

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-06-5
Datum der Einreichung: 30.03.2026
Datum der Annahme: 06.07.2026
Datum der Veröffentlichung: 27.07.2026

Einsatz von ASE, MBSE und KI für resiliente, modellbasierte Kollaborationsstrukturen

Resiliente, modellbasierte Produktentwicklung

B. Schneider, M. Kürümlüoğlu, S. Schüle, J. Meinzer, M. Obstbaum, I. Weiser, L. Melischek, C. Freseemann, Z. Zhang, A. Schneider

ZUSAMMENFASSUNG Der Beitrag beschreibt ein aktuell laufendes Forschungsvorhaben, das die resiliente Ausgestaltung der modellbasierten Produktentwicklung durch arbeitswissenschaftliche Maßnahmen und den zielgerichteten Einsatz von künstlicher Intelligenz im Kontext der Modellierung adressiert. Im Fokus steht die Etablierung von Resilienz in den Ebenen der Organisation, einzelner Teams und Individuen innerhalb der Organisation.

STICHWÖRTER

Produktentwicklung, Künstliche Intelligenz (KI), Advanced Systems Engineering

Resilient, model-based product development – Use of ASE, MBSE, and AI for resilient model-based collaboration structures

ABSTRACT This article describes a current research project addressing the resilient design of model-based product development through ergonomics-based measures and the targeted use of artificial intelligence in the context of modeling. The focus is on establishing resilience at organizational, team, and individual levels of an organization.

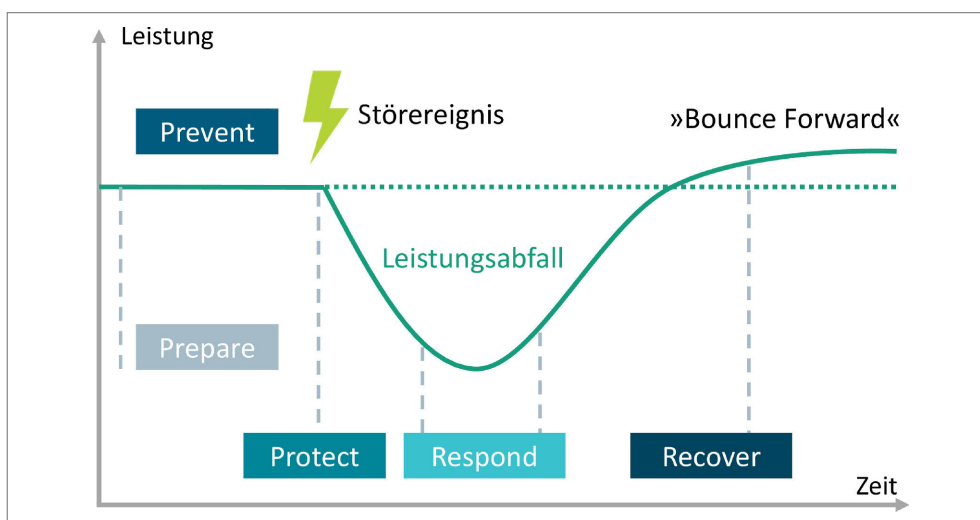


Bild 1 Fünf Phasen der Resilienz. Grafik: Fraunhofer IAO, basierend auf [1]

1 Einleitung

Spätestens seit der Coronapandemie hat das Themenfeld Resilienz eine hohe Bedeutung in der Forschung sowie auch in den Strategieabteilungen produzierender Betriebe eingenommen [1]. Resilienz beschreibt die Fähigkeit eines Unternehmens auf unvorhersehbare Ereignisse, wie pandemiebedingt ausfallende Lieferketten oder der spontane Ausfall von Mitarbeitenden, angemessen zu reagieren, deren Auswirkungen zu minimieren und gestärkt aus einer solchen Krise hervorzugehen [1]. Solche Ereignisse werden als Störereignisse kategorisiert, die in der Regel schwer vorhersehbar sind und gravierende Auswirkungen auf die Hand-

lungsfähigkeit eines Unternehmens haben [1]. Die modellbasierte Produktentwicklung und insbesondere das Model-based Systems Engineering (MBSE) definieren Architektur und zu erwartendes Verhalten von Produkten und Systemen [2]. In einer resilienten Organisation muss dieses Wissen auch unter Störbedingungen zugänglich, verständlich und nutzbar bleiben. Das MBSE bildet so eine zentrale Schnittstelle zwischen technischem Systemverständnis und organisationaler Reaktionsfähigkeit. Nur wenn die zugehörigen Modelle konsistent, verständlich und aktuell sind, können sie als Grundlage für schnelle Entscheidungen in Krisensituationen dienen.

Das Fraunhofer „Resyst-Modell“ [1] beschreibt den Umgang mit Störereignissen in verschiedenen Phasen (**Bild 1**).

Dem Modell folgend sind Unternehmen angehalten, sich auf Störereignisse vorzubereiten (Prepare), diese durch geeignete vorbereitende Maßnahmen vorzubeugen (Prevent), sich durch Maßnahmen vor den Auswirkungen zu schützen (Protect), anhand der Maßnahmen die Auswirkungen möglichst gut abzufedern (Respond) und durch entsprechende Anpassungsmaßnahmen und Lernfähigkeit gestärkt aus dem Störereignis hervorzugehen (Recover) [1, 3].

