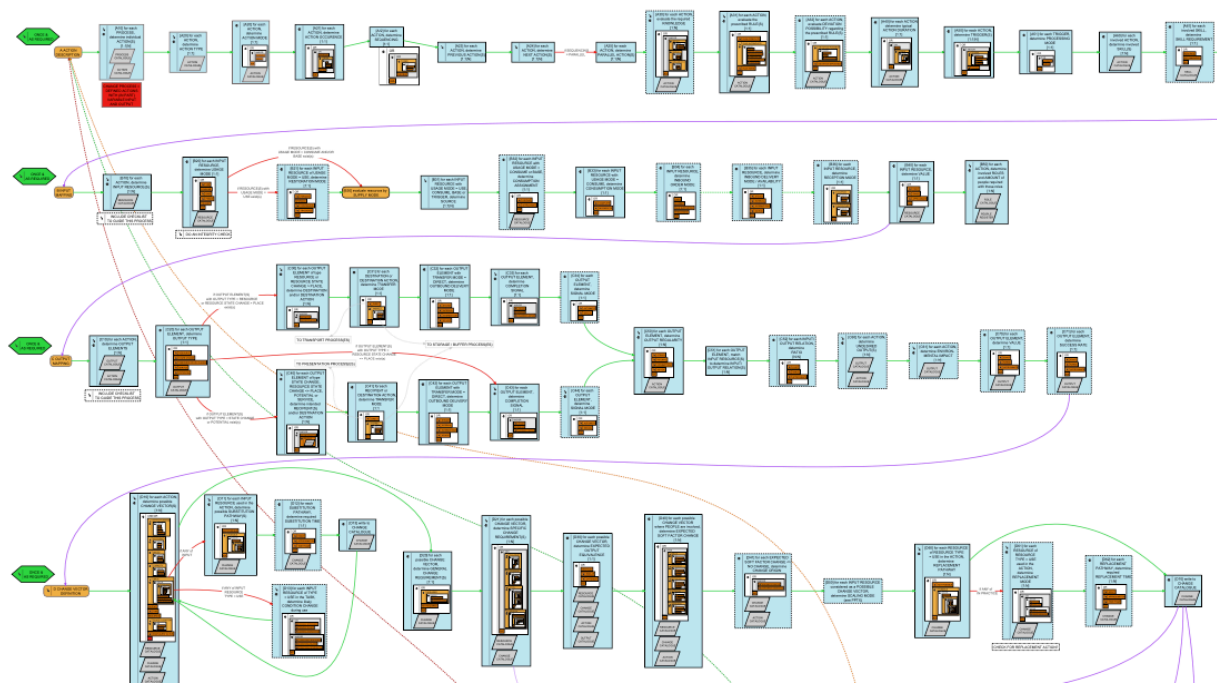


Abbildung 22: Ausschnitt aus dem ursprünglichen Maximalansatz der AKRIMA-Methode.

Dabei waren einzelne Elemente analog der Standardnotation von Prozessschritten in der Dokumentation benannt worden, wobei Prozessschritt 1 nicht die „1“, sondern die „10“ zugewiesen wird, Prozessschritt 2 nicht die „2“, sondern die „20“ usw.; dadurch können 1) leicht zusammenhängende Bereiche kenntlich gemacht und 2) Zwischenschritte (11, 12, 13, ...) eingefügt werden, ohne die übergeordnete Reihenfolge anpassen zu müssen. Bei späteren Überarbeitungen, bei denen sich das Modell teils stark veränderte, wurde auf Grund der Anzahl der einzelnen Analyseelemente der Methode (phasenweise wurden mehr als 100 Sachverhalte diskutiert) die Nomenklatur nur in wenigen Bereichen angepasst, wodurch die jetzige Benennung nach bspw. „C30“ möglicherweise nicht intuitiv ist. Dies hat aber keinen Einfluss auf die Analysequalität.

Einschub: Warum Englisch?

Excel-Tool und Katalog sind auffälligerweise in Englisch abgefasst. Das hat einfache Gründe: Erstens ist Englisch der de-facto-Standard in der Programmierung (abgesehen von der Syntax der Programmiersprache selbst), bspw. bei der Benennung von Variablen, selbst bei Nicht-Muttersprachler:innen. Zweitens beschäftigen zahlreiche Unternehmen auch Entscheidungs-

und Kompetenzträger:innen, die Deutsch nicht als ‚Hauptsprache‘ nutzen; zudem ist Englisch ‚Amtssprache‘ selbst in manchen Unternehmen mit Sitz in und Herkunft aus Deutschland. Drittens ist Englisch die ‚lingua franca‘ im Themenfeld Resilienz, sodass die teilweise englische Ausführung auch als förderlich für die spätere Verwertung bewertet wurde. Von einer nachträglichen Übersetzung ins Deutsche wurde abgesehen, allerdings wurden die eigentlichen Einträge im Rahmen der Analyse (z. B. von Aktionen und Ressourcen, ebenso die Inhalte der Kataloge) auf Deutsch vorgenommen.

Umsetzung des Archetypenansatzes

Die Prozessanalyse via Excel ist für die modulare Benutzung umgesetzt. In den ersten Versionen wurden alle Eintragungen noch in einer einzelnen Datei vorgenommen, jedoch wurde bei näherer Analyse festgestellt, dass die Datei dadurch mit zunehmenden Einträgen nicht nur schwer bedienbar, sondern auch die Einbindung von Prozessalternativen erschwert wird. In der späteren, aktuellen Version wurde daher dazu übergegangen, die Aktionen und Prozesse in einzelne Dateien auszulagern und diese miteinander zu verketteten.

Diese Verkettung hat zwei wesentliche Elemente: Das erste Element ist die Unterscheidung zwischen Prozessen bzw. Prozessketten und Aktionen, die zuvor nicht weiter oben erläutert wurde. Das zweite Element ist die Systematik der individuellen IDs und der Umstand, dass jede Eintragung (Aktion, Prozess, ...) im Rahmen der Analyse einen Vorgänger und Nachfolger hat. Praktisch wird dadurch eine Verschachtelung der Einträge realisiert.

Beispiel: Für die Fallstudie „Bäckerei“ ist eine rudimentäre Prozesskette „Brot- und Backwaren“ (ID: BRBW, Datei: BRBW.xlsx) mit folgenden Teilelementen definiert:

- Getreideproduktion
- Mehlproduktion
- Produktion von Brot- und Backwaren
- Verkauf von Brot- und Backwaren

Diese vier Elemente sind jeweils als *PROCESS(CHAIN)* eingetragen, folgen aufeinander (Getreideproduktion gefolgt von Mehlproduktion usw.; siehe Abbildung 23) und verweisen auf

Unterelemente. Zunächst wurde für die Simulation nur die „Produktion von Brot- und Backwaren“ betrachtet; der Eintrag verweist auf die ID „BRBW.BACK“, wobei „BACK“ (für ‚Bäckerei‘) durch die in der ID bereits ersichtliche Verkettung als Teilprozess von „BRBW“ (für ‚Brot- und Backwaren‘) ausgewiesen ist.

A00				
ID 1 (PROCESS)	ID 2 (ACTION)	RESULTING ID	DESCRIPTION	TYPE
1	10	1.10	Getreideproduktion	PROCESS(CHAIN)
2	10	2.10	Mehlproduktion	PROCESS(CHAIN)
2	20	2.20	Produktion von Brot- und Backwaren	PROCESS(CHAIN)
2	30	2.30	Verkauf von Brot- und Backwaren	PROCESS(CHAIN)

Abbildung 23: Grobdefinition der Bäckerei-Prozesskette im Bäckerei PoC.

Zu der ID „BRBW.BACK“ existiert eine separate Datei („BRBW.BACK.xlsx“), in welcher wiederum die Teilprozesse der Bäckerei gelistet sind. Diese umfassen etwa:

- Produktionsplanung
- Bedarfsermittlung
- Auswahl Lieferanten
- Bestellung
- Transport durch Lieferanten
- Wareneingang

Ab dieser Ebene werden in der Fallstudie die Prozesse als Aktionen betrachtet und ihnen ein *ACTION TYPE* zugeordnet, z. B. „BRBW.BACK.PRPL | Brot- und Backwaren | Bäckerei | Produktionsplanung“ für die Produktionsplanung (siehe Abbildung 24). Über den *ACTION TYPE* und die darin enthaltende ID ergibt sich die Verknüpfung zu der Datei „BRBW.BACK.PRPL.xlsx“. Daraus entsteht eine durchgehende Kette: BRBW verweist (u.a.) auf BRBW.BACK, welches (u.a.) auf BRBW.BACK.PRPL verweist, wobei für jedes dieser Elemente eine eigene Datei existiert. Diese Modularisierung führt zwar zu sehr vielen Einzeldateien (die alle auf einer identischen Master-Datei basieren, um die Kompatibilität abzusichern), ist aber insgesamt besser bedienbar, als wenn alle Einträge in einer Datei vorgenommen werden würden. Viel wichtiger ist jedoch die gut abbildbare Interaktion mit den Prozessalternativen.

ACTION TYPE			
BRBW.BACK.PRPL	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Produktionsplanung
BRBW.BACK.BEDE	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Bedarfsermittlung
BRBW.BACK.ALIE	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Lieferantenauswahl
BRBW.BACK.BEST	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Bestellung
BRBW.BACK.TRLI	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Transport durch Lieferanten
BRBW.BACK.WARE	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Wareneingang
BRBW.BACK.STPR	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Stichprobenprüfung Labor
BRBW.BACK.EINL	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Einlagern
BRBW.BACK.WIEG	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Wiegen
BRBW.BACK.MISH	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Mischen
BRBW.BACK.KNET	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Kneten
BRBW.BACK.GAER	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Gären
BRBW.BACK.SCHN	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Schneiden
BRBW.BACK.GEHL	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Gehen lassen
BRBW.BACK.BACK	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Backen
BRBW.BACK.KUEH	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Kühlen
BRBW.BACK.VERP	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Verpacken
BRBW.BACK.BSER	Brot- und Backwaren	Bäckerei	Bestellerfassung

Abbildung 24: Einblick in die Aktionen von BRBW.BACK im Bäckerei PoC.

Beispiel: Es sei die Aktion „Einlagern“ gegeben, welche die ID „BRBW.BACK.EINL“ aufweist und in einer entsprechend benannten XLSX-Datei beschrieben ist. In EINL wird Weizenmehl eingelagert; es existiert aber eine Prozessalternative („BRBW.BACK.EINL.AA“), in welcher Roggenmehl anstatt Weizenmehl eingelagert wird, anderweitig sind die Aktionen identisch. Diese Prozessalternative wird wie folgt ‚aktiviert‘: In der Simulation (Fall: kein Weizenmehl verfügbar) wird beim Durchlauf der Prozesse festgestellt, dass diese Stoppen müssten, weil kein Weizenmehl verfügbar ist. Allerdings wird erkannt, dass für die Einlagerung eine Alternative zur Verfügung steht, die auf Roggenmehl ausgelegt und damit quasi noch ‚gültig‘ ist (denn diese ist als Change Vector hinterlegt). Systemseitig wird dann die Prozessalternative ‚aktiviert‘, indem BRBW.BACK.EINL in der Verarbeitung gegen BRBW.BACK.EINL.AA ausgetauscht wird. Gedanklich kann man sich das etwa wie das Ein- und Aushängen von Teilelementen vorstellen.

Hinzu kommt ein weiteres Konstrukt, was diesen Prozess vereinfacht, den Aufwand reduziert und den oben erläuterten Ansatz der archetypischen Abläufe umsetzt - die Unterscheidung zwischen „ARCH. ACTION“ (archetypischer Ablauf bzw. archetypische Aktion) und „CUSTOM ACTION“ (individueller Ablauf bzw. individuelle Aktion). Dabei stellt ARCH. ACTION immer die unterste Ebene dar: Wird auf diese Ebene bzw. Datei verwiesen, dann liest

das System sämtliche Einträge in der Datei aus und nimmt diese quasi als Datengrundlage. Übergeordnete Ebenen können diese Einträge ergänzen oder überschreiben.

Beispiel: BRBW verweist auf BRBW.BACK, das wiederum auf BRBW.BACK.EINL verweist. In BRBW.BACK.xlsx ist BRBW.BACK.EINL als CUSTOM ACTION definiert und verweist - automatisch durch die ID auf BRBW.BACK.EINL.xlsx. In BRBW.BACK.EINL.xlsx gibt es nur eine Aktion, nämlich BRBW.BACK.EINL selbst, die hier aber als ARCH. ACTION definiert ist und quasi auf sich selbst referenziert. Damit ist BRBW.BACK.EINL.xlsx die unterste Ebene und das System liest von hier alle Daten aus, bspw. zum verwendeten Regalbediengerät. Sollte jetzt aber in BRBW.BACK (also eine Ebene höher) für BRBW.BACK.EINL ein anderes Regalbediengerät hinterlegt sein, so würde jener Eintrag den Originaleintrag aus BRBW.BACK.EINL.xlsx überschreiben. Datenseitig wird dann wie folgt aggregiert:

1. Daten aus BRBW.BACK.EINL
2. Überschrieben oder ergänzt durch Daten aus BRBW.BACK
3. Überschrieben oder ergänzt durch Daten aus BRBW

Diese Systematik klärt eindeutig, wo die relevanten Daten zu finden sind und nach welchen Regeln sie überschrieben oder ergänzt werden. Sie erleichtert auch den Umgang mit den Prozessalternativen.

Beispiel: BRBW verweist auf BRBW.BACK, das wiederum auf BRBW.BACK.EINL verweist. In BRBW.BACK.xlsx ist BRBW.BACK.EINL als CUSTOM ACTION definiert und hat eine Prozessalternative BRBW.BACK.EINL.AA (Verwendung von Roggenmehl statt Weizenmehl), die über ihre ID auf BRBW.BACK.EINL.AA.xlsx verweist. BRBW.BACK.EINL.AA verweist wiederum ‚zurück‘ auf BRBW.BACK.EINL, aber als CUSTOM ACTION, und in den Inputs findet sich nun das Roggenmehl statt dem Weizenmehl. Systemseitig wird das wie folgt gehandhabt: Bei der Simulation wird festgestellt, dass BRBW.BACK.EINL nicht durchführbar ist; die Aktionskette ... BRBW.BACK.STPR (Stichprobenprüfung Labor) > BRBW.BACK.EINL (Einlagern) > BRBW.BACK.WIEG (Wiegen) ... würde abreißen. Durch die Prozessalternative wird BRBW.BACK.EINL durch BRBW.BACK.EINL.AA ersetzt, die Aktionskette lautet nun also: ... BRBW.BACK.STPR > BRBW.BACK.EINL.AA (Einlagern Alternative A) >

BRBW.BACK.WIEG Betrachtet man nun BRBW.BACK.EINL.AA genauer, ergibt sich die schlussendliche Prozesskette als: ... BRBW.BACK.STPR > BRBW.BACK.EINL.AA (> BRBW.BACK.EINL, allerdings mit Roggen- statt Weizenmehl) > BRBW.BACK.WIEG

Datenseitig wird dann wie folgt aggregiert:

1. Daten aus BRBW.BACK.EINL
2. Überschrieben oder ergänzt durch Daten aus BRBW.BACK.EINL.AA
3. Überschrieben oder ergänzt durch Daten aus BRBW.BACK
4. Überschrieben oder ergänzt durch Daten aus BRBW

Notation

Anmerkung: Die Notation wurde im AKRIMA eher eingeschränkt tatsächlich genutzt (vor allem in der Phase des Verstehens und der Diskussion der Prozesse, nicht aber auf der schlussendlich relevanten Informationsebene), wurde aber im Demonstrator wieder aufgegriffen und wird hier deshalb kurz vorgestellt.

Die Abbildung der Prozesse über eine grafische Notation zur Visualisierung von Prozessen wurde auch in AKRIMA umgesetzt. Dabei wurde ‚das Rad nicht neu erfunden‘, sondern auf bestehender Good Practice aufgesetzt. Konkret nutzen Unternehmen für die Prozessdarstellung zumeist BPMN (Business Process Model and Notation; Anbieter bzw. Entwickler: Object Management Group); es gibt Alternativen (z. B. EPK, ‚klassische‘ Flussdiagramme), aber BPMN kann - zumindest in komplexeren Umfeldern - als de-facto-Standard angesehen werden. BPMN zeichnet sich durch eine gut skalierbare Komplexität aus: Bereits Grundkenntnisse und wenige Elemente reichen aus, um einfache Prozesse verständlich zu modellieren, während Expert:innen mit BPMN gleichzeitig ein ausreichend mächtiges Werkzeug haben, um auch hochkomplexe Prozesse darzustellen. Wesentliche Grundlagen der weitverbreiteten Nutzung sind a) die umfangreiche Dokumentation der Elemente und Zusammenhänge, b) die Verfügbarkeit vieler unterschiedlicher Werkzeuge zur digitalen Modellierung mit BPMN (erreicht durch eine technische Spezifikation, wie ‚BPMN-Tools‘ systemseitig umzusetzen sind; es existieren zahlreiche Softwarelösungen, die BPMN-Diagramme zur weiteren Verwendung importieren können und / oder die Modellierung damit ermöglichen) und c) ein regelrechtes ‚Ökosystem‘ rund um BPMN mit ergänzenden Modellen (z. B. „Decision Model and Notation“, DMN, vom selben Anbieter) sowie zahlreichen Workshops, Arbeitsmaterialien und Schulungen von Dienstleistern; diese Elemente verstärken sich in ihrer Wirkung gegenseitig.

Gleichzeitig ist BPMN mit Blick auf die Resilienz von Unternehmen weder generell, noch für AKRIMA ein ‚Allheilmittel‘. Dies liegt ironischerweise gleichzeitig an der fehlenden und übertriebenen Komplexität von BPMN: Fehlende Komplexität, weil der Fokus von BPMN auf den eigentlichen Abläufen und Interaktionen liegt, während z. B. Ressourcen und Fähigkeiten - wichtige Resilienzelemente - keine Rolle spielen; übertriebene Komplexität, weil BPMN

zahlreiche Elemente und Bildungsregeln besitzt, die für denselben Anwendungsfall - Resilienz - keine oder eine untergeordnete Rolle spielen. Vor diesem Hintergrund wurde BPMN zur Nutzung in AKRIMA sowohl reduziert, als auch erweitert: Dabei erfolgte die Reduktion auf der Ebene der nutzbaren Modellierungs- / Systemelemente, diese wurden jedoch gleichzeitig um resilienzspezifische Aspekte erweitert.

Die Notation umfasst mehrere Elementtypen: Ereignisse, Aktionen, Pools / Lanes, Sequenzflüsse und Gateways. Bei den **Ereignissen** (siehe Abbildung 25) wird zwischen folgenden Elementen unterschieden:

Element	Bezeichnung	Bedeutung
	Startereignis	Ein Ereignis, das den Prozess bzw. die Aktionskette startet.
	Zwischenereignis	Ein Ereignis, das als Ergebnis einer Aktion eintritt und eine Folgeaktion startet.
	Endereignis	Ein Ereignis, das den Prozess bzw. die Aktionskette beendet.

Abbildung 25: "Ereignisse" der AKRIMA-Notation.

Ereignisse sind rein formell gesehen nicht erforderlich, insbesondere nicht für Personen, die mit dem betrachteten Prozess gut vertraut sind. Es bietet sich dennoch an, mindestens Start- und Endereignis, aber auch Zwischenereignisse anzugeben, um genau zu spezifizieren, welche Ergebnisse sich aus bestimmten Handlungen (Prozessschritte bzw. Aktionen) ergeben, wodurch der ‚Fluss‘ in einem Prozess leichter nachvollzogen werden kann (auf Kosten einer etwas ‚aufgeblähten‘ Darstellung). Bei den **Aktionen** (siehe Abbildung 14) wird unterschieden in:

Element	Bezeichnung	Bedeutung
	Archetypische Aktion	Eine Aktion, die archetypisch beschrieben ist. Sie weist Standardwerte und -angaben auf.
	Aktion	Eine Aktion, die nach der AKRIMA-Methode zur Prozesserhebung analysiert und eingehend beschrieben ist. Sie weist Individualwerte und -angaben auf.

Abbildung 14: "Aktionen" der AKRIMA-Notation.

Hier wurde eine Komplexitätsreduktion vorgenommen und nur das BPMN-Element „Task“ verwendet (BPMN kennt noch „Sub Process“ und „Call Activity“, „Task“ ist aber üblicherweise das bedeutendste Element dieser Gruppe), allerdings ergänzt um einen Indikator, der eine Aussage über die verfügbare Datenbasis trifft. Eine Aktion ohne unten mittig stehendes „+“ ist ein archetypischer Ablauf, d.h. es ist eine Aktion (ein Prozess, ...), zu der nur Standardwerte vorliegen, die von der Realität abweichen können. Eine Aktion mit unten mittig stehendem „+“ und einem links eingehenden sowie rechts ausgehenden Dreieck ist hingegen kein archetypischer Ablauf (in der Excel-Logik eine *CUSTOM ACTION*), also eine Aktion (ein Prozess, ...), zu der Werte aus der Realität vorliegen. In der Praxis von AKRIMA herrschen archetypische Abläufe vor, da die Unternehmen keine Prozessdetaildaten freigeben haben. Die nächsten Elemente sind **Pools / Lanes** und **Sequenzflüsse** (siehe Abbildung):

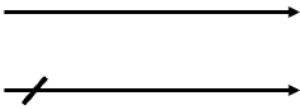
Element	Bezeichnung	Bedeutung
	Pool / Lane	Ein Pool repräsentiert eine Organisation, eine Lane repräsentiert eine untergeordnete Organisationseinheit. Pools können Lanes enthalten, aber auch für sich allein stehen. In AKRIMA können Lanes frei gewählt werden, empfohlen wird aber einer organisatorisch-räumliche Verortung, z. B. „Wareneingang“ oder „Vorproduktion“, nicht die Zuweisung der Lanes zu bspw. konkreten Rollen oder Personen.
	Sequenzfluss und Sequenzfluss (Standardauswahl)	Ein Sequenzfluss markiert die Abfolge der Aktionen. Es wird nicht zwischen Informations- und Materialfluss unterschieden. Ein Sequenzfluss (Standardauswahl) kann nach Gateways angegeben werden, um den Standardfluss der Aktionen zu markieren.

Abbildung 27: "Pools, Lanes & Sequenzflüsse" der AKRIMA-Notation.

Bei Pools und Lanes handelt es sich nicht um funktionale, sondern rein visuelle Elemente, die dem Verständnis aber sehr förderlich sind: In den Kernelementen von BPMN (Tasks / Processes, Flüsse) spielen die ausführenden Personen bzw. Organisationseinheiten eine untergeordnete Rolle, mit Pools und Lanes lassen sich diese jedoch gut darstellen. In der Darstellung ergeben sich dadurch verwinkelte, aber dennoch gut lesbare Prozesslandkarten (siehe untenstehendes Beispiel). Pools und Lanes sind direkt aus BPMN übernommen. Bei den Sequenzflüssen hingegen wurde wieder reduziert und nicht mehr, wie in BPMN üblich, nach Informations- und Materialfluss unterschieden, sondern sich auf den Sequenzfluss konzentriert. Dabei ist der Sequenzfluss für das ‚menschliche‘ Verständnis angegeben, da sich der faktische Material- und Informationsfluss über die Input-Output-Beziehungen ergibt. Für nicht alle Prozesse relevante, aber dennoch wichtige Elemente sind die **Gateways** (siehe Abbildung 2815):

Element	Bezeichnung	Bedeutung
 EXKLUSIVES GATEWAY (XOR)  INKLUSIVES GATEWAY (OR)  PARALLELES GATEWAY (AND)	Exklusives, inklusives und paralleles Gateway	Ein Gateway markiert eine mögliche Verzweigung oder Zusammenführung des Sequenzflusses. Ein exklusives Gateway (XOR) aktiviert genau einen Folgefluss. Ein inklusives Gateway (OR) aktiviert einen oder mehrere Folgeflüsse. Ein paralleles Gateway (AND) aktiviert mehrere Folgeflüsse. Die Aktivierung ist abhängig von der Erfüllung bestimmter Bedingungen.
 EXKLUSIVES EVENT-GATEWAY (XOR)  PARALLELES EVENT-GATEWAY (AND)  KOMPLEXES GATEWAY (1+)	Exklusives und inklusives Event-Gateway sowie komplexes Gateway	Ein Gateway markiert eine mögliche Verzweigung oder Zusammenführung des Sequenzflusses. Ein exklusives Event-Gateway (XOR) aktiviert genau einen Folgefluss. Ein paralleles Event-Gateway (AND) aktiviert mehrere Folgeflüsse. Ein komplexes Gateway wird genutzt, wenn für die Beschreibung der Bedingung bzw. Ereignisfolgen mehrere Gateways erforderlich wären. Die Aktivierung ist abhängig vom Eintritt bestimmter Ereignisse.

Abbildung 2815: "Gateways" der AKRIMA-Notation.

Mit ihnen lassen sich hochkomplexe, konditionale Prozesse („wenn-dann“ etc.) abbilden. Sie spielen dementsprechend insbesondere für die KRM eine wichtige Rolle, da hier mitunter verschiedene Bedingungen geprüft und entsprechend weiterverfolgt werden müssen, was in der Modellierung bisweilen große Ausmaße annehmen kann. Alle Elemente in einem einfachen **Beispiel** (siehe Abbildung) zusammengebracht könnte etwa so aussehen:

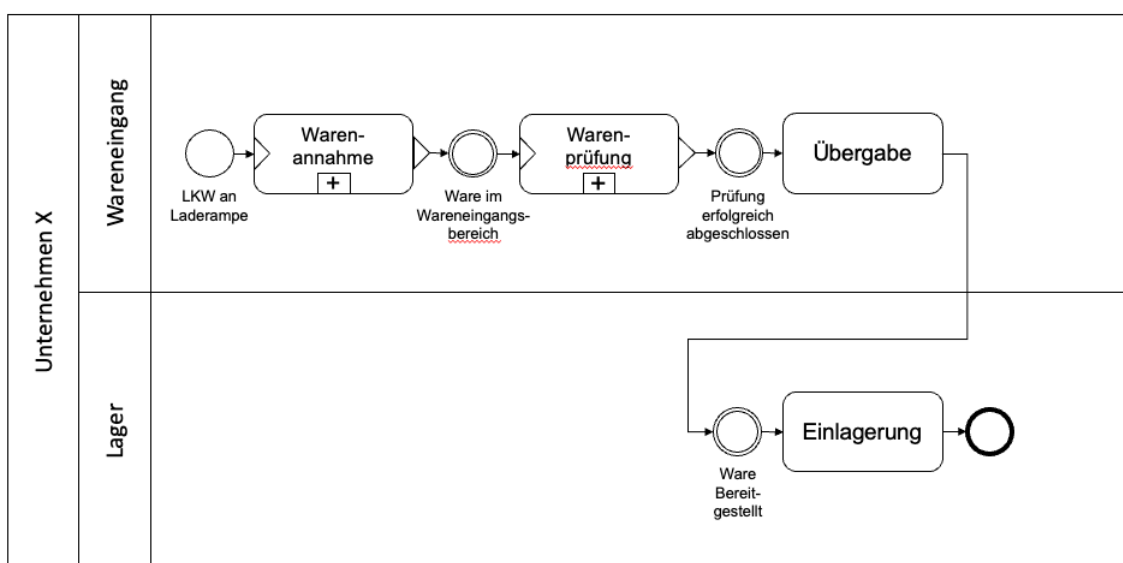


Abbildung 29: Beispiel zu Pools und Lanes.

In diesem Beispiel betrachten wir in einem „Unternehmen X“ (Pool) die Bereiche „Wareneingang“ (obere Lane) und „Lager“ (untere Lane). Das Starterereignis ist „LKW an Laderampe“, das die Aktion „Warenannahme“ (in diesem Fall: kein archetypischer Ablauf, d.h. Realdaten liegen vor) auslöst. Der Abschluss der Aktion führt zum Zwischenereignis „Ware im Wareneingangsbereich“, das die Aktion „Warenprüfung“ (ebenfalls kein archetypischer Ablauf) auslöst und zum Zwischenereignis „Ware geprüft“ führt. Hier folgt ein verzweigendes Gateway, das den Umstand „Ware entspricht den Qualitätskriterien“ prüft; bei ‚nein‘ wird eine Retour veranlasst, bei ‚ja‘ folgt die Aktion „Übergabe“ (archetypischer Ablauf, d.h. nur Standardwerte verfügbar). Die Aktion führt zum Zwischenereignis „Ware bereitgestellt“, welches wiederum die (archetypische) Aktion „Einlagerung“ auslöst und mit dem Endereignis „Ware eingelagert“ endet; der Prozess ist abgeschlossen. Die Aktionen von der Warenannahme bis zur Übergabe erfolgen im / durch den Wareneingang, die Aktion Einlagerung hingegen erfolgt im Lager.

Der Einfachheit halber wurde im Beispiel ein ergänzendes Element noch nicht skizziert, was aus den AKRIMA-Forschungen und -Überlegungen heraus entstanden ist: **Indikatoren** (siehe Abbildung 16). Die Indikatorposition 1 (oben links) ist reserviert für BPMN, da auch BPMN verschiedene Indikatoren vorsieht, etwa um einen manuellen Prozess zu kennzeichnen. Die Indikatorposition 2 (oben rechts) ist für in AKRIMA entwickelte „Resilienz-Indikatoren“ gedacht (siehe Abbildung 31) die eine sehr schnelle Antwort zu einigen grundlegenden Fragestellungen der Resilienz (z. B. ob Prozessalternativen existieren) geben können. Die Indikatorposition 3 (unten links) ist derzeit noch frei, während in der Indikatorposition 4 (unten rechts) der Logistics Resilience Score angegeben werden soll.



Abbildung 16: Schematische Abbildung der Platzierung für Indikatoren.

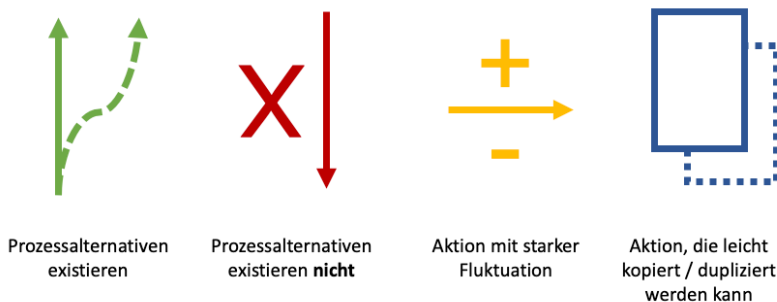


Abbildung 3117: Beispiele für mögliche 'schnelle Resilienzindikatoren'.

Gegen Ende des Projekts wurde eine alternative Darstellungsform ausgearbeitet, ausgelöst von den Arbeiten am Kennzahlenmodell: Mit dem weitgehenden Wegfall unterschiedlicher, grundsätzlicher Krisenreaktionsmechanismen (z. B. Redundanz, alternative Pfade, Beschleunigung) als explizites Element des Kennzahlenmodells, gekoppelt mit dem Wunsch nach mehr leicht einsehbaren Informationen zu Lage und Handlungsmöglichkeiten, entstand die Idee, in einem einfachen Indikator grundsätzlich den „KRM-Möglichkeitsraum“ aufzuzeigen. Dieser sollte in einer schnell erfassbaren Weise – z. B. durch die Darstellung „3/10“ (drei von zehn Möglichkeiten) oder „9/10“ (neun von zehn Möglichkeiten), alternativ ohne „/10“ – aufzeigen, wie viele grundsätzliche KRM für diese Aktion möglich sind. Als solche wurden identifiziert / definiert:

1. Redundanz
2. Slack / Entkopplung / Pufferung

3. Prozessrekonfiguration
4. Relokation
5. Rerouting
6. Management der Outputfrequenz
7. Produkt- / Servicesubstitution
8. Produkt- / Serviceanpassung
9. Leerlauf / Hibernation + warmer Neustart
10. Stopp / Einstellung + kalter Neustart

Bezüglich UX/UI sollte es möglich sein, bei Bedarf oder generell die Liste der konkreten Optionen anzeigen zu lassen. Dieser Indikator sollte auf Position 4 angezeigt und der Resilience Score zu Position 2 verschoben werden. Für die noch freie Position 3 ist angedacht, die in Zusammenarbeit mit dem DFKI entwickelte Kennzahl „Effizienz“ darzustellen. Die oben ausgeführten Überlegungen zu den ‚schnellen Resilienzindikatoren‘ würden in dieser Version aktuell nicht weiterverfolgt werden. Damit würde sich folgendes Bild ergeben (siehe Abbildung).

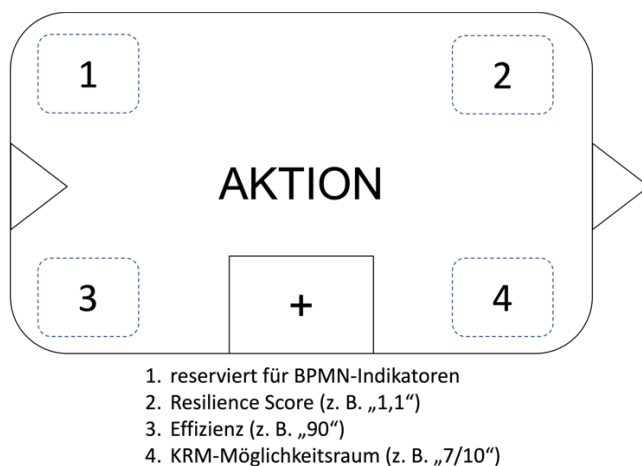


Abbildung 32: Schematische Abbildung der Platzierung für Indikatoren, neuer Ansatz.

Beide Lösungen haben Vor- und Nachteile sowie bieten einen unterschiedlichen Nutzungs- und Weiterentwicklungsraum; beide Notationen folgen einfachen Bildungsregeln, sind angelehnt an die etablierte Praxislösung und können auch von ‚Neulingen‘ schnell verstanden sowie genutzt werden. Die Orientierung an BPMN erleichterte auch die technische Umsetzung

im Rahmen des Dashboards des DFKI und ist eine gute Grundlage für potenzielle Import- / Export- / Konvertierungsfunktionen. Dennoch ist diese Lösung auch ein Kompromiss: BPMN wurde modifiziert (was, trotz aller Einfachheit, eine Umstellung ist), Resilienz ist in ihrer Komplexität nur angerissen und viele Details der Prozessanalyse haben keine grafische Repräsentation. Andererseits hat die Notation aus Sicht des Konsortiums einen „sweet spot“ zwischen Komplexität und Einfachheit getroffen und erfüllt ihre Aufgabe, Prozessabläufe und damit zusammenhängende Resilienz Aspekte schnell zu visualisieren. Es ist, alles zusammengenommen, ein guter ‚erster Vorschlag‘, wie eine BPMN-basierte Prozessnotation mit Fokus auf Resilienz aussehen könnte. Vor diesem Hintergrund kann auf dieser Notation auch außerhalb des Projekts bzw. nachfolgend aufgebaut werden.

Zwischenreflexion

Wie bei Forschungsprojekten des BMBF üblich, war bereits in der Projektskizze der grobe Lösungsweg umrissen, allerdings waren die Spezifika der Umsetzung noch weitgehend undefiniert. So etwa hieß es im betreffenden Teil-Arbeitspaket innerhalb von Arbeitspaket 2: „Zur Erhebung der Prozessarchetypen werden Interviews/Befragungen sowie teilnehmende Beobachtungen und Workshops mit Industriepartnern organisiert (WS 1-6). Damit ist ein detailliertes Systemmodell zu konzipieren. Die Archetypen sind in einer angemessenen, zu entwickelnden Notation darzulegen (grafisch-abstrakt; z. B. Beteiligte, Schritte, Informationen), und parameterbasiert (informativ-abstrakt; z. B. Infrastrukturbedarf, Kausalitäten, Informationsfluss) zu beschreiben, zur strukturierten Abbildung dieser Prozesse auf Grundlage von Systemmodell und Parametern.“ Hier wurde also darauf referenziert, ein Systemmodell für die Archetypen zu erzeugen, das diese in einer Form darlegt, die eine neue Qualität der Systemanalyse erlaubt. Aus Sicht der TH Wildau wurden diese Aufgaben erfüllt. Sicherlich war der operative Umgang mit dem Begriff des Archetypen mit mehr Schwierigkeiten behaftet, als das zum Zeitpunkt des Projektantrags absehbar war und es lässt sich zweifellos trefflich streiten, wie genau denn ein Systemmodell auszusehen hat (ganz abgesehen von der jeweils originär je Wissenschaftsdisziplin gefärbten Brille); außerdem wird es bessere Lösungen geben, als das aktuelle Excel-Tool. Mit Blick auf Scope, Herausforderungen und Ressourcen kann man mit der Lösung aber sehr zufrieden sein: Sie

ermöglicht eine neue, Resilienz-fokussierte Betrachtung auf bestimmte Prozesse und leistet in dieser Hinsicht durchaus Pionierarbeit.⁴³

Am Ende des Tages kann aber ein ganz anderer Gradmesser für den Erfolg angelegt werden: die Kombinierbarkeit mit den Arbeiten des DFKI. DFKI und TH Wildau standen über die gesamte Projektzeit in engem Austausch, arbeiteten schlussendlich aber an unterschiedlichen Systemelementen. In einem modernen IT-Projekt würden Fragezeichen entstehen, wenn die Festlegung des Datenformats und die Datenerhebung so stark von den eigentlichen Softwarelösungen entkoppelt wären, wie dies in *AKRIMA* der Fall war. Dass es trotzdem funktioniert hat, ist aus Sicht der TH Wildau vor allem einem 1) sehr kompatiblen, gemeinsamem Grundverständnis über die Herausforderungen und mögliche Lösungswege (Jan Ole Berndt, der seitens des DFKI die faktische Projektleitung inne hatte, kann z. B. auf einen Logistikhintergrund zurückblicken; parallel dazu gehört ein Mindestmaß an KI-Expertise inzwischen disziplinübergreifend zu den sicherlich allgemein erforderlichen Kompetenzen), sowie 2) der pragmatischen Flexibilität der Projektpartner zuzurechnen ist, wobei das DFKI sich zum einen sehr auf die Daten, Prioritäten und Ansätze der TH Wildau eingelassen hat, die TH Wildau auf der anderen Seite Änderungswünsche (z. B. Zusatzangaben, Formatierungen) umgehend umgesetzt hat - ein echtes Miteinander also, wie es sein sollte, aber nicht immer gelingt...

