

# Kollaborative Systemkonzipierung im interaktiven Entwicklungslabor

Roman Dumitrescu, Christian Tschirner, Alexander A. Albers,  
Lukas Bretz

Produktentstehung, Fraunhofer IPT Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik

## **Zusammenfassung**

In diesem Beitrag wird das Systems Engineering LIVE LAB zur Unterstützung einer erfolgreichen interdisziplinären Entwicklung mechatronischer Systeme vorgestellt. Der Bedarf für das SE LIVE LAB wurde in der Studie „Systems Engineering in der industriellen Praxis“ hergeleitet (Gausemeier et al. 2013) und wird nun von der Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik realisiert. Zwar liegt für Unternehmen der Nutzen von SE auf der Hand. Dennoch stellt sich häufig die Frage, wie Systems Engineering wirksam und ohne zu viel Mehrarbeit in die eigenen Prozesse integriert werden kann. Genau hier setzt das Konzept des SE LIVE LAB an. Im Beitrag werden das Konzept, die Infrastruktur sowie einige beispielhafte Nutzungsmöglichkeiten des SE LIVE LAB beschrieben. Das SE LIVE LAB liefert einen wesentlichen Beitrag zur intelligenten Fabrik, insbesondere bei der integrativen Produkt- und Produktionssystementwicklung.

## 1 Problematik und Zielsetzung

Die Entwicklung mechatronischer Produkte ist geprägt durch hohe Kundenanforderungen, kurze Entwicklungszyklen und insb. die enorme Interdisziplinarität des Produkts selbst. Seine erfolgreiche Entwicklung bindet zahlreiche Spezialisten einzelner Fachdisziplinen und erzeugt komplexe Prozesse zur Orchestrierung ihrer Aktivitäten. Innerhalb der einzelnen Disziplinen (z.B. Mechanik, Elektrotechnik und Softwaretechnik) entwickelten sich in der Vergangenheit spezialisierte Entwicklungstools, z.B. CAE- oder CASE-Tools (Weisberg 2008) – die interdisziplinäre Zusammenarbeit kann mit diesen Softwaretools jedoch kaum erfolgreich unterstützt werden (INCOSE 2007). Allgemein erfüllen bestehende disziplinspezifische Entwicklungsansätze nicht die Anforderungen eines interdisziplinären Projekts.

Aus diesem Grund kommt ein zunehmendes Interesse an Systems Engineering (SE) und insbesondere am Model-Based Systems Engineering (MBSE) auf (Gausemeier et al. 2013). SE ist ein in der Luftfahrt- und Rüstungsindustrie weit verbreiteter interdisziplinärer Ansatz zur ganzheitlichen Systementwicklung (INCOSE 2012). MBSE erweitert dieses Paradigma um

das Systemmodell: Ein für alle beteiligten Disziplinen verständliches semiformales, grafisches Modell mit disziplinübergreifend relevanten Systeminformationen (Friedenthal et al. 2011). Es ist die Basis für Kommunikation, Kollaboration und die Ausarbeitung in den Fachdisziplinen (Kaiser et al. 2013). Im Prinzip kann MBSE bereits mit einfachsten Mitteln Nutzen stiften, da es auf der Idee des Systemdenkens und der Modelltheorie aufbaut, z.B. in Kleingruppenworkshops am Whiteboard. Die volle Leistung kann jedoch erst durch die Nutzung formaler digitaler Modelle ausgeschöpft werden (Tschirner et al. 2015), die die Grundlage für eine vollständige Virtualisierung der Produktentstehung sind.

Im Gegensatz zu den weit verbreiteten CAE und CASE-Tools sind MBSE-Tools in Unternehmen kaum im produktiven Einsatz. Wenn, dann handelt es sich bei diesen Tools meist um angepasste UML-Tools, welche für die Softwareentwicklung und nicht zur Unterstützung einer interdisziplinären Zusammenarbeit mehrerer Fachdisziplinen ausgelegt sind. Im industriellen Einsatz von SE werden stattdessen oft Grafikeditoren wie z.B. MS Visio verwendet oder einfache Zeichnungen nachträglich digitalisiert. Solche Modelle lassen sich allerdings schlecht oder gar nicht erweitern, auf Konsistenz prüfen oder wiederverwenden. Dadurch sinkt die Akzeptanz für MBSE bei den Anwendern, obwohl ihm generell ein großes Potential zugeschrieben wird. Allerdings kommt bei der rein softwaregestützten Modellierung im MBSE ein wesentlicher Erfolgsfaktor der interdisziplinären Zusammenarbeit in den frühen Projektphasen zu kurz: die kreative Arbeit in Gruppen bei der Konzipierung und Spezifikation. Diese interdisziplinäre Zusammenarbeit ist von zunehmender Bedeutung desto komplexer das zu entwickelnde System ist. Bei der Entwicklung solcher Systeme muss eine Vielzahl von Abhängigkeiten beachtet werden, z.B. zwischen verschiedenen Disziplinen und zwischen Produkt und Produktionssystem (Gausemeier et al. 2012). Es besteht daher ein dringender Bedarf zur Kopplung der richtigen Soft- und Hardware zur effektiven und effizienten Nutzung bestehender MBSE-Ansätze. Erkenntnisse aus dem Bereich Computer-Supported Collaborative Work müssen dabei berücksichtigt werden.