Resilienz lässt sich sinnvoll auf drei Ebenen eines Unternehmens betrachten: auf den Ebenen der individuellen, Team- und organisationalen Resilienz [4]. Die individuelle Resilienz setzt sich aus personellen Ressourcen und deren individuell resilientem Verhalten zusammen. Die Resilienz auf Teamebene wird von der individuellen Resilienz beeinflusst und fokussiert die Dynamiken in der Zusammenarbeit der Individuen, wie etwa ein gutes Teamklima oder die Anpassung an geänderte Anforderungen [4]. Die organisationale Ebene wird von beiden vorangegangenen Ebenen beeinflusst und adressiert die Rahmenbedingungen, Strukturen und Abläufe für resilientes Arbeiten auf individueller und Teamebene [4]. Weitere Ansätze beschreiben einen integrierten Ansatz und sprechen von einer ganzheitlichen Betrachtung der Faktoren, die in einer Organisation Resilienz erzeugen [5].

Das MBSE ist eine formalisierte Anwendung der Modellierung zur Unterstützung von Aktivitäten in den Bereichen Systemanforderungen, Design, Analyse, Verifizierung und Validierung, beginnend in der Konzeptionsphase und über die gesamte Produktentwicklung und spätere Lebenszyklusphasen hinweg [6]. MBSE-Modelle können das zentrale Kommunikationsinstrument in der Produktentwicklung bilden, wenn die zugehörigen Methoden richtig auf das Unternehmen angepasst sind und die Modellierung von allen Beteiligten verstanden und genutzt werden kann.

Aufgrund der durch die zunehmende Integration von Software und Services steigenden Komplexität der Systeme wird das MBSE in immer mehr Branchen wie der Automobilbranche, der Medizintechnik und dem Maschinen- und Anlagenbau eingesetzt [2]. Herausforderungen im MBSE bestehen in der Kompatibilität der Modelle innerhalb von Unternehmen und über Unternehmensgrenzen hinweg sowie in den hohen Modellierungsaufwänden und den erforderlichen Kompetenzen, die ein Systems Engineer beziehungsweise Modellierungsexperte mitbringen muss [2]. Hier setzt das Advanced Systems Engineering an und beschreibt Möglichkeiten zur Optimierung der modellbasierten Arbeit und Zusammenarbeit [2]. Im Fokus stehen unter anderem künstliche Intelligenz (KI) im Produkt beziehungsweise System und in der modellbasierten Produktentwicklung sowie die soziotechnische Interaktion, also die Beherrschbarkeit immer komplexerer Systeme in deren Entwicklung und Betrieb.

Aus den bisherigen Entwicklungen, die in Kapitel 2 beschrieben werden, leiten sich für diesen Beitrag die folgenden Hypothesen ab:

- H1: Durch die Kombination bestehender Resilienz- und MBSE-Forschung lässt sich ein Rahmenwerk ableiten, das die Resilienz einer Produktentwicklungsumgebung bewertbar macht.
- H2: Durch die zielgerichtete Zusammenstellung von Indikatoren und Maßnahmen lässt sich die Resilienz in der modellbasierten Produktentwicklung bewertbar steigern.

- H3: Der Einsatz eines LLM (Large Language Model)-basierten KI-Assistenten reduziert die Zeit zur Erstellung konformer SysML-Modelle messbar.
- H4: Planspielbasiertes Training erhöht die selbsteingeschätzte Reaktionsfähigkeit von Teams gegenüber Störereignissen in der Produktentwicklung.

Dieser Beitrag beschreibt in diesem Kontext einen integrierten Forschungsansatz, der auf der Design Science Research (DSR) [7, 8] nach *Peffers et al.* [9] aufbaut und fünf Artefakte entwickelt, die sich gegenseitig ergänzen und in ihrer Gesamtheit einen positiven Beitrag für die Resilienz eines Unternehmens auf den Ebenen Individuum, Team und Organisation (ITO), mit einem Fokus auf der modellbasierten Produktentwicklung, erzeugen sollen.

DSR wurde gewählt, da das Ziel des Projekts in der Entwicklung praxiswirksamer Artefakte liegt, die iterativ mit industriellen Anwendungspartnern validiert werden. Dieser Ansatz erlaubt es, wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn und industrielle Anwendbarkeit systematisch zu verbinden. Die zu entwickelnden Artefakte sind: (1) ein Resilienz Rahmenkonzept für die individuelle Analyse von Produktentwicklungsumgebungen, (2) Indikatoren und Maßnahmen für die Analyse und Optimierung der Resilienz, (3) ein KI-Assistent für die Modellierung von Produkten und Systemen, (4) Transformationsblaupausen als Orientierungsrahmen für Unternehmen und (5) ein Planspiel für die Vermittlung von Prinzipien der Resilienz. Die Entwicklung der Artefakte ist in die Aktivitäten des BMFTR-Forschungsprojekts „ReKonIK“ eingebunden. Die im Projekt beteiligten Industriepartner Siemens, Marquardt und Kässbohrer sind als Anwendungspartner ein zentraler Bestandteil der Evaluation und iterativen Entwicklung und Ausgestaltung der Artefakte.

Im Sinne des gewählten DSR-Ansatzes werden in Kapitel 2 die bestehenden Forschungslücken und die sich daraus ergebenden Ziele sowie das Forschungsdesign beschrieben. In Kapitel 3 werden die zu entwickelnden Artefakte und deren Anwendungs- und Evaluationskontext beschrieben. Kapitel 4 ordnet das Vorhaben ein und gibt einen Ausblick.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Resilienz und die modellbasierte Produktentwicklung

Die Erforschung der Resilienz von Organisationen hat ihre Ursprünge in den 1980er-Jahren. *Meyer* [10] beschreibt 1982, wie eine Organisation im medizinischen Kontext auf ein Störereignis reagieren kann. Eine aktuelle Metasynthese arbeitet aus mehreren Studien 14 Themenbereiche heraus, welche die Resilienz von Organisationen beeinflussen. Zu den identifizierten Themenbereichen gehören Flexibilität, Kontrolle, Redundanz und Ressourcen, Planung und Vorbereitung, Entscheidungsfindung, Sozialkapital, Resilienzpolitik, Organisationskultur, Personal, finanzielle und wirtschaftliche Tragfähigkeit, Kollaboration, Kunden und Märkte, Modernisierungsdiskurs und Lernen [11].