Die Evolution von Methode und Excel-Tool wurde oben schon angerissen, dennoch empfiehlt sich eine kurze dezidierte Betrachtung, da sich gerade in diesem Bereich zahlreiche projektmethodische Erkenntnisse ergeben haben, auf denen in möglichen folgenden Projekten aufgebaut werden kann. Zunächst ist festzustellen, dass sich das Excel-Tool ganz organisch mit den verschiedenen Fallstudien mitentwickelt hat. Auf Grund der relativ kurzen Zeitschiene (avisiert: ca. 18 Monate vom Beginn des Projekts bis zum Vorliegen der ersten Prozessdaten in einem vereinbarten Format und ausreichender Qualität) sowie dem Aufwand

⁴³ Wie gut diese Arbeiten in möglichen Folgeprojekten oder der Praxis verfangen, wird sich zeigen müssen und natürlich auch vom weiteren Erfolg von *AKRIMA* sowie der Transferaktivitäten abhängen.

einer Fallstudie selbst gab es keine Möglichkeit, das Tool vorab wirklich zu testen; vielmehr war jede Anwendung mit den Unternehmen im Grunde ein neuer Test mit einer neuen Version, bei denen auch nicht immer alles richtig funktioniert hat. Allein aus diesem Kontakt mit der ‚Realität‘ ergaben sich notwendige Anpassungen. Zudem wurde mit jeder Anwendung klarer, welche Informationen überhaupt realistisch beschafft werden können. Das war in Summe wesentlich weniger, als erhofft. Ursprünglich war bspw. geplant, für jede Aktion abzufragen, ob diese etwa beschleunigt, verlangsamt, gestoppt, ausgetauscht usw. werden kann, was in einer entsprechend umfangreichen Excel-Tabelle eingetragen werden sollte. Bereits in der zweiten Fallstudie war klar, dass dieser Ansatz so nicht funktioniert; es dauerte aber noch längere Zeit, bis der aktuelle Ansatz der Prozessalternativen konzipiert und umgesetzt werden konnte. Bestimmte Elemente mussten auf Grund akuter ‚Nicht-Erhebbarkeit‘ (im Rahmen der jeweiligen Bedingungen) komplett ‚gestrichen‘ werden, z. B. der gesamte Analyseblock, der sich eigentlich mit Veränderungsprozessen auseinandersetzen sollte und als Vorläufer der Generierung von Krisenreaktionsmechanismen gedacht war. Generell ist die Methode in ihrer jetzigen Form sehr gut und dem Untersuchungsgegenstand sowie den gegebenen Möglichkeiten angemessen, aber weit von einer ‚wissenschaftlichen Wunschlösung‘ entfernt. Zu den Elementen, die es nicht ‚geschafft‘ haben, zählten etwa die Erfassung von notwendigen Voraussetzungen für Veränderungen (*GENERAL / SPECIFIC CHANGE REQUIREMENTS*), die erwarteten Auswirkungen auf den Output (*EXPECTED OUTPUT EQUIVALENCE*), die ‚weichen‘ (sprich: menschlich-kulturellen) Auswirkungen von Veränderungen auf den Prozess (*EXPECTED SOFT FACTOR CHANGE*), die erwähnte ad-hoc-Definition von Veränderungen (*CHANGE LEVEL > CHANGE GOAL(S) > CHANGE TYPE > CHANGE APPROACHES > ...*), der Umgang mit Variation (*INFLOW VARIATIONS, SCENARIO IMPACTS, VARIATION HANDLING APPROACH, ...*), die Detektion von Veränderungen (*DETECTION TARGET > DETECTION APPROACH > COMPARISON ELEMENTS > ...*) oder auch die Idee des *DEVIATION LOG*, um Abweichungen aufzunehmen und einer dezidierten Betrachtung zuzuführen. Viele der weggefallenen Elemente wären vielleicht weiterverfolgt worden, wenn der Fokus stärker auf Prognose / Analyse als auf Simulation gelegen hätte. Zur Wahrheit gehört aber auch, dass das ursprünglich skizzierte

System für den Scope und die Ressourcen im Projekt schlichtweg zu ambitioniert war. Vielleicht im nächsten Projekt...

Immer wieder stand die TH Wildau auch vor dem Dilemma, das Excel-Tool unverändert zu lassen und Ergebnisse unterschiedlicher Fallstudien damit besser vergleichen zu können, oder mit dem Gelernten mitzugehen, dadurch die Vergleichbarkeit zu verlieren und Mehrarbeit zu erzeugen, um eben diese Vergleichbarkeit wiederherzustellen. Ein Beispiel hierfür ist die auf den ersten Blick kleine Veränderung der Methode im Hinblick auf Rollen, Fähigkeiten und Erfahrungen: Ursprünglich war geplant (und so wurde es auch umgesetzt), jede für eine Aktion erforderliche Fähigkeit (z. B. Sprechen, Schreiben, Führen eines Gabelstaplers) zu erfassen, um so akribisch nachhalten zu können, welche Personen für welche Aktionen ‚zulässig‘ sind. Dies war sehr aufwändig: Nicht nur mussten sehr viele Einträge in der Prozesserhebung vorgenommen werden, sondern es musste auch eine Art ‚allgemeiner Katalog‘ von bestimmten Fähigkeiten (z. B. kritisches Denken, Fähigkeiten zum Umgang mit bestimmter Hard- und Software, strategische Planung, Stressmanagement) vorbereitet werden, aus dem die benötigten Fähigkeiten ausgewählt werden konnten. Die Arbeiten an diesem Katalog kamen gut voran, aber die einzelnen Elemente waren wenig trennscharf, spätestens als die Diskussion sich dann um die Art und Natur von „composite skills“ (z. B. Engineering, Risk Management, Quality Control) drehte und Fragen wie bspw. zur Abgrenzung von „emotional intelligence“ nicht abschließend geklärt werden konnten. Nach längeren Versuchen wurde die Systematik umgestellt, sodass für jede Aktion primär eine bestimmte erforderliche *Rolle* angegeben werden musste; diese Rolle war implizit mit bestimmten Fähigkeiten (Reden, Lesen, Schreiben, kritisches Denken, ...) verknüpft, wobei nur noch für diese Rolle unübliche Fähigkeiten (z. B. in Bezug auf ein bestimmtes Gerät oder Berechtigungen zur Durchführung einer bestimmten Tätigkeiten) in einem weiteren Schritt ergänzt werden mussten.⁴⁴ Das brachte mehr Präzision und eine erhebliche

⁴⁴ Ursprünglich war auch ein PEOPLE CATALOGUE vorgesehen, um ganz konkrete Personen in den Aktionen zu betrachten. Das ist inhaltlich in einer Realsituation insbesondere in kleineren Organisationen, in denen einzelne Personen in bestimmten

Arbeitserleichterung mit sich, machte aber zahlreiche Nacharbeiten erforderlich. Mit Blick auf die Tatsache, dass seit April 2023 eine „95%-Version“ der Methode und des Excel-Tools zur Verfügung steht, kann aber zusammengefasst werden, dass diese Hürden mit Erfolg navigiert wurden.

Eine andere Herausforderung ergab sich in Bezug auf die Kataloge (z. B. *ROLE CATALOGUE*). Ursprünglich war geplant, eine hierarchische Systematik je Katalog aufzubauen und diesen entsprechend vorab zu befüllen (s.o.). Dies hätte z. B. bedeutet, dass eine Systematik von Ressourcen von der Makro- bis zur Mikroebene (z. B. von Flurfördergeräten allgemein bis zu spezifischen Gabelstaplertypen) umgesetzt worden wäre. Dieser Ansatz wurde alsbald fallengelassen, da sich erhebliche methodische und technische Herausforderungen ergaben. Methodisch, weil teilweise die Konzeption der angedachten Hierarchien einen erheblichen Recherche- und Umsetzungsaufwand erfordert hätten, der in Anbetracht des Gesamtprojekts nicht gerechtfertigt war (die Rede ist hier von mehreren Personenmonaten nur für die Umsetzung dieses Ansatzes). Technisch, weil Excel nicht die Möglichkeit bietet, in Dropdown-Feldern nach bestimmten Begriffen oder Kategorien zu suchen und dadurch für die verknüpften Felder (bspw. zur Eintragung des Inputs) durch dutzende nicht-relevanter Einträge durchgescrollt werden musste, was die Verwendung des Excel-Tools erheblich verlangsamte. Aus diesen Gründen wurden stattdessen individuelle Kataloge je Fallstudie genutzt und nur mit den tatsächlich erforderlichen Einträgen gefüllt. Dadurch konnte die Arbeit sehr beschleunigt werden, aber es können Inkonsistenzen auftreten, die sich nicht immer leicht finden lassen.

In eine ähnliche Kategorie fällt der Wechsel von „SKILL“ zu „ROLE“ als primärem Marker für die Fähigkeiten von Personen. Analog zum oben geschilderten Ansatz mit den Katalogen wurde die Betrachtung der für eine Aktion benötigten Fähigkeiten zunächst so umgesetzt, dass alle notwendigen Fähigkeiten (z. B. Lesen, Schreiben, Fahren eines Gabelstaplers, Bedienung

Rollen in der Regel nicht 1:1 ersetzt werden können, durchaus sinnvoll, fand aber aus offensichtlichen Gründen (Datenschutz, interne Politik, Verantwortung, ...) wenig Zuspruch und wurde entsprechend frühzeitig fallengelassen.

eines PCs) aufgelistet wurden. Auch dieses Vorgehen hat sich als mühsam herausgestellt, zumal immer viele Fähigkeiten eingetragen werden mussten, die als gegeben angenommen werden können. Im weiteren Verlauf wurde der Fokus daher umgedreht: Anstatt der Fähigkeiten wurde zunächst die „Rolle“ (z. B. Kommissionierer) aus dem Rollenkatalog ausgewählt; hierbei steht die Rolle für eine Menge an Fähigkeiten, die üblicherweise mit dieser Rolle assoziiert werden. Anschließend konnten besondere Fähigkeiten ergänzt werden, die üblicherweise nicht mit dieser Rolle assoziiert werden, für die ordnungsgemäße Durchführung der Aktion aber erforderlich sind. Dadurch ergibt sich eine Unschärfe, aber zumindest bleibt der Arbeitsaufwand auf einem vertretbaren Maß.

In den geschilderten Aspekten (sowie weiteren, hier nicht thematisierten) musste die Genauigkeit zugunsten der Bedienbarkeit und Umsetzbarkeit zurückgefahren werden. Für *AKRIMA* selbst ist dies, da die Lösung nur bis zum Status eines Demonstrators umgesetzt werden soll, vertretbar. In späteren Iterationen in möglichen Folgeprojekten sollte jedoch untersucht werden, welche Verbesserungsmöglichkeiten sich etwa durch automatisierte Eintragungen und bessere ‚Datensammlungslösungen‘ als Microsoft Excel ergeben.

Beitrag zur KRITIS-Diskussion?

Im Projektantrag, wenn auch (bisher) nicht in der Öffentlichkeitsarbeit über das Projekt betont, stand von Anfang an die Frage der Verknüpfung von *AKRIMA*-Ergebnissen mit der KRITIS-Diskussion im Raum. Mit „KRITIS-Diskussion“ war der Umstand gemeint, dass die kritischen Infrastrukturen in Deutschland (und anderenorts) nicht auf Grund einer Systemanalyse als kritisch erkannt, sondern schlichtweg als kritisch definiert wurden, inkl. der Schwellwerte. Die vorliegende Definition ist nicht von der Hand zu weisen, entbehrt aber einer wissenschaftlichen Grundlage. Hinzu kommt, dass - wie vor allem während der Corona-Pandemie sehr deutlich geworden - viele Nicht-KRITIS-Akteure relevant für das Funktionieren der KRITIS-Akteure sind, was aber nicht durch ein kongruentes Rechte/Pflichten-Set reflektiert wird. Es war die Hoffnung, dass die *AKRIMA*-Methode und -Ergebnisse vielleicht zumindest einen kleinen Beitrag dazu leisten können, die KRITIS-Frage auf wissenschaftlicher Grundlage nochmal zu beleuchten. Diese Überlegungen wurden in

gewisser Weise von der europäischen CER-Regulierung und dem darauf aufbauenden KRITIS-Dachgesetz überholt; nicht, dass sie durch diese Ansätze adäquat beantwortet wären, aber es ist ungleich schwieriger, EU-Regulierung zu beeinflussen, als rein nationale Regulierung. Der einzige realistische Weg wäre nun noch eine Platzierung von *AKRIMA* im Kontext der Definition von Betreibern kritischer Anlagen unterhalb der Schwellwerte, was sich bereits in vielen Fällen abzeichnet. Hier könnte die *AKRIMA*-Methode bspw. genutzt werden, um die Resilienz einer Infrastruktur zu bewerten und daraus abzuleiten, welche aufbauenden Maßnahmen vorzunehmen sind. Sollte sich eine solche Perspektive als realistisch herauskristallisieren (was vor allem Vorabgespräche mit den verantwortlichen Stellen zeigen würden), dann bliebe aber immer noch die Frage des Aufwands, da derzeit die ‚Befüllung‘ des Systems mit Daten verhältnismäßig aufwändig ist - hier braucht es möglicherweise eine Zwischenlösung mit geringerem Aufwand (bei sicherlich abnehmender Belastbarkeit der Ergebnisse).

Krisenreaktionsmechanismen (AP2, AP4 und AP5)

Krisenreaktionsmechanismen sind die zentralen Elemente der Anpassungsstrategie der Unternehmen, um Krisensituationen effektiv zu bewältigen und dabei die Kontinuität ihrer Prozesse zu sichern. Sie bieten zugleich die Möglichkeit aus einer Krise heraus resilienter zu werden. Im Projekt *AKRIMA* konnten durch die Analyse von Prozessen und bestehender Krisenreaktionsmechanismen von Unternehmen, Szenarienanalysen und durch die Erfahrungen aus dem vorherigen Projekt *RESPAN* Krisenreaktionsmechanismen in der Form zusammengestellt werden, dass sie alle zur Krisenbewältigung relevanten Bereiche adressieren (Lieferketten, Mitarbeiterschutz, Krisenstabsarbeit u.v.m.) und dabei allgemeingültige Anwendbarkeit für Unternehmen und Krisen haben, sie als Auslöser für Prozessänderungen aber dennoch konkret auf einzelne Prozesse zugeschnitten sind. Wir handhaben Krisenreaktionsmechanismen dabei als konkretes und praktisches Werkzeug, welches Handlungsoptionen in den exemplarischen Prozessketten einleitet und verwenden/berücksichtigen dabei als Definition, dass sie alle möglichen – bewussten oder unbewussten (bzw. unbemerkten) Reaktionsformen eines Akteurs zur Bewältigung einer Krise umfassen und dabei voll-, teil- oder nicht automatisch ablaufen. Ein konkreter

Krisenbezug ist bei diesen Reaktionsformen nicht immer zwingend notwendig oder ersichtlich, z. B. kann die Umleitung von Fahrzeugen eine Krisenreaktion sein, ohne als solche begriffen zu werden. Weiterhin müssen sie auch nicht zwingend explizit dokumentiert sein. *Krisenreaktionsmechanismen* können als *Krisenreaktionsmaßnahmen* (bewusst geplante und dokumentierte Handlungen) formuliert und umgesetzt werden, die jeweils eine Teilmenge der möglichen *Krisenreaktionsmechanismen* adressieren und einbinden bzw. abbilden. *Krisenreaktionsmechanismen* schließen also immer auch *Krisenreaktionsmaßnahmen* mit ein, umgekehrt gilt dies nicht.

In AKRIMA sollten mit Hilfe von *Krisenreaktionsmechanismen* gezielt die Funktionsfähigkeit von Lieferketten, Produktion und Logistik von Unternehmen bewahrt werden, bspw. durch die Anpassung von Produktionskapazitäten oder die Nutzung alternativer Lieferwege. Sie stellen in AKRIMA das zentrale Element eines effektiven adaptiven Krisenmanagements dar, mit dem Ziel den Handelnden in der Krisensituation zusätzliche Handlungs- und Entscheidungsspielräume zu verschaffen. Indem die Wirkung der durch sie ausgelösten Prozessalternativen oder Handlungsweisen bewertet werden kann (das setzt eine Operationalisierbarkeit der Prozesse und den dazugehörigen Alternativen voraus), lässt sich nicht nur sehr zielgenau eine effiziente Handlungsoption für die Problemstellung der jeweiligen Krisensituation wählen; die Methode wird dadurch auch applikabel für die bei der Auswahl unterstützenden und bewertenden KI.

Auch wenn der Begriff andeutet, dass erst nach dem Eintreten einer Krise mit Maßnahmen auf diese reagiert wird, können *Krisenreaktionsmechanismen* bereits präventiv wirken. Im Vorgängerprojekt *RESPAN* wurden entwickelte *Krisenreaktionsmechanismen* entsprechend der Stärke des Pandemiegeschehens (deren Einteilung sich an der Definition der Phasen der WHO orientierte) ausgelöst. Dazu gehören auch Vorbereitungsmaßnahmen wie Lagebeobachtung zur Informationssammlung oder Bevorratungsmaßnahmen (z.B. persönlicher Schutzausrüstung), ohne dass ein konkretes Krisengeschehen vorliegt. Bezogen auf AKRIMA und die darin erweiterten Krisen, sind die Maßnahmen stärker konsolidiert formuliert, um sie zwischen Unternehmen und Szenarien übertragbarer und anwendbarer zu machen.

Die im Projekt untersuchten krisenrelevanten Branchen und deren stellvertretend erhobenen Prozessketten wurden so gewählt, dass für die archetypischen Prozesse dieser Ketten und die im Projekt berücksichtigten Krisen einfache, adaptierbare Reaktionsmechanismen auch auf andere Lieferketten übertragbar sind. Dazu müssen umfangreich Prozesse in allen Variationen der gewählten Krise betrachtet werden und mögliche Reaktionsmöglichkeiten bedacht werden. Die in den üblichen Pandemie- und Notfallplänen, Leitfäden und Handbüchern enthaltenen Krisenreaktionsmechanismen, vor allem aber durch die Entwicklung der Szenarien in AP1 konnten vielfältige und insbesondere passende Reaktionsweisen vorgedacht werden, wodurch sich mit den zusammengestellten Krisenreaktionsmechanismen im Realfall eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit ergibt. Andererseits besteht ein Spannungsfeld zwischen Spezifität und Passgenauigkeit auf die Prozesse auf der einen Seite und Allgemeingültigkeit auf der anderen Seite; denn nur wenn sich die Krisenreaktionsmechanismen auch übertragen lassen, leisten sie letztendlich auch einen Beitrag zur Erhöhung der systemischen Resilienz (Verringerung von Betriebsunterbrechungen, wirtschaftlichen Schäden, Erhöhung der Bevölkerungssicherheit, etc.). So heben sich die in AKRIMA entwickelten Krisenreaktionsmechanismen von Maßnahmen in einschlägigen Leitfäden oder Kompendien für Krisen ab. Die für einzelne Krisensituationen verfügbare Literatur, herausgegeben von IHKs, Regierungsorganen (Ämter und Ministerien) oder Industrie- und Versicherungsverbänden, sind dabei durchaus umfangreiche, strukturierte Dokumente mit einer eher strategischen Ausrichtung. Sie enthalten Checklisten, führen vorbereitende Maßnahmen auf und verweisen auf Richtlinien, was sie zu festen Referenzen macht, welche strukturierte Orientierung bieten können. Jedoch sind sie begrenzt, wenn es um agile, situationsbezogene Entscheidungen im unternehmerischen Krisenmanagement geht. Erfüllt die Literatur im Pandemiekontext diese Ansprüche noch, so ist jedoch die Literatur im Bereich Bioterrorismus klar auf Institutionen bezogen und bei Flut/Starkregen liegt die Zielgruppe primär bei Einsatzkräften. Die Krisenreaktionsmechanismen in AKRIMA sollten operativen Charakter haben und ganz gezielt in der Krisensituation Wirkung entfalten und im vom DFKI erstellten Simulator Anwendung finden. Bereits durch diese Anforderung ergab sich ein starker Praxisbezug und eine direkte Übertragbarkeit der ausgewählten Krisenreaktionsmechanismen. Dennoch bleibt zu beachten, dass auch diese Maßnahmen in

„Friedenszeiten“ geplant sind und jede Maßnahme in der Krisensituation eine entsprechende Prüfung, betriebliche Justierung und Kommunikation an die Betroffenen erfordert.

Überhaupt findet Krisenmanagement in Unternehmen auch außerhalb von Krisensituationen in Form von präventiven bzw. antizipativen Krisenmanagement statt und umfasst dabei vorbeugende Maßnahmen, welche dazu dienen, auf möglicherweise zukünftig eintretende Krisensituationen vorzubereiten – typische Anwendungsfälle sind bspw. Brand- und Hochwasserschutz, Ersthilfe- und Notfallübungen, die Etablierung eines systematischen Krisenmonitorings oder auch die Qualifizierung von Mitarbeitenden oder investive Maßnahmen (z.B. in persönliche Schutzausrüstung für den Pandemiefall) – mit dem Ziel der effektiven Vermeidung möglicher Schäden in Krisensituationen. Trotz der Wichtigkeit dieser Aspekte (und da diese Form der Preparedness in Teilen vorgeschrieben ist), sind die in AKRIMA aufgestellten Krisenreaktionsmechanismen stärker auf das adaptive und reaktive Krisenmanagement ausgerichtet und setzen mit (zwar immer noch) präventiven Schutzmaßnahmen ein, die bei einer sich konkretisierenden Gefahrenlage kurzfristig adaptiv ergriffen werden (bspw. das Tragen von Schutzmasken ohne nachgewiesenes Infektionsgeschehen vor Ort oder das Absichern der Gebäudeaußenhülle gegen eindringendes Wasser bei entsprechender Wetter- und Gefahrenlage). Primärer Fokus liegt aber auf Krisenreaktionsmechanismen, welche helfen, bereits eingetretenen oder andauernden Krisenereignissen zu begegnen – also wenn die Geschäftstätigkeit eines Unternehmens direkt vom Krisengeschehen beeinflusst ist. Sie dienen dem Schutz von direkt gefährdet materiellen Gütern und Personen sowie von der indirekt gefährdeten Leistungs-, Liefer- und Wettbewerbsfähigkeit sowie der finanziellen Lage des Unternehmens. Im Rahmen des AKRIMA-Modells sind es zudem Maßnahmen, die mittels agentenbasierter Simulation darstellbar sind und umfasst dabei teils sehr weitreichende Anpassungen, wie der Umgestaltung von einzelnen Prozess- bis hin zu gesamten Produktionsabläufen, um die für den Prozess erforderliche Ressourcenverfügbarkeit sicherzustellen oder aber eine Anpassung des Prozesses an eine geringere / veränderte Ressourcenverfügbarkeit zu ermöglichen. Sie zielen also darauf ab, die Resilienz eines Prozesses zu erhalten, indem sie das Unternehmen strategisch auf die jeweilige Krisensituation ausrichten. Hingegen sind Maßnahmen der

Krisenbewältigung und -nachbereitung (z. B. Beseitigung und Regulierung von Schäden), die geeignet sind, um mögliche Folgeschäden möglichst gering zu halten, nur in geringem Maße Gegenstand der zusammengestellten Krisenreaktionsmechanismen.

Ausgehend von den Analysen im Projekt *RESPAN* wurden für die zusätzlichen Krisensituationen in *AKRIMA* weitere Einschränkungen gesammelt und aus Unternehmenssicht in interne Faktoren und externe Faktoren unterschieden sowie die sich aus den wechselseitigen Wirkungen ergebenden Effekte abgeleitet (auszugsweise in Abbildung dargestellt).

Anders als im Projekt *RESPAN*, in welchem Krisenreaktionsmechanismen nahezu exklusiv auf der strategischen Ebene formuliert waren und größtenteils exklusiven Pandemiebezug hatten, müssen in *AKRIMA* die Krisenreaktionsmechanismen auch über eine grundsätzliche Allgemeingültigkeit und Übertragbarkeit zwischen den Szenarien und Prozessen verfügen. Für letztere müssen sie also deutlich operativer formuliert und damit „dichter“ an den Prozessen orientiert sein. Für das Ziel der Übertragbarkeit der Krisenreaktionsmechanismen (ohne zu starke Generalisierung) zwischen den Szenarien wurden Szenarienparameter und -kriterien in allen vier Szenarien in einer umfangreichen Analyse miteinander verglichen, um festzustellen, welche Faktoren welche Folgen am häufigsten verursachen und umgekehrt welche Folge von den häufigsten verschiedenen Faktoren beeinflusst werden.

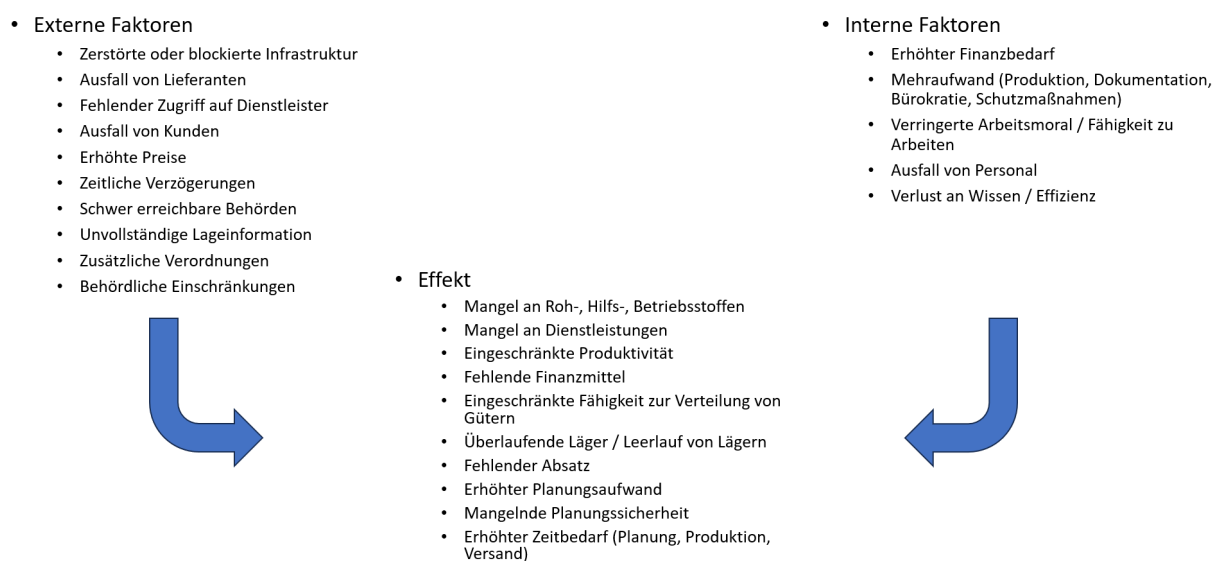


Abbildung 33: Gleichzeitigkeit von Faktoren und Effekten, die in einer Krise auf Unternehmen wirken.

Um ein aussagekräftiges Set an szenarienrelevanten Krisenreaktionsmechanismen für die agentenbasierte Simulation zu entwickeln, wurde in einem weiteren vereinfachten Schritt geprüft, welche Schutzgüter in Unternehmen potenziell von den Krisenszenarien betroffen sind und in welcher Weise. Übereinstimmende und somit allgemeingültige Herausforderungen und Belastungen sowie die szenariospezifischen Limitationen konnten geclustert werden (Tabelle 2). Anhand dieser Einschränkungen wurden mögliche Reaktionen gesammelt, die anschließend zu Krisenreaktionsmechanismen zusammengestellt wurden.

Tabelle 2 In Unternehmen von Krisenszenarien betroffene Schutzgüter und Art der Einschränkung.

Betroffenen Ressourcen	Art der Einschränkung
Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Halbfertigprodukte	Aus- bzw. Wegfall von Lieferanten
	erhöhte Preise für eingehende Ressourcen
	Leerlauf von Lägern und / oder Puffern
	Terminabweichung bei eingehenden Lieferungen
	unzureichende Qualität der eingehenden Ressourcen
	unzureichende Verfügbarkeit von kritischen Rohstoffen, Energieträgern, Betriebsstoffen, Vorprodukten
	unzureichende Verfügbarkeit von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, Halbfertigprodukten usw.
	zusätzlicher Bedarf
	zusätzlicher Bedarf an Verbrauchsgütern
	zusätzlicher Beschaffungsaufwand
Leitungsgebundene Ressourcen	Zerstörung der Leitungen
	unzureichende kritische Ressourcen: Strom, Wasser, Internetzugriff
Transportmöglichkeiten	eingeschränkte Nutzung von Verkehrsinfrastruktur
	unzureichende Verfügbarkeit von Fahrzeugen und / oder Fahrpersonal
Produktionsanlagen	eingeschränkte Produktivität
	erhöhte Leerlaufzeiten und / oder verlangsamte Prozesse
	erhöhter Wartungsaufwand
	Prozessumstellung, Produktumstellung und / oder Substitution
	Überbeanspruchung, Belastungsschäden und / oder Ausfälle von Produktionsanlagen
	kein Zugang zu Produktionsanlagen
Produkte	eingeschränkte Fähigkeit zur Herstellung von Produkten/ zur Erbringung von Dienstleistungen

	erhöhte Fehlerquote, Nacharbeiten und Korrekturen
	veränderte Nachfrage
Personalressourcen	fehlender Zugriff auf Dienstleister
	innerer Vertrauens- und / oder Reputationsverlust
	mangelnde Mitwirkung in der Belegschaft
	Mehraufwand
	Verlust an Arbeitskraft, Wissen und Fähigkeiten
Kommunikationskanäle	Ausfall technischer Kommunikationskanäle
	krisenbedingter Sonderbedarf
	Mehrbedarf an technischen Kommunikationskanälen
Flächen und Räumlichkeiten	Allgemeine Risiken für Flächen und Räumlichkeiten
	Flächen und Räumlichkeiten vorübergehend nicht nutzbar
	Überlauf von Lägern und / oder Puffern
	Veränderter Bedarf an Flächen und Räumlichkeiten
Finanzmittel	erhöhter Abfluss von Finanzmitteln (Gefahr der Zahlungsunfähigkeit)
	kein Zugriff auf Finanzmittel
Fahrzeuge	durch Überflutung zeitweise nicht nutzbar
	erhöhter Wartungsaufwand für Fahrzeuge
	zerstörte und / oder blockierte Verkehrsinfrastruktur (man kommt nicht ans Fahrzeug)
Entsorgung	Abfallentsorgung nicht ausreichend
	Eingeschränkte Abwasserentsorgung
Datensicherheit	Technisch bedingter Datenverlust
	Veränderter Bedarf an Datensicherheit
Absatzmöglichkeiten	fehlende Abnehmer
	fehlender Absatz

Erwartet problematisch in der Entwicklung und Zusammenstellung der Krisenreaktionsmechanismen auf diese Einschränkungen sind die verschiedenen Numeri an Auslösern und möglichen verschränkten Effekten durch multiple und mehrdimensionale Zusammenhänge, die auf unterschiedliche oder die gleichen Aspekte wirken. Im einfachsten Fall hat eine Ursache eine oder mehrere Wirkungen, die durch jeweils einzelne Krisenreaktionsmechanismen bewältigt werden kann. So kann im Szenario Dürre die Trockenheit und Hitze zu eingeschränktem Warenverkehr führen (Niedrigwasser in Flüssen, Blow-ups auf Straßen, Gleisverwerfungen bei Schienen), aber gleichzeitig zu einem Mangel an

Elektrizität, einem Mangel an Rohstoffen und einer verringerten Arbeitseffizienz, welche durch individuelle Krisenreaktionsmechanismen zur Behebung des Warentransports, des Energiemangels, des Rohstoffmangels und des Personalmangels gelöst werden können (sogenannte 1:1-Beziehung). Komplizierter wird es, wenn mehrere Krisenreaktionsmechanismen auf den gleichen Prozess wirken: wenn bspw. zerstörte Infrastruktur sowohl zu eingeschränkten Arbeitswegen und eingeschränktem Warentransport führt, wirken unterschiedliche Krisenreaktionsmechanismen gleichzeitig auf die Anpassung der Produktionsprozesse, so dass die Steuerung und die Folgenabschätzung nicht mehr trivial ist (1:n-Beziehung). Häufig wird es jedoch komplexer (n:n-Beziehung) und die unterschiedlichen Wirkrichtungen der Einflussfaktoren sind entgegengesetzt, wie bspw. ein gesteigerter Produktionsbedarf unter Mangel an Ressourcen – ein für den Praxispartner Dräger typisches Szenario während der Corona-Pandemie, in welcher eine erhöhte Nachfrage nach ihren Produkten (die Krisenreaktionsmechanismen zur Steigerung der Produktion erforderten) bestand, bei gleichzeitig gestiegener globaler Nachfrage nach gleichen Vorprodukten und dies unter einem krankheitsbedingt herrschenden Personalmangel (beides erfordert Krisenreaktionsmechanismen zur Behebung des jeweiligen Mangels). Derartige multikausalen, auf mehreren Ebenen gleichzeitig aktivierend und inhibierend auf die gleichen Prozesse wirkenden Krisenszenarien, welche eine Vielzahl an möglichen Krisenreaktionsmechanismen zur Adaption dieser Prozesse erfordern, lassen sich vielfältig finden. Hinzukommen gleichzeitig wirkende Kofaktoren der Krise (Arbeiten unter Hygienebedingungen, erhöhter Dokumentationsaufwand, erhöhter Finanzbedarf, etc.).

Im Rahmen des Clustering von Krisenreaktionsmechanismen und zur Sicherstellung der Übertragbarkeit ist die Feinstrukturierung der Maßnahmen, wie sie noch in *RESPAN* erfolgte, nicht möglich. Insbesondere bei den szenariospezifischen Krisenreaktionsmechanismen wurden im Rahmen der Komplexitätsreduktion Maßnahmen zusammengefasst. So wurden viele Pandemie-spezifischen Krisenreaktionsmechanismen aus *RESPAN* zu „Maßnahmen zur Hygiene“ oder „Maßnahmen zur Kontaktvermeidung“ zusammengefasst. Neben dieser Form der Abstraktion wurde ebenfalls überprüft, ob Faktoren, welche auf die Prozesse wirken, unterschieden werden können, in solche, die eine Krisenreaktionsmechanismus auslösen oder

auch einfach als Randparameter der Krise betrachtet werden können. Solche Randparameter gehen mit der Krise einher und hätten Einfluss auf die Parameter der Prozesse, wie z. B. die Verlängerung von Prozessen durch verringerte Arbeitseffizienz oder erhöhte Kosten, lösen aber selbst keine Krisenreaktionsmechanismen aus.

Die Entwicklung und Zusammenstellung der Krisenreaktionsmechanismen wurde gemeinsam mit den Projektpartnern kontinuierlich im Detail diskutiert, um die Anwendbarkeit im Simulationstool gezielt abzusichern. Darüber hinaus wurde im Rahmen von Workshops die Vorgehensweise den industriellen Anwendungspartnern vorgestellt und durch deren Rückmeldung gespiegelt, um eine praxisnahe Ausgestaltung sicherzustellen. In der weiteren Analyse und Kategorisierung der Wirkungsweise von Krisenreaktionsmechanismen wurden Indikatoren und Messgrößen gesucht, die für die Operationalisierbarkeit durch die KI (ebenso wie für die Arbeit im Krisenstab) geeignet sind und mit welchen sowohl der Einfluss der Krise auf die jeweiligen zu steuernden Prozesse als auch die durch die Krisenreaktionsmechanismen verbesserten Prozesse oder Alternativprozesse bewertbar gemacht werden kann (z. B. Zeit, Personaleinsatz). Dabei stellte sich auch die Frage, inwieweit sich über solche Messgrößen ebenfalls die Spezifität eines Krisenreaktionsmechanismus zum jeweiligen Prozess ableiten lässt, wie Krisenreaktionsmechanismen in ihrer kombinierten Wirkung bewertet werden können (mögliche Matrixschreibweisen bzw. -kalkulationen wurden in Betracht gezogen sowie in einem zweiten Ansatz logische Verknüpfungsvarianten) und wie die zuvor genannte Wirkung der Randparameter in die Betrachtung einfließen kann. In diesem komplexen Denkgebäude zeichnete sich parallel zur Kategorisierung der Krisenreaktionsmechanismen eine Kategorisierbarkeit der betrachteten Prozesse ab.

Krisenreaktionsmechanismen und archetypische Prozesse

Die Differenzierung von Prozessen war bereits von Projektbeginn geplant. Als besonders relevant für die Beschreibung und Anwendung von Krisenreaktionsmechanismen wurden die sogenannten archetypischen Prozesse herausgestellt. Jedoch war zunächst unklar, ob die prädisponierten Prozesse tatsächlich die Definition der Archetypen erfüllen. Dies konnte zum

Teil erst in den Prozessanalysen bei den Praxispartnern eruiert/bestätigt werden. Archetypische Prozesse eignen sich besonders für die Modellierung, Analyse und Anwendung von übertragbaren Krisenreaktionsmechanismen, wegen ihrer Generalisierbarkeit (d. h. sie sind universell anwendbar, unabhängig von spezifischen Unternehmen, Branchen, Geschäftsmodellen, Technologien oder Marktanforderungen) und ihrer guten Standardisierbarkeit (z. B. stark vereinheitlicht oder z. T. exakt dokumentierte Abläufe), was aber nicht bedeutet, dass sie in Krisenzeiten nicht adaptierbar sind. Sie sind innerhalb von Krisenzeiten ebenso relevante Teile der gesamten Prozesskette wie außerhalb und kommen vor allem im Logistikbereich (Lagerung, Distribution und Transport), häufig bei standardisierten IT-gestützten Prozessen, wie Datensicherung und Informationsaustausch, relativ häufig in Kommunikationsprozessen und in bestimmten Produktionsprozessen vor.

