

Interdisziplinäre Kollaboration an digitalen Zwillingen mit Advanced Systems Engineering

# Modellbasiertes und visuelles Änderungsmanagement

B. Schneider, M. Bues, B. Wingert, M. Kürümlüoğlu, O. Riedel

**ZUSAMMENFASSUNG** Zunehmend komplexe, technische Systeme steigern die Anzahl der involvierten Disziplinen und die Komplexität in der Entwicklung. Der vorgeschlagene Lösungsansatz soll die Identifikation der Auswirkungen von Änderungen sowie die interdisziplinäre Erarbeitung einer optimalen Lösung unterstützen. Hierzu werden die Lösungselemente Industrial Metaverse, digitaler Zwilling und Advanced Systems Engineering miteinander verbunden. Als Anwendungsbeispiel dient das Änderungsmanagement.

## Model-based and visual change management – Interdisciplinary collaboration on digital twins with advanced systems engineering

**ABSTRACT** Ever more complex technical systems increase the number of disciplines involved and the complexity of product development. The proposed method is intended to help identify the impact of changes and the interdisciplinary development of an optimal solution. To this end, the solution elements industrial metaverse, digital twin and advanced systems engineering are combined. It is exemplified on change management as a use case.

### STICHWÖRTER

Advanced Systems Engineering, PLM (Product Lifecycle Management), Virtual Reality

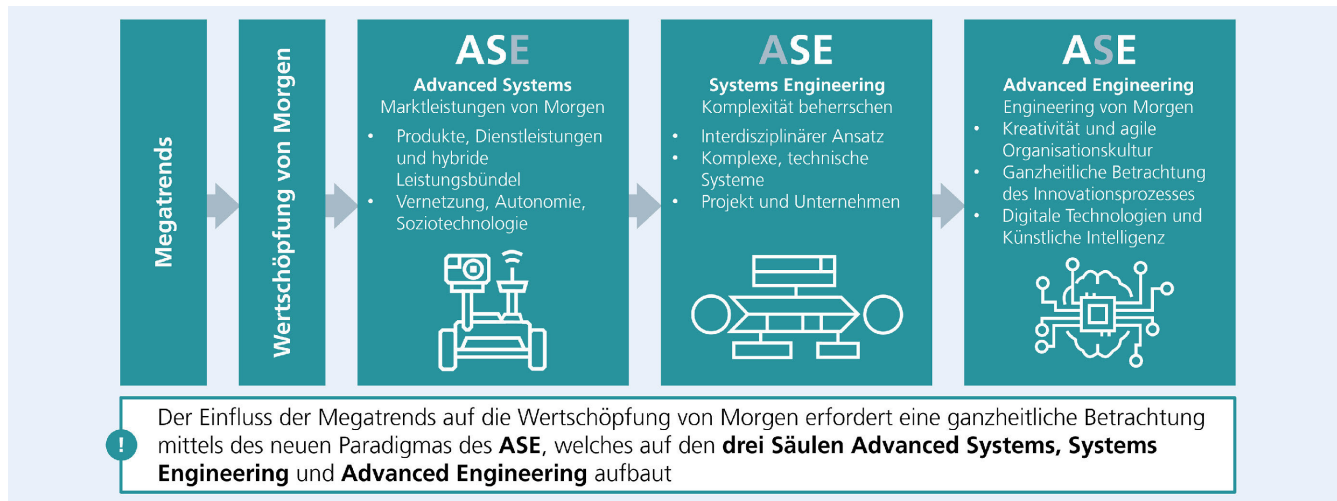


Bild 1. Drei Säulen des Advanced Systems Engineering. Grafik: eigene Darstellung auf Basis von [1]