Auf der Team-Ebene werden die Innovationsfähigkeit und die Resilienz von Teams direkt von Aspekten der organisatorischen Resilienz wie Leadership und einer klaren Vision beziehungsweise Mission des Unternehmens beeinflusst [12]. Eine offene Fehlerkultur, genügend Arbeitskräfte und Ressourcen, kontinuierliche Verbesserungsprozesse und ein aktiver Umgang mit Störungen sind weitere zentrale Aspekte [13].

Auf Ebene der Mitarbeitenden gilt es, Raum für die Aneignung und Entfaltung von kreativen, innovativen und problemlösenden Fähigkeiten zu schaffen [14]. Dabei gilt es, sowohl die individuelle Resilienz der Mitarbeitenden zu stärken, als auch die Resilienz des Systems, welche sich aus der Zusammenarbeit von Mensch und Technologie ergibt [15]. Durch Fähigkeiten wie Kreativität, Einfallsreichtum und Innovationskraft ist der Mensch der Faktor in der Organisation, der sich am ehesten an sich verändernde Situationen anpassen kann [15].

Das Risikomanagement (DIN ISO 31000) und das Business Continuity Management (DIN ISO 22301) beschreiben Vorgehensmodelle zum Umgang mit unternehmerischen Risiken. Ähnliche Konzepte sind für die Teamebene (DIN ISO 45003 und DIN ISO 9241–210) und auch die individuelle Ebene (DIN ISO 10075 und DIN ISO 6385) vorhanden.

Riesener *et al.* [16] beschreiben die Verknüpfung zwischen der Unternehmensstrategie und den Zielen der Produktentwicklung für die Verbesserung der organisationalen Resilienz. Sie beschreiben hierzu mehrere Faktoren mit denen Geschäftsmodell und Strukturen der Produktentwicklung verknüpft werden können.

Die Analyse der Resilienzforschung auf ITO-Ebenen und der Literatur zur modellbasierten Produktentwicklung zeigt eine klare Forschungslücke. Während beide Felder für sich gut untersucht sind, fehlen bislang Ansätze, die systematisch untersuchen, wie modellbasierte Arbeitspraktiken die Resilienz von Individuen, Teams und Organisationen in der Produktentwicklung konkret beeinflussen und diese gezielt stärken können.

2.2 Bewertbarkeit von Resilienz

Die Bewertbarkeit der Resilienz von Unternehmen und den zu erwartenden Effekten zugehöriger Maßnahmen hängt direkt von den verfügbaren und für den jeweiligen Kontext gewählten Indikatoren ab. Es gilt zu beachten, dass sich Resilienz in der Regel nur während oder nach einem Störereignis messen lässt (Spätindikatoren), da im Vorfeld zwar Eigenschaften (Frühindikatoren), die der Resilienz zuträglich sind, beschrieben und erfasst werden können, die tatsächliche Reaktionsfähigkeit aber nicht vorhergesagt werden kann [5].

Die Grundlagen zur Bewertung von Resilienz hat Hollnagel [17] mit dem Resilience Analysis Grid gelegt. In diesem definiert er vier grundlegende Fähigkeiten resilienter Organisationen: die Reaktionsfähigkeit, das Monitoring, das Antizipieren und das Lernen. Er definiert für jede Fähigkeit unterschiedliche Aspekte, an denen diese sichtbar werden. Indikatoren können nach den ITO-Betrachtungsebenen unterteilt und den Resilienz-Phasen zugeordnet werden [18]. Das „Stärke“-Projekt hat seine Ergebnisse im Resilienz-Kompass [5] dokumentiert. Dort werden Methoden für die Analyse der individuellen und der organisationalen Resilienz beschrieben. Die Analysen setzen auf das EFQM-Modell (European Foundation for Quality Management) sowie die zugehörige, an den PDCA (Plan-Do-Check-Act) angelehnte „Radar“-Methodik für die systematische Ermittlung aller Teilkriterien [5]. Die Methoden adressieren verschiedene Aspekte der Resilienz, jedoch nicht direkt die Produktentwicklung.

Weitere Analysemodelle sind der Fraunhofer Resilience Evaluator (FRE), mit dem die Resilienz von Organisationen anhand von Kennzahlen ermittelt und Optimierungspotenziale abgeleitet werden können [19].

Die beschriebenen Ansätze bieten fundierte Grundlagen, weisen jedoch gemeinsame Limitationen auf. Sie adressieren entweder nur eine der ITO-Resilienz-Ebenen, adressieren nicht den spezifischen Kontext der modellbasierten Produktentwicklung oder operationalisieren Resilienz nicht hinreichend für eine messbare, kontinuierliche Bewertung. Der vorgeschlagene Ansatz baut auf diesen Grundlagen auf und erweitert sie gezielt für den Anwendungskontext des MBSE.

2.3 Modellbasierte Produktentwicklung und künstliche Intelligenz

Der Einsatz von MBSE in der modellbasierten Produktentwicklung findet in der Regel im Vierklang aus Methode, Modellierungssprache, IT-Werkzeug und Mensch statt [2, 20, 21]. In der Literatur und unternehmerischen Praxis haben sich verschiedenste Modellierungswerkzeuge, Methoden und Sprachen etabliert. In manchen Fällen besteht eine direkte Kopplung zwischen Modellierungssprache, Methode und Modellierungswerkzeug wie im Falle von Arcadia (Methode und Sprache) und Capella (Werkzeug) [22]. Die Systems Modelling Language (SysML) ist hingegen methodenagnostisch definiert [21].