Ziel des hier vorgestellten SE LIVE LAB ist die Kombination der Vorteile digitaler Modelle und klassischer Workshopmethoden. Im Gegensatz zu Konzepten wie z.B. Visualisierungszentren wird das SE LIVE LAB nicht nur im Rahmen von Reviews genutzt, sondern insb. auch für die Konzipierung und Spezifikation. So können im SE LIVE LAB Produkt und Produktionssystem integrativ entwickelt werden. Zu diesem Zweck sind die Möglichkeit einer direkten Manipulation von Modellen und eine gute Usability notwendig.

## 2 Das SE LIVE LAB

Das SE LIVE LAB in Paderborn ist ein Transfer- und Forschungszentrum in dem aktuelle Methoden und Werkzeuge des Systems Engineerings für die interdisziplinäre Konzipierung mechatronischer Systeme erprobt, verglichen und angewendet werden. Industrie und Forschung kommen hier zusammen. Dabei steht der strukturierte Aufbau von SE-Kompetenz im Vordergrund. Das SE LIVE LAB dient zudem als neutrale Plattform zwischen Industrie und SE-Tool Vendors. Aktuell befindet sich das Labor in der Testphase, wobei ein Großteil der Hardware und einige SE-Tools bereits installiert wurden.

## 2.1 Laborkonzept

Mit dem Ziel ein Transfer- und Forschungszentrum für Systems Engineering zu schaffen wurde ein modularer Ansatz entwickelt, der dem Qualifikationsdreischritt *Verstehen – Anwenden – Beherrschen* folgt und die drei Bereiche *Research, Education und Practice* adressiert (Abb. 1). Je nach Zielgruppe wurden auf Basis von Forschungs- und Industrieprojekten Konzepte erarbeitet, die bei der Überwindung der mit MBSE verbundenen Hürden zielgerichtet unterstützen. So unterteilt sich bspw. der Bereich *Practice* sowohl in Angebote für das Management als auch für Fachexperten.

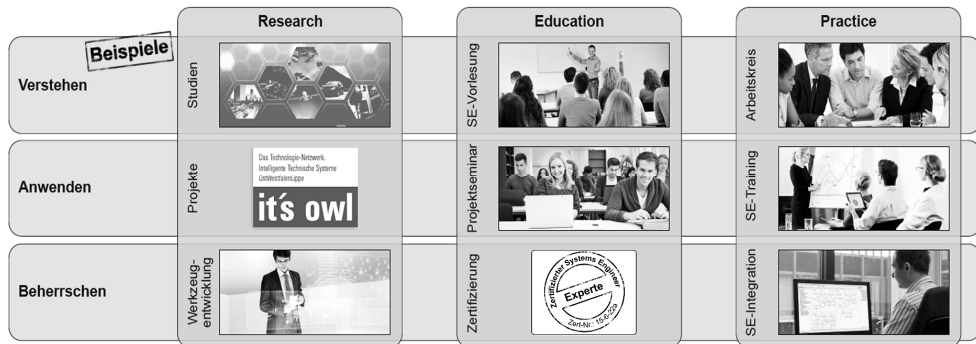


Abbildung 1: Der modulare Ansatz des SE LIVE LAB (eigene Darstellung)

Auf der ersten Qualifikationsstufe *Verstehen* können beispielsweise Geschäftsführer, Manager, Entwickler, Projektleiter und Einkäufer grundlegende SE-Ansätze und -Methoden kennenlernen. Ziel ist es, den Kern und den Nutzen des SE zu verstehen und Anknüpfungspunkte im eigenen Unternehmen zu identifizieren. Dafür werden z.B. im Rahmen von Kamingsgesprächen die aktuellen Herausforderungen im Unternehmen diskutiert und gemeinsam analysiert, wie das ganzheitliche Konzept des Systems Engineerings unterstützen kann.