Archetypische Prozesse wurden in ihren Prozessketten untersucht und vor dem Hintergrund der Anforderungen und Effekte der Szenarien auf kritische Schwachstellen oder vulnerable Punkte, mit dem Potenzial, die Prozessdurchführung zu beeinträchtigen oder zu verhindern, untersucht. In dieser Analyse zeichnete sich deutlich ab, dass zur Lösung der entstehenden Probleme die Initiation von Prozessalternativen ausgelöst durch die Krisenreaktionsmechanismen die effektivste Lösung für das Problem der oben beschriebenen Komplexität darstellte. Diese Funktionsweise lässt sich auch auf nicht-archetypische Prozesse in Prozessketten ausweiten (Abbildung).

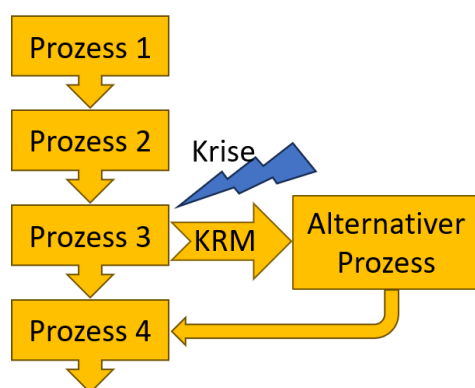


Abbildung 34: KRM als Auslöser für alternative Prozesse.

Diese schlanke, aber stringente Herangehensweise ermöglicht es, ohne Prüfung mehrdimensionaler Abhängigkeiten auszukommen, da nur Bezug zur auslösenden Situation genommen wird. Die von uns getesteten Herangehensweisen, welche ein vielschichtig verflochtenes/verschränktes Krisengeschehen berücksichtigt (multiple Krisenreaktionsmechanismen in Matrixform oder logisch verknüpfte Boolesche Operatoren) sind für die

im Projekt betrachteten Anzahlen an Krisenreaktionsmechanismen und Prozessen zu

komplex, wären weit über den Rahmen des im Projekt Leistbaren hinausgegangen und hätten letztendlich doch nie dem einen reell eintretenden Krisenfall entsprochen oder hätten nur als mäßig zufriedenstellende Lösungen einer verallgemeinerten Krisenvariante funktioniert. Zudem kann nicht davon ausgegangen werden, dass im Realfall, unter der Notwendigkeit des schnellen Handelns, Zeit zum Prüfen aller Abhängigkeiten vorliegt oder ob überhaupt alle notwendigen Informationen zur Verfügung stehen, was in der Praxis daher häufig maximal zu befriedigenden „gut-genug“-Lösungen (satisficing) führt. Wie schon zuvor beschrieben, sollte die AKRIMA-Lösung nicht eine Liste von strategischen Krisenreaktionsmechanismen hervorbringen, sondern sich deutlich dichter an den unternehmerischen Prozessen orientieren. So wurde im Projektverlauf ersichtlich, dass Krisenreaktionsmechanismen nicht nur als Katalog kontextspezifischer resilienzsteigernder Handlungsoptionen zu verstehen sind, sondern dabei gleichzeitig Auslöser für Prozessalternativen sein können, die sich zudem einfach in die bestehende (Notation) analysierter und beschriebener Referenzprozesse einfügen lassen (Abbildung 355). Varianten lassen sich so präzise und verständlich für das Simulationsmodell miteinander vergleichen, so dass bestmöglich gehandelt werden kann.

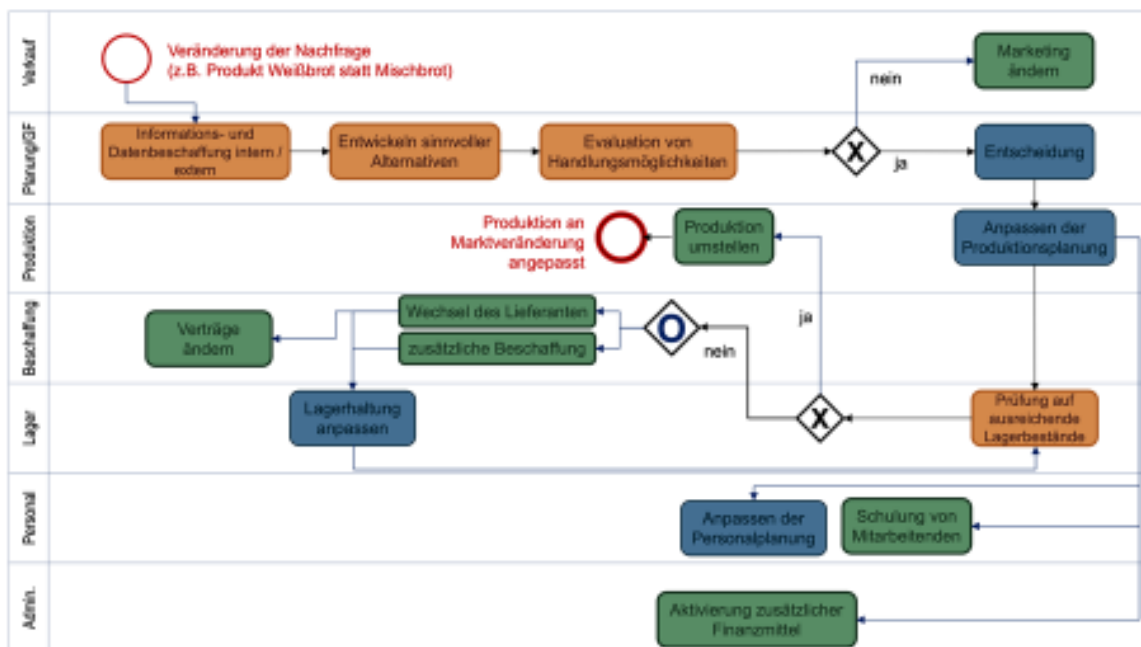


Abbildung 35: Krisenreaktionsmechanismen als Auslöser für Prozessalternativen in der AKRIMA-Notation.

Übersicht über KRM und ihren Resilienzbeitrag

Wie beschrieben, wurden die Krisenreaktionsmechanismen anhand der identifizierten Schutzgüter im allgemeingültigen und Szenario-relevantem Zusammenhang erarbeitet. Ein kontextuelles Clustering erfolgte entsprechend der Art der Schutzgüter, dem Einfluss auf unternehmerische Prozesse oder krisen- bzw. szenarien-typischen Reaktionen. Die konsolidierte Zusammenstellung umfasst 95 Krisenreaktionsmechanismen (Abbildung 36).

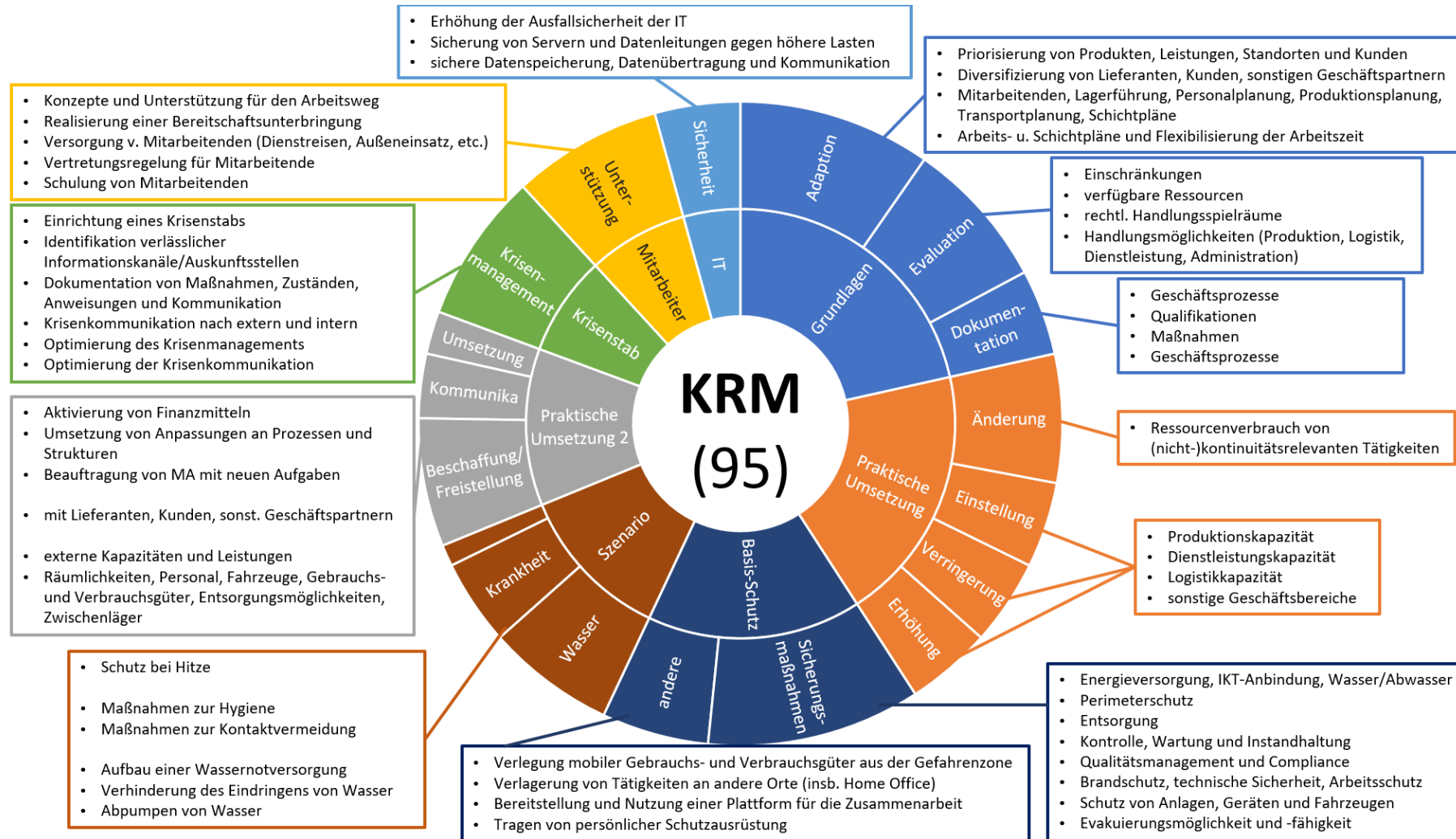


Abbildung 36: Entwickelte Systematik der Krisenreaktionsmechanismen mit beispielhaften Inhalten.

Diese Unterteilung ist weniger nach theoriegestützten Überlegungen angesetzt, sondern diente praxisorientierten Aspekten der Nutzung im Anwendungsfall und vereinfachte gleichzeitig die Lesbarkeit in unseren weiteren Arbeiten. Im weiteren Erarbeitungsprozess wurden Entscheidungsparameter evaluiert, welche für die Anwendung der Krisenreaktionsmechanismen entscheidend waren (z. B. technische Umsetzbarkeit, Verfügbarkeit von technischen Ressourcen, Verfügbarkeit von Personalressourcen, Verfügbarkeit von Roh- und Verbrauchsstoffen, Auswirkungen (z. B. Energieverbrauch), Kostenstruktur, kurz- / mittel- / langfristige Wirtschaftlichkeit). Aus diesen Entscheidungsparametern entstanden Kategorien, nach denen die Krisenreaktionsmechanismen weiter denominiert wurden. Diese dienen dazu Bezugsgrößen, Wechselwirkung und Zusammenhänge mit anderen Krisenreaktionsmechanismen, respektive den jeweiligen Prozessen zu kategorisieren und die eigene Wirksamkeit zu differenzieren. Gleichzeitig wird mit dieser Denominierung die Lücke zwischen klassischer Einteilung und praktischer Anwendung gefüllt. Neben einer laufenden Nummer und der Einteilung in oben genannte Systematik erhält jede Maßnahme eine Beschreibung in Form eines kurzen Textblockes. Denn anders als in *RESPAN* steht anstelle des handbuchartigen modularen Pandemieplaners in *AKRIMA* die Interaktion mit dem DFKI-Tool im Vordergrund. Die 95 Krisenreaktionsmechanismen wurden daher nicht als steckbriefartige Handlungsanweisung mit umfangreichen Abhängigkeiten ausformuliert, jedoch sind die beschreibenden Textblöcke ausführlich genug gehalten, so dass Zweck und Sinnhaftigkeit der Maßnahme verständlich werden. Zusätzlich wurden einige Krisenreaktionsmechanismen in einer Langform beschrieben, um an jeweiligen archetypischen Prozessen die Einsatzmöglichkeiten und die Wirkweise des jeweiligen Krisenreaktionsmechanismus detailliert in einen praktischen Referenzrahmen zu verdeutlichen.

Die weitere Denominierung jedes einzelnen Krisenreaktionsmechanismus erfolgt durch die Einteilung in eine Hauptkategorie, welche die Zuordnung zum unternehmerischen Prozessbereich spezifiziert (z. B. „Produktion“, „Dienstleistung“, „Logistik“, „Administration“, „Personal“, „Kommunikation“, etc.) und dabei die vorherige grobe Unterteilung erweitert. Zusätzlich wird in einer weiteren Kategorie die Art der Wirkrichtung der Krisenreaktionsmechanismen typisiert und insbesondere für Maßnahmen des adaptiven Krisenmanagements weiter spezifiziert („Schutz“, „Anpassung/Ergänzung/Entfernung von

Aktionen“, „Umsetzung eines übergeordneten Aktionsplanes“, etc.). Bei jedem Krisenreaktionsmechanismus wird zudem angegeben, welche Ressourcenklasse durch die Maßnahmen betroffen sind, wobei neben den klassischen („Infrastruktur/Anlagen“, „Fahrzeuge/Transportmittel“, „Roh-, Hilfs-, Betriebsstoffe“/„Halb-/Fertigprodukte“ und „Personal“) auch Wissensressourcen („Daten, Informationen, Wissen, Kommunikation“) und immaterielle strategische Ressourcen für die Planung von Maßnahmen („Konzeptionelle Vorstufen“) einbezogen werden. Die Beurteilung der Wirksamkeit eines Krisenreaktionsmechanismus erfolgt mit einer Vielzahl von Parametern. Der Zeithorizont bis zum Einsetzen der Wirkung (von „unmittelbar“, hier: < 7 Tage, bis „langfristig“, hier: > 4 Monate), gibt die Geschwindigkeit der Wirksamkeit von Maßnahmen an. Ob Krisenreaktionsmechanismen nur mit komplementären Maßnahmen eine Wirkung entfalten (typischerweise bei strategischen oder planerischen Maßnahmen der Fall), eigenständig wirken (wie bspw. die meisten präventiven Schutzmaßnahmen) oder (eigenständig und) synergistisch mit komplementären Maßnahmen wirken (viele Anpassung der unternehmerischen Prozesse wirken so, aber auch bestimmte Schutzmaßnahmen), wird durch das Ausmaß der Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen festgehalten. Des Weiteren wird sowohl der Aufwand der Umsetzung jeder einzelnen Maßnahme anhand einer fünfstufigen Skala bewertet (berücksichtigt werden der Grad der strukturellen internen Veränderung sowie die Abhängigkeit von externen Faktoren), als auch der Aufwand, die Maßnahme zurückzunehmen – bspw. anhand der Dauer der Zusatzbelastung zur Rückabwicklung. Vielleicht am wichtigsten ist der Resilienzbeitrag selbst, welcher zum einen qualitativ beschrieben, jedoch auch als quantitativer Faktor berechnet wird. Da nicht für alle Krisenreaktionsmechanismen eine Verallgemeinerung bzw. Ausweitung des Anwendungsbereiches in der textuellen Beschreibung bzw. in der Wirkrichtung erfolgen konnte, lassen sich nicht alle Krisenreaktionsmechanismen auf jedes in AKRIMA betrachtete Szenario gleichermaßen anwenden oder der erzielte Effekt ist nicht in jedem Szenario gleich groß. Entsprechend wird der quantitative Resilienzbeitrag (fünfstufige Skala) für jedes Szenario individuell angegeben. Die besonders wirkmächtigen (sehr stark in einzelnen Szenarien bzw. universelle) Krisenreaktionsmechanismen können jedoch an einem gebildeten Mittelwert erkannt werden.

Die Ermittlung der Kategorien und der Größe der jeweiligen Ausprägung der Krisenreaktionsmechanismen beruhte auf Konsultationen in Workshops mit den Praxispartnern, wurde aber immer auf die Auswirkungen in einem mittleren Unternehmen abgestimmt, da Großkonzerne aus unserer Erfahrung heraus anders agieren. Die Abbildungen 37 bis 39 vermitteln hiervon einen Eindruck; auf Grund der Größe der Datei ist die Bildqualität begrenzt zufriedenstellend und hilfreich, die Originaltabelle kann aber gern bei der TH Wildau angefragt werden.

lfd. Nr. (Formel)	Maßnahmengruppe	Maßnahmenbezeichnung (Freitext)	Beschreibung
1	Grundlagen	Dokumentation der Geschäftsprozesse	Bei der Dokumentation der Geschäftsprozesse werden alle relevanten Daten von Prozessen mit ihren Abläufen und Tätigkeiten (inkl. Steuerung und Überwachung), Erhebung dient sie der Analyse, der Optimierung (an eine Soll-Konzeption) und erleichtert die Adaption an veränderte Anforderungen.
2	Grundlagen	Dokumentation der kontinuierlich relevanten Prozesse, Tätigkeiten und Mitarbeitenden	Die Dokumentation für die Aufrechterhaltung der Geschäftstätigkeiten umfasst die notwendigen Prozesse sowie die darin enthaltenen Tätigkeiten und Mitarbeitenden innerhalb von Prozessen abbilden, die dauerhaft durchgeführt werden müssen und Mitarbeitende, die aufgrund ihrer Qualifikation oder Berechtigung diese Tätigkeiten ausführen.
3	Grundlagen	Dokumentation der verfügbaren Mitarbeitenden und ihrer Qualifikationen	Die Erfassung der verfügbaren Mitarbeitenden und deren Qualifikationen dient der Aufrechterhaltung kontinuierlich relevanter Prozesse. Dabei zu beachten sind Aufgaben im Ehrenamt. Die Dokumentation kann auch auf reaktive ehemalige Mitarbeiter erweitert werden.
4	Grundlagen	Dokumentation krisenbezogener Maßnahmen (Prozessanpassungen, Unterweisungen, Kommunikation, etc.)	Alle aufgrund der Krise ergriffenen Maßnahmen werden dokumentiert. Dies umfasst Anpassungen in den Prozessen und Tätigkeiten, der Unterweisung von Mitarbeitenden, der Kommunikation, etc.
5	Grundlagen	Erfassung von Einschränkungen / Schäden und deren Quellen bzw. Ursachen	Durch die Analyse der Lage (evtl. erweitert durch Szenarien), werden Einschränkungen identifiziert, welche Auswirkungen auf die Geschäftstätigkeit haben. Die Erfassung der Schäden an der Betriebsstätte oder Betriebsmitteln. Ursachen der Einschränkungen sind zu eruieren.

Abbildung 37: KRM-Übersicht und Bewertung (I).

Hauptkategorie (Auswahl)	Hauptart (Auswahl)	Ressource (x)						Zeithorizont bis Einsetzen der Wirkung (Auswahl)	Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen (1-3, Auswahl)		negative Nachkrisenwirkung(en) (1-5, Auswahl)	
		Konzeptionelle Vorstufe	Infrastruktur und Anlagen	Fahrzeuge und Transportmittel	Werkzeuge, (Halb-) Fertigprodukte	Werkstoffe, (Halb-) Fertigprodukte	Personal / Menschen					
Planung & Management	Managementinstrument	x					x	x	mittelfristig	1 - erfordert komplementäre Maßnahmen für Wirkbeitrag	1 - vernachlässigbarer Abwicklungsaufwand	1
Planung & Management	Managementinstrument	x					x	x	kurzfristig	1 - erfordert komplementäre Maßnahmen für Wirkbeitrag	1 - vernachlässigbarer Abwicklungsaufwand	1
Planung & Management	Managementinstrument	x					x	x	kurzfristig	1 - erfordert komplementäre Maßnahmen für Wirkbeitrag	1 - vernachlässigbarer Abwicklungsaufwand	1
Krisenmanagement	Managementinstrument	x					x	x	kurzfristig	1 - erfordert komplementäre Maßnahmen für Wirkbeitrag	1 - vernachlässigbarer Abwicklungsaufwand	1

Abbildung 38: KRM-Übersicht und Bewertung (II).

Resilienzbeitrag						
allgemein (1-5)	Pandemie (1-5)	Bioterror (1-5)	Dürre (1-5)	Starkregen (1-5)		Resilienzbeitrag - qualitativ
3	3	3	3	3		Grundlage für bessere Entscheidungen generell, wirkt auf alle Szenarien
3	3	3	3	3		Grundlage für bessere Entscheidungen im Krisenfall, wirkt auf alle Szenarien
2	2	2	2	2		Basis für effizienten Personaleinsatz im Krisenfall, jedoch auch Führungswissen
4	4	4	4	4		Maßnahmen-Handbuch ("Playbook") im Krisenfall
2	2	2	2	2		hilfreich, jedoch auch Prozesswissen im Unternehmen

Abbildung 39: KRM-Übersicht und Bewertung (III).

Aufgrund der Entscheidung, dass Krisenreaktionsmechanismen zur Auslösung alternativer Prozesse genutzt werden, befasst sich ein großer Teil des Maßnahmenkatalogs mit Prozessadaptierenden Verfahren und eine geringere Anzahl der Krisenreaktionsmechanismen ist den für die Szenarien typischen und relevanten reaktiven Krisenmanagement zuzuordnenden. Mit der entwickelten Typisierung lässt sich das Set der generischer und modular beschreibbarer Krisenreaktionsmechanismen (1) eindeutig und sinnvoll von anderen Maßnahmen unterscheiden, und zeigen, dass (2) ein direkter Zusammenhang mit einer im Krisenkontext der definierten Szenarien sinnvollen Anpassung von Prozessen nachweisbar und ein Effekt durch die agentenbasierte Simulation darstellbar ist sowie (3) der Erfolg, die Wirkung oder die Folgen der Krisenreaktionsmechanismen auf Prozesse und Strukturen sich mit hoher Sicherheit abschätzen lassen.

Fallstudien (AP 4)

Die Erfassung der Unternehmensprozesse in *AKRIMA* erfolgte auf Basis einzelner Fallstudien je Unternehmen. Dabei konnte und wollte *AKRIMA* keine detaillierte Produktions- und Logistiksimulation durchführen, sondern konzentrierte sich auf die Simulation von verallgemeinerten Zuständen, Kriseneffekten und Reaktionsstrategien. Auch wenn die Simulation von Produktion und Logistik (in ausreichender Qualität, etwa nahe dem Niveau einer herkömmlichen Produktionsplanung) einen Beitrag zur Genauigkeit der Gesamtsimulation leisten würde, so war sie in *AKRIMA* schlussendlich nicht umsetzbar, da hierfür der Datenzugang und auch die Kapazitäten fehlen. Entsprechend sollten die beteiligten Unternehmen nicht direkt abgebildet, sondern im Rahmen generalisierter Fallstudien auf Basis dieser Unternehmen betrachtet werden. Dementsprechend wurden die Simulationen (etwa wie die gegebenen Prozesse auf die aktuell betrachtete Krisenlage reagieren) auch nicht auf Grundlage der ‚echten‘ Unternehmensdaten durchgeführt, sondern auf der Grundlage der Daten jeweils eines beispielhaften Unternehmens, die sich an den entsprechenden Praxispartnern orientieren. Diese Daten basieren auf den Ergebnissen der Prozesserhebung und -analyse mit den assoziierten Praxispartnern im Rahmen der jeweiligen Fallstudien.

Zur Ausgestaltung der Fallstudien wurden den beteiligten Unternehmen zunächst in einem Workshop die in *AKRIMA* betrachteten Szenarien vorgestellt und deren Feedback eingeholt, anschließend Unternehmen-Szenarien-Paarungen nach zwei Maßgaben gebildet:

1. In welchem Szenario ist welche der von den Unternehmen repräsentierten Logistikketten (Lebensmittel, Fast Moving Consumer Goods - FMCG, Medizinprodukte und Schutzmaterialien) besonders relevant?
2. Welches Szenario wird von den jeweiligen Unternehmen als größte Herausforderung betrachtet?

Aus diesem Matching ergaben sich die folgenden Paarungen:

- Szenario Pandemie: Logistikkette Lebensmittel, repräsentiert von BACKMACHER, Festlegung auf TK-Backware
- Szenario Bioterror und Pandemie: Logistikketten Schutzausrüstung und Medizintechnik (Atemgeräte), repräsentiert von Dräger
- Szenario Dürre: Logistikkette FMCG, repräsentiert von Beiersdorf, Festlegung auf Körperpflege und Desinfektionsmittel

Ausgehend von diesen Paarungen wurden in den Jahren 2022 und 2023 mehrere **Fallstudien** aufgesetzt. Unter der Prämisse, dass die verschiedenen Fallstudien darauf abzielen, Prozesse, Strukturen, KRM und sonstige Informationen von und mit den Praxispartnern bis zu einem Niveau zu erheben, das eine verallgemeinerte Beschreibung erlaubt, sollten nicht ‚alle‘, sondern spezifische Informationen über die Prozesse gesammelt werden. Hierfür kam ein Methodenmix zum Einsatz, wobei die leitfadengestützten Interviews mit Entscheidungs- und Kompetenzträger:innen der Praxispartner zunächst im Fokus standen, um ein grundlegendes Verständnis der Prozesse, Strukturen und Abhängigkeiten innerhalb der Unternehmen zu gewinnen.

Bei diesen Interviews wurden etwa der allgemeine Kontext des Unternehmens, der Aufbau der Prozesse und Strukturen, die Erfahrungen in vergangenen Krisenlagen und die bereits erprobten sowie denkbaren Reaktionsmöglichkeiten in Krisen abgefragt. Punktuell wurden die in den Interviews erfragten Aspekte um Dokumente (z. B. Prozessschemata oder Statistiken) ergänzt, sofern die Unternehmen diese zur Verfügung gestellt haben. Die so erhaltenen Informationen wurden verallgemeinert und verfremdet, bevor sie in Excel katalogisiert wurden. Dadurch entstanden Prozesslandschaften, die an die Realität bei den Praxispartnern angelehnt waren, jedoch keine Unternehmensdetails preisgaben; an vielen Stellen wurden verbliebene ‚blinde Flecken‘ (Informationen, die nicht erhoben werden konnten oder im Prozess schlichtweg vergessen wurden, z. B. benötigte Fachkräfte in einem bestimmten Prozessschritt) im Nachgang durch Recherche von Standardwerten und Good Practices ergänzt. Im Beispiel von Dräger Safety entstand so z. B. eine Produktions- und Lieferkette ‚wie Dräger Safety‘, aber es ist nicht 1:1 Dräger Safety. Damit hat die TH Wildau einen guten Mittelweg zwischen der Orientierung an der Praxis für eine zielführende

Simulation und den berechtigten Sorgen um wettbewerbsrelevante Daten gefunden. Ganz praktisch fanden die Interviews (mit Ausnahme von FRoSTA, s. u.) grundsätzlich vor Ort statt. Vorab wurde durch die TH Wildau festgelegt, welche Personen zu welchen Themen als Interviewpartner gewünscht sind (z. B. Leitung Produktion, Leitung Logistik, Leitung Einkauf, Leitung Krisenstab) und dies mit dem jeweiligen Unternehmen abgestimmt. Dabei konnten nicht immer Gespräche mit allen ‚gewünschten‘ Personen geführt werden, die Abdeckung war aber insgesamt sehr hoch. Dazu muss auch festgestellt werden, dass die Anzahl und Funktion der gewünschten Gesprächspartner:innen groß und eher auf der oberen Managementebene angesiedelt waren, es sich also durchweg um Personen handelte, die zumeist wenig abkömmlich waren und tendenziell volle Terminkalender haben. Vor diesem Hintergrund war die Terminfindung kompliziert, was sich bspw. in der kurzfristigen Verschiebung der Analyse bei Dräger vom Dezember 2022 in den Januar 2023 niederschlug. Dennoch ist deutlich zu betonen, dass die beteiligten Unternehmen sehr kooperationsbereit waren und ‚alles möglich gemacht haben, was möglich gemacht werden konnte‘.

Anmerkung: Ein besonderer Dank gebührt der Firma Dräger, die sich im Rahmen dieser Erhebungen sowie im Nachgang immer wieder als äußerst verlässlicher, engagierter Partner in das Projekt eingebracht hat, obwohl sie ‚nur‘ als assoziierter Partner eingebunden waren.

Die Interviews dauerten jeweils mindestens 60, höchstens 120 Minuten und erstreckten sich (ebenfalls mit Ausnahme von FRoSTA) über jeweils mehrere Tage. Zudem wurden sie meist von mehreren Personen begleitet: Bei BACKMACHER eine, bei Beiersdorf zwei, bei Dräger drei und bei FRoSTA zwei Personen. Der Hintergrund war zum einen die unterschiedliche Ausrichtung der Fragen (insbesondere eher ‚weiche‘ Faktoren – primär Human Factors – gegenüber eher ‚harten‘ Faktoren – Zahlen und Fakten), die von unterschiedlichen Personen unterschiedlich gut ausgefüllt werden konnten; zum anderen die schiere Menge der Informationen, die aufgenommen und verarbeitet werden mussten. Pausen zwischen den Interviews erlaubten eine gewisse Anpassung der nächsten Fragen an das Gelernte, eine echte Verarbeitung und Reflexion konnte aber erst nach Abschluss aller Unterlagen und Sichtung der Notizen sowie Gesprächsprotokolle (soweit vorhanden) erfolgen. Dabei ergaben sich im Nachgang mitunter Fragen, welche die Unternehmen aber bereitwillig und zügig

beantworteten. Ergänzend wurden studentische Arbeiten angeleitet und so zusätzliche Perspektiven berücksichtigt, beispielsweise bei der Bestimmung der Kritikalität verschiedener Prozesse innerhalb der Unternehmen. Die so gewonnenen Informationen wurden mittels des Excel-Tools sowie der Notation aufgenommen und durch zusätzliche Analysen und Recherchen ergänzt, die etwa auf Realdaten aus den Unternehmen, punktuellen Nachfragen, adäquater Modellierung, der Extrapolation aus anderen Fallstudien sowie der Orientierung an bekannter Branchen-Good-Practice basieren.

Die Durchführung der Fallstudien zeichnete sich durch teils **erheblich abweichende Rahmenbedingungen** aus, sodass die Ergebnisse auf den ersten Blick nicht miteinander vergleichbar sind (folgende Aufzählung in Reihenfolge der Durchführung):

- BACKMACHER: Bei der Analyse von BACKMACHER konnte die TH Wildau auf die Expertise einer Mitarbeiterin zurückgreifen, die im Unternehmen ihr Bachelorpraktikum durchgeführt und ihre Abschlussarbeit geschrieben hat, also gut mit allen Abläufen vertraut war. Hier fanden zwar klärende Gespräche, aber keine Interviews im eigentlichen Sinne statt. BACKMACHER schied später durch Insolvenz aus dem Projekt aus, weswegen als Ersatz für die Logistikkette Lebensmittel eine Erhebung mit FRoSTA durchgeführt wurde (s.u.); die Erkenntnisse der BACKMACHER-Erhebung flossen in die Konstruktion des „Bäckerei PoC“ (s.u.) ein, der im Workshop in Lübeck diskutiert und zum Meilenstein in der Projektmitte dem Projektträger sowie der interessierten Öffentlichkeit präsentiert wurde.
- Beiersdorf: Bei Beiersdorf in Berlin erstreckten sich die Interviews über drei Tage und wurden von zwei Personen begleitet. Interviewt wurden Kompetenz- und Entscheidungsträger:innen aus den Bereichen Einkauf, Logistik und Materialmanagement. Die Erhebungen wurden von einer Bachelorarbeit mit dem Titel „Ermittlung von Parametern und Kennzahlen für eine Bewertung von Krisenreaktionsmaßnahmen und deren Auswirkungen auf kritische Unternehmensprozesse“ begleitet.
- Dräger: Bei Dräger in Lübeck fanden die Interviews über vier Tage verteilt statt und wurden in der Spitze von drei Personen der TH Wildau begleitet. Dabei konnte mit

einer großen Menge an leitenden Mitarbeiter:innen gesprochen werden, etwa aus den Bereichen Einkauf, Supply Chain Management und Krisenmanagement. Die Erhebungen wurden von einer Masterarbeit mit dem Titel „Identifikation kontinuieritätsrelevanter Unternehmensprozesse zur Erarbeitung von Krisenreaktionsmechanismen am Beispiel der Drägerwerk AG und Ableitung von Verbesserungspotentialen grundsätzlicher Art im Krisenmanagement von Unternehmen“ begleitet.

- Bäckerei PoC: Erstellung der „Beispielprozesskette Bäckerei“ (interne Bezeichnung: Bäckerei PoC, wobei „PoC“ für ‚proof of concept‘ steht) für den Workshop in Lübeck im April 2023, aufbauend auf Recherchen und den Erkenntnissen aus der BACKMACHER-Fallstudie.
- FRoSTA: Aus terminlichen Gründen konnte kein Vor-Ort-Treffen stattfinden. Stattdessen wurde eine ca. 90-minütige Videokonferenz mit Kompetenz- und Entscheidungsträger:innen aus Logistik und Produktion durchgeführt, wobei ein sehr enger Fokus auf die Reaktionsmöglichkeiten in Krisen gelegt und die eigentliche Erhebung der Prozesse und Strukturen durch vor- und nachgelagerte Recherche ersetzt wurde.

Neben diesen unterschiedlichen Modalitäten bezüglich der Interviews (die sich vor allem aus den Wünschen und Möglichkeiten der Unternehmen ergeben haben), hat sich parallel **Methode der Prozesserhebung sowie die Art der Durchführung verändert und weiterentwickelt**: Die Erhebung bei BACKMACHER fand mit der ersten Version des Excel-Tools statt, bei Beiersdorf kam eine Weiterentwicklung zum Einsatz, bei Dräger hatte diese wiederum einen neuen Stand; erst kurz vor der Erstellung des Bäckerei PoC lag die Prozesserhebung bzw. die Excel in einer Version vor, die sich bis zum Projektende nur noch geringfügig verändert hat. Generell ist zu sagen, dass mit fortschreitender Projektdauer die Klarheit dahingehend, welche Informationen wichtig (und tatsächlich erheb- und verarbeitbar) sind, zugenommen hat; schlussendlich wurden aus jeder Anwendung der Methode Lerneffekte generiert und in Verbesserungen umgesetzt. Zudem wurden die Analysen zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt, dementsprechend auch zu

unterschiedlichen Kenntnis- und Fortschrittsständen im Projekt selbst, wodurch sich die Fragestellungen in den Interviews verändert haben. Diese Anpassungen der Methode waren notwendig, um diese Schritt für Schritt zu verbessern und auch den tatsächlichen Möglichkeiten und Bedürfnissen im Projekt anzupassen, machte aber eine nachträgliche Konvertierung der alten Erhebungen in das neue Format sowie punktuell sachlogische Extrapolationen der Erkenntnisse von einer Fallstudie zu einer anderen (z. B. Ableitung möglicher Antworten auf eigentlich nicht gestellte Fragen, basierend auf dem Kontext der sonstigen erhaltenen Informationen) notwendig.

Aber auch generell waren die erhaltenen Rohinformationen nur begrenzt miteinander vergleichbar. Aus diesem Grund oblag es der TH Wildau, die Ergebnisse schlussendlich zu harmonisieren und auf eine ähnliche ‚Ebene‘ (etwa in Bezug auf den betrachteten Detailgrad) zu bringen. Praktisch wurden dazu Erkenntnisse aus den Fallstudien in der Darlegung mittels Excel und Notation sowohl punktuell ergänzt (insbesondere in Anlehnung an Referenzsystemmodelle - ‚die gute Praxis‘), als auch vernachlässigt (z. B. wenn Prozessspezifika oder bestimmte KRM eher keinen allgemeinen Charakter haben, sondern sich sehr stark aus den Besonderheiten der betrachteten Unternehmen ergeben). Dadurch ergab sich eine harmonisierte und gut für die Simulation nutzbare Datenbasis, die aber entsprechend nicht alle Erkenntnisse aus den Fallstudien widerspiegelt.

Die Hauptfunktion der Fallstudien war die Überprüfung der *AKRIMA*-Ansätze auf Passfähigkeit und Praxisnähe zur unternehmerischen Realität; insbesondere sollte aufgezeigt werden, ob die Auswirkungen von Entscheidungen für Maßnahmen adäquat darstellbar sind. Hierzu wurden die bestehenden Handlungsoptionen im Krisenfall und die jeweiligen Folgen des Handelns für die Stabilität der Lieferketten anhand von stichprobenartig ausgewählten Fallbeispielen konkretisiert. Diese Fallbeispiele entstammen der gedanklichen Einbettung der modellierten Lieferketten (AP2) in die beschriebenen Krisenszenarien. Es wurden jeweils eine Prozesskette und ein Krisenszenario kombiniert (s.o.): Bäckerei (Food) x Starkregen/Überschwemmung und Träger Respirators (Medizintechnik) x Pandemie. Weil zwei sehr verschiedene Lieferketten in zwei Krisenszenarien mit sehr unterschiedlichen Anforderungen an das Krisenmanagement untersucht wurden, ist eine große Bandbreite

unternehmerischen Krisenmanagements erfasst. Zugrunde gelegt wurden die in AP2 modellierten Prozessketten in den Grundvarianten.

Im Kern geht es in den Fallstudien darum, die Auswirkungen der unmittelbar auf die Prozesskette einwirkenden Szenarioparameter in Form von Störungen darzustellen, zu definieren, wie ein angemessenes Krisenmanagement aussehen sollte, und dann zu überprüfen, ob sich dieses Krisenmanagement mit dem *AKRIMA*-Modell darstellen lässt. Um das nachvollziehen zu können, ist zunächst ein Grundverständnis dafür erforderlich, wie die erwünschten Wirkungen von KRM im *AKRIMA*-Modell umgesetzt sind.