Die methodenagnostische Auslegung der SysML hat dazu geführt, dass Unternehmen und teilweise auch einzelne Bereiche in Unternehmen eigene Standards für die Nutzung des MBSE definiert haben. Darüber hinaus definieren viele Unternehmen für verschiedene Anwendungsbereiche spezielle domänenspezifische Sprachen (DSL) als Dialekte von SysML, um den eigenen Anwendungskontext optimal beschreiben zu können [23]. Dies führt zu Inkompatibilitäten im Austausch von Modellen zwischen Teams und Bereichen innerhalb von Unternehmen sowie in der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit [24].

Bayer beschreibt fünf zentrale Herausforderungen des Systems Engineering [25]. Diese sind im Folgenden beschrieben und können mit aktuellen KI-Lösungen adressiert werden. Die Herausforderungen sind: (a) Komplexität steigt deutlich schneller, als die Fähigkeiten diese zu beherrschen; (b) das Systemdesign entsteht aus den einzelnen Teilen und nicht aus einer Architektur, was zu Systemen führt, die anfällig, schwer zu testen und komplex und teuer in der Bedienung sind; (c) Wissen und Investitionen gehen an den Grenzen der Projektlebenszyklusphasen verloren; (d) Wissen und Investitionen gehen zwischen den Projekten verloren, (e) die technischen und programmatischen Aspekte von Projekten sind schlecht aufeinander abgestimmt. Diese Herausforderungen können mit aktuellen KI-Ansätzen, wie LLMs adressiert werden.

Henderson [26] beschreibt Erfolgsfaktoren beziehungsweise Metriken im Digital Engineering beziehungsweise der Adaption von MBSE: (1) Qualität (Reduktion von Fehlern etc.), (2) Wissenstransfer (Zugang zu Informationen, Kommunikation etc.), (3) Agilität (Kostenreduktion, erhöhte Konsistenz etc.), (4) Nutzererfahrung (mehrere Sichten auf Modelle etc.), (5) Adaption (Methoden und Prozesse, Training, Kultur, Bereitschaft etc.). Die identifizierten Faktoren können und sollen im weiteren Verlauf für die Operationalisierung und Bewertbarkeit von Resilienz in der Produktentwicklung herangezogen werden.

Proprietäre Modelle wie „ChatGPT“ [27] bieten hohe Leistungsfähigkeit, werfen jedoch Fragen zur Datensouveränität auf. Open-Source-Modelle wie „Llama3“ [28] ermöglichen mehr Kontrolle, erfordern aber eigene Infrastruktur. Europäische Initia-

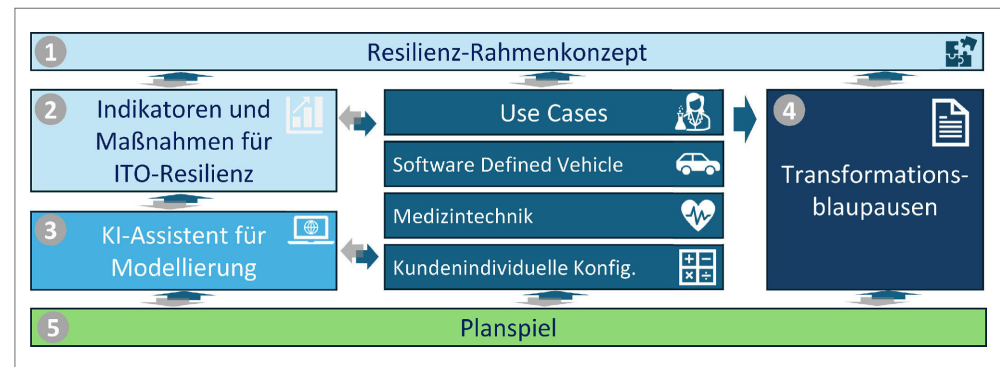


Bild 2 Artefakte und Vorgehensmodell. Grafik: Fraunhofer IAO

tiven wie „Teuken-7B“ [29, 30] adressieren zudem regulatorische Anforderungen und sprachliche Besonderheiten des deutschsprachigen Industrieumfelds. Für den industriellen Einsatz im Projektkontext sind zentrale Kriterien neben der reinen Modellleistung daher Datenschutz, Kontrollierbarkeit und Integrationsfähigkeit in bestehende MBSE-Werkzeuge.

Es wird erwartet, dass sich neben bildgebenden, text- und codebasierten Anwendungen zukünftig auch die Generierung von Modellen im Engineering als neue Anwendungsklasse etabliert [31, 32]. Dies erlaubt es, schneller vielfältigere Lösungsvorschläge etwa für technische Problemstellungen zu generieren [33]. Dabei bietet vor allem die Systemmodellierungssprache SysMLv2 durch ihre Kombination aus graphischer und textueller Notation eine ideale maschinenlesbare Schnittstelle für LLMs [34]. Trotz dieses technologischen Vorstoßes bestehen im industriellen Einsatz signifikante Hürden. Im wissenschaftlichen Diskurs ist noch unklar, inwiefern LLM-basierte Ansätze verlässliche und verwertbare funktionale Innovationen im Engineering liefern können [35]. Es gilt, die KI-Kompetenz der Organisationen zu stärken, um den durch KI ausgelösten Wandel zu begleiten. Wichtige Faktoren, um KI-Kompetenz zu stärken, sind Wissen über und Vertrauen in KI-Technologie [35].