## 1 Einleitung

Produzierende Unternehmen verschiedener Branchen sehen sich durch Megatrends wie Globalisierung, Digitalisierung, Individualisierung und Nachhaltigkeit mit einer steigenden Komplexität in der Produktentstehung konfrontiert. Aus diesen Trends motiviert, beschreibt das Advanced Systems Engineering (ASE) (Bild 1) Advanced Systems (AS) als zukünftige Marktleistungen, die sich durch Autonomie, dynamische Vernetzung, sozio-technische Interaktion und Aspekte von Produkt-Service-Systemen,

auszeichnen. Die Systeme sind durch das Zusammenwirken verschiedener Disziplinen, wie etwa Mechanik, Elektronik, Software, Service, Informations- und Kommunikationstechnik und auch der Psychologie, gekennzeichnet. [1]

Systems Engineering (SE) und Advanced Engineering (AE) stellen im ASE Bausteine dar, welche die Komplexität handhabbar machen sollen. Weiter soll die interdisziplinäre Produktentstehung mit agilen Organisationsformen, digitalen Technologien und künstlicher Intelligenz optimal unterstützt werden. Ein zentrales Lösungselement sind digitale Zwillinge. Sie sind virtuelle Reprä-

sentationen realer oder noch in Entwicklung befindlicher Systeme und ermöglichen detaillierte Einblicke in diese [2]. Grundlage für die digitalen Zwillinge sind modellbasierte und durchgängig verknüpfte Daten. Hierbei ist insbesondere das Zusammenspiel prozess- und strukturbeschreibender Daten relevant. Zentral sind also Prozessmodelle, Stücklisten und auf dem Model-based Systems Engineering (MBSE) basierende Systemmodelle [3]. Diese werden in der unternehmerischen Praxis in der Regel in Systemen für das Produktlebenszyklusmanagement (PLM) verwaltet. Die digitale und durchgängige Verknüpfung der verschiedenen Daten und Informationen, die in ihrer Gesamtheit eine möglichst vollständige Charakterisierung des in Entwicklung befindlichen Systems ermöglichen sollen, ist entscheidend. [4]

Multi-User Virtual Reality (VR) Umgebungen schaffen für mehrere Personen einen räumlichen, visuellen Zugang zu den Modellen und Daten, aus denen sich ein digitaler Zwilling zusammensetzt. Sie ermöglichen so eine optimierte lokale Zusammenarbeit mehrerer Personen. [5]

Zentrale Herausforderung in der Entwicklung zukünftiger Advanced Systems sind die optimale Unterstützung und Orchestrierung der interdisziplinären Kollaboration sowie die Unterstützung der Entwickler im Umgang mit komplexer werdenden, datengetriebenen Systemen [1].

Der Beitrag beschreibt ein aktuell in Entwicklung befindliches Konzept, das im Kern auf die Optimierung der interdisziplinären Zusammenarbeit abzielt. Das Konzept kombiniert zwei Lösungselemente: (1) die interdisziplinäre visuelle Kollaboration, in Multi-User VR-Umgebungen und (2) die durchgängige und modellbasierte Verknüpfung von Struktur- und Prozessdaten, die ein System, im Sinne eines digitalen Zwillings, charakterisieren. Das modellbasierte Änderungsmanagement ist der Anwendungsfall. Es eignet sich optimal als Anwendungsfall, da es eine Kernaufgabe der Produktentwicklung ist und Änderungen an einem Produkt stets mehrere Disziplinen betreffen. Der Beitrag zielt darauf ab, die Kombination der beiden Lösungselemente und die daraus entstehenden Mehrwerte zu beschreiben. Diese sind: (a) Steigerung der Nachvollziehbarkeit von Zusammenhängen und Auswirkungen in komplexen Systemen, also Unterstützung des Menschen im ASE und (b) Optimierung der interdisziplinären Zusammenarbeit über den Produktlebenszyklus.