Modellhafte Umsetzung der Krisenreaktionsmechanismen (KRM) In *AKRIMA*

KRM im Zusammenhang des *AKRIMA*-Modells sind Maßnahmen, die ein Unternehmen im Krisenfall selbst ergreifen kann bzw. üblicherweise selbst ergreifen muss, um direkte und indirekte Schäden vom Unternehmen und weiteren Akteuren (Lieferanten, Kunden, sonstige Partner) abzuwenden (siehe die Ausführungen hierzu im vorhergehenden Abschnitt). Die mittels agentenbasierter Simulation darstellbaren KRM beziehen sich in erster Linie auf die beiden Phasen (1) Warn- bzw. Vorbereitungszeit und (2) akute Krise. Die im *AKRIMA*-Projekt für die Simulation verwendbaren KRM sind setzen sich modular aus unterschiedlichen archetypisch beschriebenen Maßnahmen zusammen. Diese sind im *AKRIMA*-System in einem eigenen Katalog kategorisiert und werden durch verschiedene Zustände in der Simulation der Krisenszenarien aktiviert.

Wie gut Unternehmen in einer Krisensituation reagieren können, hängt nicht nur davon ab, ob in einer Krisensituation geeignete Maßnahmen zur Verfügung stehen. Damit diese im drohenden oder akuten Krisenfall beschlossen und umgesetzt werden können, müssen auf organisationaler, individueller sowie prozessualer und struktureller Ebene die dafür notwendigen Voraussetzungen geschaffen werden. In den Fallstudien wird für jedes Teilszenario (Prozesskette x Szenario) ein individuelles Set solcher KRM als „KRM-Basispaket“ definiert, das unabhängig von den konkreten Störungen in den Einzelaktivitäten anzuwenden ist.

Im AKRIMA-Modell erzeugen die konkreten Szenarioparameter eines Krisenszenarios Handlungsbedarf und führen zur Aktivierung von KRM. Jede KRM verändert direkt oder indirekt den Aufwand und / oder die Rahmenbedingungen zur Durchführung der Prozesskette (siehe Abbildung 40). Dabei lassen sich drei grundlegende Wirkmechanismen unterscheiden, die einzeln, aber auch gemeinsam auftreten können:

- Wirkmechanismus 1: Einige KRM ermöglichen oder verbessern in einer Krisensituation die Durchführung von Aktivitäten, lassen die Prozesskette an sich aber unberührt. Sie erfordern häufig zusätzlichen Aufwand, so dass sie sich negativ auf die Verfügbarkeit von Personal und Ressourcen auswirken oder eine Verlangsamung von Prozessen bewirken (siehe Wirkmechanismus 3)
- Wirkmechanismus 2: Andere KRM lösen Prozessalternativen aus und verändern so die Prozesskette. In diesem Fall „springt“ das Modell durch das Auslösen der KRM in eine Alternativkette.
- Wirkmechanismus 3: Im dritten Fall verändern KRM ausschließlich die Prozessparameter (z. B. Geschwindigkeit der Prozessdurchführung, Fehlerquoten, Kosten



Abbildung 40: Anwendung der KRM in Krisenszenarien.

Das in der Abbildung dargestellte „Basispaket relevante KRM“ wird aktiviert, sobald ein bestimmter Krisenfall eintritt, also durch das Krisenszenario selbst, unabhängig von den später getroffenen Entscheidungen.

Um die Fallstudien untereinander vergleichbar zu machen und um die Beantwortung der im Zuge der Entwicklung des AKRIMA-Systems aufgetretenen Fragen zu ermöglichen, wurden die Fallstudien in folgenden Schritten durchgeführt:

1. *Analyse der Vulnerabilität der Lieferkette gegen Störungen*

Die Lieferketten werden in ihren Grundzügen auf Basis eines hierarchischen Vulnerabilitätsfaktorenmodells analysiert. Besonders vulnerable Teile der Prozessketten mit Bezug auf die Krisenszenarien werden identifiziert. Für die Prozesskette besonders relevante Störursachen werden nach Zeithorizonten (Zeitraum zwischen Auftreten der Ursache und Auswirkung, typischer zeitlicher Verlauf) eingeordnet.

2. *Definition eines Teilszenarios:*

In einem detailliert ausgearbeiteten Ausschnitt eines Krisenszenarios („Story“) werden die Prozessketten auf ihre Vulnerabilität und bestehende Handlungsmöglichkeiten hin untersucht. Zugrunde gelegt werden die Prozessketten in der Grundvariante aus AP2. Die Teilszenarien beschreiben die exakte Situation der untersuchten Prozesskette in einem Krisenszenario, deren Entwicklung im Verlauf des Krisenszenarios auf Ebene der Aktivitäten analysiert wird.

3. *Spezifizierung der Störungen:*

In den Teilszenarien wird die Situation der Ketten konkretisiert. Die in den einzelnen Aktivitäten auftretenden Störungen werden spezifiziert. Es werden geeignete Gegenmaßnahmen zugeordnet.

4. *Festlegung der anzuwendenden Krisenreaktionsmechanismen im Teilszenario*

Die im Einzelfall besonders relevanten (wirksamen, notwendigen, ...) KRM ergeben sich aus den identifizierten Handlungsmöglichkeiten als Reaktion auf Störungen und deren Erfolgsaussichten. Es wird ein hierarchisches Zielsystem für das Krisenmanagement im Teilszenario abgeleitet und die Krisenreaktionsmaßnahmen aus dem AKRIMA-KRM-

Katalog zur Umsetzung der definierten Teilziele zugeordnet. Zusätzlich wird ein „KRM-Basispaket“ grundlegender Maßnahmen für ein erfolgreiches Krisenmanagement im Teilszenario festgelegt.

5. *Anwendung der KRM:*

Die vorgeschlagenen Reaktionsmöglichkeiten werden modular beschrieben und die resultierenden Effekte auf die Prozesskette mithilfe des Prozessmodells dargestellt. Die Veränderungen werden im Modell in Form von zusätzlichen Aktivitäten, Prozessalternativen sowie Veränderung von Parametern in den Aktivitäten der Prozesskette umgesetzt.

6. *Bewertung der Effekte*

Im abschließenden Teil der Fallstudien wird beurteilt, inwiefern die vorgeschlagenen Krisenreaktionsmaßnahmen zu einer Resilienzsteigerung der Prozesskette beitragen. In der Umsetzung des AKRIMA-Modells erfolgt dies mithilfe des AKRIMA-Kennzahlenmodells, das sowohl Effektivitäts- als auch Effizienzaspekte des Krisenmanagements beinhaltet und Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Maßnahmen sowie Kaskadeneffekte berücksichtigt. Im Rahmen der Fallstudien wird in einem vereinfachten Bewertungsansatz die unmittelbare Beeinflussung der Vulnerabilität durch die angewandten Maßnahmen diskutiert.

Dabei sind die verwendeten Begriffe und Konzepte wie folgt zu verstehen:

Vulnerabilität von Lieferketten

Für die Fallstudie wird der Begriff „Vulnerabilität“ im Sinne von „Störanfälligkeit“ verwendet. Die Lieferkette wird dabei als System aufgefasst, in dem Störungen einzelner Subsysteme/ Systemkomponenten Wirkung auf das Gesamtsystem und andere Subsysteme/ Systemkomponenten haben und sich gegenseitig in ihrer Wirkung verstärken oder verändern können. Vulnerabilität kann auf Systemebene (z. B. Lieferkette), in einzelnen Subsystemen (z. B. Prozesskette) oder in einzelnen Systemkomponenten (z. B. Aktivitäten) gemessen werden. Krisenreaktionsmaßnahmen entfalten in diesen Systemen komplexe, z. T. nur schwer vollständig vorhersehbare Wirkungen. Vulnerabilität wird in diesem Kontext als statischer

Zustand eines Systems zu einem gegebenen Zeitpunkt begriffen. Dadurch bildet die Vulnerabilität den Fixpunkt der Systemanalyse, während die Störungen sich im Zeitaufbau dynamisch entwickeln. Demgegenüber steht mit Bezug auf das AKRIMA-System der Begriff der Resilienz als ein sich situativ und dynamisch in Abhängigkeit der ergriffenen KRM veränderndes Maß an Fähigkeit, die Prozesskette im Krisenfall aufrecht zu erhalten. Das Maß an Vulnerabilität einer Lieferkette wird als Funktion der Wahrscheinlichkeit verstanden, mit der eine Störung auftritt, und der Schwere der zu erwartenden Konsequenzen.

Teilszenarien

Als „Teilszenario“ wird im Rahmen der Fallstudien ein detailliert ausgearbeiteter Ausschnitt eines der vier AKRIMA-Krisenszenarien verstanden. In jedem Teilszenario ist die Situation aus Perspektive eines Unternehmens mit den sich ergebenden Herausforderungen zum Erhalt einer Prozesskette im Verlauf des Krisenszenarios beschrieben. Die Prozesskette mit den kontinuierlich relevanten Akteuren (Kunden, Lieferanten, Mitarbeitende, u. a.) wird räumlich und hinsichtlich der Einwirkung verschiedener Szenarioparameter auf die Prozesskette (Impact-Faktoren) in das Krisenszenario eingeordnet. Es wird ein fiktiver Handlungsstrang entworfen, der mit dem raumzeitlichen Verlauf des Krisenszenarios korrespondiert. So entsteht für jedes Anwendungsfeld (Prozesskette x Szenario) eine nachvollziehbare „Story“, anhand derer die Ereignisse anschaulich nachvollzogen werden können. Aus dieser Darstellung lässt sich ableiten, welche Störungen in der Prozesskette wann und in welcher Form auftreten, mit welchen Herausforderungen die Entscheidungsträger im Szenarioverlauf konfrontiert werden und welche Handlungsoptionen bestehen. Zugrunde gelegt werden die Prozessketten in der Grundvariante (siehe AP2).

Störungen

Als „Störung“ wird im Kontext der Fallstudien eine „Situation, in der die normalen Geschäftstätigkeiten durch ein unerwartetes Ereignis oder einen unerwarteten Umstand

beeinflusst wird“⁴⁵ bezeichnet. Ob der Einfluss dabei negativ (Erschwerung oder Behinderung der Durchführung der Geschäftsprozesse) oder positiv (Erleichterung der Durchführung der Geschäftsprozesse) empfunden wird, bleibt dabei zunächst offen.

In der Simulation müssen die Störungen mit belastbareren Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen darstellbar sein. Diese müssen eindeutig sein, qualitativ sowie quantitativ beschrieben werden können sowie nachprüfbar sein. Zu diesem Zweck werden die Störungen auf der Ebene der kleinsten Einheit des AKRIMA-Modells (der Aktivität einer Prozesskette) abgebildet. Betroffen ist von einer Störung die Durchführung der Aktivität im Einzelfall (Beispiel: ein Transportprozess wird durch blockierte/zerstörte Infrastruktur unterbrochen). Die Wirkung auf das Gesamtsystem ergibt sich aus der parallelen Darstellung gleichartiger Störungen (Beispiel: alle Transportprozesse die durch blockierte/zerstörte Infrastruktur unterbrochen werden) oder/und der Kombination ungleichartiger Störungen (Beispiel: alle Transportprozesse die durch blockierte/zerstörte Infrastruktur verzögert werden sowie alle Transportprozesse die durch blockierte/zerstörte Infrastruktur unterbrochen werden) in der Simulation. Zur Beschreibung der Stärke der Störungen werden die Kategorien S0 (Normalzustand); S1 (Aktivität gerät ins Stocken, wird verlangsamt oder eingeschränkt) und S2 (Aktivität ist nicht durchführbar) verwendet.

Bewertung von Krisenreaktionsmaßnahmen

Die Bewertung von KRM erfolgt in der Umsetzung des AKRIMA-Modells primär mithilfe des AKRIMA-Kennzahlenmodells, das sowohl Effektivitäts- als auch Effizienzaspekte des Krisenmanagements beinhaltet und Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Maßnahmen sowie Kaskadeneffekte berücksichtigt. Eine vereinfachte Bewertung der Effektivität der durchgeführten Maßnahmen ist möglich, indem untersucht wird, inwiefern eine unmittelbare Beeinflussung der Vulnerabilität stattfindet. Die AKRIMA-KRM sind darauf ausgelegt, entweder die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Störung zu senken (z. B. Vermeiden

⁴⁵ „Supply chain disruption, by definition, is a situation in which normal business operations are affected due to some unexpected event or circumstance.“ <https://oboloo.com/what-is-supply-chain-disruption-definition/>

einer Störung durch Personalausfall, indem rechtzeitig die gültige Vertretungsregelung umgesetzt wird), oder aber die Schwere der zu erwartenden Konsequenzen abzumildern (z. B. Reduktion der Produktion, um unnötige Verluste bei fehlender Abnahme von Produkten zu vermeiden).

Bei der Senkung der Eintrittswahrscheinlichkeit einer Störung geht es zunächst um den Begriff der „Störanfälligkeit“, wie er im Arbeitspaket 1 eingeführt wurde. Die Störanfälligkeit ist hier definiert als die Wahrscheinlichkeit, dass die Kippunkte zwischen den Störlagen, also zwischen den Zuständen S0 und S1 sowie S1 und S2 erreicht wird. Entscheidend sind die Parameter, die in einem konkreten Anwendungsfall die Störanfälligkeit bestimmen, bzw. deren Einflussfaktoren. Eine KRM ist nach diesem Ansatz dann als erfolgreich einzustufen, wenn entweder die Ausnutzung des vorhandenen Handlungsrahmens (z.B. Umsetzung von Vertretungsregelungen, Aktivierung von Ersatzlieferanten) oder aber dessen Veränderung (z.B. und Schaffung von Redundanzen, Veränderung des verfügbaren Ressourcenpools) zugunsten der Prozesskontinuität gelingt.

Fallstudie Bäckerei x Starkregen/Überschwemmung

Eine Gesamteinschätzung der Vulnerabilität der Bäckereikette wurde anhand von historischen Ereignissen sowie auf Basis statistischer Daten und Analysen zu Marktzusammenhängen vorgenommen. Die geringe Anzahl kontinuierlich relevanter Knoten sowie die hohe Anzahl potenzieller Ersatzlieferanten und Möglichkeit, redundante Knoten zu etablieren (Mühlen, Großhändler, Transporteure) machen die **Rohstoffbeschaffung von Großbäckereien recht robust gegen viele Krisenlagen**. Alle zu beschaffenden Rohstoffe sind Standardprodukte, bei denen eine große Austauschbarkeit der Lieferanten untereinander herrscht und der Aufwand für einen Lieferantenwechsel gering ist. Insgesamt besteht eine hohe Robustheit der Lieferkette Mehl in Deutschland im Krisenfall. Störungen aktueller Beschaffungsvorgänge von einem Lieferanten können kurzfristig durch Ausweichen auf andere Lieferanten überbrückt werden. Ein vulnerabler Punkt sind die geringen Lagermengen an Mehl in den Bäckereien (Vorrat für wenige Tage). Die Aufrechterhaltung des Produktionsprozesses hängt somit von der Erreichbarkeit des Anlagenstandortes ab, wodurch die Beschaffung vulnerabel gegen die

Blockade / Zerstörung von Infrastruktur im direkten Umfeld des Produktionsstandortes der Bäckerei ist.

Im **Produktionsbereich** einer Großbäckerei ist die Prozesskomplexität niedrig mit weitgehend linear ablaufende Prozessabfolgen und (vergleichsweise) einfachen Verarbeitungsschritten. Die Mitarbeitenden kennen sich i.d.R. in verschiedenen Bereichen der Prozesskette aus und sind daher flexibel einsetzbar. Die Möglichkeiten, externe und ungelernte Kräfte kurzfristig einzusetzen, sind allerdings nur gering. Aufgrund des hohen Mechanisierungsgrads ist geringe Ansteckungsgefahr des Personals untereinander gering (Pandemie, Bioterror). Gegenüber pandemischen Krisenlagen ist auch die gesamte Bäckereikette aufgrund des hohen Mechanisierungsgrads sehr robust. Hygienekonzepte sind in den Betrieben leicht umzusetzen, das Ansteckungsrisiko ist gering, die Logistik (Getreide, Mehl, Backwaren) ist spezialisiert und weit überwiegend regional und somit nur in geringem Maße den allgemeinen Pandemierisiken ausgesetzt.

Der Produktionsprozess ist hingegen sehr anfällig gegen den Ausfall der Versorgung mit Energie (Wärmeenergie für den Backprozess, Kälteenergie, Warmwasser, Antriebsenergie für den Betrieb der Anlagen und internen Transportsysteme) und mit Wasser. Der Wegfall von Energie- und Wasserversorgung des Prozesses führt zum sofortigen Produktionsstopp. Sofern keine Vorkehrungen für eine Notfallversorgung getroffen wurden, ist der Produktionsprozess somit im höchsten Maße vulnerabel gegen die Zerstörung / den Ausfall leitungsgebundener Infrastruktur (Energie, Wasser).

Ein weiterer vulnerabler Punkt liegt in der Anlagentechnik begründet: Modernen Großanlagen sind Spezialanfertigungen. Je nach Anlagenkonzept können Schäden oder größere Störungen nicht werksintern beseitigt werden, sondern es bestehen Abhängigkeiten von spezialisierten Wartungs- und Reparaturfirmen oder vom Anlagenproduzenten. Wenn Verschleiß- und Ersatzteile oder neue Technik bestellt werden müssen, sind gegebenenfalls lange Lieferzeiten einzuplanen. Je nachdem, in welchem Umfang solche Teile bevorratet werden (können), ist der Produktionsprozess vulnerabel gegenüber entsprechenden Verzögerungen oder Störungen in überregionalen und internationalen Lieferketten.

Die **Distribution von frischen Backwaren** ist **komplex und zeitkritisch** und dadurch vulnerabel gegenüber Störungen im Straßennetz. Beeinträchtigungen in diesem Bereich bewirken allerdings nicht zwingend den kompletten Ausfall der Distribution, da diese sich aus einer Vielzahl von Transportvorgängen zusammensetzt. Die Veränderung oder der Wegfall einzelner Transporte hat nicht unbedingt einen negativen Einfluss auf die übrigen Transportvorgänge. Nennenswerte Auswirkungen auf das Gesamtsystem ergeben sich erst aus der Aufsummierung diverser Störungen, wenn kritische Schwellenwerte (massives Überschreiten von Zeiten; Blockade von Transportmitteln; Wegfall erheblicher Abnahmemengen) erreicht werden.

Darüber hinaus werden Informationen über den Bedarf der einzelnen Lieferstellen benötigt. Ganz gleich, ob es sich um eine Filialbäckerei oder eine Lieferbäckerei handelt: Wird täglich frisch ausgeliefert, gehen die Bestellabrufe täglich ein. Die Bestellabrufe erfolgen digital, in vielen Fällen sogar algorithmengestützt und teilautomatisiert. Fallen die IT-Systeme der Bäckerei oder eines Abnehmers aus, erhöht dies im besten Fall nur den Arbeitsaufwand auf beiden Seiten, im schlechteren Fall kann die Bestellung nicht erfolgen. Mit einer schlechteren Anpassung der Liefermenge an den Bedarf und einen Anstieg des Teils unverkaufter Ware ist in jedem Fall zu rechnen. Zusammenfassend kann somit eine hohe Vulnerabilität der Distribution der Bäckereikette gegenüber folgenden Ereignissen festgestellt werden:

- Ausfall von Energie- und Wasserversorgung
- Blockade der Infrastruktur
- Nichtverfügbarkeit von Fahrzeugen und Fahrpersonal
- Nichtverfügbarkeit von Energie für den Transport (Kraftstoff, Strom)
- Ausfall von Lieferstellen
- Ausfall von IKT-Systemen.

Tabelle3 gibt ergänzend eine Übersicht über **die zeitliche Perspektive** möglicher Reaktionen der Bäckereiprozesse auf die wichtigen Störfaktoren:

Tabelle 3: Zeitliche Perspektive möglicher negativer Folgen von Störfaktoren in der Bäckereikette

Zeitliche Perspektive	Störfaktoren
Monate	- Energiepreise
	- verfügbare Getreidemenge, -qualität, -preise
Tage	- Ausfall der Beschaffung von Rohstoffen (zeitliche Perspektive für Leerlaufen des Lagers je nach Rohstoff)
sofort	- fehlende Möglichkeit der Distribution (bei Frischware)
	- Ausfall von Personal unter kritischen Wert, um den Prozess am Laufen zu halten
	- physische Beeinträchtigung oder Bedrohung des Standorts (Beschädigung oder Nicht-Nutzbarkeit der Räumlichkeiten und Anlagen)
	- Ausfall von Energie- und Wasserversorgung
variabel/situationsabhängig	- Ausfall der Lieferketten für Verschleiß- und Ersatzteile für die Anlage

In der Fallstudie wurde eine industrielle Großbäckerei des Typs Lieferbäckerei zugrunde gelegt. Die externe Logistik (inbound und outbound) wird ausschließlich per Lkw abgewickelt. Im Szenario Starkregen/Überschwemmung finden zunächst wiederholt punktuell Überschwemmungen durch Starkregen statt, später schreiten flächige Überschwemmungen von Südwest Richtung Norden voran.

Die Bäckerei ist so im Krisenszenario verortet (siehe Abbildung 41), dass während des gesamten Krisenverlaufs Handlungsspielraum zur Aufrechterhaltung der Geschäftsprozesse besteht: Der Standort an sich wird nicht überflutet oder durch Starkregen geschädigt, die Versorgungsinfrastruktur (Wasser, Abwasser, Energie, IKT) bleibt erhalten. Durch Blockade von Verkehrsinfrastruktur an verschiedenen Stellen in der Region sowie durch Ausfall von Personal (eigene Betroffenheit, Ehrenamt) entstehen größere Herausforderungen. Auf diese muss mit Maßnahmen reagiert werden, um die Produktion und Auslieferung von Backwaren aufrecht erhalten zu können.

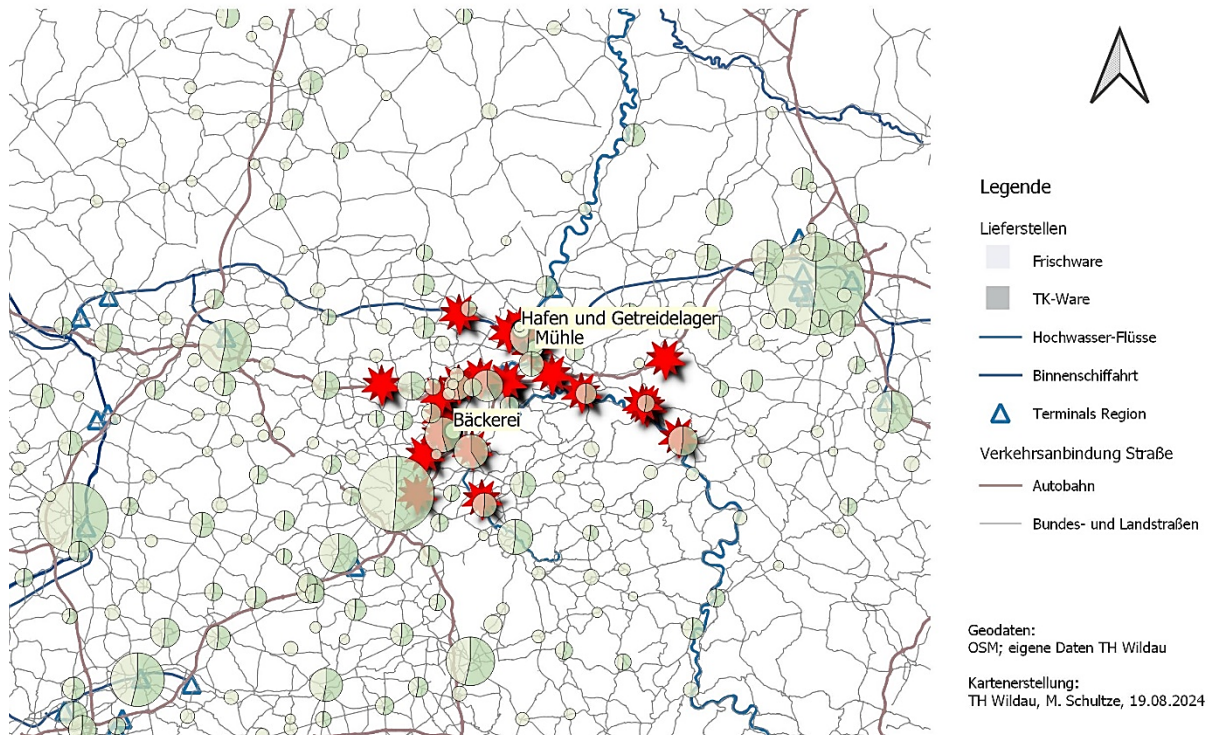


Abbildung 41: Räumliche Übersicht über die Störungen der Bäckereikette (vereinfacht entsprechend Kartenmaßstab) im Teilszenario; die Größe der Tortendiagramme symbolisiert die Abnahmemenge am Zielort

In der **gesamten Prozesskette** fällt Personal durch eigene Betroffenheit sowie durch Einsatz im Ehrenamt aus. Der Personalmangel verschärft sich im Laufe der Krisenentwicklung fortschreitend und tritt in allen Teilen der Prozesskette auf.

Die Beschaffung des Rohstoffs Mehl wird durch die Betroffenheit von Akteuren in der Lieferkette und den krisenbedingten Ausfall / die Nicht-Nutzbarkeit von Verkehrsinfrastruktur beeinträchtigt. Die Lagerkapazität für Mehl am Produktionsstandort der Bäckerei ist nur auf wenige Tage ausgelegt. Die verlässliche Anlieferung von Mehl ist daher kontinuierlich relevant. Das verwendete Mehl ist ein Standardprodukt vieler Mühlen, welches im Regelfall kurzfristig geliefert werden kann.

Parallel dazu entstehen Störungen in der **Distribution** durch die Sperrung oder die Überschwemmung von Straßenabschnitten, durch die zeitweilige Blockade von Straßenabschnitten durch Staus und das Verkehrsaufkommen auf den Umfahrungen, sowie durch die Schließung von Discounterfilialen. Zusätzlich können auch Fahrer durch eigene Betroffenheit, Einsatz im Ehrenamt oder Nichtbewältigbarkeit des Arbeitswegs ausfallen. Je

nach Unwetter- und Hochwasserlage kann es auch sein, dass Transportmittel nicht (rechtzeitig) zur Bäckerei gelangen, um die Fracht aufzunehmen.

Die folgende Abbildung 42 zeigt, wie die Auswirkungen dieser Störungen auf Beschaffung, Produktion und Distribution sich im zeitlichen Verlauf darstellen könnten. Zu sehen sind zunächst die massiven Störungen in Beschaffung und Distribution während des Ereignisses. Die Produktion läuft zunächst unvermindert weiter, wird dann aber als Reaktion auf die Schwierigkeiten in der Beschaffung kurzzeitig zurückgefahren. Anschließend wird sie schnell wieder hochgefahren, zunächst mit Blick auf die anhaltenden Störungen in der Distribution auf ein vermindertes Maß, zum Szenarioende aber wieder auf Volleistung. Durch den Wegfall von Abnehmern im Filialnetz der Discounter-Kette hat die Bäckerei freie Produktionskapazitäten und kann so die Versorgung von Notunterkünften und Einsatzkräften übernehmen. Nach Abschluss der notwendigsten Aufräum- und Sicherungsarbeiten reist ein Großteil der Einsatzkräfte und Freiwilligen von außerhalb wieder ab, und die großen Versorgungszentren werden geschlossen. Die Mengen, die über diesen Weg vermarktet werden können, fallen schlagartig weg (ab Tag 15). Die Rückkehr zu den normalen Distributionsmengen über das Filialnetz erfolgt dann schrittweise und erreicht zum Szenarioende fast schon wieder Normalniveau.

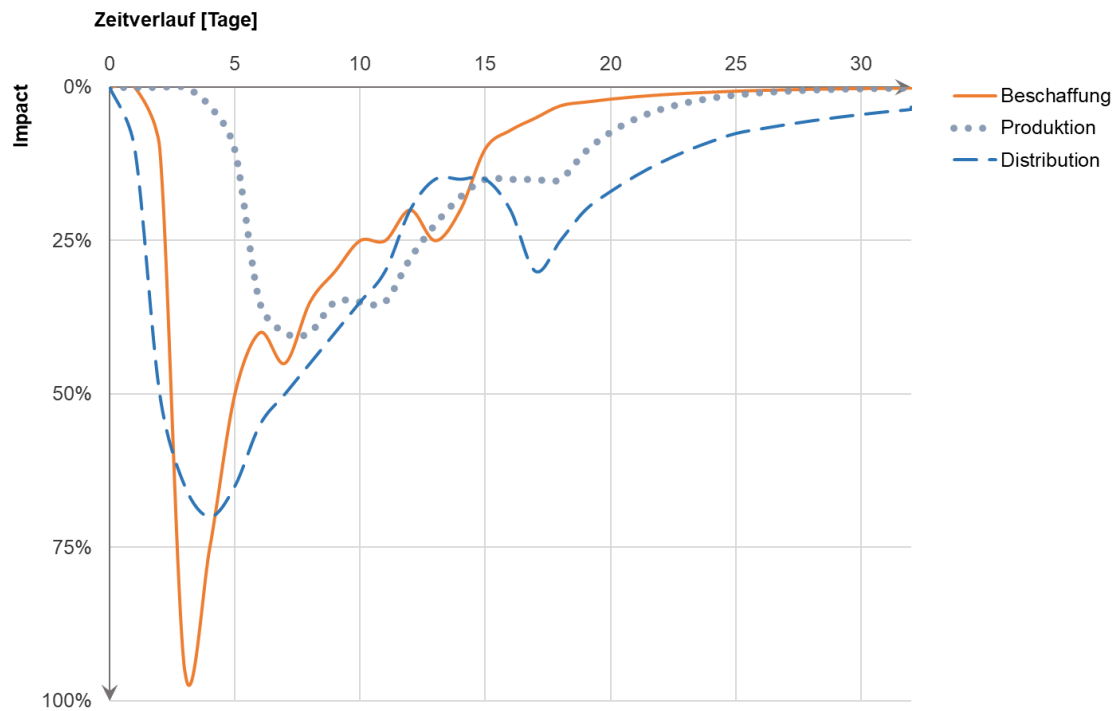


Abbildung 42: Stärke der Auswirkung der Störungen (Impact) im zeitlichen Verlauf (Beispielverlauf entsprechend des Teilszenarios)

Ebenfalls untersucht wurden die Auswirkungen bei Überflutung des Produktionsstandorts oder Ausfall der leitungsgebundenen Infrastruktur am Standort (bei ansonsten gleichbleibendem Teilszenario). Bei einem vollständigen Ausfall des Standorts durch Überflutung und/oder Ausfall der Versorgungsinfrastruktur würde sich auch der zeitliche Verlauf der Störungen mit stärkeren Ausschlägen sowie mit einem anhaltend verringerten Leistungsniveau darstellen (siehe Abbildung 43). Ursächlich für die großen Schwankungen im Leistungsniveau der Prozesskette ist u. a., dass durch den Produktionsausfall und die damit verbundene Lieferunfähigkeit dauerhaft Abnehmer verloren gehen. Die Produktion wird aufgrund der geringeren Absatzmengen bis auf Weiteres auf vermindertem Niveau geführt. Die Beschaffungsseite geht nach dem Ereignis in Vorlauf und geht zunächst fälschlicherweise von zu positiven Absatzprognosen aus und muss sich anschließend zunächst einpendeln.

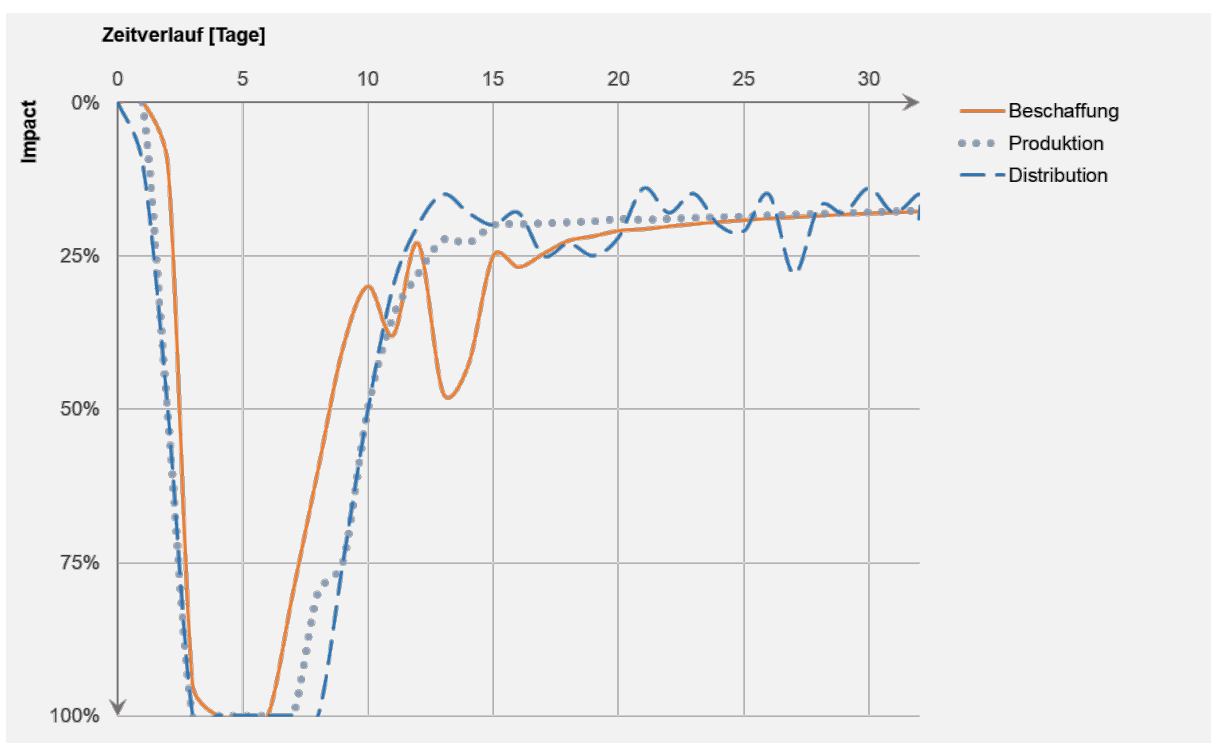


Abbildung 43: Stärke der Auswirkung der Störungen (Impact) im zeitlichen Verlauf bei vollständigem Ausfall des Produktionsstandorts (Bäckerei) ohne größere Schäden unter der Annahme, dass alle Störursachen innerfristig (innerhalb weniger Tage) beseitigt werden können (Beispielverlauf unter Einbezug der Einflussfaktoren aus dem Teilszenario)

Fortgeführt wurde die Fallstudie mit dem ersten Teilszenario. Aus den identifizierten Störungen und Reaktionsmöglichkeiten wurden Zielstellungen für das Krisenmanagement der Bäckerei-Kette im Verlauf des dargestellten Teilszenarios abgeleitet, die wiederum in einzelne Teilziele heruntergebrochen wurden. Den Teilzielen wurden konkrete Maßnahmen zugeordnet, die dann in die Logik des AKRIMA-Modells übersetzt werden konnten (Beispiele siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Auswahl an Teilzielen und Maßnahmen für die Darstellung von Fallbeispielen im Bereich Distribution der Bäckereikette

Teilziel	Inhalt Maßnahme	AKRIMA-KRM
Erreichen aller Lieferpunkte	Ausweichen auf Alternativrouten / Umfahren von Blockaden und Gefahrengebieten	#35 Änderung von Prozessen und Strukturen in der Logistik
		#23 Erhöhung von Logistikkapazitäten

Einplanen längerer und schlecht planbarer Transportzeiten und/oder -distanzen	Erhöhen der Transportkapazitäten (Personal, Fahrzeuge, Treibstoff)	#44 Beschaffung zusätzlicher / anderer oder Freistellung vorhandener Fahrzeuge
		#43 Beschaffung zusätzlichen / anderen oder Freistellung vorhandenen Personals
		#45 Beschaffung zusätzlicher / anderer oder Freistellung vorhandener Gebrauchs- und Verbrauchsgüter
	Verlängerung des Zeitraums, in dem die Distribution stattfindet	#19 Anpassung von Arbeits- oder Schichtplänen (ggf. zunächst Einführung)
		#16 Anpassung der Personalplanung / Personaleinsatzkonzepte

Im nächsten Schritt wurde die Entscheidungslogik analysiert, mit der die Maßnahmen auszuwählen sind (siehe Abbildung 44).