Die Literaturanalyse zeigt, dass aktuelle KI-Methoden wie LLMs große Potenziale für die Unterstützung und Optimierung des MBSE bieten. Herausforderungen bestehen in der Qualifizierung und industriellen Absicherung der Systeme insbesondere im Hinblick auf Qualität und Verlässlichkeit der Ergebnisse. Diese sind wiederum eine Grundvoraussetzung dafür, dass ein KI-Assistent für die Modellierung einen positiven Einfluss auf die Resilienz in den ITO-Ebenen haben kann.

2.4 Einordnung und Forschungsfragen

Aus den identifizierten Forschungslücken ergeben sich die folgenden Forschungsfragen, die direkt mit den zu entwickelnden Artefakten verknüpft sind.

1. Resilienz-Rahmenwerk: Welche Aspekte müssen in der modellbasierten Produktentwicklung in den ITO-Ebenen analysiert werden, um die Resilienz bewerten zu können?
2. Indikatoren und Maßnahmen: Welche und Indikatoren und arbeitswissenschaftlichen Maßnahmen müssen die Implementierung begleiten, um die Resilienz auf den ITO-Ebenen zu verbessern?
3. KI-Assistent: Welche funktionalen Anforderungen und Interaktionsprinzipien muss ein LLM-basierter KI-Assistent realisieren, um in der modellbasierten Produktentwicklung die Resilienz zu erhöhen? Welchen Einfluss haben Ansätze, welche

darauf abzielen, die Modellqualität zu erhöhen, Wissenstransfer zu unterstützen und die kognitive Belastung der Individuen zu reduzieren?

4. Transformationsblaupausen: Wie müssen standardisierte Transformationspfade unter Berücksichtigung von technischen und arbeitswissenschaftlichen Maßnahmen ausgestaltet werden, um eine möglichst breite Anwendbarkeit der Ergebnisse sicherstellen zu können?
5. Planspiel: Welche Form von Planspiel ist am besten geeignet, um Resilienz in der modellbasierten Produktentwicklung abzubilden und trainieren?

Dieser Beitrag schlägt folgende wissenschaftlichen Beiträge vor:

- (1) Konzeption eines Rahmenwerks für die Analyse der Resilienz in der modellbasierten Produktentwicklung, (2) erstmalige Verknüpfung von Resilienzindikatoren der ITO-Ebenen mit Metriken der modellbasierten Produktentwicklung, (3) Konzeption und Implementierung eines KI-gestützten Assistenzsystems für MBSE auf Basis von LLMs, (4) Ableitung übertragbarer Transformationsblaupausen aus industriellen Anwendungsfällen, und (5) Entwicklung eines Planspiels zur Vermittlung von Resilienz in Produktentwicklungsumgebungen.

3 Forschungsansatz und Anwendungsfälle

Im Folgenden werden die zu entwickelnden Artefakte, deren Integration und der Ansatz zur Entwicklung und Validierung dieser vorgestellt. **Bild 2** stellt den Zusammenhang zwischen den zu entwickelnden Artefakten und den Anwendungsfällen sowie das generelle Vorgehensmodell für die Entwicklung und Validierung der Artefakte dar.

Das Resilienz-Rahmenkonzept (Artefakt 1) und die zugehörigen, integrierten Indikatoren und Maßnahmen (Artefakt 2) beschreiben ein Modell und Vorgehensmodell. Das Rahmenkonzept soll es ermöglichen, die Resilienz in der modellbasierten Produktentwicklung zu strukturieren und diese bewertbar zu machen. Anhand des Rahmenkonzepts soll es möglich sein, Maßnahmen zu definieren und die Implementierung der Maßnahmen iterativ zu optimieren. Das Rahmenkonzept adressiert in erster Linie die Phasen „Prepare“ und „Protect“ und „Recover“, indem es auf Basis von Einflussfaktoren und Indikatoren die Resilienz ermittelt, Maßnahmen definiert und einen iterativen Verbesserungsprozess etabliert. Hierzu sollen Einflussfaktoren mit Indikatoren und Maßnahmen in n:m-Beziehungen verknüpft werden können. Dies geschieht auf Basis der Annahme, dass verschiedene Aspekte der Resilienz (Einflussfaktoren) durch mehrere Indikatoren bewertbar sein können und sich ebenso eine Maßnahme auf mehrere Aspekte der Resilienz positiv auswirken kann. Ein Beispiel ist die

Maßnahme „Interdisziplinäres Training zu Modellierungskompetenzen“. Diese kann über den formalen Indikator „Trainingszertifikat“ und ebenso indirekt über die „Kompatibilität der disziplinspezifischen Modelle“ bewertet werden. Beide geben wiederum in unterschiedlichen Ausprägungen Aufschluss über den Resilienzfaktor „Reaktionsfähigkeit in der interdisziplinären Zusammenarbeit“. Da sich Resilienz nur während des Auftretens eines Störereignisses belastbar bewerten lässt, sind die Indikatoren mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, welche bei der Bewertung berücksichtigt werden muss. Ebenso sind die Faktoren in Frühindikatoren, die eine resiliente Reaktion erwarten lassen und Spätindikatoren, die während des Auftretens eines Störereignisses beobachtet werden können zu unterteilen.