## 2 Stand der Forschung und Technik

### 2.1 Änderungsmanagement und Model-Based Systems Engineering

Das Änderungsmanagement nimmt eine zentrale Rolle in der Produktentwicklung ein und beansprucht in Unternehmen bis zu einem Viertel der gesamten Forschungs- und Entwicklungskapazität [6]. Bis zu einem Drittel der Änderungen werden dabei als kritisch, also den Produkterfolg gefährdend, bewertet [6]. Ein Engineering Change, also eine erforderliche Änderung an einem Produkt, kann als Änderung oder Anpassung mit Blick auf Struktur, Verhalten, Funktionalität oder das Zusammenspiel dieser Eigenschaften eines bereits freigegebenen Produktes angesehen werden [7]. Für einen Überblick zu bestehenden Änderungsmanagement Methoden, sei auf die Arbeiten von *Martin et al.* [8] und *Tryczak et al.* [9] verwiesen. Viele bekannte Methoden weisen eine hohe Komplexität auf [9].

Im Kontext des ASE und des zugehörigen MBSE liegt der Fokus auf dem modellbasierten Änderungsmanagement. *Martin*

*et al.* [8] beschreiben mit dem „Advanced Engineering Change Impact Approach“ einen modellbasierten Ansatz für das Änderungsmanagement. Weitere modellbasierte Ansätze sind in *Meißner et al.* [10] oder *Nonsiri et al.* [11] beschrieben.

### 2.2 Digitaler Zwilling im Industrial Metaverse

Der digitale Zwilling (DZ) beschreibt eine virtuelle Repräsentation eines Systems. Der DZ setzt sich hierfür in der Regel aus verschiedenen verknüpften Modellen zusammen, welche die Eigenschaften eines Systems beschreiben, die für dessen Entwicklung, Herstellung oder Betrieb relevant sind. [2]

Bitkom [12] folgend, ermöglicht das Industrial Metaverse mit Technologien der virtuellen und erweiterten Realität (VR und AR) einen intuitiven visuellen Zugang zum digitalen Zwilling von Produkt und Produktionssystem. Heute gängige CAD-, CAE- und Produktionsplanungssysteme bieten bereits (3D-) Visualisierung. Diese sind aber meist nicht domänenübergreifend nutzbar.

Im Kontext des Industrial Metaverse existieren bereits einige auch kollaborative Applikationen zur VR-basierten Engineering-Visualisierung [12]. Einschränkungen bestehen aktuell in der Bearbeitbarkeit etwa von CAD-Modellen und der fehlenden Einbindung von ergänzenden Produktinformationen, wie das Verhalten des Produkts im Einsatz oder Daten mit Bezug zur Produktion.

### 2.3 Interdisziplinäre Kollaboration und Handhabung von Komplexität

Die steigende Komplexität von Produkten und Systemen und die zunehmende Integration von Funktionalitäten erfordern interdisziplinäre Kollaboration bei der Erstellung von technischen Systemen [1]. Experten können in der Erstellung und Handhabung komplexer Systeme, die durch eine zunehmende Menge an Daten und komplexe Systemmodelle geprägt sind, durch visuelle Zugänge wie VR unterstützt werden.

Neue Technologien wie Multi-User Powerwalls ermöglichen eine lokale, räumliche Zusammenarbeit [5]. Studien zur Remote-Zusammenarbeit in VR haben gezeigt, dass Head-Mounted Displays das Gefühl der räumlichen Präsenz und der Kopräsenz gegenüber klassischen Lösungen verbessern [13].

Für eine interdisziplinäre Kollaboration und Interaktion im ASE-Kontext entlang des gesamten Produktlebenszyklus muss ein bidirektionaler Zugang zu Autorensystemen (CAD, CAE) und PLM hergestellt werden. So können Anwender fachspezifische Daten um geometrische und strukturelle Informationen ergänzen, tiefere Einblicke in das System und dessen Zusammenhänge erhalten und damit den Lösungsprozess bestmöglich unterstützen.