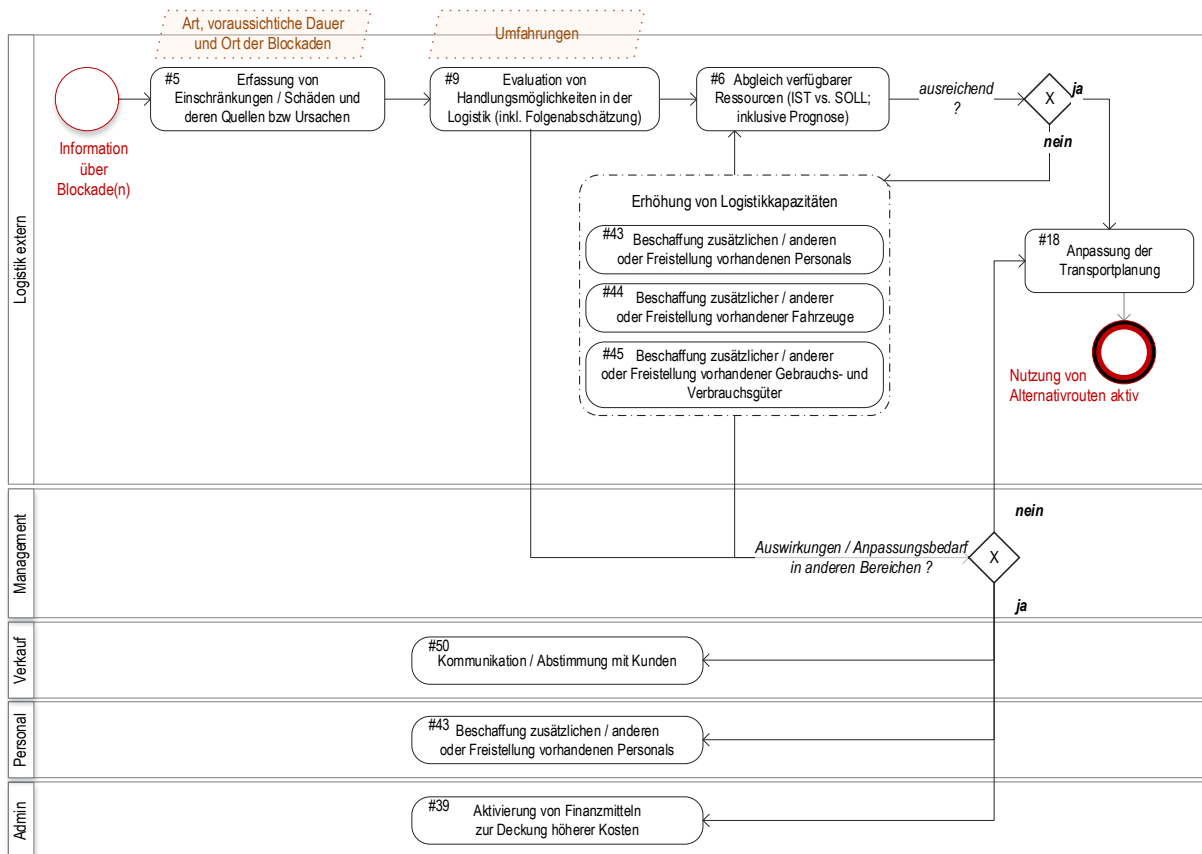


Abbildung 44: Ablauf der Maßnahme „Ausweichen auf Alternativrouten“ inkl. Abhängigkeiten/Auswirkungen in andere

Die folgende Abbildung 45 zeigt die Umsetzung im Prozessmodell. Zu sehen ist die Verbindung zwischen KRM und Prozess am Beispiel der Maßnahme „Ausweichen auf Alternativrouten“: Die Aktivierung der KRM #18 „Anpassung der Transportplanung“ wirkt dabei wie ein „Schalter“, der eine Prozessvariante auslöst. Dargestellt ist die gleichzeitige Betroffenheit von Beschaffung und Distribution.

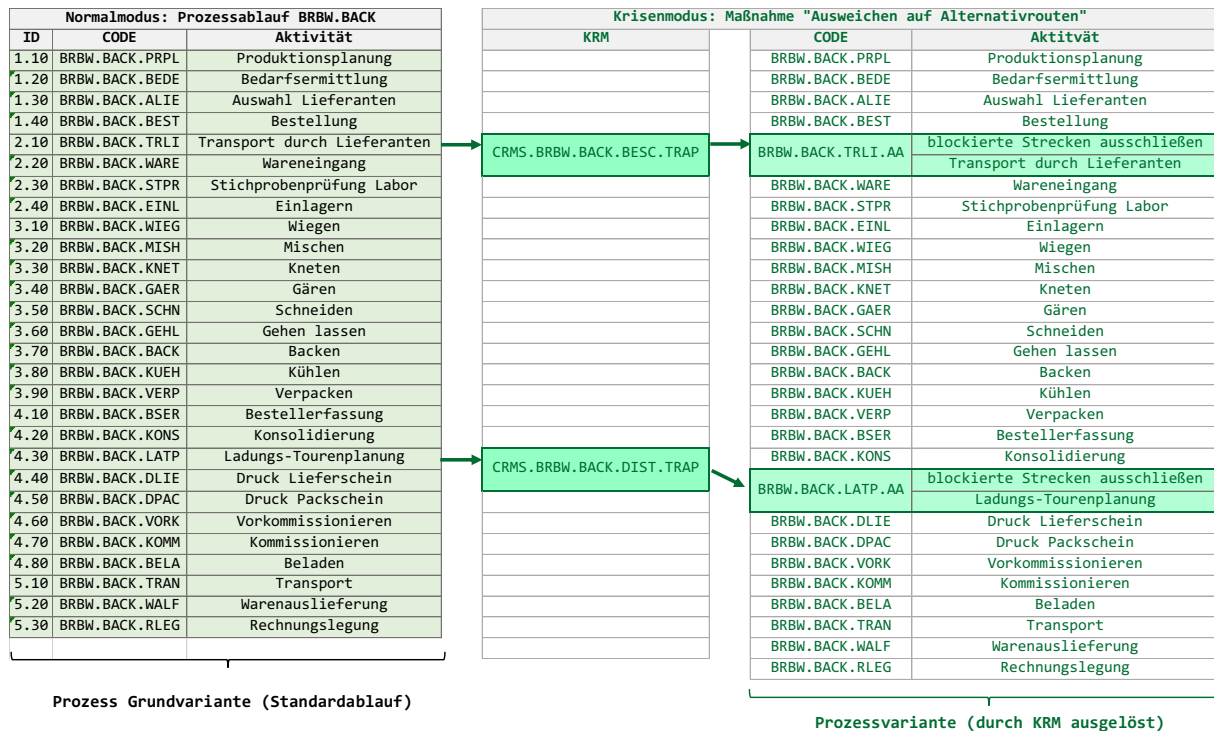


Abbildung 45: Maßnahme „Ausweichen auf Alternativrouten“: Veränderung des Originalprozesses (Prozess Grundvariante) ausgelöst durch die KRM #18 „Anpassung der Transportplanung“ in den Bereichen Beschaffung und Distribution der Bäckereikette

Fallstudie Beatmungsgeräte x Pandemie

Die allgemeine Vulnerabilität der Lieferkette Beatmungsgeräte wurde auf Basis von Literatur zu Produktion und Verfügbarkeit von Beatmungsgeräten zu Beginn der Corona-Pandemie, als diese dringend für die Versorgung von COVID-19 -Patienten benötigt wurden.

Typisch für die Produktion von Medizintechnik-Geräten sind komplexe Lieferketten mit vielen Teilen, globaler Beschaffung und umfangreichen Regularien, sowohl hinsichtlich der Funktionen der Geräte als auch hinsichtlich der verwendeten Materialien und Teile. Während der Corona-Pandemie mussten viele Unternehmen des produzierenden Gewerbes mit eingeschränkter Personalverfügbarkeit, Einschränkung und Abreißen von Lieferketten durch das Pandemiegeschehen und Maßnahmen zur Verminderung der Ausbreitung des Erregers, veränderten Absatzmärkten, und sich ändernde behördlichen Vorgaben zurechtkommen. Der Ausfall von Personal hatte über die gesamte Dauer der Pandemie vergleichsweise geringen Einfluss auf die Produktionsleistung, wohingegen Transportverzögerungen und

Materialengpässe die Produktion über einen langen Zeitraum beeinträchtigten. Grund hierfür sind die globalen Verflechtungen der Lieferketten. Gleichzeitig veränderte sich die Nachfrage der Konsumenten, so dass Produzenten sich gleichzeitig mit Materialmangel, Schwierigkeiten der Personalverfügbarkeit und einer stark erhöhten Nachfrage konfrontiert sahen. In diese Situation kamen Produzenten von Beatmungsgeräten bereits zu Beginn der Pandemie, als sich der Bedarf an Beatmungsgeräten zur Versorgung von COVID-19-Patienten sprunghaft vervielfachte. Für die Lieferkette und ‚Beatmungsgeräte‘ entstanden so zusätzliche Herausforderungen in Hinblick auf die Möglichkeiten, den Mehrbedarf an Beatmungsgeräten durch Steigerung der Produktion zu decken. Unter dem Druck, einerseits die Produktion zu erhöhen und andererseits mit Verzögerungen und dem Ausbleiben von Lieferungen auf der Beschaffungsseite umgehen zu können, traten Schwachstellen und vulnerable Punkte in der Lieferkette besonders deutlich zutage.

Insgesamt geht die Anfälligkeit der Lieferkette Beatmungsgeräte gegenüber Krisen größtenteils auf strukturelle Besonderheiten zurück:

- Komplexität des Produktes
- keine bis geringe Austauschbarkeit der zu beschaffenden Komponenten
- komplexe Lieferstrukturen (mehrstufige Lieferketten, viele verschiedene Lieferanten für die Komponenten in mehreren Ländern)
- globale Verteilung von Produktionsstufen (Vorprodukte Großteils aus Asien)
- Konzentration der Anbieterstrukturen für Vorprodukte (viele Alleinanbieter).

Eine weitere Herausforderung weiterer für die Hersteller von Beatmungsgeräten in Krisen, ist die Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal. Während der Corona-Pandemie wurde gezeigt, dass technisches Fachpersonal relativ schnell für die Herstellung von Beatmungsgeräten geschult werden kann. Die Einarbeitung und Schulung ist jedoch insbesondere für die Endmontage aufwendig und bindet entsprechend zunächst Personalkapazitäten. Engpässe können auch leicht bei der Verfügbarkeit von Service -Technikern entstehen, die für Inbetriebnahme und die Wartung von Intensiv-Beatmungsgeräten erforderlich sind. Wenn krisenbedingt deren Mobilität eingeschränkt ist bzw. die Wegezeiten erheblich verlängert sind, kann die Auslieferung von Beatmungsgeräten durch Personalengpässe beeinträchtigt

sein. Darüber hinaus muss bei der Produktion von Beatmungsgeräten die engmaschige Regulierung zur Gewährleistung von Qualität und Sicherheit von Medizintechnik berücksichtigt werden, die darüber hinaus zwischen den Ländern nicht harmonisiert ist. Deshalb sind die Produzenten von Beatmungsgeräten auf lange Entwicklungszeiträume eingestellt, um die jeweils geltenden Regularien berücksichtigen zu können und die Sicherheit in der Anwendung der Geräte in den Vordergrund zu stellen. Flexibilität und Agilität als Eigenschaften, welche benötigt werden, um sich auf sich ändernde Herausforderungen und Bedingungen in Krisen einstellen zu können, können daher kaum technische und/oder organisatorische Entwicklungsziele der am Markt etablierten Unternehmen sein. Inwiefern durch Erhöhung der Transparenz in den Lieferketten oder die Schaffung von Redundanzen eine Verbesserung der Resilienz möglich ist, wird sich zukünftig zeigen.

Für das Teilszenario zugrunde gelegt wurde die Prozesskette zur Herstellung von Beatmungsgeräten, wie sie beim AKRIMA-Projektpartner Dräger erhoben wurde. Der Standort der Produktion wird in Deutschland verortet. Alle externen Transporte (inbound, outbound) finden per Lkw statt.

Die Produktion der Beatmungsgeräte erfolgt individuell angepasst nach Bestellung (Make-to-Order-Produktion). Für die Beatmungsgeräte werden Teile und Materialien von etwa 200 Lieferanten in Deutschland, in ganz Europa und in Asien geliefert. Wie bei allen Produkten der Medizintechnik unterliegen diese hohen Anforderungen und müssen zertifiziert sein. Lieferantenwechsel sind daher kostspielig und zeitaufwendig, punktuell auch nicht möglich. Präventive krisenvermeidende Maßnahmen wie die Diversifizierung der Lieferquellen sind kaum umsetzbar. Insgesamt müssen etwa 15.000 Komponenten in jeweils geringen Stückzahlen beschafft und bevorratet werden. Die Lagerhaltung im Werk ist auf einen Zeitraum von wenigen Wochen ausgelegt.

Im Krisenszenario Pandemie ist die Herstellung von Beatmungsgeräten in mehrfacher Hinsicht betroffen: Da der Erreger eine schwere respiratorische Erkrankung auslöst, werden Beatmungsgeräte in hoher Stückzahl dringend benötigt. Die Ausbreitung der Pandemie erfordert ein schnelles Hochfahren der Produktion für Beatmungstechnik weltweit. Die

betrachtete Prozesskette hat somit Relevanz für das Wohl der Allgemeinheit. Gleichzeitig ist die Prozesskette aber auch selbst von den Auswirkungen der Pandemie betroffen: Die Mitarbeitenden des Unternehmens können selbst erkranken, unter Quarantäne gestellt werden und / oder anderweitig (z.B. aufgrund der Schließung von Kindertagesstätten und Schulen) im häuslichen Umfeld gebunden sein. Werksintern sind Vorgaben der Behörden und umfangreiche Hygienemaßnahmen umzusetzen. Die behördlichen Vorgaben ändern sich mit dem Pandemiegeschehen und mit neuen Erkenntnissen. Rücksprachen mit den überlasteten Behörden, z. B. zur Erteilung von Sondergenehmigungen für Transporte in besonders betroffene und abgeriegelte Regionen, sind nur schwer möglich. Dadurch entsteht zusätzlicher Aufwand im Unternehmen. Die komplexen Lieferketten der Beschaffung sind in der Pandemie der vulnerable „Flaschenhals“ der Prozesskette. Sie können an den unterschiedlichsten Stellen gestört werden: In den Unternehmen der Lieferanten, durch Grenzschießungen, durch verstärkte Kontrollen an den Landesgrenzen und Grenzschießungen, durch die Abriegelung ganzer Regionen u.a. In dem Teilszenario werden Regionen, aus denen elektronische Bauteile bezogen werden, für mehrere Wochen unter kompletten Lockdown gestellt. Logistikinfrastruktur wird geschlossen, um eine Übertragung entlang der Transportketten zu verhindern. Bei diversen Lieferanten treten Störungen in Produktion und Logistik (mehrere Tage bis Wochen) auf. Dadurch kommt es immer wieder zu Lieferverzögerungen, Lieferausfällen, Lieferung geringerer Mengen etc., so dass Sicherheitsbestände schrumpfen. Im Verlauf des Krisenszenarios wird die Störanfälligkeit immer höher, weil die Sicherheitsbestände immer weiter abgebaut werden müssen. Die Situation setzt sich über einen langen Zeitraum fort, weil die Beschaffung sehr komplex ist, immer wieder andere Lieferanten wegfallen und eine grundsätzliche Erhöhung des Vorratslagers / der Sicherheitsbestände nicht möglich ist. Weil einige Lieferketten im Krisenverlauf komplett zusammenbrechen, setzen sich die Störungen auch nach Ende der Pandemie fort. Die Prozesskette muss unter diesen zahlreichen Unwägbarkeiten nicht nur aufrechterhalten, sondern sogar noch in der Leistungsfähigkeit gesteigert werden. Zur Erhöhung der Produktionskapazitäten werden zusätzliche Arbeitskräfte rekrutiert und eingearbeitet werden, wozu natürlich zunächst die Bedingungen zur Ausführung der Arbeiten (Arbeitsplätze) geschaffen werden müssen.

Die nachfolgende Abbildung 46 zeigt, wie sich die dargestellten Störungen im zeitlichen Verlauf auf die Beschaffung, die Produktion und die Distribution auswirken könnten. Darüber hinaus ist der durch die Pandemie n zusätzlich entstehende Aufwand dargestellt, der sich auf Planungsebene, auf Betriebsebene oder (in unterschiedlichem Maße) in allen Prozessen zu bewältigen ist. Dargestellt sind die langanhaltenden Schwierigkeiten in der Beschaffung, welche die Möglichkeiten der Produktion beeinflussen. Die Distribution passt sich so gut wie möglich an die Produktionsmengen an. Der allgemeine Mehraufwand ergibt sich sowohl aus der Verlangsamung von Prozessen durch Hygiene- und Dokumentationspflichten als auch aus den vorbereitenden Maßnahmen (zur Konzeption und Einführung des Hygienekonzeptes, Maßnahmen zur Rekrutierung von Personal und Einführung einer weiteren Produktionsschicht, u. a.).

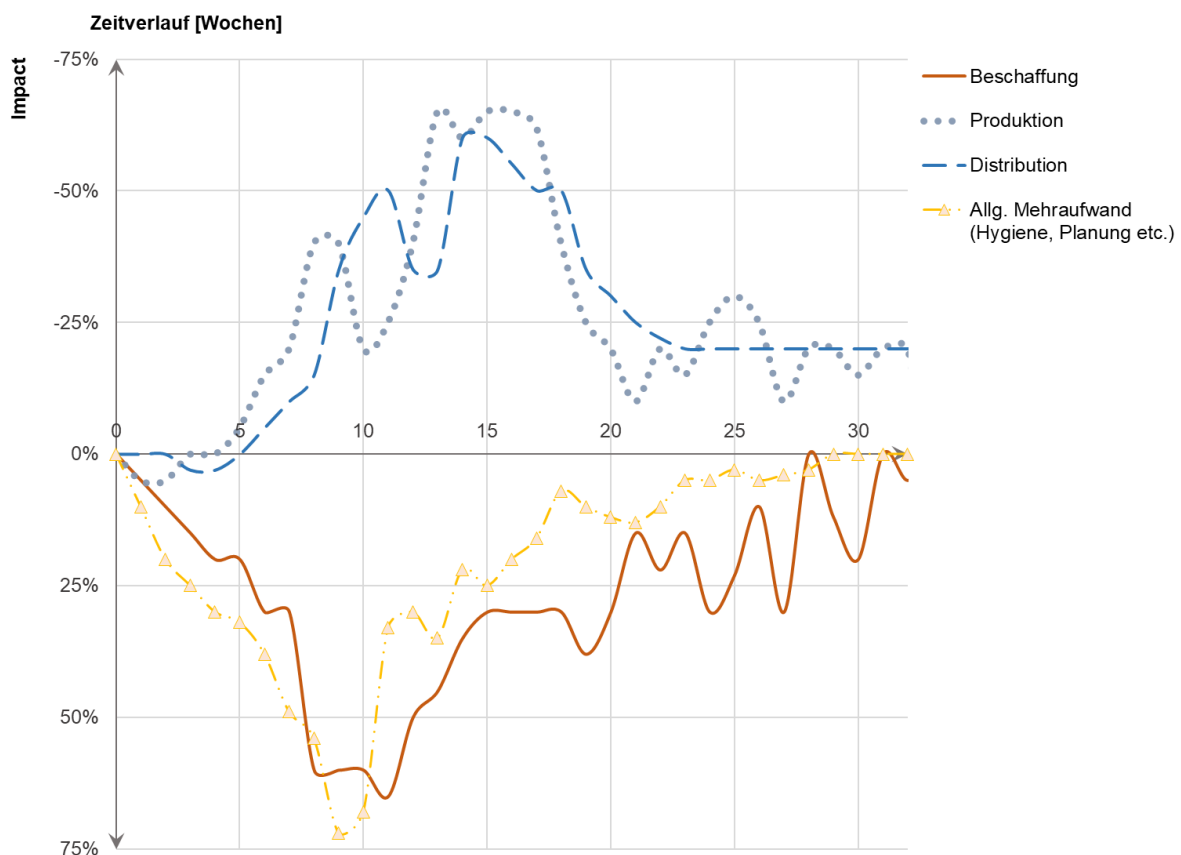


Abbildung 46: Stärke der Auswirkung der Störungen (Impact) im zeitlichen Verlauf (Beispielverlauf entsprechend des Teilszenarios)

Analog zur oben für die Fallstudie Bäckerei beschriebenen Vorgehensweise wurde auch für die Lieferkette Beatmungsgeräte und dem beschriebenen Teilszenario ein Zielsystem für das Krisenmanagement entwickelt, aus dem Teilziele und Maßnahmen abgeleitet wurden, deren Übersetzung in die Logik des AKRIMA-Modells dann an einzelnen KRM durchgespielt wurden. Anhand dieser Beispiele konnten weitere vertiefte Einblicke in die Funktionsweise des AKRIMA-Modells gegeben werden. auch in diesen Fällen konnte aufgezeigt werden, dass unternehmerisches Krisenmanagement, wie es während der Corona-Pandemie typischerweise stattfand, mit Hilfe des AKRIMA -Modells adäquat dargestellt werden kann

Bereits anhand dieser beiden sehr unterschiedlichen Fallbeispiele konnte gezeigt werden, wie sinnvolle Krisenreaktionen im unternehmerischen Krisenmanagement abgeleitet werden (von der Definition des Zielsystems bis zur Bewertung von Maßnahmen) und wie dieser Vorgang im AKRIMA-System umsetzbar ist. Es konnte aufgezeigt werden, dass mithilfe der implementierten Wirkmechanismen sowie des im AKRIMA-Demonstrator hinterlegten Sets archetypischer KRM ein wirksames Krisenmanagement für die definierten Anwendungsfälle abgebildet werden kann. Weiterhin konnten Erkenntnisse zu weiterem Entwicklungsbedarf bis hin zur Praxisreife für den Einsatz in Unternehmen gewonnen werden: Das AKRIMA-System zeigt seine Stärke insbesondere bei der vergleichenden Bewertung von Maßnahmen mittels Simulation.

Zum jetzigen Entwicklungsstand nur umständlich oder unvollständig nachbildbar sind hingegen Entscheidungen und Bewertungen, die auf informellem Praxiswissen und Erfahrungen aus vergleichbaren Situationen beruhen. Diese konnten im AKRIMA-Demonstrator durch die Einführung intuitiv verständlicher Kennzahlen (die vom Anwender anpassbar sind) nachgebildet werden. Allerdings bestehen noch umfangreiche Entwicklungsmöglichkeiten, um solch persönliche Einschätzungen mittels KI -gestützter Datenanalyse zu objektivieren. Weiterhin hat sich gezeigt, wie umfangreich die für die individuelle (und damit praxistaugliche) Bearbeitung eines Anwendungsfalls erforderlichen

Daten sind. Ein weiteres noch zu bearbeitendes Entwicklungsfeld ist daher die Vereinfachung und Automatisierung der Dateneingabe von Unternehmensseite.

Exkurs: Der Bäckerei „proof of concept“ (AP2 & AP4)

Für den Workshop im April 2023 bei Dräger in Lübeck wurden Methode und Excel-Tool (nahezu) finalisiert und es begannen die Arbeiten an dem „Proof of Concept“ einer Bäckerei, der bei dem im Juni 2023 anstehenden Meilensteintreffen präsentiert werden sollte. Dazu wurden die Prozesse einer größeren Bäckerei beschrieben, wobei auf den Erkenntnissen aus der BACKMACHER-Fallstudie sowie ergänzenden Recherchen aufgebaut wurde. Die Dateien wurden dem DFKI übergeben und von den dortigen Kollegen als CSV exportiert, mittels Parser eingelesen, daraus automatisch ein BPMN-Diagramm generiert und per Solver analysiert (für weitere Details zu diesem Vorgehen siehe die Berichte des DFKI). Entgegen den Erwartungen (wenn man ehrlich ist) hat damit der zuvor unerprobte Übertrag zwischen den Daten der TH Wildau zu den Systemen des DFKI anstands- und reibungslos funktioniert. Zwar gab es vorab zahlreiche Abstimmungen bezüglich etwa Format und Art der Daten, aber es konnte noch kein Testlauf stattfinden, insbesondere da relevante Daten zwar schon existierten, aber noch nicht in dem schlussendlichen Format vorlagen. Passend zum Meilensteintreffen konnte somit demonstriert werden, dass die inhaltliche und technische Schnittstelle zwischen der TH Wildau und dem DFKI funktioniert und wesentliche Projektziele definitiv erreichbar sind, was ein wesentlicher Grund für die Erteilung des Bescheids zur Fortsetzung des Projekts war.

Datenquellen für das adaptive Krisenmanagement: Logistik- und Geoinformationen (AP3)

Arbeitspaket 3 des AKRIMA-Projekts zielte auf die Implementierung eines Data Storage sowie die Erschließung, Aktualisierung, Aufbereitung und strukturierte Speicherung von Daten für das adaptive Krisenmanagement ab. Die Arbeitsaufteilung folgte einer klaren Kompetenzabgrenzung: Der Projektpartner Aimpulse leitete das Arbeitspaket und verantwortete primär die Recherche und Sichtung möglicherweise geeigneter Datensätze für

die Integration ins AKRIMA-System sowie die Schaffung von Schnittstellen. Innerhalb dieser übergreifenden Zielsetzung lag die spezifische Verantwortung der TH Wildau in der ergänzenden Recherche zusätzlicher Informationsquellen, insbesondere von Geodaten und Logistikinformationen für die Lageerfassung und -beurteilung, sowie in der Analyse des Anwendungskontextes, der Anwendbarkeit und des Nutzens dieser weiteren Datensätze und Informationsquellen. Die inhaltliche Ausrichtung der Recherche orientierte sich konsequent an den vier definierten AKRIMA-Szenarien: Pandemie, Extremwetter (Starkregen/Überschwemmung, extreme Dürre), und Bioterrorismus. Darüber hinaus sollten Daten und Informationsquellen zusammengestellt werden, deren Nutzung allgemein für das unternehmerische Krisenmanagement empfohlen wird, um eine Übertragbarkeit über die spezifischen Projektszenarien hinaus zu gewährleisten. Der Umfang des Beitrags der TH Wildau war mit nur drei veranschlagten Personenmonaten als eher untergeordnet einzustufen. Diese Arbeit schloss inhaltlich an Arbeitspaket 1 (Erarbeitung von Szenarien, Auswertung historischer Ereignisse, Analyse von Szenario-Parametern und Impact-Faktoren) an, sodass auf vorhandene Grundlagen aufgebaut werden konnte. Die klare Ausrichtung auf Arbeitspaket 6 und die dort zu erarbeitenden Schulungsformate unterstützte die Definition eines fokussierten Recherchescopes.

Die systematische Recherche und Analyse verfügbarer Datenquellen folgte einer strukturierten Methodik, die sowohl thematische als auch anwendungsorientierte Kriterien berücksichtigte. Der methodische Ansatz gliederte sich aus systematischen Gründen in zwei komplementäre Bereiche: Erstens die Zusammenstellung von Informationsquellen für Praktiker im Bereich der externen Logistik, spezifisch für Mitarbeitende, die für die Organisation von Transporten in Beschaffung und Distribution verantwortlich sind; zweitens die Erfassung geobasierter Daten, also Portale mit Geoinformationen und Kartenmaterial, die in unterschiedlichen Bereichen des Krisenmanagements sowie zur Durchführung von Schulungen verwendet werden können. Die Bewertung der identifizierten Datenquellen erfolgte anhand spezifischer Qualitätskriterien: Neben der grundlegenden Relevanz und dem unmittelbaren Nutzen im Krisenmanagement wurden systematisch die Datenqualität, die Aktualität der Daten, die Autorisierung beziehungsweise Position des Datenproduzenten, die

Zugänglichkeit der Daten sowie die Handhabbarkeit der Daten auch für Laien evaluiert. Besondere Präferenz erhielten dabei staatlich befugte Institutionen wie der Deutsche Wetterdienst (DWD) oder Dienste auf europäischer Ebene sowie Open-Source-verfügbare Datenquellen. Die Autorisierung beziehungsweise institutionelle Position des Datenproduzenten bildete ein zentrales Qualitätsmerkmal für die Bewertung der Vertrauenswürdigkeit und Nachhaltigkeit der Informationsquellen.

Die Recherche orientierte sich bewusst an der praktischen Anwendbarkeit in Unternehmen. Zentrales Ziel war die Erarbeitung eines Katalogs nützlicher Daten- und Informationsquellen, der den zuständigen Mitarbeitenden in Krisenfällen Orientierung bei der Informationssuche bietet. Exemplarische Anwendungsszenarien umfassten die Suche nach alternativen Transportmöglichkeiten, wobei ein Überblick über die bedeutendsten Frachtbörsen und ihre spezifischen Charakteristika weiterhilft, sowie die Vorbereitung praxisnaher Schulungen mit Realdaten zur Durchführung praktischer Übungen im Krisenmanagement. Die systematische Analyse gliederte sich in zwei gleichgewichtige Bereiche: extremwetterbezogene Datenquellen und logistikrelevante Informationsressourcen. Während externe Logistikdaten (beispielsweise zu Frachtbörsen und Transportkapazitäten) für die unternehmensexterne Betrachtung des AKRIMA-Systems methodischen Mehrwert bieten, erfordern sie häufig kostenpflichtige Zugänge, die budgetäre Limitierungen des Projekts überschritten. Demgegenüber steht ein reichhaltiger Fundus extremwetterbezogener Informationsquellen, die weitgehend kostenfrei zur Verfügung stehen, insbesondere:

- **Klima- und Grundlagendaten:** Der Deutsche Wetterdienst stellt über seinen Open Data Server und das Climate Data Center umfangreiche Klima- und Wetterdaten frei verfügbar bereit. Für den praktischen Einsatz erweisen sich insbesondere die vorkonfigurierten Geodaten als wertvoll, da sie direkte Nutzbarkeit auch für nicht-spezialisierte Anwender gewährleisten. Die Rohdatensätze erfordern hingegen umfassendes Expertenwissen und finden daher in Unternehmen in der Regel keine unmittelbare Anwendung.
- **Wasserbezogene Extremereignisse:** Der Hochwasseratlas des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie exemplifiziert die Integration verschiedener öffentlicher

Datenquellen zu einem kohärenten Gesamtbild. Durch die Kombination von Pegelständen, Niederschlagsradar und weiteren meteorologischen Parametern entsteht ein fundiertes und auch für Laien verständliches Bild potenzieller und aktueller Hochwassersituationen. Die Aktualisierung erfolgt in definierten Intervallen oder fortlaufend, je nach Datentyp.

- **Weitere Extremwetterereignisse:** Der Hitzeatlas adressiert das statistisch gefährlichste Extremwetterereignis durch die Verknüpfung von Temperaturvorhersagen mit demographischen Daten zu Ballungsgebieten und Altersstrukturen. Für Waldbrandgefahren stehen sowohl nationale Systeme (digitaler Waldbrandatlas, ausschließlich für Behörden) als auch europäische Lösungen (EFFIS des Copernicus-Programms, frei zugänglich) zur Verfügung. Komplementär dazu bietet der Dürreatlas eine systematische Zusammenführung verschiedener institutioneller Datenquellen: Wetterdaten des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage, Dürremonitor-Indizes des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung sowie berechnete Parameter wie Evaporation und pflanzenverfügbares Wasser. Diese Integration ermöglicht die Abbildung aller drei Aspekte von Dürre: meteorologische, agrarische und hydrologische Dürre.
- **Wasserversorgung und hydrologische Grundlagen:** Der Hydrologische Atlas von Deutschland der Bundesanstalt für Gewässerkunde fungiert als zentrale Informationsquelle für langfristig orientierte Krisenvorsorge. Die verfügbaren Datensätze umfassen Grunddaten (Orohydrographie, Gewässernetzdichte, Böden), hydrometeorologische Statistiken sowie Informationen zu Grundwasservorkommen und Trinkwassergewinnung. Für operative Anwendungen stehen länderspezifische Portale wie das hessische WISKI-Web zur Verfügung, die aktuelle hydrologische Parameter und Warnstufen in Echtzeit bereitstellen.

In diesem Kontext sind zudem weitere allgemeine krisenrelevante Informationen wertvoll, insbesondere:

- **Verkehrs- und Infrastrukturdaten:** Die Verkehrsgeographie als kritischer Faktor für logistische Prozesse wird durch verschiedene spezialisierte Datenquellen abgedeckt.

Die automatischen Zählstellen der Bundesanstalt für Straßenwesen liefern Verkehrsdichtedaten nach Fahrzeugtypen, während der Unfallatlas Deutschland geografische Sicherheitsbewertungen von Streckenabschnitten ermöglicht. Für die Binnenschifffahrt stellt das ELWIS-Portal der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung spezifische Informationen zu Wasserstraßennutzung bereit.

- **Bevölkerungs- und Flächennutzungsdaten:** Zur Abschätzung der Auswirkungen von Krisenereignissen sind systematische Informationen über betroffene Regionen erforderlich. Der Copernicus GHSL-Service stellt Geodaten zu Bevölkerung und Flächennutzung als Kartenansichten und Download-Optionen bereit. Der Corine Land Monitoring Service ergänzt diese durch grundlegende Geodaten zur Flächennutzung und deren zeitlicher Entwicklung. Für Deutschland aggregiert der Regionalatlas statistische Daten auf regionaler Ebene und ermöglicht sowohl interaktive Visualisierungen als auch Datenintegration in betriebliche Informationssysteme.
- **Medizinische und Versorgungsinfrastruktur:** Das DIVI-Intensivregister dokumentiert täglich die Behandlungskapazitäten in der Intensivmedizin von etwa 1.300 Akut-Krankenhäusern und schafft damit eine wertvolle Grundlage für datengestützte Handlungssteuerung in Gesundheitskrisen. Komplementär dazu dokumentiert das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte Lieferengpässe versorgungsrelevanter Arzneimittel basierend auf Selbstverpflichtungen der pharmazeutischen Unternehmer.

Die systematische Integration dieser Datenquellen zeigt sowohl das erhebliche Potenzial als auch die Komplexität einer umfassenden Informationsgrundlage für adaptives Krisenmanagement auf. Die identifizierten Ressourcen decken ein breites Spektrum von strategischen bis operativen Anwendungsfällen ab und bieten verschiedene Abstufungen der technischen Komplexität für unterschiedliche Nutzergruppen. Zur direkten Integration von Daten in das AKRIMA-System trug die TH Wildau primär beratend bei; spezifisches Expertenwissen zur Relevanz von Informationsquellen bei der Gestaltung von Transportketten ermöglichte beispielsweise die Integration von Informationen des

Wasserschiffverkehrsverbands zur Schiffbarkeit von Binnenwasserstraßen in das AKRIMA-System.

Die systematische Evaluation der recherchierten Datenquellen erfolgte anhand der definierten Bewertungskriterien und zeigte eine differenzierte Qualitätslandschaft mit deutlichen Abstufungen zwischen verschiedenen Quellentypen und Anwendungsdomänen. So etwa gibt es eine klare Hierarchie hinsichtlich der Vertrauenswürdigkeit der Datenproduzenten: Öffentliche Institutionen wie der Deutsche Wetterdienst, das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie sowie die Bundesanstalt für Gewässerkunde wiesen durchweg hohe Qualitätsstandards auf.; europäische Dienste des Copernicus-Programms erreichten vergleichbare Qualitätsniveaus bei gleichzeitig größerer geografischer Abdeckung. Diese institutionelle Verankerung korrelierte systematisch mit der Datenqualität und Verlässlichkeit der Aktualisierungszyklen. Die Evaluation zeigte auch fundamentale Unterschiede zwischen Datenquellen für akute Krisenreaktion und solchen für langfristige Vorbereitung, denn operationelle Systeme wie der Hochwasser- oder Dürreatlas zeichnen sich durch Echtzeitfähigkeit und unmittelbare Handlungsrelevanz aus (erfordern jedoch kontinuierliche technische Wartung (mindestens auf Schnittstellenebene) und Überwachung), während strategische Informationsquellen wie der Hydrologische Atlas von Deutschland hingegen stabile Grundlagendaten für Planungsprozesse bieten, aber nur eingeschränkt für Echtzeit-Anforderungen nützlich sind. Die Bewertung identifizierte zudem eine systematische Korrelation zwischen Datenqualität und Verfügbarkeit: Hochwertige, staatlich bereitgestellte Daten erwiesen sich durchweg als kostenfrei zugänglich, während kommerzielle Alternativen zwar teilweise erweiterte Funktionalitäten boten, jedoch ganz konkrete Kosten-Nutzen-Bewertungen für Unternehmen erfordern.

In Bezug auf das Integrationspotenzial für das AKRIMA-System zeigt sich ein heterogenes Bild. Moderne Systeme wie die Copernicus-Dienste oder der DWD Open Data Server implementieren standardisierte REST-APIs und unterstützten gängige Datenformate (JSON, GeoJSON, NetCDF), ältere oder spezialisierte Systeme hingegen beschränkten sich häufig auf proprietäre Schnittstellen oder erforderten individuelle Adapterlösungen. Auch in Bezug auf die Automatisierungstauglichkeit sind unterschiedliche Reifegrade feststellen und auch die

Aktualisierungsfrequenz variierte erheblich zwischen verschiedenen Quellentypen, was differenzierte Strategien für das Datenmanagement erfordert. (In diesem Kontext betonte Aimpulse, der in AP3 hauptverantwortliche Konsortialpartner, immer wieder richtig: Open Data bedeutet nicht, dass die Daten leicht nutzbar sind. Grundsätzlich wäre es durchaus überlegenswert, Daten im Rahmen von Open Data entlang eines konkreten „Anwendungsfallkorridors“ in entsprechenden Formen bereitzustellen, denn der Open-Data-Wildwuchs ist durchaus schwer navigier- und nutzbar, was der Intention der ganzen Aktivitäten und dem damit verbundenen Aufwand sicherlich nicht gerecht wird.)

Die recherchierten Geoportale werden kontinuierlich verbessert und untereinander vernetzt. Die hohe Dynamik der Weiterentwicklung des Informationsangebots impliziert, dass einzelne Angaben zu den Datenquellen (Funktionalität, Links, technische Spezifikationen) schnell veralten können. Die erarbeiteten Grundinformationen (wo solche Daten zu finden sind, welche Akteure sie mit welcher Intention bereitstellen) bleiben jedoch allgemeingültig und erleichtern notwendige weitergehende Recherchen.

Insgesamt zeigte sich (wenig überraschend, möchte man anmerken), dass die deutsche und europäische Infrastruktur für ‚für das Krisenmanagement (potenziell) relevanten Daten‘ von durchwachsender Qualität und Anschlussfähigkeit ist. Obwohl einzelne Datenquellen hochwertige Informationen bereitstellen, fehlt eine übergreifende Orchestrierung der verschiedenen Systeme; hinzu kommen unterschiedliche Datenformaten, Aktualisierungszyklen und Qualitätsstandards, die eine nahtlose Integration erschweren (euphemistisch formuliert). Die praktische Umsetzung einer umfassenden Datenintegration erfordert erhebliche technische Expertise und Ressourcen, wobei insbesondere die Entwicklung und Wartung multipler Schnittstellen zu heterogenen Datenquellen die Kapazitäten typischer Unternehmens-IT-Abteilungen übersteigt und quasi spezialisierte Dienstleister und / oder umfangreiche interne Kompetenzentwicklung (und Kapazitätsaufbau) erforderlich macht.