Der KI-Assistent (Artefakt 3) beschreibt eine Instanziierung und adressiert in erster Linie die Phasen „Prevent“ und „Respond“. Er soll Mitarbeitende in ihrer Modellierungsaufgabe unterstützen und somit deren kognitive Belastung reduzieren. Es wird erwartet, dass dies die Verfügbarkeit mentaler Ressourcen verbessert und somit Freiräume für Kreativität schafft und eine verbesserte Reaktionsfähigkeit im Falle eines Störereignisses erzeugt. Der Assistent soll die im MBSE bestehenden Herausforderungen (Kapitel 2.3) adressieren. Mögliche Entwicklungsrichtungen hierbei sind: (a) Hinweis auf mögliche inadäquate Spezifikation und unvollständige Verifikation; (b) Überführung von Teilmodellen in eine übergreifende Systemarchitektur; (c, d) Strukturierung und Weitergabe von Wissen / Erkenntnissen / Daten und (e) Übersetzung zwischen unterschiedlichen Modellierungsansätzen und „Dialekten“.

Die Anwendungsfälle der Partner sind die Basis für die Entwicklung und Validierung der Artefakte. Für die Evaluierung der Artefakte wird ein kombinierter Ansatz aus qualitativen Erhebungen, wie Experteninterviews und quantitativen Erhebungen beispielsweise auf Basis eines Indikatorensystems gewählt. Für das Rahmenkonzept und die Indikatoren und Maßnahmen werden Experteninterviews und ein Pre-Post-Vergleich durchgeführt, für den KI-Assistenten wird im Rahmenkonzept anhand von Indikatoren eine Evaluierung konzipiert, die durch Experteninterviews ergänzt wird. Das Planspiel wird durch Beobachtung und einen kurzen Fragebogen zur Selbstanalyse evaluiert. Die Transformationsblaupausen werden durch Rückmeldungen im erweiterten Anwenderkreis validiert. Die Artefakte werden dabei in allen drei Anwendungsfällen pilotiert und evaluiert.

Der Industriepartner Marquardt fokussiert dafür den Anwendungsfall „Software-defined Vehicle“ (SDV). Für Marquardt liegt der Fokus im Projekt auf Zutrittssystemen für Fahrzeuge sowie Ladesystemen für E-Mobilität. Im SDV-Ökosystem erfordern Störereignisse eine sehr hohe Reaktionsfähigkeit und Reaktionsgeschwindigkeit. Eine resiliente Reaktion kann nur zielgerichtet stattfinden, wenn der modellbasierte Austausch von Wissen transparent abläuft und von allen Beteiligten verstanden wird. So kann durch eine gut implementierte, modellbasierte Zusammenarbeit die Auswirkung von Störereignissen deutlich reduziert und absorbiert werden.

Siemens adressiert die Steigerung der Resilienz über die optimierte, modellbasierte Zusammenarbeit im Kontext der Entwicklung von komplexen medizinischen Geräten. Hier kommen oft verschiedene domänenspezifische Sprachen zum Einsatz, was die Kompatibilität von Modellen untereinander deutlich einschränkt. Im Fokus steht daher die Resilienz in der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit sowie in der Resilienz auf Mitarbeiter- und Or-

ganisationsebene, die durch eine verbesserte modellbasierte Zusammenarbeit an Reaktions- und Handlungsfähigkeit gewinnen.

Kässbohrer adressiert die kundenindividuelle Konfiguration und Entwicklung der Produkte. Kässbohrer stellt verschiedenste Varianten von Sattelaufliegern her. Die Produkte sind in sehr vielen Varianten ausgeprägt und können vom Kunden in vielen Bereichen individuell angepasst werden. Im Anwendungsfall wird die disziplinübergreifende und modellbasierte Zusammenarbeit zwischen den Bereichen Vertrieb, Produktentwicklung und Produktion adressiert.

Die Transformationsblaupausen (Artefakt 4) sind als Methode zu verstehen und werden aus den Erkenntnissen der Zusammenarbeit mit den Anwendungspartnern abgeleitet und mit einem erweiterten Anwenderkreis validiert, was eine breite Anwendbarkeit sicherstellen soll. Sie adressieren besonders die Prepare-Phase.

Das Planspiel (Artefakt 5) stellt eine Instanziierung dar und soll Störereignisse und deren Auswirkungen auf die modellbasierte Produktentwicklung erlebbar machen. Es adressiert die Phasen „Prepare“, „Respond“ und „Recover“. Es soll in erster Linie dazu dienen, auf Mitarbeiter- und Teamebene resilientes Verhalten zu trainieren. Weiter soll im Projekt analysiert werden, ob das Spiel auch zu einer genaueren Ermittlung der aktuellen Resilienz auf den Ebenen Individuum und Team eingesetzt werden kann. Die zugrunde liegende Annahme ist hierbei, dass die Teilnehmenden das Störereignis und dessen Auswirkungen im Spiel tatsächlich erleben und somit realitätsnahe Reaktionen zeigen.

In diesem Vorhaben bestehen die folgenden Limitationen: Die Generalisierbarkeit der Ergebnisse basiert zunächst auf drei Industriepartnern aus unterschiedlichen Branchen. Diese wird durch eine Validierung mit einem erweitertem Anwenderkreis ergänzt. Die Bewertung von Resilienz mittels Frühindikatoren ist mit einer inhärenten Prognoseunschärfe verbunden. LLM-basierte Assistenzsysteme unterliegen bekannten Risiken wie Halluzinationen und Modellalterung, deren Einfluss auf die Modellqualität im Projektverlauf zu berücksichtigen ist.

4 Fazit und Ausblick

Die Resilienz wird in zunehmend volatilen Umgebungen zu einem zentralen Gestaltungsfeld für Unternehmen. Aspekte wie kontinuierliche Verbesserung und organisationales Lernen gewinnen weiter an Bedeutung. Die bisherige Resilienzforschung hat sich vorwiegend auf Unternehmen und Lieferketten fokussiert; der spezifische Kontext der modellbasierten Produktentwicklung wurde bislang nicht ausreichend adressiert.