### 2.4 Forschungsbedarf

Die Forschung hat, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, bereits verschiedene Methoden und Ansätze für das Änderungsmanagement vorgeschlagen. Gemäß der Erfahrung der Autoren basiert das Änderungsmanagement in der industriellen Praxis oft auf manuellen Schnittstellen und nicht verknüpften Daten oder Modellen. Ein optimiertes Änderungsmanagement sollte also eine modellbasierte Nachverfolgbarkeit der Auswirkungen von Änderungen erlauben, diese Auswirkungen visuell zugänglich machen und so die interdisziplinäre Abstimmung auf Basis gemeinsam definierter und verstandener Modelle effizienter machen. Weiter sollte es die

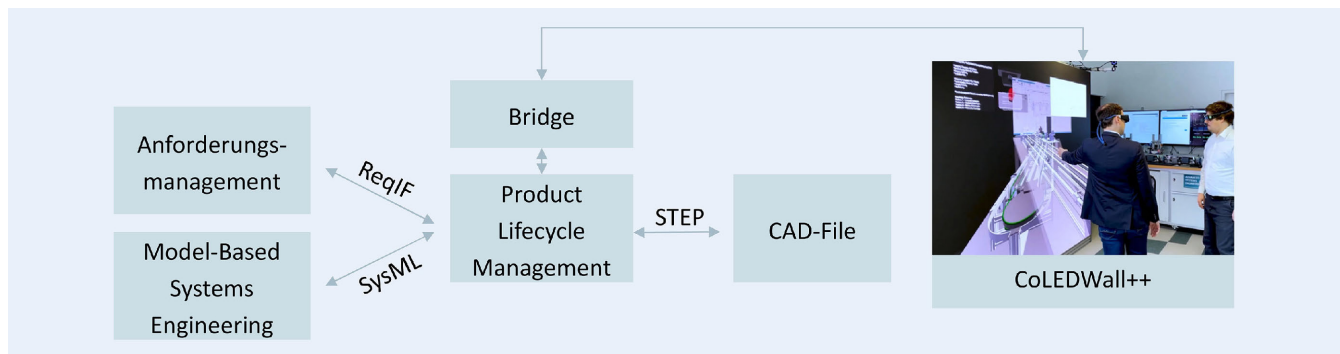


Bild 2. Grundlegende Infrastruktur und IT-Schnittstellen. Grafik: eigene Darstellung, Foto: Fraunhofer IAO