Auch die rechtlichen Grundlagen für Datenzugriff und -nutzung erweisen sich als komplex und teilweise widersprüchlich: Während Open-Data-Initiativen grundsätzlich freie

Datenverfügbarkeit propagieren, bestehen gleichzeitig spezifische Nutzungsrestriktionen und Haftungsausschlüsse. Kritische Infrastrukturen unterliegen zusätzlich sektorspezifischen Regulierungen, die Datenaustausch und -integration beschränken können. Die DSGVO-Compliance erfordert darüber hinaus sorgfältige Bewertung personenbezogener Datenaspekte, insbesondere bei der Integration demografischer und gesundheitsbezogener Informationen. Diese rechtlichen Komplexitäten erfordern umfassende Compliance-Strategien und juristische Expertise bei der Systemimplementierung (zumal ‚der Datenschutz‘ gern als Grund für eine Totalverweigerung herangezogen wird, nicht als Triebfeder und Moderator).

Die systematische Recherche und Bewertung erweiterter Datenquellen für das adaptive Krisenmanagement im Rahmen von Arbeitspaket 3 lieferte umfassende Erkenntnisse über die Verfügbarkeit und Nutzbarkeit externer Informationsressourcen für das AKRIMA-System. Die methodische Herangehensweise erwies sich als zielführend für die differenzierte Analyse der heterogenen Datenlandschaft im deutschen und europäischen Krisenmanagement – mit leider teils ernüchternden Ergebnissen.

Kennzahlenmodell (AP2, AP4 & AP5)

Die Bewältigung von Krisen in komplexen Systemumgebungen erfordert adaptive Managementansätze, die über reaktive Schadensbegrenzung hinausgehen und präemptive Interventionskapazitäten ermöglichen. Zentrale Herausforderung dieser Zielsetzung war die Operationalisierung von Resilienz als messbare und steuerbare Systemqualität im Sinne eines Kennzahlensystems. Die hierfür maßgeblichen Arbeiten oblagen der TH Wildau und sind im Schwerpunkt in Arbeitspaket 2 zu verorten, weisen aber Querverbindungen insbesondere zu den Arbeitspaketen 4 und 5 auf.

Die methodisch größten Herausforderungen lagen erstens in der Transformation komplexer Systemzustände in algorithmisch verarbeitbare Datenstrukturen unter Berücksichtigung der multidimensionalen Natur organisationaler Resilienz, zweitens in der notwendigen konzeptionellen Unterscheidung ex-post messbarer Resilienz und ex-ante bewertbarem

Resilienzpotezial („potential for resilient behavior“, wie dieses „Potezial für resilientes Verhalten“, das die einzige echte Messgröße für Resilienz mit Blick auf die Zukunft sein kann, in weiten Teilen der entsprechenden Fachliteratur genannt wird). Während Resilienz als tatsächlich realisierte Systemstabilität unter Belastung erst nachträglich quantifizierbar wird, ermöglichte die systematische Erfassung von Resilienzpotezialen eine präemptive Bewertung der Systemfähigkeiten zur adaptiven Krisenreaktion bzw. zu ‚(ausreichend) resilientem Verhalten‘. Diese zeitliche Differenzierung zwischen gegenwärtigen Systemqualitäten, verfügbaren Handlungsoptionen und antizipierten Krisenentwicklungen war ein wesentlicher struktureller Einfluss auf die Gesamtarchitektur des Kennzahlenmodells.

Die Entwicklung des Kennzahlenmodells orientierte sich an drei zentralen Forschungsfragen, die sowohl die methodischen Herausforderungen der Resilienzoperationalisierung, als auch die praktischen Anforderungen des adaptiven Krisenmanagements adressierten:

- **Systematische Quantifizierung organisationaler Resilienz:** Wie lässt sich organisationale Resilienz als messbare Systemqualität operationalisieren? Diese Fragestellung fokussierte auf die grundlegende Problematik der messtheoretischen Fundierung von Resilienz. Während traditionelle Ansätze primär auf ex-post Bewertungen von Krisenbewältigungsleistungen abstellen, erfordere präemptives Krisenmanagement die Entwicklung von Indikatoren für das Potenzial resilienten Verhaltens. Die Herausforderung lag in der systematischen Identifikation und Gewichtung von Parametern, die sowohl strukturelle Systemqualitäten, als auch prozessuale Fähigkeiten abbilden können.
- **Präemptive Krisenintervention durch Kennzahlensteuerung:** Welche Kennzahlen ermöglichen rechtzeitige Krisenintervention? Diese Forschungsdimension untersuchte die Möglichkeiten systematischer Frühintervention auf Basis kontinuierlicher Systemüberwachung. Zentral war die Identifikation von Schwellenwerten und Entwicklungsmustern in den Kennzahlendaten, die eine rechtzeitige Aktivierung von Krisenreaktionsmechanismen ermöglichen. Dies erforderte sowohl die Entwicklung geeigneter Monitoring-Infrastrukturen als auch die Kalibrierung von Warnsystemen. Hinzu kommt die Kennzahlen-basierte Parametrierung von Krisen(zuständen) und

deren Auswirkung auf das System, welche direkt (bspw. durch Schäden an der Infrastruktur) oder indirekt (bspw. durch einen ausgelösten Handlungsdruck) sein können.

- **Handhabbare Modellierung von Systemkomplexität:** Wie kann die Komplexität logistischer Systeme praktikabel modelliert werden? Diese Fragestellung adressierte das fundamentale Spannungsfeld zwischen analytischer Vollständigkeit und praktischer Anwendbarkeit, denn moderne logistische Systeme zeichnen sich durch hohe Vernetzungsgrade und multidimensionale Interdependenzen aus, die notorisch schwer sowohl in der Praxis, als auch der Theorie zu erfassen sind. Gleichzeitig muss ein Kennzahlenmodell für praktische Anwendung eine hinreichende Reduktion dieser Komplexität leisten, ohne kritische Systemaspekte zu vernachlässigen.

Diese drei Forschungsdimensionen bestimmten maßgeblich die Anforderungen an Architektur, Operationalisierung und Validierung des entwickelten Kennzahlenmodells (und tragen zur methodischen Weiterentwicklung der Resilienzforschung im Kontext organisationaler Systeme bei; das ist zumindest die Hoffnung).

Die Entwicklung des AKRIMA-Kennzahlenmodells bewegte sich in einem wissenschaftlichen Spannungsfeld zwischen theoretischer Fundierung und praktischer Anwendbarkeit. Dabei war die Operationalisierung von Resilienz als messbares Konstrukt durchaus schwierig, da der Forschungsbereich zu (teils erhebliche) divergierende Begriffsverständnisse und methodische Ansätze geprägt ist. Dazu gehört insbesondere der Mangel an wissenschaftlichem Konsens bezüglich Begriffsdefinition und methodischer Operationalisierung bei gleichzeitig unterschiedlichen theoretischen Prägungen (grundsätzlich entlang der Disziplingrenzen, aber auch innerhalb dieser): So etwa konzeptualisieren die Ingenieurwissenschaften Resilienz primär als technische Systemstabilität und fokussieren auf quantifizierbare Parameter wie Wiederherstellungszeiten und Ausfallwahrscheinlichkeiten, die Psychologie betont adaptive Kapazitäten und Bewältigungsstrategien von Individuen, während die Organisationsforschung organisationale Lernfähigkeit und strukturelle Anpassungskapazitäten in den Vordergrund stellt; die Systemtheorie wiederum erweitert

diese Perspektiven um emergente Eigenschaften komplexer adaptiver Systeme und nichtlineare Systemdynamiken. Um Ken Wilber zu zitieren, diese Ansätze sind alle „true, but partial“; die Frage, welche der vielen Spielarten in welchem Kontext mehr „true“ als andere ist, wird auch durch AKRIMA nicht abschließend beantwortet sein. (Es bleibt spannend, und das hat doch auch etwas Positives.)

Jedenfalls manifestieren sich diese disziplinären Unterschiede in divergierenden Operationalisierungsansätzen, die von binären Stabilitätsindikatoren über mehrdimensionale Reifegradmodelle bis hin zu dynamischen Systemmetriken reichen. Die Quantifizierung organisationaler Resilienz durch Kennzahlen steht damit vor der grundsätzlichen Herausforderung, zwischen verschiedenen theoretischen Paradigmen zu vermitteln und eine integrative Bewertungslogik zu entwickeln. Konsequenterweise (auch wenn ein anderes Ergebnis vielleicht wünschenswert gewesen wäre) versteht sich das entwickelte Kennzahlenmodell nicht als Auflösung dieser theoretischen Divergenzen, sondern als systematischer Beitrag zur Strukturierung des wissenschaftlichen Diskurses. Durch die explizite Integration verschiedener Resilienzdimensionen und die Entwicklung einer hierarchischen Aggregationslogik bietet es eine methodische Plattform zur Harmonisierung unterschiedlicher Perspektiven, wobei insbesondere die Differenzierung zwischen Resilienzpotezialen und realisierter Resilienz dabei die Verbindung präventiver und reaktiver Bewertungsansätze ermöglicht.

Die methodische Entwicklung des Kennzahlenmodells folgte einem systematischen Multi-Level-Ansatz, der die organisationale Komplexität durch strukturierte Ebenenanalyse handhabbar machte. Diese Systematik umfasste drei analytische Dimensionen:

- **Strategische Ebene:** Erfassung langfristiger Systemqualitäten und struktureller Resilienzfaktoren, die unabhängig von spezifischen Krisenereignissen bestehen. Hierzu gehörten organisationale Grundkapazitäten, strategische Partnerschaften und strukturelle Redundanzen.

- **Prozessebene:** Analyse operativer Fähigkeiten und Reaktionsmechanismen, die bei Krisenereignissen aktiviert werden können. Der Fokus lag auf der Bewertung von Prozessflexibilität, Anpassungsgeschwindigkeit und Koordinationseffizienz.
- **Operationsebene:** Quantifizierung messbarer Leistungsparameter und aktueller Systemzustände, die kontinuierliches Monitoring ermöglichen. Diese Ebene umfasste traditionelle Kennzahlen der Logistik und Produktion sowie spezifische Resilienzindikatoren.

Die Kennzahlenentwicklung berücksichtigte die Erkenntnis, dass organisationale Resilienz nicht vollständig durch quantitative Metriken erfassbar ist. Qualitative Faktoren wie Organisationskultur, Vertrauen und Lernbereitschaft wurden durch strukturierte Bewertungsverfahren und Experteinschätzungen operationalisiert. Die Integration erfolgte über mehrdimensionale Skalierungsverfahren, die sowohl numerische Kennzahlen als auch kategoriale Bewertungen in einem gemeinsamen Bewertungsraum positionierten.

Die theoretische Fundierung des Kennzahlenmodells erfolgte durch Integration etablierter Forschungsbestände und bewährter Praxisstandards, ging allerdings in weiten Teilen durch sachlogische Erweiterung über den etablierten Stand der Wissenschaft hinaus. Die konzeptionelle Basis bildeten Erkenntnisse der sozio-technischen Systemforschung zu emergenten Eigenschaften und adaptiven Kapazitäten komplexer Systeme; zentrale theoretische Bezugspunkte waren die Arbeiten zu „graceful extensibility“ und weiteren Konzepten aus dem „Resilience Engineering“, die Resilienz als kontinuierliche Systemqualität anstatt episodischer Krisenreaktion konzeptualisieren. Hinzu kam die Berücksichtigung etablierter Standards, etwa des Business Continuity Managements, insbesondere ISO 22301 (Business Continuity Management Systems) und ISO 31000 (Risk Management), die nur in Auszügen explizit eingeflossen sind, aber dem Kennzahlenmodell vielfach Struktur und Kontext gegeben haben. Ausgehend von der Verortung des AKRIMA-Projekts im größeren Kontext der Logistik war auch das **Supply Chain Operations Reference Model (SCOR) mit seinen** logistikspezifischen Kennzahlen sowie den (Kern-) Prozessen (Plan, Source, Make, Deliver, Return usw.) eine Inspirationsquelle, ebenso wie die Logistik-Kennzahlen aus der VDI 4490.

Die Entwicklung des Kennzahlenmodells erfolgte zunächst in einer Art Maximalansatz rein theoretisch, bevor im Rahmen des Feedbackprozesses mit den Praxispartnern, der Einbettung in die übergeordneten AKRIMA-Arbeiten (insbesondere in den Demonstrator) sowie der sukzessiven Verfeinerung aus Eigeninteresse und -antrieb eine systematische Reduktion der ursprünglich sehr umfangreichen theoretischen Kennzahlensammlung auf eine praktikable Kernsystematik erfolgte, ausgehend von Kriterien wie Messbarkeit, Relevanz, Verfügbarkeit und Steuerbarkeit der einzelnen Kennzahlen. Denn die Operationalisierung des Kennzahlenmodells verdeutlichte erhebliche Spannungsfelder zwischen wissenschaftlichem Anspruch und praktischer Realisierbarkeit, die charakteristisch für angewandte Resilienzforschung sind, zunächst zwischen theoretischer Vollständigkeit und praktischer Handhabbarkeit: Der theoretische Anspruch zielte auf eine lückenlose Erfassung aller relevanten Systemqualitäten ab, die organisationale Resilienz determinieren könnten. Dies umfasste strukturelle Parameter (Redundanzen, Diversifikation, Kapazitätsreserven), prozessuale Fähigkeiten (Adaptionsgeschwindigkeit, Koordinationseffizienz, Lernfähigkeit), kulturelle Faktoren (Vertrauen, Kommunikationsqualität, Innovationsbereitschaft) sowie externe Abhängigkeitsstrukturen (Lieferantenkonzentration, Marktposition, regulatorische Einbindung). Die ursprüngliche Maximalversion des Kennzahlenmodells umfasste über 300 Einzelkennzahlen (ohne die im Verbund zu berücksichtigen Kennzahlen, etwa aus dem SCOR-Modell oder der VDI 4490) und bildete die theoretische Komplexität organisationaler Resilienz umfassend (wenn auch sicherlich nicht vollständig; aber was ist schon vollständig?) ab.

Die praktische Erprobung zeigte jedoch, dass dieser Umfang die Anwendbarkeit erheblich erschwerte und Akzeptanzbarrieren bei potenziellen Nutzern erzeugte (Anmerkung: Diese Akzeptanzbarrieren waren nahezu ausschließlich auf die praktische Umsetzung bezogen; die Maximalversion der Kennzahlenmodells hat, auf der theoretischen Ebene, fast immer großes Interesse ausgelöst.). Die schrittweise Reduktion auf ein handhabbares Kernmodell erforderte schwierige Abwägungsentscheidungen zwischen analytischer Tiefe und praktischer Umsetzbarkeit, zumal im Wesentlichen Entscheidungen gegen einzelne Kennzahlen getroffen werden mussten, da Aggregation (etwa 5 Kennzahlen zu einer) das grundlegende Problem

nicht gelöst hätten; weniger Kennzahlen bei gleichzeitig mehr Unschärfe sind keine gute Lösung. Ein weiterer limitierender Faktor war die begrenzte Verfügbarkeit resilienzspezifischer Daten in der Unternehmenspraxis. Viele der theoretisch wünschenswerten Kennzahlen erfordern Datenerhebungen, die in bestehenden Unternehmenssystemen nicht routinemäßig durchgeführt werden. Dies führte zu einem systematischen Bias zugunsten bereits verfügbarer Leistungskennzahlen und erschwerte die Integration innovativer Resilienzindikatoren. Auch die Erprobung in verschiedenen Anwendungskontexten verdeutlichte, dass ein universelles Kennzahlenmodell den spezifischen Anforderungen verschiedener Branchen und Organisationstypen nur bedingt gerecht werden konnte.

Architektur des Kennzahlenmodells

Das entwickelte und verfeinerte Kennzahlenmodell basiert auf einer hierarchischen Systemarchitektur, die organisationale Resilienz durch strukturierte Aggregation verschiedener Bewertungsdimensionen quantifiziert. Die Gesamtkonzeption folgte einem mehrebenenanalytischen Ansatz, der sowohl granulare Einzelkennzahlen, als auch übergeordnete Bewertungsindikatoren integrierte. Dabei fungierte der bereits in der Projektskizze propagierte „Logistics Resilience Score“ (LRS) als übergeordnete Bewertungskennzahl zur Quantifizierung der organisationalen Krisenresilienz in logistischen Systemen und war als multidimensionaler Composite-Indikator konzipiert, der alle Resilienzdimensionen in einer einzelnen Bewertungslogik zusammenfassen sollte. Die Entwicklung des LRS folgte etablierten Prinzipien der Konstruktion zusammengesetzter Indikatoren, wie sie in der statistischen Forschung und im Performance Management bewährt sind. Die hierarchische Verdichtung erfolgte durch gewichtete Aggregation von Bereichsscores zu Hauptkategorien und schließlich zur Gesamtbewertung. Dabei wurden sowohl additive als auch multiplikative Verknüpfungslogiken implementiert, um unterschiedliche Interdependenzmuster zwischen Resilienzdimensionen abzubilden.

Der LRS operiert auf einer normalisierten Skala von „0 bis 100 bis unendlich“, „100“ als ‚geradeso ausreichende Resilienz‘ (natürlich im jeweils konkreten Kontext- und Lagebezug)

markiert, Werte unter 100 entsprechend nicht ausreichende Resilienz, während Werte über 100 ein ‚Mehr‘ an Resilienz bzw. Resilienzpotezial über das zwingend notwendige Maß hinaus beschreiben. Die Teilkennzahlen gliedern sich in mehrere Hauptkategorien, die verschiedene Temporalitäten und Funktionsdimensionen organisationaler Resilienz abbildeten, wobei der größte Block das „Potential for Resilient Behavior“ darstellt. Diese Kategorie erfasst die strukturellen und prozessualen Grundlagen für adaptives Verhalten in Krisensituationen; der Fokus liegt auf der Bewertung inhärenter Systemqualitäten, die das Potenzial für resiliente Reaktionen determinieren (können), noch bevor konkrete Krisenereignisse eintreten. Eine Unterkategorie hier war etwa *Processes, Structures & Network (PSN)*, in deren Rahmen die operativen Grundlagen resilienten Verhaltens durch systematische Bewertung von Lieferketten-, Produktions- und Distributionskapazitäten vorgenommen wird Zentrale Bewertungsfelder umfassen bspw.:

- **Basic Sourcing Resilience:** Quantifizierung der Beschaffungsresilienz durch Kennzahlen wie *Number of Actual Suppliers* (Diversifikationsgrad der Lieferantenbasis), *Supplier Contract Flexibility* (Anpassungsfähigkeit vertraglicher Vereinbarungen) und *Buffer Inventory in Relation to Daily Sourcing Requirements* (Pufferkapazitäten relativ zum Tagesbedarf).
- **Sensitivity:** Bewertung der Systemanfälligkeit durch Metriken wie *Demand Variability* (Nachfrageschwankungen), *Supply Base Concentration* (Abhängigkeitskonzentration in der Lieferantenbasis) und *Lead Time Consistency* (Vorhersehbarkeit von Durchlaufzeiten).
- **Velocity:** Erfassung der Systemgeschwindigkeit etwa durch *Mean Lead Time* und *Actual Cycle Time Relative to Potential* (Verhältnis realisierter zu theoretisch möglicher Zykluszeiten).

Eine weitere Unterkategorie war *Organization (O)*, welche die sozialen und kulturellen Enabler für adaptive Krisenreaktionen bewertete, bspw.:

- **Kommunikationsqualität:** Systematische Bewertung interner und externer Kommunikationsprozesse durch Kennzahlen wie *Internal Communication Reach*

(Abdeckungsgrad interner Kommunikation) und *External Communication Reliability* (Zuverlässigkeit externer Informationsübertragung).

- **Kulturindikatoren:** Erfassung organisationaler Werte und Verhaltensweisen durch Metriken wie *Trust* (Vertrauensqualität), *Ambiguity Tolerance* (Umgang mit Unsicherheit) und *Growth Mindset* (Lern- und Entwicklungsorientierung).
- **Skills & Mechanisms:** Bewertung verfügbarer Kompetenzen z. B. durch *Cross-Training* (funktionsübergreifende Qualifikation), *Data-Driven Decision-Making* (datenbasierte Entscheidungsprozesse) und *Creative Problem-Solving* (innovative Problemlösungskapazitäten).

Die Kategorie *Available Resilience Strategies & Actions* (ARS) quantifizierte die konkret mobilisierbaren Ressourcen und Mechanismen für Krisenintervention. Der analytische Fokus lag auf der Bewertung aktivierbarer Handlungskapazitäten und umfasste bspw. *Basic Resilience Strategies* zur Systematisierung klassischer Resilienzstrategien durch operative Kennzahlen wie:

- *Slack:* Erfassung von Pufferkapazitäten in verschiedenen Systemdimensionen (Personal, Material, Kapazitäten)
- *Redundancy:* Quantifizierung von Ausfallsicherungen und Backup-Systemen
- *Diversification:* Bewertung der Risikostreuung über verschiedene Geschäftsbereiche, Märkte und Partner
- *Process Reconfiguration:* Messung der Adaptionfähigkeit von Geschäftsprozessen unter veränderten Rahmenbedingungen

Ein weiterer Block ist bspw. *Finances & Financial Situation*, da finanzielle Handlungsspielräume wichtige „Enabler“ für Krisenreaktionsmechanismen sind, mit Kennzahlen wie:

- *Financial Reserves & Liquidity:* Bewertung verfügbarer Liquiditätsreserven relativ zu kritischen Ausgabenerfordernissen
- *Access to Funding Resources:* Quantifizierung der Geschwindigkeit und Kapazität für Kapitalbeschaffung in Krisensituationen

- *Return on Resilience Investment*: Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Resilienzinvestitionen durch Kosten-Nutzen-Analysen

Die **Performance Delta**-Kategorie erfasst die aktuelle Systemleistung im Verhältnis zu historischen Referenzwerten und definierten Zielkorridoren. Diese temporale Vergleichslogik ermöglicht die Bewertung von Leistungstrends sowie Zielabweichungen innerhalb der Struktur *Current State* (kontinuierliches Monitoring aktueller Systemzustände durch Echtzeiterfassung operativer Kennzahlen), *Documented Past States* (historische Referenzwertbildung zur Trendanalyse und Abweichungsbewertung) und *Desired Future State* (Definition von Zielkorridoren und Bewertung der Zielerreichungsgrade). Hier findet sich auch die Integration etablierter Metriken, etwa der bewährten Kennzahlensysteme aus SCOR-Modell (Supply Chain Operations Reference) und VDI 4490 (Logistik-Kennzahlen), sowie unternehmensspezifische Kennzahlen.

Quasi genau auf der anderen Seite des ‚Zauns‘, in der Außenbetrachtung, ermöglicht die Kategorie **Crisis Severity** die systematische Klassifizierung von Krisenereignissen nach Intensität, Ausbreitungsgeschwindigkeit und spezifischen Charakteristika. Diese Bewertungslogik bildet die Grundlage für kontextspezifische Anpassungen der Resilienzstrategie und beinhaltet Kennzahlen(blöcke) wie:

- *Scale, Magnitude & Intensity*: Quantifizierung des Betroffenheitsgrades durch Kennzahlen wie *Threat Magnitude* (Bedrohungsintensität), *Impacted Operations* (Umfang betroffener Geschäftsprozesse) und *Ripple Effects* (Kaskadeneffekte auf verbundene Systeme).
- *Velocity & Turbulence*: Bewertung der Entwicklungsdynamik durch etwa *Crisis Escalation* (Eskalationsgeschwindigkeit), *Predictability of Developments* (Vorhersehbarkeit der Krisenentwicklung) und *Market Disruption* (Marktstörungenintensität).
- *Scenario-Specific Metrics*: Differenzierte Bewertungskennzahlen für spezifische Krisentypen (Pandemie, Extremwetter, Bioterrorismus), die kontextspezifische Besonderheiten berücksichtigten.

Für einen Eindruck vom Kennzahlenmodell, siehe die Abbildungen 47 bis 59.

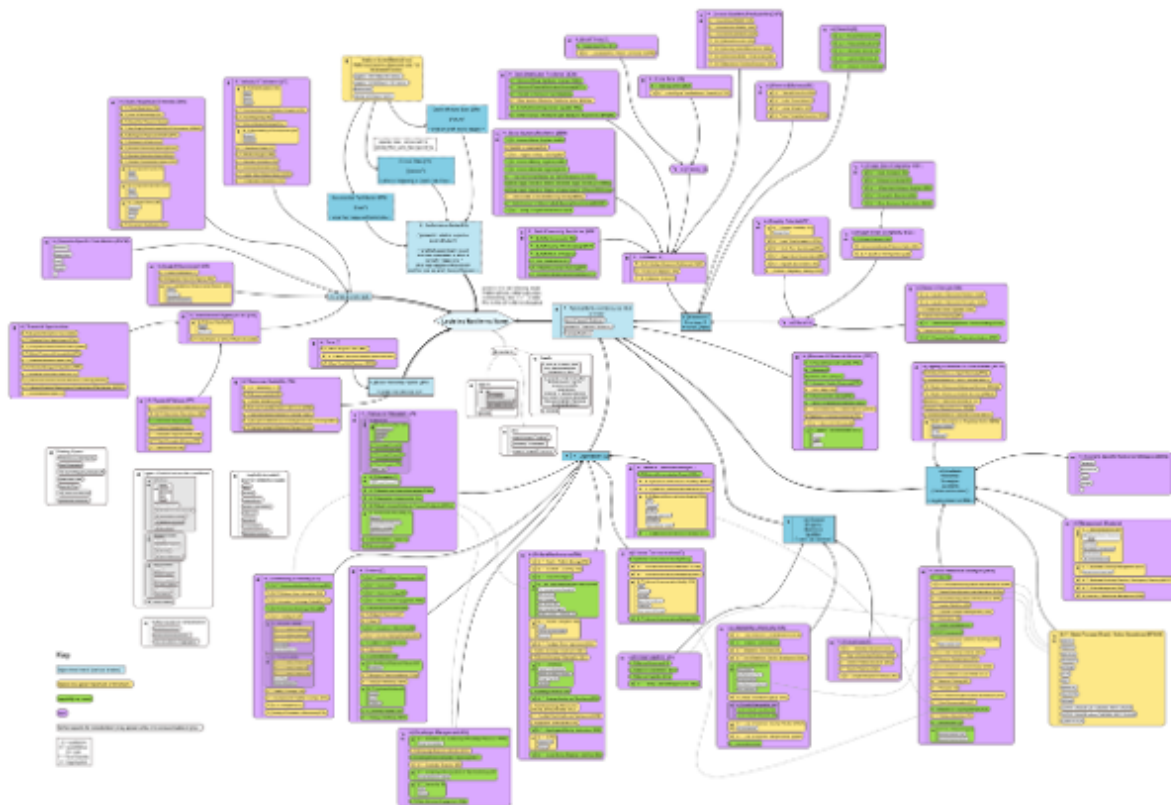


Abbildung 47: Das 'große' Kennzahlenmodell im Gesamtüberblick.

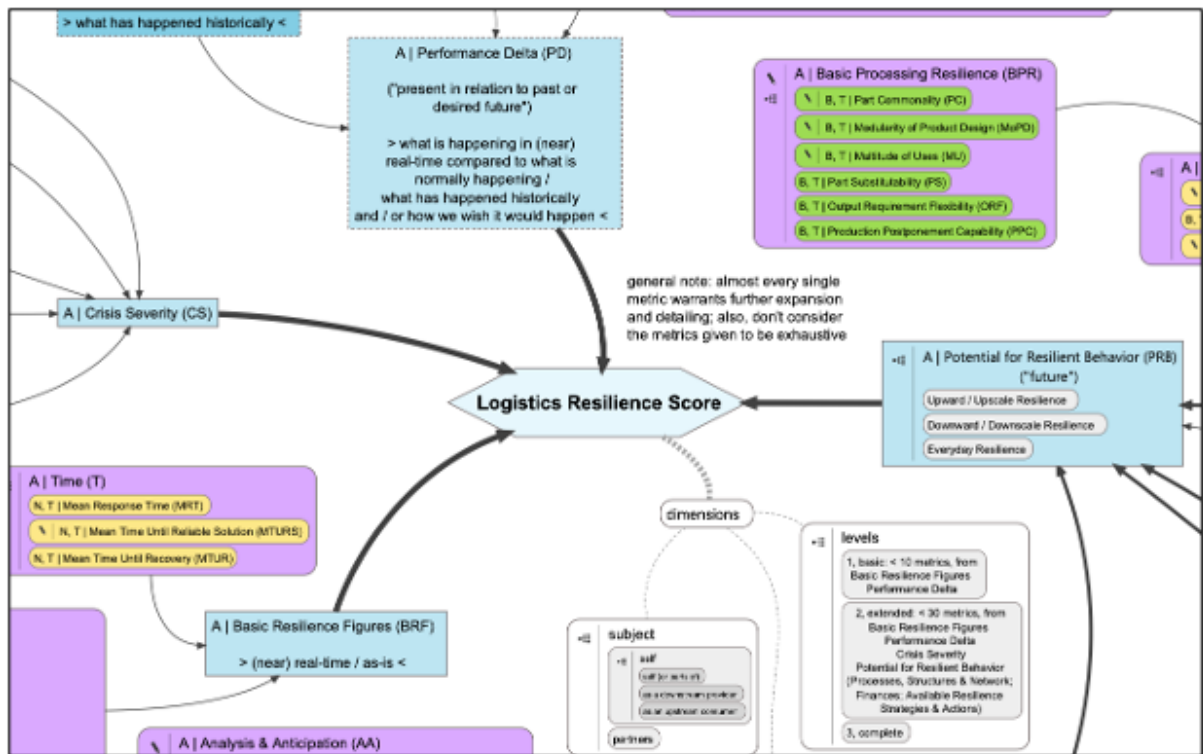


Abbildung 48: Das 'große' Kennzahlenmodell im Detail (I) - LRS.

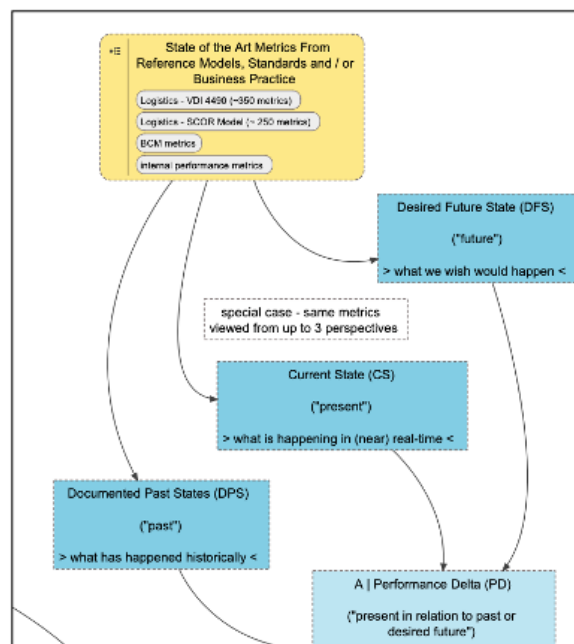


Abbildung 49: Das 'große' Kennzahlenmodell im Detail (II) - Performance Delta.

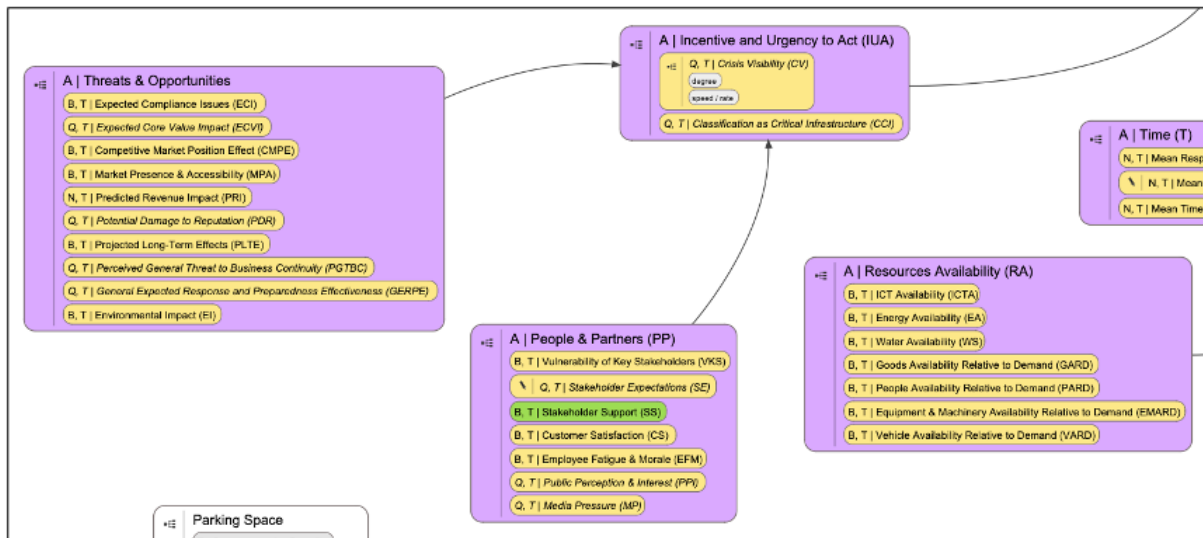


Abbildung 5018: Das 'große' Kennzahlenmodell im Detail (III) - Crisis Severity.

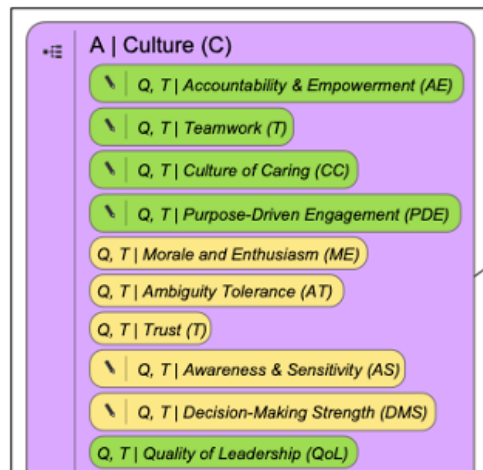


Abbildung 51: Das 'große' Kennzahlenmodell im Detail (IV) - Culture.



Abbildung 52: Das 'große' Kennzahlenmodell im Detail (V) - Skills & Mechanisms.

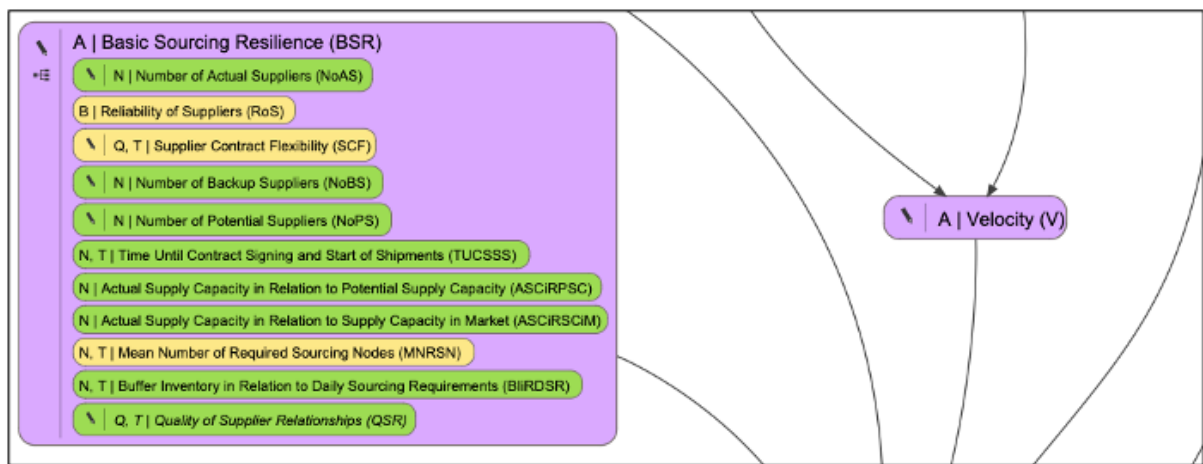


Abbildung 53: Das 'große' Kennzahlenmodell im Detail (VI) - Basic Sourcing Resilience.

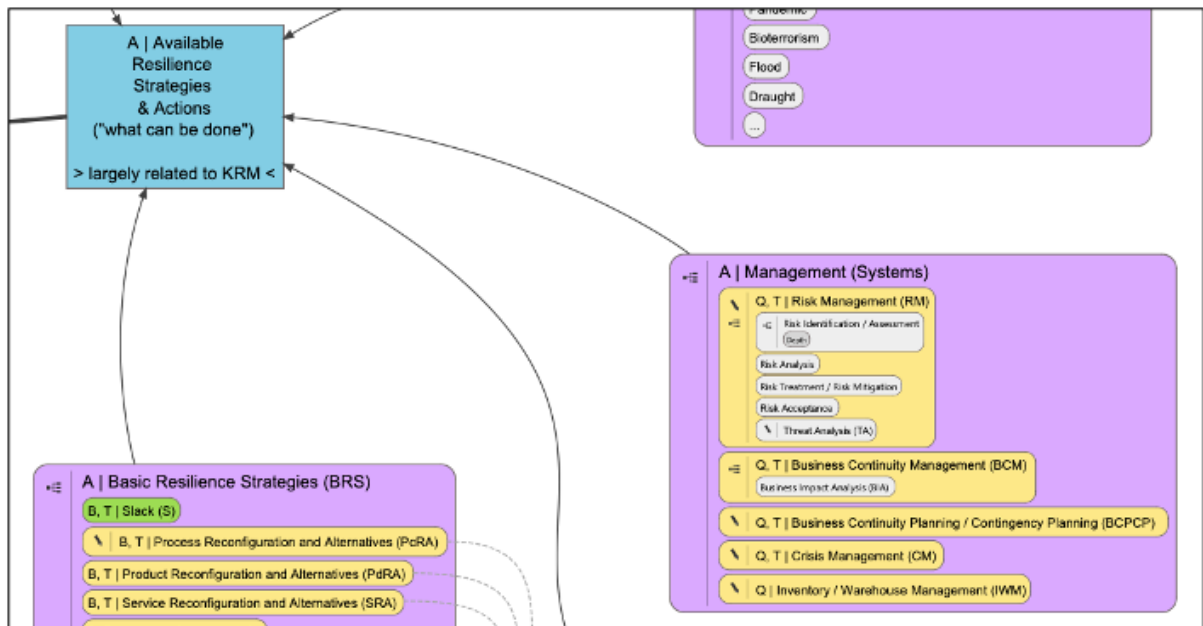


Abbildung 54: Das 'große' Kennzahlenmodell im Detail (VII) - Available Resilience Strategies & Actions.