Dieser Beitrag identifiziert auf Basis einer Literaturanalyse Forschungslücken, welche zu fünf Forschungsfragen führen, aus denen sich ein integrierter Ansatz ableitet, der diese gezielt adressiert. Das Forschungsprojekt „ReKonIK“ entwickelt hierzu fünf aufeinander abgestimmte Artefakte: ein Resilienz-Rahmenkonzept, ein Indikatorensystem mit Maßnahmen, einen LLM-basierten KI-Assistenten für die Modellierung, Transformationsblaupausen sowie ein Planspiel. Die formulierten Hypothesen – die Bewertbarkeit von Resilienz durch ein Rahmenwerk (H1), die bewertbare Verbesserung der Resilienz durch Indikatoren und Maßnahmen (H2), die nachweisbare Steigerung der Resilienz durch den KI-Assistenten (H3) sowie die Verbesserung der selbsteingeschätzten Reaktionsfähigkeit durch planspielbasiertes Training (H4) – werden im weiteren Projektverlauf empirisch verifiziert.

Die Artefakte wurden gemeinsam mit den Industriepartnern Siemens, Marquardt und Kässbohrer entwickelt, pilotiert und iterativ optimiert. Im nächsten Schritt stehen die Fertigstellung des Resilienz-Rahmenkonzepts sowie die Entwicklung eines Prototyps des KI-Assistenten auf Basis von SysML v2 im Fokus. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in einem erweiterten Anwendungsbereich validiert, um eine branchenübergreifende Übertragbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Der Beitrag bildet eine Grundlage für eine systematische, empirisch gestützte Ausgestaltung resilienter Produktentwicklungsumgebungen.

FÖRDERHINWEIS

Dieses Projekt wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Arbeit“ durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) (Förderkennzeichen 02L24C162) und die Europäische Union über den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus) gefördert.

DANKSAGUNG

Die Autoren möchten sich beim gesamten ReKonIK-Projektteam für die gute Zusammenarbeit und vielen inspirierenden Diskussionen bedanken.