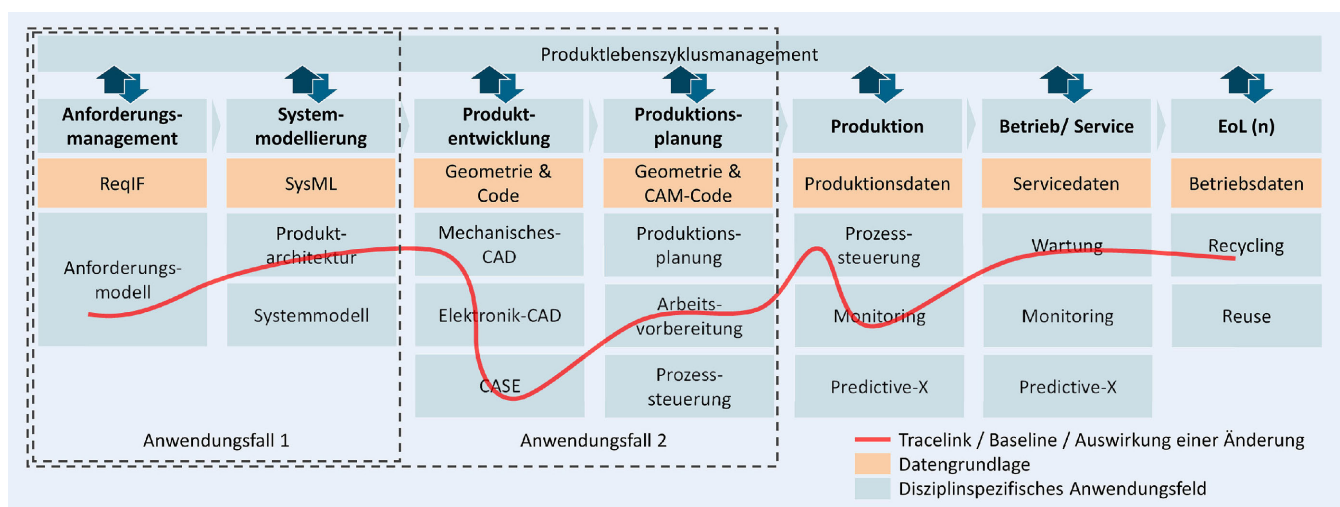


Bild 3. Visualisierung der Auswirkungen einer Produktänderung. Grafik: eigene Darstellung

Aufwände für die Umsetzung einer Änderung messbar reduzieren.

### 3 Methodik

Der vorgestellte Ansatz kombiniert ein modellbasiertes Änderungsmanagement mit einem visuellen Zugang im Sinne des Industrial Metaverse. Für die Realisierung muss zunächst eine Durchgängigkeit in den Modellen und Informationen geschaffen werden. Diese bildet die Basis für das Nachvollziehen der Zusammenhänge und Auswirkungen einer Änderung. Die in Kapitel 2.1 referenzierten Vorarbeiten bilden die Grundlage. Der Einsatz einer Multi-User VR-Umgebung soll eine optimale visuelle Unterstützung der interdisziplinären und räumlichen Zusammenarbeit in der Analyse und Realisierung der Änderung erzielen. **Bild 2** zeigt die eingesetzten Werkzeuge und Schnittstellen oder Austauschformate, mit denen das Vorhaben realisiert wird.

Ausgangspunkt sind Anforderungen und deren modellbasierte Beschreibung. Diese werden über eine über eine ReqIF (Requirements Interchange Format)-Schnittstelle ausgetauscht und im PLM verwaltet. Sie bilden die Ausgangsbasis für das MBSE und zugehörige Systemmodelle. Für die Analyse und Bewertung einer Änderung liefern Daten aus Autorensystemen, wie etwa CAD- (Computer Aided Design), CAE- (Simulationsumgebungen), CAM-Systeme (Computer Aided Manufacturing) und Wertstromsimulation, relevante Informationen. Das PLM dient als Integrationsplattform für die Modelle und Informationen.

Die „CoLEDWall“ ist eine Multi-User VR-Umgebung, die derzeit zwei Nutzern ein getracktes 3D-Bild zur Verfügung stellt. Neben einer Produktgeometrie können jedem Nutzer individuelle oder disziplinspezifische Zusatzinformationen bereitgestellt werden. Die CoLEDWall soll über eine Schnittstelle, direkt an das PLM angebunden werden. So können disziplinspezifische Modelle und Informationen geladen und visuell zugänglich gemacht werden. Dadurch unterstützt die VR-Umgebung die Experten aus verschiedenen Disziplinen im gemeinsamen Analysieren der Auswirkungen sowie der effizienten Umsetzung einer Änderung am Produkt.

**Bild 3** zeigt den unternehmensinternen Durchlauf einer Änderung. Die rote Linie zeigt den Pfad der Änderung über verschiedene Disziplinen und Phasen im Produktlebenszyklus. Dabei muss erwähnt werden, dass nicht jede Änderung eine direkte Auswirkung auf jede Phase des Produktlebenszyklus haben muss. Für die prototypische Umsetzung und Evaluation der Methodik werden zunächst die beiden in Bild 3 hervorgehobenen Anwendungsfälle betrachtet.