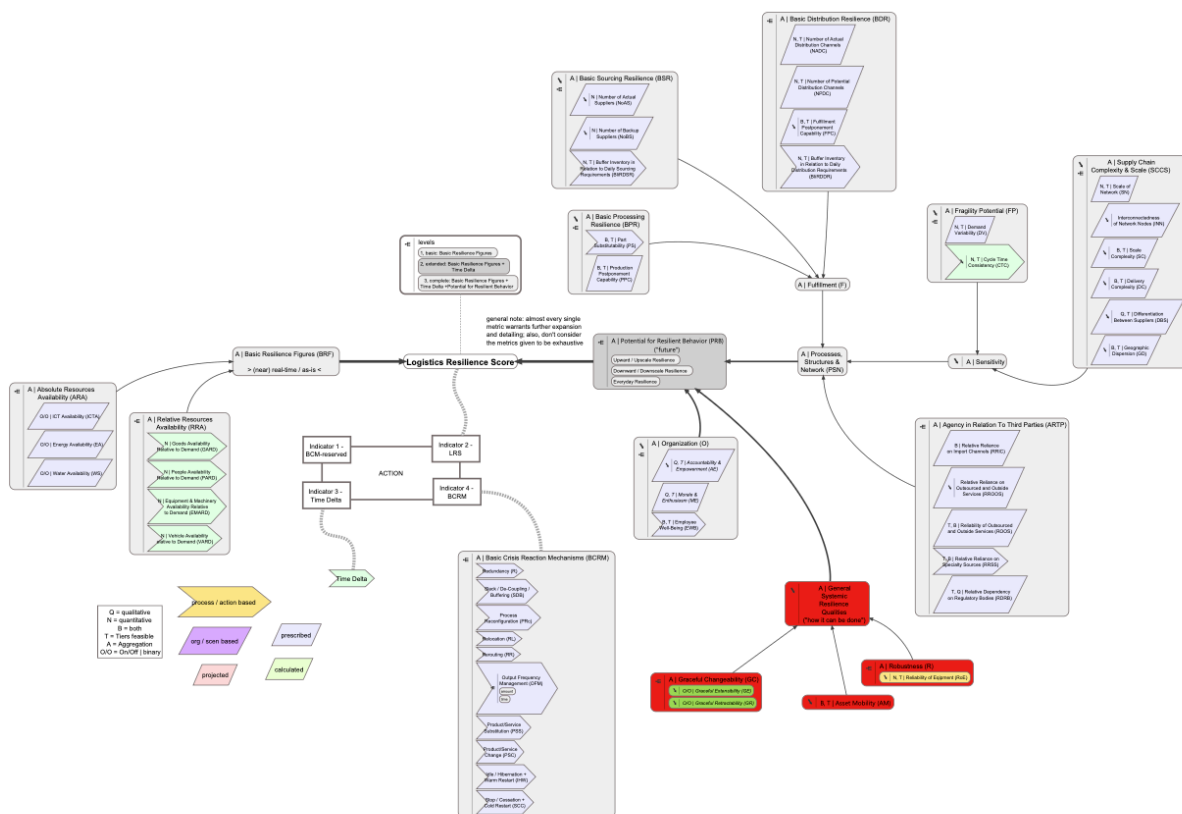


Abbildung 55: Das 'neue' Kennzahlenmodell im Überblick.

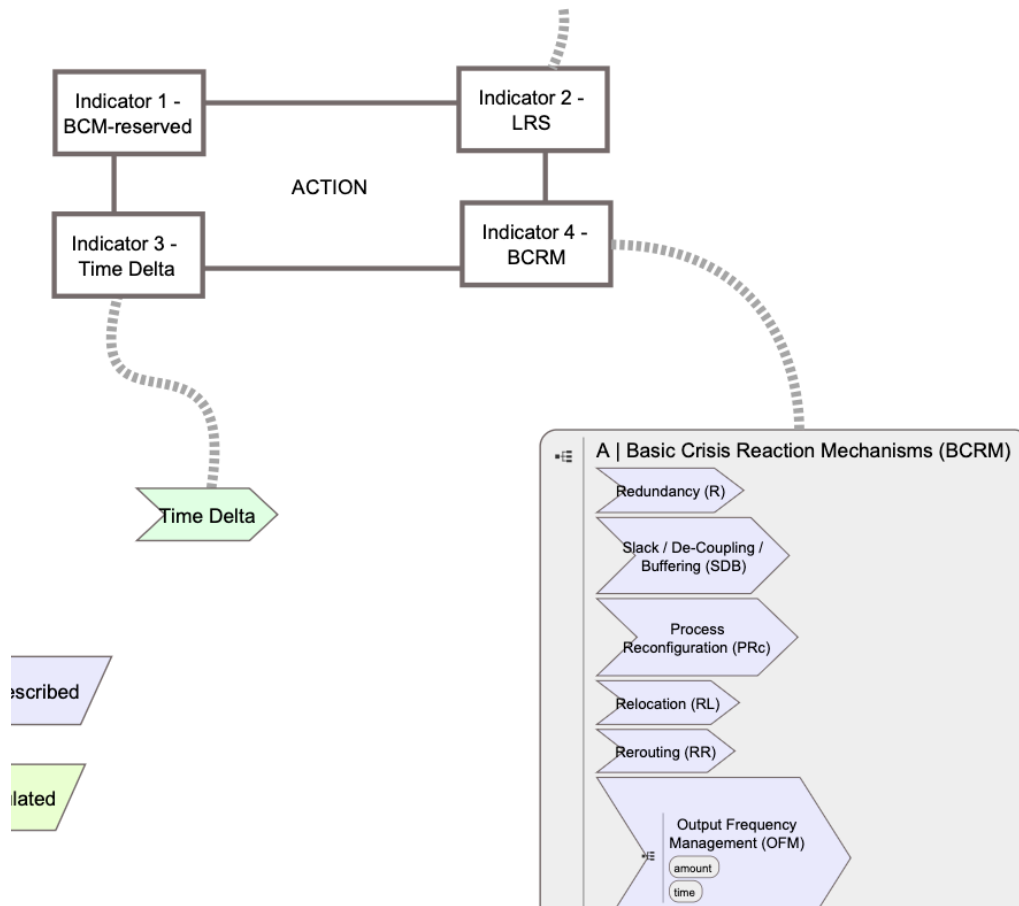


Abbildung 56: Das 'neue' Kennzahlenmodell im Detail (I) - LRS und Basic Crisis Reaction Mechanisms.

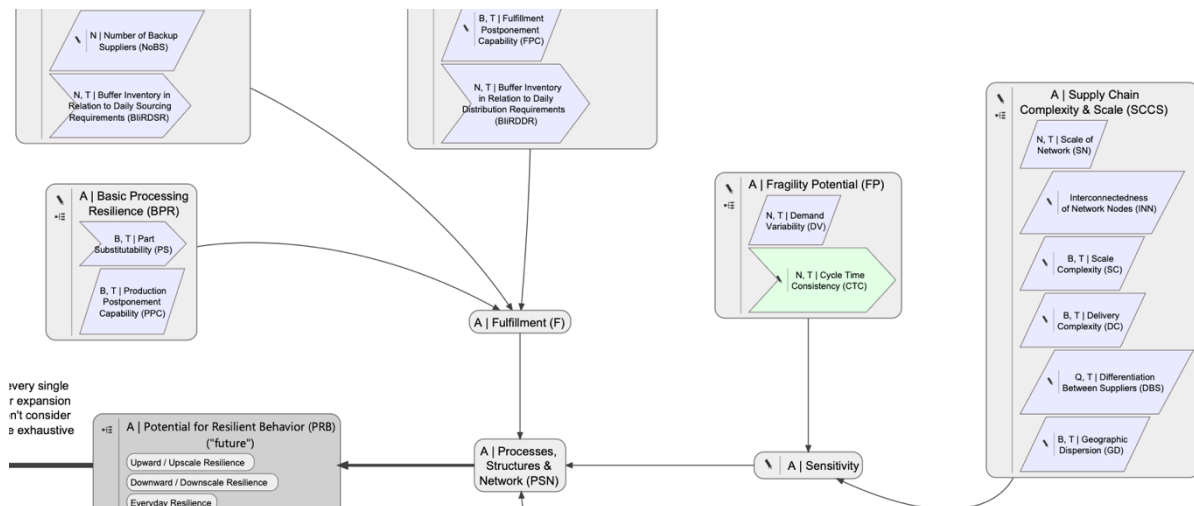


Abbildung 57: Das 'neue' Kennzahlenmodell im Detail (II) - Processes, Structures & Network sowie Sensitivity.

Der LRS ist als Steuerungsinstrument für strategisches Resilienzmanagement konzipiert. Durch kontinuierliches Monitoring ermöglicht er die frühzeitige Identifikation von

Resilienzdefiziten und die Erfolgskontrolle implementierter Verbesserungsmaßnahmen, wobei die Disaggregation des Gesamtscores in Bereichswerte die zielgerichtete Ableitung spezifischer Interventionsstrategien unterstützen kann. Dabei gibt es jedoch ein paar Herausforderungen, denn die praktische Umsetzung des Kennzahlenmodells erfordert methodische Ansätze zur Integration heterogener Datenquellen und Bewertungsskalen in einem kohärenten Gesamtsystem, denn das Modell kombiniert numerische Messwerte (Verhältnisgrößen, absolute Kennzahlen) mit strukturierten qualitativen Bewertungen (Experteinschätzungen, Reifegrade, ...). Die Integration erfolgte durch mehrdimensionale Skalierungsverfahren, die verschiedene Datentypen in einem gemeinsamen Bewertungsraum positionierten. Qualitative Faktoren wurden durch standardisierte Bewertungsraster operationalisiert, die konsistente Einschätzungen ermöglichten. Die hierarchische Verdichtung von Einzelindikatoren zu Bereichsscores erfolgte durch gewichtete Mittelwertbildung und multiplikative Verknüpfungen bei Berücksichtigung kritischer Interdependenzen. Fehlende Datenwerte können durch statistische Imputationsverfahren und Expertenschätzungen kompensiert werden. Hierfür wurden zahlreiche Vorschläge erarbeitet, die jedoch weitgehend in der Theorie verblieben (fehlender Konsens zu Resilienzelementen + fehlender Konsens zu Resilienzmetriken + fehlender Konsens zu relevanten Daten + fehlender Konsens zu Verknüpfungsmustern... AKRIMA konnte hier schlussendlich nur einen qualifizierten Vorschlag machen, nicht die gesamte Forschungslandschaft aufrollen; ob das gelungen ist, müssen andere entscheiden).

Wie bereits geschrieben durchlief die Entwicklung des AKRIMA-Kennzahlenmodells durchlief einen Evolutionsprozess, der von einer umfassenden theoretischen Maximalversion (im Rahmen des möglichen) zu einer fokussierten, (weitgehend) praxistauglichen Implementierung führte und dabei methodische Erkenntnisse für die angewandte Resilienzforschung generierte. Die umfassende theoretische Konzeption erwies sich aber als praktisches Implementierungshindernis: Die Datenerhebung für über 300 Kennzahlen überstieg die verfügbaren Ressourcen und die Bereitschaft zur Datenbereitstellung bei potenziellen Anwendern erheblich (vorsichtig formuliert). Zusätzlich führte die hohe Komplexität zu Verständnis- und Akzeptanzproblemen bei Stakeholdern, die eine

pragmatische Handhabbarkeit erwarteten. Die Gefahr der „Informationsüberladung“ und die daraus resultierende Entscheidungsparalyse verdeutlichten die Notwendigkeit systematischer Komplexitätsreduktion. Die Überführung der Maximalversion in eine praxistaugliche Implementierung erforderte eine strukturierte Reduktion entlang sechs zentraler Bewertungskriterien:

- **Messbarkeit:** Verfügbarkeit zuverlässiger Datenquellen und praktikable Erhebungsverfahren.
- **Relevanz:** Direkter Bezug zur Resilienzfähigkeit und Aussagekraft für Entscheidungsprozesse.
- **Steuerbarkeit:** Beeinflussbarkeit durch organisationale Maßnahmen und Managementinterventionen.
- **Unterscheidungsfähigkeit:** Differenzierungsvermögen zwischen verschiedenen Resilienzniveaus.
- **Verständlichkeit:** Intuitive Interpretierbarkeit für Entscheidungsträger ohne spezialisierte Kenntnisse.
- **Verfügbarkeit:** Realistische Beschaffbarkeit in der Unternehmenspraxis ohne unverhältnismäßigen Aufwand.

Die systematische Reduktion mündete in einem deutlich eingedampften Modell, das für Praktiker wesentlich besser handhabbar ist, Wissenschaftler:innen aber wahrscheinlich eher zu Tränen veranlasst, weil offensichtlich zahlreiche hochrelevante Bereiche und Aspekte fehlen bzw. unberücksichtigt bleiben mussten.

Integration in den Demonstrator

Die Einbindung des Kennzahlenmodells in den AKRIMA-Demonstrator erfolgte durch Mitlieferung der relevanten Daten im Rahmen der Prozessinformationen und der Ermittlung der Kennzahlen entsprechend der definierten Regeln durch das DFKI inklusive deren Darstellung im Dashboard. Das DFKI implementierte dabei eine noch einmal vereinfachte Version des Logistics Resilience Score, die grundlegende Funktionalitäten des

Kennzahlenmodells demonstrierte, insbesondere die Aggregation von Resilienzindikatoren basierend auf synthetischen Testdaten und deren Visualisierung. Die Implementierung beschränkte sich also auf eine Teilmenge der entwickelten Kennzahlen und nutzte vereinfachte Aggregationslogiken; komplexe Interdependenzen zwischen Kennzahlenbereichen und kontextspezifische Gewichtungsverfahren wurden nur prototypisch realisiert. Das ist keine Kritik, sondern eine Feststellung, denn ausgehend von der (sehr (sehr)) begrenzten Verfügbarkeit authentischer Unternehmensdaten war ,einfach nicht mehr drin

Dennoch realisierte das AKRIMA-Kennzahlenmodell mehrere methodische und theoretische Innovationen, die über die projektspezifischen Zielsetzungen hinaus zur Weiterentwicklung der Resilienzforschung und des organisationalen Krisenmanagements beitragen können; insbesondere sind hier neue Verbindungen zwischen theoretischen Resilienzkonstrukten und praktischen (etablierten) Managementinstrumenten zu erwarten. Bisherige Ansätze zur Resilienzbewertung fokussierten entweder auf traditionelle Leistungskennzahlen oder spezialisierte Resilienzindikatoren, ohne systematische Verknüpfungen zwischen beiden Bewertungsdimensionen zu etablieren. Das *AKRIMA*-Modell hingegen verfolgt eine integrierte Bewertungslogik, die operative Performance-Parameter mit resilienzspezifischen Systemqualitäten in einem kohärenten Framework verbindet. Die entwickelte Methodik implementiert zudem einen mehrebenenanalytischen Ansatz, der verschiedene Systemebenen (strategisch, prozessual, operational) und Zeitdimensionen (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunftspotenzial) systematisch berücksichtigt, was prinzipiell die strukturierte Erfassung emergenter Eigenschaften komplexer Systeme erlaubt, die durch eindimensionale Bewertungsansätze nicht abbildbar sind. Die Forschungsarbeiten generierten auch substanzielle theoretische Beiträge zur konzeptionellen Fundierung organisationaler Resilienz und ihrer praktischen Operationalisierung. So etwa gibt es nun eine systematische Lösung für das grundlegende Problem der messtheoretischen Fundierung von Resilienz als organisationalem Konstrukt, insbesondere im Sinne der zeitlichen Differenzierung zwischen realisierter Resilienz (ex-post messbar) und Resilienzpotezial (ex-ante bewertbar). Auch leistet die entwickelte Taxonomie einen Beitrag für die Strukturierung des heterogenen Felds

organisationaler Resilienz sowie zur systematischen Erfassung von Interdependenzen und Übertragungsmechanismen zwischen verschiedenen Systemkomponenten. Das AKRIMA-Kennzahlenmodell kann damit systematische Beiträge zur methodischen Professionalisierung und praktischen Anwendbarkeit der Resilienzforschung leisten und sollte dementsprechend auch als ‚qualifizierter Vorschlag‘ verstanden werden, der aber durchaus weiterer Reflexion und Validierung bedarf. Tatsächlich bietet das Kennzahlenmodell vielfältige Ansatzpunkte für praktische Verwertung und systematische Weiterentwicklung in verschiedenen Anwendungskontexten: So etwa ermöglicht die modulare Architektur des Kennzahlenmodells die Integration in etablierte Managementsysteme für Risikomanagement (ISO 31000), Business Continuity (ISO 22301) und Qualität (ISO 9001); die Anschlussfähigkeit an bestehende Controllingstrukturen reduziert Implementierungsbarrieren und erhöht Akzeptanz bei potenziellen Anwendern. Die entwickelten methodischen Ansätze bieten auch Grundlagen für die Entwicklung kommerzieller Software-Lösungen im Bereich Resilienz-Management. Zielgruppen umfassen KRITIS-Betreiber, große Logistikunternehmen und Organisationen mit komplexen Lieferketten. Die gestuften Implementierungsmodelle ermöglichen differenzierte Produktangebote für verschiedene Marktsegmente. Die systematische Operationalisierung organisationaler Resilienz kann zudem die Entwicklung regulatorischer Standards (insbesondere für kritische Infrastrukturen) unterstützen.

Schlussendlich demonstrierte die Entwicklung des AKRIMA-Kennzahlenmodells zumeist spannend, mitunter aber auch tief-frustrierend die charakteristischen Herausforderungen und Erkenntnispotenziale angewandter Forschung im Bereich der Resilienzoperationalisierung. Es erfüllte seine Rolle im AKRIMA-Gesamtsystem und kann daher als Erfolg verbucht werden, ist aber sicherlich hinter den ursprünglichen Erwartungen zurückgeblieben (wobei zu diskutieren wäre, ob diese Erwartungen nicht zu hochgesteckt waren).

Managementkreislauf (AP 6)

Zentrales Ziel des Arbeitspakets 6 (für die TH Wildau) war die Konzeption eines Managementkreislaufs für das adaptive Krisenmanagement, der die Nutzung KI-basierter Entscheidungsunterstützung in kritischen Situationen systematisiert. Die Entwicklung

erfolgte entlang definierter methodischer Kriterien und unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen und Möglichkeiten des AKRIMA-Regelkreises (Auswertung – Simulation – Planung – Umsetzung). Der Forschungsprozess orientierte sich methodisch an der Erkenntnis, dass Krisenmanagement fundamental andere Anforderungen stellt als routinemäßige Geschäftsprozesse. Während reguläre Managementzyklen durch Planbarkeit, vollständige Informationslagen und zeitliche Flexibilität gekennzeichnet sind, erfordern Krisensituationen Entscheidungen unter extremer Unsicherheit, fragmentierten Informationen und massivem Zeitdruck (wobei paradoxerweise oft gleichzeitig zu wenige und zu viele Informationen vorliegen – das ‚klassische‘ Information-Overflow-Problem). Die methodische Herausforderung lag in der Entwicklung eines Ansatzes, der die kognitiv sehr anspruchsvollen Aufgaben im Krisenmanagement durch KI-Unterstützung optimal unterstützt, ohne dabei die für Krisenbewältigung essenziellen flexiblen und adaptiven Entscheidungsstrukturen zu beeinträchtigen. (Jetzt könnte die Frage aufkommen, warum es sich in diesem Arbeitspaket um Managementkreisläufe dreht, wenn in Krisen doch vielleicht andere Grundlagen notwendig sind. Zwei Antworten dazu: Erstens kommen auch in Krisen Entscheidungssysteme zum Einsatz, die auffallende Ähnlichkeit mit Managementkreisläufen haben, und zweitens war schon immer angedacht, dass das AKRIMA-System auch im Nicht-Krisen-Alltag eingesetzt werden sollte, um Sicherheit im Umgang zu erhöhen und auch im Alltag die Vorzüge des Ansatzes nutzen zu können.)

Zunächst – Krisensituationen unterscheiden sich fundamental von routinemäßigen Managementsituationen durch mehrere charakteristische Merkmale:

- *Zeitdruck und Reaktionsdringlichkeit:* Während reguläre Managementprozesse Entscheidungen nach gründlicher Analyse über Wochen oder Monate ermöglichen, erfordern Krisenstäbe unmittelbare Reaktionen zur Gefahrenabwehr und Situationsstabilisierung. Diese Dringlichkeit verstärkt sich durch die typischerweise herrschende Ungewissheit und den Mangel an vollständigen Informationen.
- *Informationsparadox:* Krisen sind charakterisiert durch die paradoxe Gleichzeitigkeit von Informationsmangel und Information Overflow. Während kritische Entscheidungsparameter oft unbekannt bleiben, führt die Vielzahl der

Informationsquellen und Stakeholder zu einer Überflutung mit zum Teil irrelevanten oder widersprüchlichen Daten (ein Phänomen, das in der Corona-Pandemie besonders deutlich wurde – etwa bei der gleichzeitigen Existenz von Informationslücken über Virusübertragung und einer Flut widersprüchlicher Studien).

- *Interdisziplinarität und Koordinationsanforderungen:* Krisen betreffen typischerweise verschiedene Fachbereiche / Abteilungen / Standorte / ... gleichzeitig und erfordern koordinierte, umfassende Reaktionen. Dies steht im Gegensatz zu regulären Managementprozessen, die meist durch klarere Verantwortlichkeitstrennungen und fokussierte Entscheidungsfindung gekennzeichnet sind.

Die Transformation von Daten zu handlungsrelevantem Wissen (Crisis Intelligence) stellt in Krisensituationen eine besondere Herausforderung dar. Das klassische DIKW-Modell (Data-Information-Knowledge-Wisdom) erweist sich als unzureichend für die Komplexität krisenspezifischer Informationserarbeitung. Kuhlens doppeltes Transformationsmodell (siehe Abbildung 58) ⁴⁶ bietet hier einen differenzierteren Ansatz: Information entsteht nicht linear aus Daten, sondern im Kontext des bestehenden Wissens des Rezipienten.

⁴⁶ Kuhlens, R. (2004). Information und Wissen: Eine Einführung in die Informationswissenschaft. UTB.

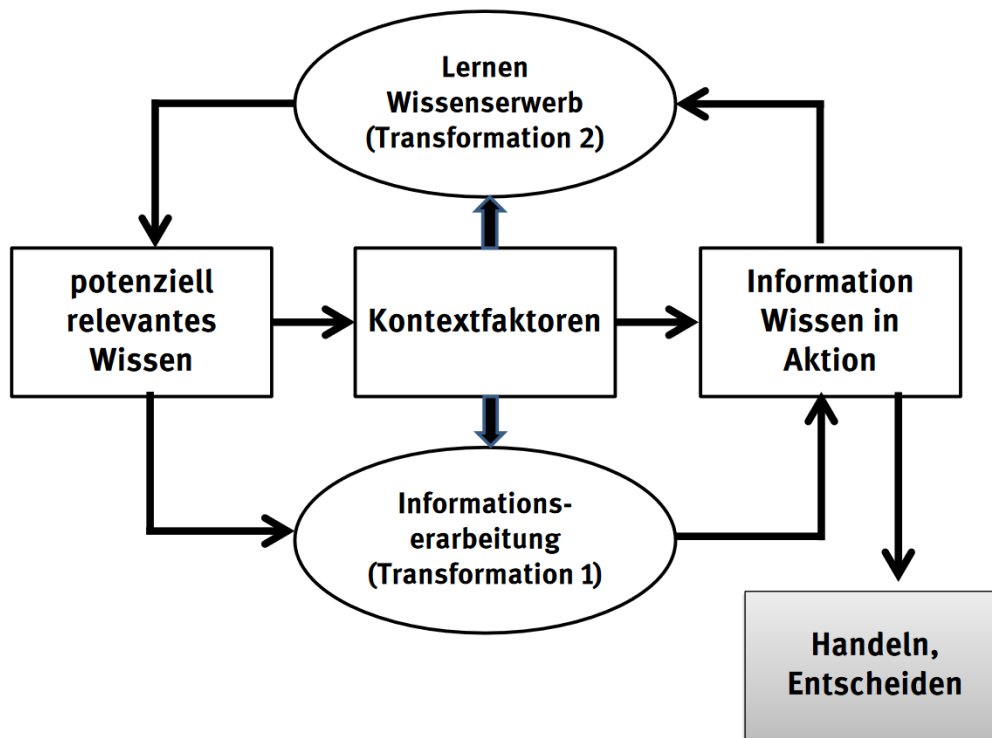


Abbildung 58: Das doppelte Transformationsmodell nach Kuhlen (2004).

Verschiedene **Kontextfaktoren** beeinflussen dabei den Transformationsprozess erheblich:

- *Externe Kontextfaktoren:* Gesetzliche und regulatorische Anforderungen, Umweltbedingungen, Infrastrukturbeschränkungen, kulturelle und gesellschaftliche Normen prägen die Interpretationsrahmen für krisenrelevante Informationen.
- *Interne Kontextfaktoren:* Ressourcenverfügbarkeit, Organisationsstrukturen, etablierte Prozesse und deren Anpassbarkeit definieren die Handlungsräume für Krisenreaktionsmechanismen.
- *Subjektive Kontextfaktoren:* Der Wissenshorizont einzelner Personen, Meta-Wissen über den Umgang mit Wissen, sowie individuelle Expertisen bestimmen die Qualität der Informationserarbeitung im Krisenstab (wobei hier ein interessantes Phänomen auftritt: Krisenexpert:innen mit unterschiedlichen fachlichen Hintergründen interpretieren identische Datenlagen oft fundamental verschieden – ein Effekt, der durch Zeitdruck noch verstärkt wird, insbesondere in der Fragestellung, welcher Interpretation Priorität eingeräumt wird).

Die Schaffung einer **einheitlichen Kontextualisierung** (oder zumindest einer geteilten Kontextualisierung) wird damit zur zentralen Aufgabe des Krisenmanagements. Dies erfordert koordinierte Kommunikation in Form strukturierter Lagebesprechungen und die Validierung von Informationsquellen auf Seriosität und Relevanz – Prozesse, die unter Krisenbedingungen aufwändig und zeitkritisch sind.

Die systematische Bestandsaufnahme etablierter Managementframeworks offenbarte signifikante Diskrepanzen zwischen den Grundannahmen klassischer Managementkreisläufe und den realen Anforderungen des Krisenmanagements. Der **PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act)** als prototypischer Managementkreislauf etwa zeigt in Krisensituationen strukturelle Limitationen: Die initiale Planungsphase kollidiert mit der Notwendigkeit unmittelbarer Reaktionen, während die sequenzielle Logik des Zyklus der parallelisierten, multidimensionalen Natur von Krisen nicht gerecht wird. Ähnliche Beschränkungen zeigen sich bei **DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control)** und anderen Six-Sigma-basierten Ansätzen, deren Fokus auf Prozessoptimierung unter stabilen Bedingungen der volatilen Krisendynamik widerspricht. Der **OODA-Loop (Observe-Orient-Decide-Act)** erweist sich als krisentauglicher, da er ursprünglich für dynamische, zeitkritische Entscheidungssituationen konzipiert wurde. Die Betonung schneller Orientierung und adaptiver Entscheidungsfindung entspricht eher den Anforderungen des Krisenmanagements. Jedoch bleibt auch hier die Herausforderung der systematischen Informationserarbeitung unter Krisenbedingungen ungelöst. Auf der anderen Seite stehen z. B. Beobachtungen, dass ein PDCA auch in Krisen wertvoll sein kann (wenn etwa doch mehr Raum für Planungen gegeben ist) und sich tatsächlich wenig etwa vom etablierten Führungskreislauf (Lagefeststellung, Planung, Befehlsgebung) unterscheidet.

Eine zentrale Erkenntnis der Forschungsarbeiten liegt in der Bedeutung gewachsener Organisationsstrukturen. Im Kontext Krisenresilienz: Krisenstäbe funktionieren nicht als isolierte Entscheidungseinheiten, sondern als Integrationszentren bestehender organisationaler Kompetenzen und Kommunikationsstrukturen (wobei interessanterweise gerade die informellen Kommunikationswege oft entscheidender sind als die formal definierten Hierarchien). Die Stabsstruktur von Behörden und Organisationen mit

Sicherheitsaufgaben (BOS) ist ein gutes Beispiel: Die standardisierten Sachgebiete S1 bis S6 bilden nicht abstrakte Managementfunktionen ab, sondern institutionalisierte Expertisen und Zuständigkeiten, ihre Wirksamkeit resultiert aus der Integration in etablierte Organisationskulturen und Entscheidungsrouinen, nicht aus der optimalen Prozessgestaltung (tatsächlich gibt es zahlreiche, durchaus gewichtige Stimmen, die Defizite in der etablierten Stabsarbeit aufzeigen; aber deren Reform war nicht Aufgabe des Projekts). Aber auch im Kontext Nicht-Krise gilt, dass die verschiedenen Akteure es gewohnt sind, innerhalb ihrer etablierten Strukturen und entlang der gewohnten Handlungslogiken zu entscheiden; das bewusste ‚Pressen‘ einer Normalorganisation in eine anders gestaltete Krisenorganisation kann funktionieren, bringt aber zahlreiche potenzielle Reibungsflächen mit sich, die am Ende mehr Schaden als Vorteil bringen können. Vor diesem Hintergrund (und das war eine wichtige Erkenntnis aus dem Projekt) ist die Frage nicht, wie ein optimaler (Management-) Kreislauf für KI-unterstütztes Krisenmanagement aussehen muss, sondern wie die Akteure ertüchtigt werden können, die neuen Handlungsoptionen bestmöglich zu nutzen.

Die methodische Konsequenz liegt also in der Entwicklung befähigungsorientierter Ansätze, die bestehende Entscheidungsstrukturen stärken, anstatt sie durch standardisierte Prozesse zu substituieren. Dies erfordert eine konzeptionelle Neuorientierung von der Prozessoptimierung zur Strukturbefähigung, deren Aufgabe es sein muss, die technologischen Innovationen des *AKRIMA*-Systems in bestehende organisationale Entscheidungsstrukturen (für Alltag und Krise) zu integrieren, ohne deren bewährte Funktionslogik zu beeinträchtigen. Anstelle der ursprünglich geplanten Implementierung eines standardisierten *AKRIMA*-Managementkreislaufs wurden modulare Anforderungen an eine echte Befähigung erarbeitet, die organisationsspezifische Anpassungen ermöglichen und vor allem in Form von Schulungs- und Qualifizierungsmaßnahmen etabliert werden können / sollten / müssen. Die Befähigungsorientierung ermöglicht es, die analytischen und prognostischen Kapazitäten des *AKRIMA*-Systems zu nutzen und die organisationale Entscheidungsautonomie zu stärken (weiteres siehe die folgenden Ausführungen zum Schulungskonzept).

Schulungs- und Qualifizierungskonzept (AP 6)

Neben der Dissemination war die Erarbeitung eines Qualifizierungs- und Schulungskonzepts (fortlaufend: nur ‚Schulungskonzept‘) die Hauptaufgabe der TH Wildau in Arbeitspaket 6, welche sich nahtlos an die Erkenntnisse und festgestellten Bedarfe im Sinne der Untersuchungen zu Managementkreisläufen (s.o.) anschließt. Dabei bildet das **LTA-FIT-Modell** (Lernen, Training, Assistenz über Formate, Instrumente, Tools) die methodische Grundlage für das AKRIMA-Schulungskonzept. Dieses dreistufige Qualifizierungsmodell wurde ursprünglich im Rahmen des Transferprojekts *Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Cottbus* zur Unterstützung der digitalen Transformation in kleinen und mittleren Unternehmen entwickelt. Die bewährte Systematik folgt einem progressiven Ansatz des begleiteten Wissenstransfers, der durch seine modulare Struktur eine zielgruppenspezifische Adaption ermöglicht. Die Grundarchitektur des Modells umfasst drei aufeinander aufbauende Qualifizierungsebenen:

- **Level 1 - Lernen (Sensibilisierung):** Niedrigschwellige Wissensangebote schaffen einen ersten Grundschatz und wecken das Interesse für weiterführende Beschäftigung mit dem Thema. Formate wie Micro-Learning, Vorträge und E-Learning-Module vermitteln grundlegende Kenntnisse und fördern die Akzeptanz systematischer Ansätze.
- **Level 2 - Training (Grundlagen):** Die erworbenen Grundkenntnisse werden vertieft und zur ersten praktischen Anwendung gebracht, idealerweise in sicheren Testumgebungen. Workshops, Simulationen und Blended-Learning-Formate ermöglichen die praxisnahe Erprobung von Konzepten mit direktem Feedback.
- **Level 3 - Assistenz (Professionalisierung):** Expertenassistenz unterstützt die Integration der Konzepte in die Unternehmensprozesse. Dieser Level umfasst die ersten Schritte in der Produktivumgebung und schafft Anwendersicherheit für die selbstständige Vertiefung.

Die erfolgreiche Anwendung des LTA-FIT-Modells in der digitalen Transformation von KMU im Rahmen des Initiative Mittelstand-Digital demonstrierte dessen Leistungsfähigkeit für

komplexe Transformationsprozesse; die methodische Stärke liegt insbesondere in der systematischen Reduktion von Implementierungsbarrieren durch die schrittweise Heranführung an neue Technologien und Konzepte, während der modulare Aufbau eine bedarfsgerechte Anpassung an unterschiedliche Zielgruppen und Kompetenzanforderungen ermöglicht.

Die Übertragung des LTA-FIT-Modells auf das Krisenmanagement im *AKRIMA*-Kontext erfolgte unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen systematischer Krisenvorbereitung. Die Adaption zielte darauf ab, einen „Werkzeugkoffer“ für verschiedene Krisenmanagementthemen bereitzustellen, aus dem Unternehmen ihren individuellen Schulungsplan entwickeln können, wobei die Systematik "Sensibilisieren, trainieren, assistieren" einen niedrighschwelligen Zugang zum Krisenmanagement ermöglicht und verschiedene Zielgruppen mit differenzierten Qualifizierungsanforderungen adressiert.

Das zentrale Ziel der *AKRIMA*-Schulung liegt in der umfassenden Befähigung zur Nutzung des Demonstrators und der *AKRIMA*-Lösung. Diese Befähigung umfasst mehrere komplementäre (aber nicht verhandelbare) Dimensionen:

- **Daten- und Prozesskompetenz:** Teilnehmende erwerben die Fähigkeit zur systematischen Identifikation, Erhebung und Integration relevanter Datenquellen für Krisenmanagementsysteme. Sie verstehen die Strukturierung und Qualitätsbewertung von Daten sowie deren Anwendung in der Prozess- und Lieferkettenanalyse.
- **Szenariokompetenz:** Die Schulung vermittelt Methoden zur systematischen Erstellung realistischer Krisenszenarien unter Berücksichtigung geografischer, topographischer und infrastruktureller Faktoren. Teilnehmende lernen die Besonderheiten und Grenzen von Simulationen in Krisenszenarien zu verstehen.
- **Anwendungskompetenz:** Praktische Fertigkeiten im Umgang mit der *AKRIMA*-Lösung werden durch strukturierte Übungen in Test- und Produktivumgebungen entwickelt. Dies umfasst die Bedienung des Systems, die Interpretation der Analyseergebnisse und die Ableitung angemessener Krisenreaktionsmechanismen.

- **Interpretationskompetenz:** Teilnehmende entwickeln die Fähigkeit zur datenbasierten Bewertung von Krisenmaßnahmen und zur Identifikation von Optimierungspotenzialen durch Datenfeedback und Kennzahlen.

Darüber hinaus zielt die Schulung auf die Vermittlung neuer Methoden im Krisenmanagement und die Aufzeigung innovativer Perspektiven und Möglichkeiten zur Stärkung der Unternehmensresilienz.

Die primäre Zielgruppe umfasst Führungskräfte und Entscheidungsträger in kleinen und mittleren Unternehmen mit unterschiedlichen abteilungsspezifischen Schwerpunkten:

- Krisenmanager:innen: Verantwortliche für die strategische Krisenkoordination
- Krisenstab: Expertenrunden verschiedener Abteilungen für Maßnahmenvorbereitung
- Geschäftsführung: Gesamtverantwortliche für unternehmerische Kontinuität
- IT-Sicherheit: Verantwortliche für digitale Sicherheit und Datenintegrität
- Leitung Logistik: Verantwortliche für Lieferketten-Management
- Leitung Produktion: Verantwortliche für Produktionsaufrechterhaltung
- Personalmanagement: Verantwortliche für Mitarbeiterführung und -planung
- Kommunikation: Verantwortliche für interne und externe Krisenkommunikation

Als sekundäre Zielgruppe sind öffentliche Krisenstäbe, allgemein Mitarbeitende in Unternehmen (insbesondere Spezialisten für das operative Tagesgeschäft zur Förderung der Akzeptanz) sowie Studierende (als mögliche zukünftige Fachkräfte) zu sehen.

Das Schulungskonzept integriert verschiedene didaktische Formate entsprechend den LTA-FIT-Ebenen:

- **Sensibilisierungsebene:** Micro-Learning-Module (bis 10 Minuten) für zeit-effiziente Grundlagenvermittlung, Webinare für größere Zielgruppen und Blended-Learning-Ansätze zur flexiblen Kompetenzentwicklung.

- **Grundlagenebene:** Seminare für theoretische Fundierung, Workshops für praxisorientierte Anwendung und strukturierte Gruppenarbeiten mit Feedbackschleifen.
- **Professionalisierungsebene:** Planspiele und Simulationen für realitätsnahe Szenarioerprobung sowie expertenbegleitete Integration in Produktivumgebungen.