Die zweite Qualifikationsstufe *Anwenden* hat das Ziel, das Erlernte zu vertiefen und unter Anleitung sicher anzuwenden – ein plakativer Vergleich ist das „Begleitete Fahren“ beim Führerschein mit 17 Jahren. So wird den Teilnehmern die angeleitete Konzipierung und Spezifikation eigener Produkte mit MBSE in Schulungen und Pilotprojekten ermöglicht. Zielgruppe sind die Entwickler der Fachdisziplinen, aber insb. Projektleiter, Produktmanager und Systemarchitekten, die sich intensiv mit Systems Engineering auseinandersetzen müssen. Die Teilnehmer wenden im SE LIVE LAB Entwicklungsmethoden und Spezifikationstechniken an und sammeln wertvolle Erfahrungen für den Einsatz von MBSE im eigenen Unternehmen. Dabei wird bspw. die Spezifikationstechnik CONSENS (Gausemeier et al. 2014) genauso angewendet wie die verbreitete SysML (Friedenthal et al. 2011). Erfolgsfaktor ist die Anwendung eines Vorgehensmodells zur Spezifikation, das in Abhängigkeit der Aufgabe, der Vorkenntnisse der Schulungsteilnehmer und der allgemeinen Rahmenbedingungen individuell angepasst werden kann. Gerade für die initiale mechatronischen Systembeschreibungen ist zudem noch die Integration von Kreativitätstechniken ein Erfolgsfaktor, um alle notwendigen

Aspekte bei der Spezifikation ins Kalkül zu ziehen. Derartige Ansätze kommen in den meist rein technisch getriebenen Herangehensweisen des MBSE zu kurz. Stattdessen fokussieren sie häufig zu stark die reine Software-Anwendung.

Die höchste Qualifikationsstufe *Beherrschen* befähigt, Aufgaben und Herausforderungen im Unternehmensumfeld selbstständig mit den Ansätzen des Systems Engineerings zu lösen. Hierbei stehen Vorgehensweisen zur Integration von SE und MBSE in die eigenen Wertschöpfungsprozesse im Vordergrund. Das notwendige breite SE-Wissen wurde in den vorangegangenen Stufen strukturiert aufgebaut. Die Teilnehmer sollen schließlich im Projektalltag eigenständig entscheiden können, welche Herangehensweisen, Methoden und Werkzeuge geeignet sind, das Projekt zum Erfolg zu bringen.

## 2.2 Laborkonfiguration

Das SE LIVE LAB ist mit fortschrittlicher Hard- und Software zur kollaborativen virtuellen Konzipierung von komplexen Systemen ausgestattet. Das Setup besteht im Wesentlichen aus zwei Arbeitsbereichen mit unterschiedlichem Virtualisierungsgrad (Abb. 2).

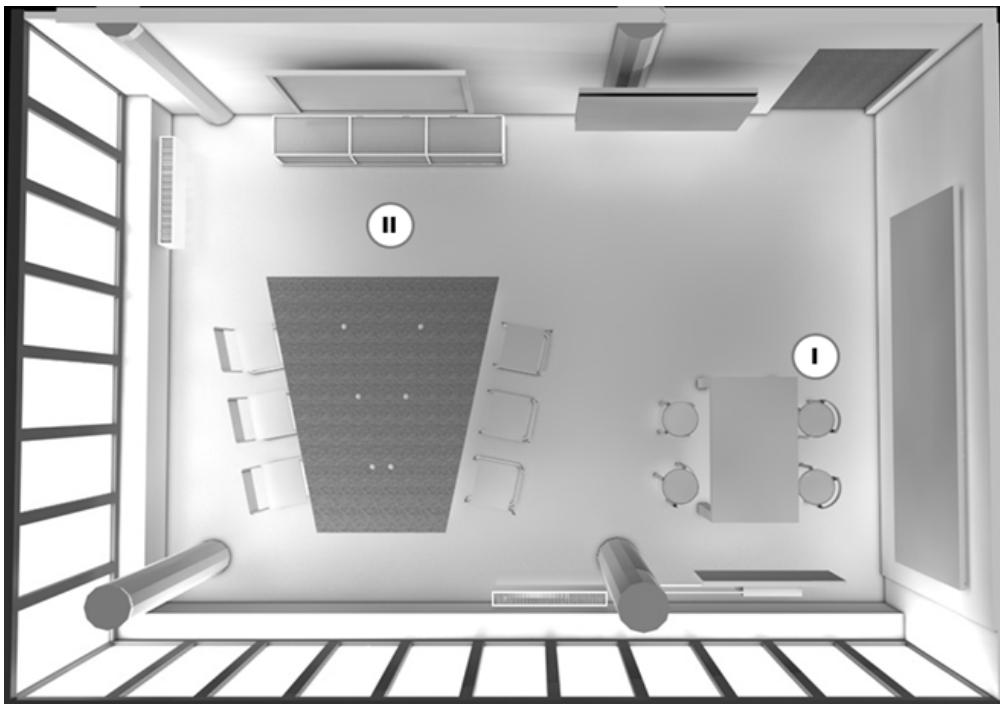


Abbildung 2: Layout des SE LIVE LAB (eigene Darstellung)