Anwendungsfall 1 beschreibt die frühe Phase einer technischen Änderung und bezieht sich auf die Schnittstelle zwischen dem Anforderungsmanagement und der Systemmodellierung. Beide bilden im Zusammenspiel die Grundlage für eine spätere Nachverfolgbarkeit von Änderungen. Im geplanten Szenario treffen sich die jeweiligen Disziplinexperten an der CoLEDWall und bringen ihre disziplinspezifischen und miteinander verknüpften Teilmodelle des Produkts oder Systems in die Diskussion ein. Je-

der Experte betrachtet dabei zunächst seine disziplinspezifischen Modelle. Die gemeinsame Referenz bildet die Produktgeometrie, also das CAD-Modell. Disziplinspezifische Modelle können aber auch gemeinsam betrachtet werden. Es gibt also eine Unterscheidung zwischen einem „private Space“ und einem „shared Space“. Die Nutzer können entscheiden, welche Information wo sichtbar sein soll. Auswirkungen der Änderung einer Anforderung auf die im Systemmodell beschriebene Systemarchitektur werden gemeinsam analysiert, verschiedene Lösungsoptionen durchgespielt und gemeinsam priorisiert. Durch das gemeinsame Betrachten der disziplinspezifischen Modelle sowie die gemeinsame Referenz (CAD-Modell) kann ein gemeinsames Verständnis für die Auswirkungen einer Änderung erzeugt und eine optimale Lösung identifiziert werden. Das CAD-Modell wird in frühen Phasen der Entwicklung in der Regel ein Mock-Up des späteren Produkts sein. Eine Quelle für die Änderung könnte ein externer Stakeholder oder Entwickler aus Mechanik, Elektronik oder Software sein, der ein Problem oder eine Optimierung identifiziert hat.

Im Anwendungsfall 2 diskutieren zunächst Experten aus Konstruktion und Produktionsplanung die Auswirkungen und Lösungsoptionen für eine notwendige Änderung. Die gemeinsame Referenz bildet die Geometrie von Produkt und Produktionssystem, beispielsweise ergänzt durch eine Simulation und Animation des Fertigungsvorgangs. Die Konstruktionsseite erhält als zusätzliche Information die im Systemmodell beschriebenen Strukturdaten, Infos zu Werkstoffen und weiteren Produkteigenschaften. Die Produktionsplanungseite erhält Informationen zu den einzelnen Fertigungsschritten und Informationen zum geplanten Wertstrom aus der Simulation.

Die zusätzlichen Informationen können in der Visualisierung wiederum auch gemeinsam betrachtet werden: im shared Space. Gemeinsam können aus der geänderten Systemstruktur resultierende Änderungen an der Geometrie und deren Auswirkungen auf die Fertigungsprozesse analysiert und Lösungen entwickelt werden. Im weiteren Verlauf soll Anwendungsfall 2 so ausgelegt werden, dass die Experten aus den Phasen des Produktlebenszyklus in verschiedenen Konstellationen zusammenkommen. So können auch Auswirkungen aus Änderungen an Anforderungen oder dem Systemmodell auf die Produzierbarkeit des Produkts analysiert und gemeinsam Lösungen identifiziert werden. Ein Beispiel ist die sehr frühe Integration von Wertstromexperten und die direkte Einbindung von deren Rückmeldungen in die Architekturentwicklung.

Im shared Space sollen vor allem Modelle betrachtet werden, die bei den beteiligten Disziplinen ein gemeinsames Verständnis erzeugen. Dies kann oft eine Geometrie oder eine auf Geometrien basierende Simulation sein. Im private Space werden disziplinspezifische Informationen und Modelle angezeigt, die eine tiefere Vorkenntnis in der jeweiligen Disziplin erfordern. Modelle und Informationen können flexibel zwischen dem private und shared Space bewegt werden.