Die inhaltliche Struktur folgt neun Kernthemen des unternehmerischen Krisenmanagements, die vielfältig ausgestaltet werden können:

- Szenarioentwicklung
- Datenintegration
- Grundlagen Krisenmanagement
- Krisenkommunikation
- Personalführung in der Krise
- Prozesskettenanalyse
- Prozessalternativen
- Supply Chain Management
- Krisenreaktionsmechanismen

Die modulare Konzeption ermöglicht eine bedarfsgerechte Zusammenstellung von Qualifizierungspfaden entsprechend organisationsspezifischer Anforderungen und Zielgruppenbedürfnisse. Durch die systematische Verknüpfung von Rollen, Themen und Formaten entsteht ein flexibles Schulungsökosystem, das sowohl grundlegende Sensibilisierung als auch spezialisierte Professionalisierung unterstützt. Nachfolgend sind zwei beispielhafte Schulungsmodule umrissen.

- **Modul 1: Szenarioentwicklung und -beschreibung:** Dieses Workshop-Format (1-2 Tage) richtet sich an Entscheidungsträger:innen im Business Continuity Management und Risikomanagement. Die Teilnehmenden erlernen die systematische Erstellung realistischer Szenarien und die Identifikation typischer Herausforderungen. Kerninhaltselemente umfassen die Grundlagen der Szenarioerstellung mit

definierten Schritten und Kriterien, methodische Ansätze der Szenariotechnik und Parameterbestimmung, die Auswahl geeigneter Raumstrukturen unter Berücksichtigung topographischer und infrastruktureller Faktoren sowie Fragestellungen im Kontext von Herausforderungen und Grenzen bei der Simulation von Krisenszenarien.

- **Modul 2: Datenintegration und -nutzung in *AKRIMA*:** Dieses umfassende Workshopformat (2 Wochen: 2 Tage Workshop + 1 Woche Selbstausarbeitung) adressiert Entscheidungsträger:innen aus Supply Chain Management, IT und Datenmanagement. Die Qualifizierung umfasst die systematische Identifikation und Bewertung interner und externer Datenquellen, Methoden der Datenerhebung, -strukturierung und Qualitätsbewertung, die datenbasierte Analyse von Lieferketten-Vulnerabilitäten, die Spezifizierung von Teilszenarien und Ableitung von Krisenreaktionsmechanismen sowie die Bewertung der Maßnahmeneffektivität durch Kennzahlen und Monitoring.

Die Adaption des LTA-FIT-Modells für das Krisenmanagement erscheint nach den bisherigen Forschungsarbeiten als eine geeignete Lösung zur Befähigung der Akteure für ‚modernes Krisenmanagement‘, insbesondere zur Anwendung der *AKRIMA*-Lösung, ist aber nicht frei von strukturellen Spannungsfeldern (bspw. im Kontext planbarer Veränderungsprozesse gegenüber den Zwängen des operativen Krisenmanagements) und verdient sicherlich eine weitergehende Betrachtung in nachfolgenden Aktivitäten. So oder so positioniert sich das *AKRIMA*-Schulungskonzept aber in einem differenzierten Qualifizierungsfeld, das von etablierten Standards und bewährten Ausbildungsansätzen geprägt ist, die sich primär an normativen Rahmenwerken orientieren, die vorwiegend auf organisatorische Prozesse sowie Kommunikationsstrukturen fokussieren und datenbasierte Analysemethoden und quantitative Bewertungsverfahren kaum berücksichtigen; sie lassen damit eine Berücksichtigung der gegenwärtigen (technischen) Möglichkeiten und realen Erfordernisse teilweise vermissen und könnten ein Update und / oder komplementäre Angebote durchaus vertragen. Schulungsmodule mit *AKRIMA*-Inhalten könnten ein solcher Komplementär sein.

Davon abgesehen empfiehlt sich grundsätzlich eine spezifische Schulung, wenn das AKRIMA-System in der Praxis eingesetzt werden soll, denn dessen (guter) Einsatz erfordert hybride Kompetenzprofile, die technische und managementorientierte Fähigkeiten systematisch integrieren: Es braucht digitale Grundkompetenzen (etwa die Fähigkeit zur Interpretation komplexer Datenvisualisierungen, das Systemverständnis für integrierte Software-Lösungen und die kritische Bewertung algorithmischer Analyseergebnisse), Verständnis für (technische) Systemgrenzen und die Verlässlichkeit automatisierter Auswertungen, Szenario-Denken, systemisches Risikoverständnis, Entscheidungsfindungskompetenz unter Ungewissheit, die Fähigkeit zur Berücksichtigung quantitativer Analyseergebnisse in strategische Entscheidungsprozesse usw.; diese Anforderungsstruktur übersteigt häufig die bestehenden Qualifikationsprofile in traditionellen Krisenmanagement-Rollen und erzeugen entsprechenden Schulungsbedarf.

Die hier entwickelten Ansätze konnten während des Projekts nicht erprobt werden (was auch gar nicht vorgesehen war, wobei man rückblickend sicherlich über die Sinnhaftigkeit dieser Maßgabe geteilter Meinung sein kann), sodass zentrale Aspekte wie Wirksamkeit, Akzeptanz und praktische Implementierbarkeit des Konzepts (noch) hypothetisch sind. Zur systematischen Validierung und Weiterentwicklung des AKRIMA-Schulungskonzepts sind dementsprechend kontrollierte Pilotierungen in repräsentativen Unternehmensumgebungen, die Entwicklung standardisierter Evaluationsmethodiken und der Aufbau interdisziplinärer Forschungsk Kooperationen zwischen Krisenmanagement, Didaktik und Wirtschaftsinformatik zu empfehlen, die in Folgeaktivitäten berücksichtigt / durchgeführt werden sollten.

Dissemination (AP 7)

Das Arbeitspaket 7 diente im gesamten Vorhaben für die Erfolgskontrolle und vor allem der Öffentlichkeitsarbeit und Transparenz der im Projekt erarbeiteten Ergebnisse. In einem ersten Schritt wurde dazu angelehnt an den Projektplan ein Disseminationsplan erarbeitet, der im laufenden Vorhaben angepasst wurde; zu den Projekttreffen wurde jeweils über den Status der Dissemination und mögliche Anpassungen an Plan bzw. Vorgehen berichtet.

Insgesamt war / ist die Öffentlichkeitsarbeit des Vorhabens (tatsächlich erstreckt sich der Disseminationsplan noch bis weit in das Jahr 2026 hinein, wobei er in der Zeit nach dem Projektabschluss praktisch und operativ Bestandteil des Disseminationsplans der Forschungsgruppe ist; Klartext: die Öffentlichkeitsarbeit zu AKRIMA geht weiter) durch einen gezielten **Fachtransfer** in Form von Beiträgen in sozialen Medien, dem Besuch von Kongressen sowie der Veranstaltung von Foren und Workshops gekennzeichnet. Ergänzt wurde dies durch überregionale Pressearbeit in Zusammenarbeit mit der Hochschulkommunikation der TH Wildau, die in regionale Medienberichte mündete. Da der Demonstrator aus AP 6 nur rudimentär zur Veröffentlichung der Ergebnisse dient, sind vor allem die weiteren Erkenntnisse aus den anderen Arbeitspaketen zur Öffentlichkeitsarbeit hinzugezogen worden, um wissenschaftlich und bürgernah (allgemeinwissenschaftlich) auf das Thema aufmerksam zu machen und insbesondere Unternehmen zu sensibilisieren; in der Tat wurden keine Anstrengungen in Richtung ‚klassischer‘ wissenschaftlicher Publikationen unternommen, da diese für die angestrebte Zielgruppe einen sehr schlechten Wirkungsgrad haben und gleichzeitig viele Ressourcen binden. Zudem werden die Ergebnisse auch über das Vorhaben hinaus für Veröffentlichungen genutzt und in die Lehre der TH Wildau einfließen.

Digitale Öffentlichkeitsarbeit

Website: Einen Schwerpunkt bildete der digitale Outreach, der bei Projekten und vor allem zunehmend für Resilienzthemen von Interesse ist, in der Information sowie Diskussion von Inhalten aus Forschung und Praxis. Eine Grundlage dazu bieten die entwickelten Webauftritte des Partners DFKI (<https://akrima.dfki.de/>) und die auf die Schwerpunkte der Arbeit der TH Wildau im Projekt fokussierte Projektseite (www.th-wildau.de/akrima). Sie bedienen als Landingpage auch die Social-Media-Kanäle, von denen der Bezug zur Seite und zur inhaltlichen Vertiefung der Inhalte dient.

Fokuskanal auf LinkedIn: Zur Darstellung der Themen wurde seitens des Projektteilteams der TH Wildau ein eigener LinkedIn-Kanal erstellt, der sich nicht nur mit dem Projekt AKRIMA beschäftigt, sondern insgesamt der Vernetzung zwischen Forschung, Praxis und Öffentlichkeit dienen soll, und seinen Schwerpunkt in der Veröffentlichung von

Projektergebnissen, dem Teilen von Perspektiven und Angeboten / Call-to-Action zum Networking sieht (<https://www.linkedin.com/showcase/forschungsgruppe-sichere-prozesse-und-systeme-an-der-th-wildau>). Ein Beispiel dafür ist die Vorstellung der im Projekt erarbeiteten Krisenszenarien als Online-Artikel „Einblicke in das Projekt AKRIMA: Krisenszenarien als Grundlage der (KI-gestützten) Entscheidungsfindung“ vom 09.10.2023 (<https://www.linkedin.com/pulse/einblicke-das-projekt-akrима-krisenszenarien/>). Dabei ist immer wieder festzustellen, dass es zahlreiche Schnittmengen und mögliche Synergieeffekte gibt; beispielsweise sind Verwaltung und Unternehmen im Bereich KRITIS letztlich voneinander abhängig, so dass Ansätze und Erkenntnisse aus AKRIMA auch etwa für das laufende Forschungsprojekt RESKON der TH Wildau genutzt werden können. Diese Art von Übertrag ist in der Öffentlichkeitsarbeit aber alles andere als trivial und ein aktives Lernfeld. Die Transparenz in den sozialen Medien wurde neben dem eigenen Kanal zudem auch über zentrale Kanäle der TH Wildau fokussiert sowie in Kombination mit persönlichen Kanälen der Wissenschaftler:innen im Projekt.



Abbildung 59: AKRIMA-Webseite der TH Wildau.



Abbildung 60: Veröffentlichung Artikel zu AKRIMA und den entwickelten Krisenszenarien auf LinkedIn-Fokuskanal.

Übersicht ausgewählter Beiträge Social Media / Onlinemedien

Datum	Kanal	Überschrift / Inhalt	Link
28.02.2023	LinkedIn (Jan Seitz)	12. Wildauer Wissenschaftswoche – Forum Zukunftssichere Systeme, Vorstellung AKRIMA	https://de.linkedin.com/posts/jan-seitz-0070b01a3_akrima-activity-7185532959431540736-cc7m
14.03.2023	Podcast (Compleneo)	„Talk About Resilienz“ mit Jan Seitz – Krisenmanagement und KI	https://compleneo-consulting.de/podcast-talk-about-resilienz
31.08.2023	LinkedIn (Jan Seitz)	„AKRIMA arbeitet anders...“ – Projektarbeit und Resilienz	https://de.linkedin.com/posts/jan-seitz-0070b01a3_ki-forschungsprojekt-akrima-activity-7135244726995152896-whZs

31.08.2023	LinkedIn (Jan Seitz)	Reflexion zum 19. Brandenburger Energieholztag (Resilienz, KI, Nachhaltigkeit)	https://de.linkedin.com/posts/jan-seitz-0070b01a3_ki-resilienz-kritis-activity-7212464391332519937-eJey
09.11.2023	LinkedIn / TH Wildau	Konsortiumstreffen Bremerhaven: Demonstrator & Stakeholder-Workshop, Graphical Recording	https://www.th-wildau.de/forschung-transfer/forschung/forschungsfelderschwerpunkte/forschungsfeld-nachhaltigewerteschoepfung/sichere-systeme-und-prozesse/projekte/akrima/aktuelles-akrima
04.05.2024	LinkedIn / TH Wildau	Potsdamer Tag der Wissenschaften: AKRIMA am Pavillon „dahme_innovation“	https://www.th-wildau.de/hochschule/aktuelles/neuigkeiten/news/th-wildau-praesentiert-sich-mit-aktuellen-projekten-auf-dem-potsdamer-tag-der-wissenschaften
06.05.2024	LinkedIn (TH Forschung sgruppe)	Workshop „Kommunale Krisenfestigkeit & Resilienz“ im Fraunhofer-Forum Berlin	https://de.linkedin.com/posts/forschungsgruppe-sichere-prozesse-und-systeme-an-der-th-wildau_ki-forschungsprojekt-akrima-activity-7135625354362122241-sHHI
16.10.2024	Facebook (Präsenzstelle Westlausitz)	Unternehmerfrühstück Finsterwalde, Vortrag AKRIMA (Mike Lange & Jan Seitz)	https://www.facebook.com/photo.php?fbid=1074548021339384&id=100063525880885&set=a.530168605777331
12.03.2025	LinkedIn (TH Forschung sgruppe)	Forum Zukunftssichere Systeme 2025 – Impulsvorträge & World Café	https://de.linkedin.com/posts/forschungsgruppe-sichere-prozesse-und-systeme-an-der-th-wildau_48-zukunftsforum-%C3%B6ffentliche-sicherheit-activity-7338890676048220160-0c3P

Präsenzveranstaltungen, Konferenzen, Vorträge

Ein weiterer Baustein der Wissenschaftskommunikation war die jährliche Wildauer Wissenschaftswoche (WiWo), bei der wissenschaftliche Poster in Präsenz gezeigt wurden (2023, 2024, 2025), die zusätzlich auch digital „on demand“ abrufbar sind und als virtuelle Roadshow genutzt werden können; Beispiel: digitale Posterausstellung WiWo 2023 - Automatisches Adaptives Krisenmonitoring und -managementsystem (AKRIMA), Projektposter im Rahmen der 12. Wildauer Wissenschaftswoche, 28.02. bis 02.3.2023 (<https://icampus.th-wildau.de/vr/panorama?q=645>).



Abbildung 61: Poster zur WiWo 2024.



Abbildung 62: Posterausstellung im Rahmen der WiWo 2025.

Eine komplexe virtuelle Roadshow hat sich mit der Entwicklung der Ergebnisse im Vorhaben nicht realisieren lassen. Vielmehr werden daher Ergebnisse auch nach dem Abschluss des Vorhabens zum Beispiel bei den Präsenzstellen des Landes Brandenburg vorgestellt. Ein Event dazu gab es z. B. noch in der Projektlaufzeit in Zusammenarbeit mit der IHK Cottbus und der Präsenzstelle Finsterwalde Westlausitz bei dem Format „Transfer im ländlichen Raum – Unternehmerfrühstück in Finsterwalde“ am 16. Oktober 2024 (Pressemitteilung dazu siehe <https://www.th-wildau.de/hochschule/aktuelles/neuigkeiten/news/transfer-im-laendlichen-raum-unternehmerfruehstueck-in-finsterwalde>). Daneben konnte in den verschiedenen selbstorganisierten sowie auf Veranstaltungen Dritter platzierten Workshops zahlreiches Feedback aus der Praxis eingesammelt werden; diese Erfahrungen führten zur Entwicklung und Nutzung eines eigenen Veranstaltungsformats („Forum Zukunftssichere Systeme“ (FoZuSy)). Das Format wird im Rahmen der WiWo seit 2023 angeboten und zielt vor allem auf Unternehmen mit dem Ziel des Austausches und der Sensibilisierung zu wechselnden Resilienzthemen.

Für das Forum am 12. März 2025 wurden Erkenntnisse und Szenarien aus AKRIMA genutzt, um gezielt einen Schulungsansatz für Unternehmen zu testen. Er richtete sich konkret an kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Ziele der Veranstaltung waren der Erfahrungsaustausch, die Sensibilisierung für das Thema sowie das Herausfiltern von Anregungen und offenen Handlungsbereichen. Das Konzept dazu, sowie Programmaufbau und -organisation sind über folgenden Link abrufbar: <https://www.th-wildau.de/forschung->

transfer/wissens-und-technologietransfer/veranstaltungenund-termine/14-wildauer-wissenschaftswoche/forum-zukunftssichere-systeme-2025.



Abbildung 63: Erläuterung der Krisenszenarien durch Projektmitarbeiter Mike Lange beim Workshop des FoZuSy am 12.03.2025.



Abbildung 64: Zusammenfassung der Thementische des Forums Zukunftssichere Systeme am 12. März 2025 durch Jan Seitz.

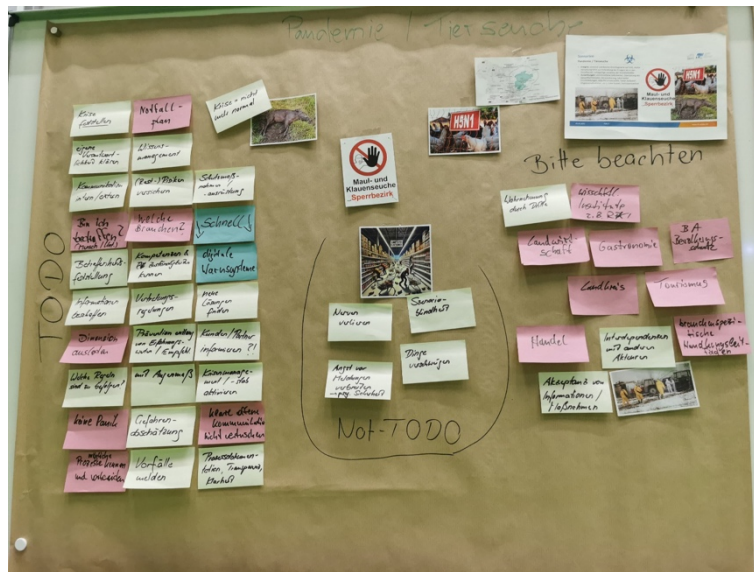


Abbildung 65: Fallzusammenfassung eines Thementisches zu einem Krisenszenario Pandemie/Tierseuche, ebenfalls FoZuSy 2025.

Öffentlichkeitsarbeit mit Vernetzung

Ein wichtiges Element der Öffentlichkeitsarbeit war die Vernetzung regionalen Stakeholdern sowie bundesweiten Akteuren (wobei diese Verortung erstmal nichts darüber aussagt, ob deren jeweiliges Interesse eher regional oder überregional ist). Auf Grund der Wirksamkeit wurde hier der Austausch mit bestehenden Netzwerken fokussiert; besonders prägnant war dabei Zusammenarbeit mit dem Netzwerk Bevölkerungsschutz Brandenburg: Neben der Präsenz auf den halbjährlichen Netzwerktreffen mit einem Infostand wurde im Rahmen des 6. Netzwerktreffens eigens ein sehr gut besuchter Workshop zum Thema „Resilienz von Behörden“ organisiert, der Erkenntnisse aus AKRIMA auch für Behörden anbindungsfähig machte.



Abbildung 66: Jan Seitz beim Workshop „Resilienz von Behörden“ beim 6. Netzwerktreffen des Netzwerks Bevölkerungsschutz Brandenburg, 12.09.2024.

Abschlusskonferenz

Die Gesamtergebnisse wurden als Abschluss wurden im Rahmen des Fachkongresses „Forschung für den Bevölkerungsschutz“ am 6. Februar 2025 in Bonn vorgestellt. Zum Gesamtbericht dazu siehe https://www.th-wildau.de/files/Forschungsgruppen/Sichere_Objektidentitaet/Akrima/AKRIMA_Newsletter_2025.pdf.

Weitere Veröffentlichungen und wissenschaftlicher Wissenstransfer

Datum	Name, Thema	Ort / Medium
14.12.2023	Fachliches Austauschreffen mit KI-Netzwerk Net4AI	
15.01.2024	Fachliches Austauschreffen mit Wirtschaftsförderung Berlin-Brandenburg und MDZ Spreeland	
31.08.2023	Vortrag: Jan Seitz „Wertschöpfungskette – regional – krisensicher – nachhaltig?“ (zzl. Ausstellung Projektposter)	„Tellerrandvortrag“ auf dem 19. Brandenburger Energieholztag (https://www.th-wildau.de/hochschule/aktuelles/veranstaltung/19-brandenburger-energieholztag/)
12.03.2025	Vortrag: Seitz, Jan: Resilienz als Schlüssel zum Unternehmenserfolg: Strategien und Beispiele für eine zukunftsfähige Organisation	Forum Zukunftssichere Systeme Wildauer Wissenschaftswoche 2025 (https://www.th-wildau.de/forschung-transfer/wissens-und-technologietransfer/veranstaltungen-und-termine/14-wildauer-wissenschaftswoche/forum-zukunftssichere-systeme-2025)
14.03.2024	Podcast: "Talk About Resilienz"- Kaminabend Podcast mit Jan Seitz	https://open.spotify.com/episode/4vVByihA3biUMJaPwXx6wA?si=1dBWf-PgTaepBVGbsKR_IQ

Erwähnungen und Artikel zum Projekt runden die nichtwissenschaftliche Berichterstattung des Vorhabens ab. Auswahl an Veröffentlichungen, Presse und Wissenstransfer:

Datum	Titel	Medium und ggf. Link (z.T. Paywall vorgeschaltet)
3.10.2022	Neues KI-Projekt hilft Unternehmen: Mit Künstlicher Intelligenz besser durch die Krise: „AKRIMA – Adaptives Krisenmonitoring und -Managementsystem“ heißt das neueste Projekt der Forschungsgruppe „Sichere Objektidentität“ an der Technischen Hochschule Wildau.	Märkische Allgemeine Zeitung (https://www.maz-online.de/lokales/dahmepreewald/wildau/th-wildau-neues-ki-projekt-akrima-hilft-unternehmen-DE3GI5RKESJ37AKHXWLJHN73LU.html)
02.03.2023	TH Wildau: großes Thema Künstliche Intelligenz und Sprache	Märkische Allgemeine Zeitung (https://www.maz-online.de/lokales/dahmepreewald/wildau/th-wildau-kuenstliche-intelligenz-und-sprache-chatgpt-und-co-77BGJXTTVFEIZXH7YONRDWXYBY.html)
6./7.3.2024	5. Netzwerktreffen Bevölkerungsschutz, Infostand und Poster	Vernetzungstreffen der Branche mit 180 Stakeholdern, auf dem Campus der TH Wildau
22.02.2023	Sicherheitsforschung für Unternehmen – „Forum Zukunftssichere Systeme“ am 28. Februar mit Fokus auf Krisenmanagement und KI in Unternehmen	Pressemitteilung der TH Wildau auf Newsplattform mynewsdesk (https://www.mynewsdesk.com/de/th-wildau/news/erheitsforschung-fuer-unternehmen-forum-zukunftssichere-systeme-am-28-februar-mit-fokus-auf-krisenmanagement-und-ki-in-unternehmen-462464)
11.3 – 15.03.2024	Automatisches Adaptives Krisenmonitoring und -managementsystem (AKRIMA/ - Posterpräsentation	Wildauer Wissenschaftswoche 2024
12.03.2024	Kurzvorstellung des Projektes	Clustertreffen Metall Berlin-Brandenburg
27.03.2023	Kurzbericht im Jahresbericht „Forschung und Transfer“ 2022 an der TH Wildau	https://www.th-wildau.de/hochschule/aktuelles/neuigkeiten/news/bericht-forschung-und-transfer-2022-der-th-wildau-veroeffentlicht

Schlussbericht AKRIMA, TH Wildau, FKZ 13N16252

31.08. und 01.09.2023	Infostand 4. Netzwerktreffen Bevölkerungsschutz Brandenburg	Pressemitteilung TH Wildau (https://www.th-wildau.de/hochschule/aktuelles/neuigkeiten/news/4-netzwerktreffen-bevoelkerungsschutz-in-brandenburg-am-31-august-und-1-september-auf-dem-campus-d)
09.11.2023	Stakeholder-Workshop in Bremerhaven	Mediale Berichterstattung: Bericht auf TH-Wildau-Website (27.11.2023), inkl. Downloadlink des Graphic Recorder, Direktzitat Jan Seitz: https://www.logrealnews.de/2023/11/ki-unterstuetztes-krisenmonitoring-und-management-bei-hochwasserereignissen/
19.11.2023	Automatisches Adaptives Krisenmonitoring und -managementsystem (AKRIMA), Projektposter	im Rahmen der KI- Veranstaltungswoche des Mittelstand-Digital Zentrum Spreeland im Rahmen der Veranstaltung KI-ckstart für den Mittelstand - KMU auf Erfolgskurs, Wildau
04.05.2024	Informationsstand auf Gemeinschaftsstand dahme_innovation	Potsdamer Tag der Wissenschaften 2024
06.05.2024	Kommunale Krisenfestigkeit und Resilienz mit SIFO-Projekten - Veranstaltung zur Vernetzung und dem Wissenstransfer aus verschiedenen Forschungsprojekten mit TH-Projekt AKRIMA	BMBF-Innovationsforum, Berlin (https://www.heraklion-projekt.de/wp-content/uploads/2024/04/Programm_Workshop_SIFO-Projekte.pdf)
30.10.2024	Transfer im ländlichen Raum – Unternehmerfrühstück in Finsterwalde	Pressemitteilung der TH Wildau (https://www.th-wildau.de/hochschule/aktuelles/neuigkeiten/news/transfer-im-laendlichen-raum-unternehmerfruehstueck-in-finsterwalde)

Abgleich von Forschungszielen und Forschungsergebnissen

In den Ausführungen zu den Arbeitspaketen und Inhalten wurde jeweils sehr transparent das Verhältnis zwischen der Planung im Rahmen von GVB/TVB und den eigentlichen Projektergebnissen diskutiert. Zusammenfassen lässt sich dies je Arbeitspaket wie folgt:

Arbeitspaket 1: alle Forschungsziele übererfüllt (vier statt drei Szenarien).

Arbeitspaket 2: alle Forschungsziele erfüllt; zahlreiche weitere Forschungsbedarfe im Kontext des Kennzahlenmodells identifiziert.

Arbeitspaket 3: alle Forschungsziele erfüllt.

Arbeitspaket 4: alle Forschungsziele erfüllt.

Arbeitspaket 5: Hier ergibt sich der Sonderfall (und auch das wurde angerissen), dass zahlreiche der ursprünglich geplanten Arbeiten sich im Verlauf des Projekts als unsinnig herausgestellt haben. Am besonders deutlichsten ist dies an dem Forschungsziel „Erstellung eines Konvertierungsschemas der KI-Vorschläge (ausgedrückt in der Krisenreaktionsmechanismen-Notation) in eine Beschreibung durchzuführender Krisenreaktionsmaßnahmen in Textform sowie mit Vorgabe nachprüfbarer Erfolgskriterien. Diese Erfolgskriterien ermöglichen es den Prozess-Beteiligten später das Identifizieren von wirksamen Parametern, wie Anzahl benötigter Aktionen, beteiligter Akteure, Zeitdauer des Einsetzens von Wirkungen, erreichbare Zustände vs. eingesetzte Ressourcen, Veränderungen der Kennzahlen, wirksame/unwirksame Mechanismen, Grenzen der Krisenreaktionsmechanismen, u. a.“ Ursprünglich wurde davon ausgegangen, dass hier eine Art separater Mechanismus erarbeitet werden muss, der die KRM, welche von der KI-Lösung vorgeschlagen werden, ‚auf Herz und Nieren‘ prüft. Praktisch fanden diese Schritte durchaus statt, aber ‚vorher‘ und ‚woanders‘, etwa dadurch, dass die KRM bereits in einer grundsätzlichen Passung den Prozessen zugeordnet wurden (X KRM, passend zum betrachteten Prozess, anstatt ein vielfaches an Y KRM, die generisch sind und erst auf Passfähigkeit zu prüfen sind) und dadurch, dass ein großer Teil der Evaluierung durch das DFKI im Rahmen insbesondere des Solvings auf Grundlage der durch die TH Wildau in AP2/4

gelieferten Daten durchgeführt wurde. Die Arbeiten ihrem Geist nach wurden also erbracht, aber in anderer Form und an anderer Stelle. Auch die Arbeiten an den KRM selbst (bspw. zu Templates, Modulen etc.) wurden praktisch weitgehend in AP4 verortet, wo es im Schwerpunkt um die KRM ging, wobei auch immer wieder die Grenzen zu AP2 verwischten. Auf der Ebene der „Checkliste“ ist festzustellen, dass AP5 kaum stattgefunden hat und die Ressourcen stattdessen in den anderen AP investiert wurden; auf der Ebene der Ergebnisse wurden jedoch alle Forschungsziele erreicht, die sich im Rahmen der Projektbearbeitung als notwendig und sinnvoll herausgestellt haben, auch wenn sie ‚im Doing‘ in den anderen AP verortet wurden.

Arbeitspaket 6: alle Forschungsziele erfüllt.

Arbeitspaket 7: alle Forschungsziele erfüllt; die Öffentlichkeitsarbeit war deutlich umfangreicher und erfolgreicher, als ursprünglich angedacht. Der einzige Punkt, der Fragen aufwerfen könnte, ist das Arbeitsziel „Initiierung des Prozesses und Vorbereitung einer DIN SPEC“. Hierzu ist zu sagen, dass bereits sehr frühzeitig immer wieder Ergebnisse und Impulse aus AKRIMA in verschiedene, relevante DIN-Gremien eingespielt und mit einer gewissen Regelmäßigkeit diskutiert wurden. Auch war das Interesse groß. Zu einer ‚echten‘ DIN SPEC (bzw. einem ernsthaft angestoßenen Prozess) kam es aber aus zwei Gründen nicht mehr: Erstens waren die Projektergebnisse erst spät in einer Form verfügbar, die sich als Grundlage für eine DIN SPEC geeignet hätte; zweitens aber, und das ist viel schwerwiegender, war eine DIN SPEC überhaupt nicht im Projektbudget verankert. Hier ist deutliches Verbesserungspotenzial für weitere / andere Vorhaben zu sehen.

Insgesamt wird das Vorhaben aus Sicht der TH Wildau, und das Feedback der Projektpartner DFKI sowie Aimpulse spricht dafür, als großer Erfolg gewertet. Die Forschungsziele wurden erreicht und mit dem Demonstrator ein wirklich gutes Ergebnis generiert. ‚Unter der Haube‘ gab es zahlreiche Innovationen (z. B. die Prozessanalyse), die uns noch länger beschäftigen und voraussichtlich weitere Fortschritte ermöglichen werden.

II.2 Wichtigste Positionen des Zahlenmäßigen Nachweises

Die Projektmittel wurden hauptsächlich zur Finanzierung der hauptberuflichen Projektmitarbeiter:innen (wissenschaftliche Mitarbeiter:innen) verwendet, welche zur Erfüllung der wissenschaftlichen Aufgaben im Projekt unerlässlich waren. Die für die einzelnen Positionen ursprünglich geplanten Ausgaben wurden weitestgehend realisiert, allerdings gab es auf Grund der grundsätzlich unvorhersehbaren Praxis der Projektbearbeitung kleinere Verschiebungen zwischen den verschiedenen Positionen, welche mit dem Projektträger abgestimmt waren. Das verfügbare Budget wurde nicht überschritten.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Der Untersuchungsgegenstand stellte besondere Anforderungen an die Forschungsarbeiten, da er sich durch hohe Komplexität, Diversität und Dynamik auszeichnet. Zudem sind zu diesem Untersuchungsgegenstand kaum nutzbare Voruntersuchungen vorhanden und es existierten keine wissenschaftlichen Methoden, welche im unmodifizierten Zustand uneingeschränkt zur Beantwortung der behandelten Forschungsfragen geeignet gewesen wären (insbesondere das erhebliche methodische Neuland, das im Rahmen der Prozessanalyse und des Kennzahlenmodells betreten wurde). Die Bewältigung der Herausforderung, sowohl die Informationsbasis, als auch die wissenschaftlichen Methoden zu generieren, erforderte eine Vielzahl an unterschiedlichen, teils sehr tiefgreifenden Analysen und Untersuchungen, von denen jede ein einzelnes Puzzleteil zum Gesamtbild beigesteuert hat. Keine Analyse hat Ergebnisse generiert, welche im Nachgang verworfen wurden; jede wissenschaftliche Methode wurde anforderungsorientiert entwickelt; die Gesamtforschungsziele wurden vollständig erreicht. Ergänzend haben viele Forschungsergebnisse neue Ansatzpunkte erbracht, die potenziell außerhalb des eigentlichen Projekts weiterverfolgt werden können. Wie bei Forschungsprojekten üblich hätten im Nachhinein einzelne Analysen anders durchgeführt und / oder anders platziert sein können. Auch ein kritischer Rückblick auf die Gesamt- und Teilvorhabensbeschreibung zwingt zu der

Erkenntnis, dass manche Arbeiten rückblickend anders strukturiert hätten werden können. Dieser Umstand lässt sich aber bei dieser Art der grundlagennahen Forschung in der Regel nicht umgehen, da der jeweilige Untersuchungsgegenstand meist zu großen Teilen unbekannt, häufig zusätzlich hochkomplex ist, was eine akkurate Abschätzung der konkret erforderlichen wissenschaftlichen Arbeiten erheblich erschwert. In Summe ist daher festzustellen, dass die geleisteten Arbeiten sowohl notwendig, als auch angemessen waren.

II.4 Verwertung der Forschungsergebnisse, Fortschreibung des Verwertungsplans

Die Forschungsergebnisse haben zu einem erfolgreichen Abschluss des Forschungsvorhabens geführt, die Verwertungsperspektive ist gut. Das Votum der (potenziellen) späteren Anwender der AKRIMA-Lösung ist positiv und eine Art Nachfolgeprojekt wurde als Projektvorschlag im Rahmen der Bekanntmachung „Innovationen umfassend nutzen – Praxisleuchttürme der zivilen Sicherheit“ eingereicht und ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt (September 2025) zur Einreichung eines Vollantrags aufgefordert. Es zeichnet sich ab, dass die von der TH Wildau entwickelten Methoden für weitere Aktivitäten genutzt werden können. Gleichzeitig ist es eine erhebliche Herausforderung, dass – bis auf die Szenarien – alle Ergebnisse der TH Wildau explizit oder implizit in den Demonstrator eingeflossen sind, welcher wiederum durch das DFKI unterhalten / verwaltet wird; das bedeutet, dass die TH Wildau selbst kaum einen eigentlichen Transferegegenstand im Sinne eines „Hochglanzergebnisses“ hat, sondern gezwungen ist (wobei hier auf wissenschaftlicher Ebene durchaus Vorteile zu sehen sind, nicht aber unbedingt auf wirtschaftlicher Ebene), Teilergebnisse zu kommunizieren. Tatsächlich läuft der Hauptteil der eigentlichen Verwertungsaktivitäten damit über den Projektpartner DFKI. Spannend ist, dass die Potenziale von AKRIMA bzw. dem Demonstrator bei quasi jeder Veranstaltung, auf der er vorgestellt oder sogar bereitgestellt wurde, großes Interesse und nachhaltige Begeisterung ausgelöst hat, ebenso die dahinterliegenden Ansätze und Methoden. Das ist also nicht das Problem; die Herausforderung ist vielmehr, dass insbesondere Unternehmen Lösungen suchen bzw., die entweder passfähig zu den bestehenden Systemen (z. B. SAP ERP) oder

singulär leistungsfähig genug sind, um bestehende Systeme zu ersetzen; auf Grund des TRL-Grads des Demonstrators ist das eine Anforderung, die nicht erfüllt werden kann und die Erreichung des hierfür notwendigen TRL-Grads würde noch erhebliche Investitionen erfordern (das berühmte ‚Tal des Todes‘). Vor diesem Hintergrund wird die mögliche Förderung des Nachfolgeprojekts (s.o.) mit Spannung erwartet.

Unabhängig dieser ‚externen‘ Perspektive wurden und werden die Forschungsergebnisse, die entwickelten Methoden sowie die während des Forschungsvorhabens erweiterte Kompetenz in der Projektarbeit im Rahmen von Gruppenarbeiten, Belegarbeiten, Vorträgen, Abschlussarbeiten und Seminarinhalten in die Ausbildung der Logistikstudenten an der TH Wildau eingebracht; seit 2024 auch in das fachbereichsübergreifende Wahlpflichtmodul „Risiko- und Sicherheitsmanagement“, je nach konkreter Passfähigkeit zu anderen Lehrinhalten auch in weiteren Seminaren. Die Verwertung der Forschungsergebnisse in dieser Form wird als zielführend betrachtet und soll fortgesetzt werden. Insbesondere im Hinblick auf die notwendige Interdisziplinarität des Untersuchungsgegenstands sind die Forschungsergebnisse für die sonst eher monothematische Lehre sehr wertvoll.

II.5 Fortschritte Dritter im durch das Forschungsvorhaben adressierten Forschungsgegenstand während der Projektlaufzeit

Dem Zuwendungsempfänger sind diverse Fortschritte Dritter im adressierten Forschungsgegenstand während der Projektlaufzeit bekannt, die sich auf Teilbereiche der in *AKRIMA* verorteten Arbeiten beziehen. Das ist schlussendlich wenig verwunderlich, da Aktivitäten in den Kontexten Lagebild / Krisenmanagement / resiliente Lieferketten / KI-Unterstützung / ... derzeit eine gewisse Konjunktur haben. In der Tat gibt es zahlreiche Anknüpfungspunkte, an denen Ergebnisse Dritter in möglichen Folgeaktivitäten für *AKRIMA* berücksichtigt werden könnten / sollten und umgekehrt auch viele Aspekte, wie (Teil-) Elemente aus *AKRIMA* die Lösungen Dritter inspirieren und aufwerten können. In jedem Fall sind Entwicklungen bekannt geworden, welche die Ergebnisse aus *AKRIMA* obsolet machen

würden; vielmehr fügt sich das Projekt wertschöpfend in eine wachsende Landschaft der unterschiedlichen Lösungen in diesem Themenkomplex ein.

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Hier sei auf die Ausführungen zu Arbeitspaket 7, Dissemination, verwiesen. Die Öffentlichkeitsarbeit im Nachgang des Projekts wird im Rahmen eines dynamischen Strategieprozesses immer wieder angepasst, der sich an Feedbacks aus den Formaten, Wahrnehmung zielführender Inhalte, verfügbaren Ressourcen sowie Synergieeffekten zu anderen Aktivitäten orientiert und daher nicht fest definiert werden kann (ohnehin übersteht kein Plan den Kontakt mit der Realität). Fest steht aber: Es gibt noch vieles, über das wir reden wollen.