Literatur

- [1] Fraunhofer-Gesellschaft (Hrsg.): White Paper »RESYST«: Resiliente Wertschöpfung in der produzierenden Industrie – innovativ, erfolgreich, krisenfest. Stand: 2021. Internet: www.fraunhofer.de/s/ePaper/Whitepaper/RESYST/index.html#0. Zugriff am 06.07.2026
- [2] Dumitrescu, R.; Albers, A.; Riedel, O. et al.: Engineering in Deutschland - Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft: Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering. Stand: 2021. Internet: www.advanced-systems-engineering.de/wp-content/uploads/20210602_ASE_Engineering_in_Deutschland.pdf. Zugriff am 06.07.2026
- [3] Kagermann, H.; Süßenguth, F.; Körner, J. et al.: Resilienz als wirtschafts- und innovationspolitisches Gestaltungsziel. Stand: 2021. Internet: www.acatech.de/publikation/resilienz-als-wirtschafts-und-innovationspolitisches-gestaltungsziel/download-pdf?lang=de. Zugriff am 06.07.2026
- [4] Soucek, R.; Ziegler, M.; Schlett, C. et al.: Resilienz im Arbeitsleben – Eine inhaltliche Differenzierung von Resilienz auf den Ebenen von Individuen, Teams und Organisationen. Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO) 47 (2016) 2, S. 131–137
- [5] ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V.; Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt; Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. et al. (Hrsg.): Resilienz-Kompass. zur Stärkung der individuellen und organisationalen Resilienz in Unternehmen. Internet: www.arbeitswissenschaft.net/fileadmin/Bilder/Forschung_und_Projekte/Resilienzkompass.pdf. Zugriff am 06.07.2026
- [6] INCOSE (ed.): Systems Engineering Vision 2020. INCOSE-TP-2004-004-02. Stand: 2007. Internet: sdincose.org/wp-content/uploads/2011/12/SEVision2020_20071003_v2_03.pdf. Zugriff am 06.07.2026
- [7] Hevner, A.; R. A.; March, S. et al.: Design Science in Information Systems Research. Management Information Systems Quarterly 28 (2004) 1, pp. 75–105
- [8] March, S. T.; Smith, G. F.: Design and natural science research on information technology. Decision Support Systems 15 (1995) 4, pp. 251–266
- [9] Peffers, K.; Tuunanen, T.; Rothenberger, M. A. et al.: A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. Journal of Management Information Systems 24 (2007) 3, pp. 45–77
- [10] Meyer, A. D.: Adapting to Environmental Jolts. Administrative Science Quarterly 27 (1982) 4, pp. 515–537
- [11] Nasab, Y. H.; Amiri, M.; Keyghobadi, A. et al.: Identifying effective factors of organizational resilience: a meta-synthesis study. International Journal of Research in Industrial Engineering (IJRIE) 2023, pp. 177–196
- [12] Yu, J.; Xiang, K.: Transformational Leadership, Organizational Resilience, and Team Innovation Performance: A Model for Testing Moderation and Mediation Effects. Behavioral sciences (Basel, Switzerland) 15 (2024) 1, doi.org/10.3390/bs15010010
- [13] Estrada, A. X.; Blue, S. N.; Boyle, B. E. et al.: A Systematic Review of Instruments Measuring Team Resilience. Stand: 2022. Internet: apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1180353.pdf. Zugriff am 06.07.2026
- [14] Kny, J.; Scheffel, F.; Peters, S.: Resilienzkulturen. Was Non-Profit- und For-Profit-Organisationen im Umgang mit Krisen voneinander lernen können. Stand: 2024. Internet: www.berliner-museumsverband.de/wp-content/uploads/2025/03/240731-rs-resilienzkulturen-studie-rz-doppelseiten.pdf. Zugriff am 06.07.2026
- [15] Romero, D.; Stahre, J.: Towards The Resilient Operator 5.0: The Future of Work in Smart Resilient Manufacturing Systems. Procedia CIRP 104 (2021), pp. 1089–1094
- [16] Riesener, M.; Keuper, A.; Tittel, J. et al.: Identification of Product Development Goals to Increase Organizational Resilience. 2024 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), Portland, OR, USA, 2024, pp. 1–6
- [17] Hollnagel, E.: Resilience engineering in practice. A guidebook. Boca Raton: CRC Press 2011
- [18] Madani, F.; Parast, M. M.: An integrated approach to organizational resilience: a quality perspective. International Journal of Quality & Reliability Management 40 (2023) 1, pp. 192–225
- [19] Fraunhofer-EMI: Resilienz als Schlüssel, um Krisen erfolgreich zu bewältigen. Fraunhofer Resilience Evaluator. Internet: www.emi.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/sicherheit/forschung/Fraunhofer-Resilience-Evaluator-FReE.html. Zugriff am 06.07.2026
- [20] INCOSE (ed.): INCOSE Systems Engineering Handbook. Newark: John Wiley & Sons Incorporated 2023
- [21] Friedenthal, S.; Moore, A.; Steiner, R.: A Practical Guide to SysML: The Systems Modeling Language. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc 2014
- [22] Capella: Eclipse Capella. Open Source Solution for Model-Based Systems Engineering. Internet: mbse-capella.org/. Zugriff am 06.07.2026
- [23] Gupta, R.; Kranz, S.; Regnat, N. et al.: Towards a Systematic Engineering of Industrial Domain-Specific Languages. 2021 IEEE/ACM 8th International Workshop on Software Engineering Research and Industrial Practice (SER&IP), Madrid, Spain, 2021, pp. 49–56
- [24] Lu, J.; Ma, J.; Zheng, X. et al.: Design Ontology Supporting Model-Based Systems Engineering Formalisms. IEEE Systems Journal 16 (2022) 4, pp. 5465–5476
- [25] Bayer, T.: Is MBSE helping? Measuring value on Europa Clipper. 2018 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, 2018, pp. 1–13
- [26] Henderson, K.; McDermott, T.; van Aken, E. et al.: Towards Developing Metrics to Evaluate Digital Engineering. Systems Engineering 26 (2023) 1, pp. 3–31
- [27] OpenAI: ChatGPT (Version 4.0) [Large language model]. Internet: [chat.openai.com/chat](https://openai.com/chat). Zugriff am 06.07.2026
- [28] Meta: Llama 3 [Large language model]. Internet: ollama.com/library/llama3.3. Zugriff am 06.07.2026
- [29] Fraunhofer IAIS: OpenGPT-X: Teuken 7B. Das europäische, offene, multilinguale KI-Sprachmodell. Internet: www.iais.fraunhofer.de/de/branchen-themen/themen/generative-ki/opengpt-x.html. Zugriff am 14.07.2026
- [30] Ali, M.; Fromm, M.; Thellmann, K. et al.: Teuken-7B-Base & Teuken-7B-Instruct Towards European LLMs. ArXiv 2024, arxiv.org/abs/2410.03730
- [31] Meyer, L.-P.; Stadler, C.; Frey, J. et al.: LLM-assisted Knowledge Graph Engineering: Experiments with ChatGPT. In: Zinke-Vehlmann, C.; Friedrich, J. (Hrsg.): First Working Conference on Artificial Intelligence Development for a Resilient and Sustainable Tomorrow. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2024, pp. 103–115
- [32] Pontes Miranda, J. W.; Bruneliere, H.; Tisi, M. et al.: Towards an In-Context LLM-Based Approach for Automating the Definition of Model Views. SLE '24: 17th ACM SIGPLAN International Conference on Software Language Engineering, Pasadena CA USA, 2024, pp. 29–42
- [33] Mailach, A.; Simon, S.; Dorn, J. et al.: Themes of Building LLM-Based Applications for Production: A Practitioner's View. 2025 IEEE/ACM 4th

International Conference on AI Engineering – Software Engineering for AI (CAIN), Ottawa, ON, Canada, 2025, pp. 18–30

- [34] Object Management Group: SysML v2 Release. GitHub. Internet: github.com/Systems-Modeling/SysML-v2-Release/tree/master. Zugriff am 06.07.2026
- [35] Kremer, G.; Maas, P.; Schwartz, S. et al.: Visual Analytics for Qualification Support of an Interpretable Machine Learning Application for Predictive Maintenance of Gas Turbine Blades. In: Chbeir, R.; Damiani, E.; Dustdar, S. et al. (Hrsg.): Management of Digital EcoSystems. Cham: Springer Nature Switzerland 2026, pp. 44–52

Benjamin Schneider, M.Sc. 
benjamin.schneider@iao.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Mehmet Kürümlüoğlu 

Dipl.-Ing. Stephan Schüle 

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de

Jantje Meinzer, M.A.

Youse GmbH
Bredowstraße 29, 10551 Berlin

Martin Obstbaum, Ph.D.

Imke Weiser, M.Sc.

Larissa Melischek
TWT GmbH Science & Innovation
Industriestr. 6, 70565 Stuttgart

Dr.-Ing. Carina Freseman

Zhenghan Zhang, M.Sc.

Technische Universität Berlin
Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme
Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Fachgebiet Industrielle Informationstechnik
Pascalstr. 08, SE, 10587 Berlin

Alexander Schneider

Marquardt GmbH
Schloss-Str. 16, 78604 Rietheim-Weilheim

LIZENZ



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