Um die resultierenden Mehrwerte messbar zu machen, wird ein dreistufiges Verfahren angewandt. In Stufe 1 werden die aus der direkten räumlichen Interaktion der Experten entstehenden Mehrwerte und die unterstützende Wirkung auf die Zusammenarbeit bewertet. Hierfür werden unter anderem Nutzerstudien durchgeführt. In Stufe 2 werden die aus der modellbasierten Ver-

knüpfung der disziplinspezifischen Modelle erreichbaren Mehrwerte bei der Identifikation der Auswirkungen von Änderungen identifiziert. Dafür sollen Performance-Indikatoren für den Engineering Change [14, im Zusammenspiel mit Expertenbefragungen herangezogen werden. In Stufe 3 werden die aus der visuellen, räumlichen Kollaboration resultierenden Mehrwerte für die Identifikation der für das Unternehmen, aus betriebswirtschaftlicher Perspektive, optimalen Lösung für den Engineering Change bewertet. Auch hierfür können Performance Indikatoren für den Engineering Change [14] im Zusammenspiel mit Expertenbefragungen genutzt werden.

## 4 Diskussion

Im beschriebenen Forschungsvorhaben soll eine neue Art der interdisziplinären Zusammenarbeit im Unternehmenskontext, die sich der Mehrwerte des industriellen Metaversums bedient, entwickelt, pilotiert und evaluiert werden. Fokussiert wird auf die Analyse der interdisziplinären Zusammenarbeit bei der Bearbeitung einer Produktänderung.

Im Fokus stehen zunächst zwei Anwendungsfälle: (1) Bearbeitung der Änderung des Produkts im Zusammenspiel der Bereiche oder Phasen „Anforderungsmanagement“ und „Architekturmodellierung“ und (2) Bearbeitung der Änderung des Produkts im Zusammenspiel der Bereiche oder Phasen der technischen Entwicklung und der Produktionsplanung sowie in einer beliebigen dualen Kombination der genannten Phasen des Produktlebenszyklus. Später soll die Methodik um die weiteren Phasen des Produktlebenszyklus erweitert werden. Ebenso ist eine technische Erweiterung der Nutzeranzahl der CoLEDWall auf bis zu vier parallele Teilnehmer geplant, sodass Vertreter aus allen vier benannten Phasen gemeinsam an der Realisierung der Änderungen arbeiten können.

Es wird erwartet, dass die zu entwickelnde Vorgehensweise und Technologie Aufwände und Auswirkungen, die durch einen Engineering Change entstehen, messbar reduzieren kann. Im Bereich der Arbeitswissenschaft wird eine deutliche und positive Auswirkung bei der Zugänglichkeit komplexer Systemmodelle sowie der interdisziplinären Kollaboration erwartet.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Immer komplexer werdende Systeme erhöhen auch die Komplexität in der Produktentstehung und bedingen eine intensivere, interdisziplinäre Zusammenarbeit. Die Analyse und Beurteilung von Änderungen und deren Auswirkungen werden zu einer zunehmend komplexen Aufgabe. Das Änderungsmanagement ist dabei eine zentrale unternehmerische Aktivität, die ohnehin bereits einen hohen Ressourceneinsatz erfordert. Optimierungspotenziale bestehen im Bereich der Kommunikation über Disziplinen und Bereiche hinweg sowie in der integrierten und disziplinübergreifenden Betrachtung der Auswirkungen von Änderungen.

Das Forschungsvorhaben zielt darauf ab, diese Potenziale mit den Lösungselementen CoLEDWall und modellbasiertes und durchgängiges Änderungsmanagement direkt zu adressieren. So soll ein messbarer Mehrwert für entwickelnde und produzierende Unternehmen sowie deren Mitarbeitende aus verschiedenen Disziplinen geschaffen werden.

## DANKSAGUNG

Ein ganz besonderer Dank gilt der Fraunhofer Gesellschaft für die Förderung dieser Forschungsarbeit im Rahmen des Projekts „Instance“.

## Literatur

- [1] 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.acatech.de/publikation/engineering-in-deutschland/](http://www.acatech.de/publikation/engineering-in-deutschland/). Zugriff am 14.06.2024
- [2] Stark, R.; Anderl, R.; Thoben, K.-D. et al.: WiGeP-Positionspapier: „Digitaler Zwilling“. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 115 (2020) s1, S. 47–50
- [3] Friedenthal, S.; Moore, A.; Steiner, R.: A Practical Guide to SysML: The Systems Modeling Language. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc 2014
- [4] Riedel, O.; Kürümlüoğlu, M.; Schneider, B.: Advanced Systems Engineering. In: Riedel, O.; Hölzle, K.; Schlund, S. et al. (Hrsg.): Handbuch Unternehmensorganisation. Heidelberg: Springer 2020, S. 1–24
- [5] Wingert, B.; Bues, M.; Hofmann, J. et al.: Co-located collaborative Virtual Reality to accelerate the engineering process. 27th International Conference on Production Research, Cluj-Napoca, Romania, 2023 (noch nicht veröffentlicht)
- [6] Langer, S.; Wilberg, J.; Maier, A. et al.: Änderungsmanagement-Report 2012: Studienergebnisse zu Ursachen und Auswirkungen, aktuellen Praktiken, Herausforderungen und Strategien in Deutschland. Stand: 2012. Internet: [https://orbit.dtu.dk/files/8168288/\\_nderungsmanagement\\_Report\\_2012\\_Germany.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/8168288/_nderungsmanagement_Report_2012_Germany.pdf). Zugriff am 14.06.2024
- [7] Hamraz, B.; Caldwell, N. H. M.; Clarkson, P. J.: A Holistic Categorization Framework for Literature on Engineering Change Management. Systems Engineering 16 (2013) 4, pp. 473–505
- [8] Martin, A.; Kaspar, J.; Pfeifer, S. et al.: Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) – Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. 2022 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE), Vienna, Austria, 2022, pp. 1–7
- [9] Tryczak, J.; Lis, A.; Ziemiański, P. et al.: Towards a Universal Model of Engineering Change Management. Journal of the Knowledge Economy (2023), doi.org/10.1007/s13132–023–01576–3
- [10] Meißner, M.; Jacobs, G.; Jagla, P. et al.: Model based systems engineering as enabler for rapid engineering change management. Procedia CIRP 100 (2021), pp. 61–66
- [11] Nonsiri, S.; Coatanea, E.; Bakhouya, M. et al.: Model-based approach for change propagation analysis in requirements. 2013 7th Annual IEEE Systems Conference (SysCon), Orlando, FL, 2013, pp. 497–503
- [12] Bitkom e. V. (Hrsg.): Industrial Metaverse. Use Cases, Mehrwerte und Potenziale für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Stand: 2023. Internet: [www.bitkom.org/sites/main/files/2023–09/bitkom-leitfaden-industrial-metaverse.pdf](http://www.bitkom.org/sites/main/files/2023–09/bitkom-leitfaden-industrial-metaverse.pdf). Zugriff am 14.06.2024
- [13] Bayro, A.; Ghasemi, Y.; Jeong, H.: Subjective and Objective Analyses of Collaboration and Co-Presence in a Virtual Reality Remote Environment. 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW), Christchurch, New Zealand, 2022, pp. 485–487
- [14] Kattner, N.; Wang, T.; Lindemann, U.: Performance metrics in engineering change management – Key Performance Indicators and engineering change performance levels. 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Bali, Indonesia, 2016, pp. 1180–1184



**Benjamin Schneider, M.Sc.** 

Foto: Fraunhofer IAO  
[benjamin.schneider@iao.fraunhofer.de](mailto:benjamin.schneider@iao.fraunhofer.de)  
 Tel. +49 711 / 970-2281

**Dr.-Ing. Matthias Bues**

**Benjamin Wingert, M.A.**

**Dipl.-Ing. Mehmet Kürümlüoğlu**

**Prof. Dr. Oliver Riedel**

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft  
 und Organisation IAO  
 Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart  
[www.iao.fraunhofer.de](http://www.iao.fraunhofer.de)

## LIZENZ



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