Arbeitsbereich I besteht aus einem 3,5 m breiten hybriden Whiteboard und einem Stand-up-Meeting-Bereich mit Monitor. Auf dem hybriden Whiteboard kann mit handelsüblichen Boardmakern und Metaplankarten gearbeitet werden. Bestehende Modelle können über

mehrere Ultrakurzstanzprojektoren auf das Whiteboard projiziert werden und für die weitere Arbeit genutzt werden. Damit werden die o.g. Unzulänglichkeiten der Grafikedatoren für den Einsatz bei der Gruppenarbeit im Ansatz behoben. Ein fest installiertes Kamerasystem hält die neuen Arbeitsergebnisse fest. Die Fotos sollen in Zukunft mit Hilfe einer Bilderkennungssoftware in bearbeitbare digitale Modelle überführt werden, z.B. in MS Visio.

Arbeitsbereich II zeichnet sich durch eine vollständige Virtualisierung aus und ist im Prinzip ein Demonstrator für den Arbeitsplatz der Zukunft. Der Bereich besteht aus einem ergonomischen Trapez Tisch mit sechs Arbeitsplätzen, die durch ein 84 Zoll Smartboard inkl. Videokonferenzanlage ergänzt werden. Während bspw. das Smartboard das gesamte Modell zeigt, arbeiten die Anwender an den Arbeitsplätzen nur an dem für sie relevanten Modell.

Im Zusammenspiel ermöglichen die beiden Arbeitsbereiche somit einen Produktentstehungsprozess im Zeitraffer: Zunächst werden gemeinschaftlich die Anforderungen an ein Produkt identifiziert und mit Methoden des SE, diverser Kreativitätstechniken und insb. Systemdenken die zentralen Aufgaben der frühen Projektphasen unterstützt, bspw. eine Umfeldanalyse und eine Risikoanalyse. Mit dem ersten digitalisierten Systemmodell geht es dann im Arbeitsbereich II weiter: Hier gilt es die fortlaufende Spezifikation und Zusammenarbeit mit MBSE zu vertiefen und bspw. auch Aspekte der über Zeitzonen verteilten Arbeit zu beleuchten. Gemeinsame Reviews finden dann entweder über das Smartboard statt oder im Rahmen von Stand-Up Meetings im Arbeitsbereich I. Im SE LIVE LAB gilt es also zu erkennen, wie wichtig die enge Zusammenarbeit in der frühen Phase für ein erfolgreiches Produkt ist und wie die Ansätze des MBSE hierbei unterschiedlich unterstützen können.

### 3 Beispielhafte Anwendungen im SE LIVE LAB

Auf Basis des modularen Konzepts ergeben sich zahlreiche Anwendungen im SE LIVE LAB. Im Folgenden wird die Nutzung des SE LIVE LAB anhand von zwei Beispielen dargestellt: Das Projektseminar ist dem Bereich *Education* zuzuordnen, das Beispiel der teilautomatisierten Fertigungsinsel dem Bereich *Practice*.

#### 3.1 Projektseminar für Studierende: Getränkeabfüllanlage

Das Projektseminar Systems Engineering schließt die Lücke zwischen Vorlesung und praktischer Anwendung. Im Rahmen des Projektseminars *Verstehen* die Studierenden relevante Methoden und Techniken des SE und können das gewonnene Wissen anhand eines konkreten Beispiels im SE LIVE LAB *Anwenden*. Ein Beispielsystem ist die Abfüllanlage eines mittelständischen Getränkeherstellers. Die Abläufe in der betrachteten Anlage waren von manuellen Verarbeitungsschritten geprägt. Aufgrund steigender Absatzmengen musste die Abfüllung automatisiert werden. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen des Projektseminars eine neue Abfüllanlage konzipiert.

Im Rahmen der Konzipierung führten die Studierenden zunächst eine Umfeldanalyse in Arbeitsbereich I des SE LIVE LAB durch. Hierbei nutzen sie die Spezifikationstechnik CONSENS. Da der Getränkehersteller eine gewisse Erfahrung mit System Engineering hat, konnte auf ein Umfeldmodell der Anlage zurückgegriffen werden. Dieses Modell wurde mit Hilfe der Projektoren am hybriden Whiteboard visualisiert und im Workshop an die neue Umfeldsituation angepasst. Durch die Wiederverwendung bestehender Modelle konnte bei der Analyse erheblich Zeit gespart werden. Das SE LIVE LAB ermöglicht die Kombination der Vorteile der Wiederverwendung mit einem einfachen Vorgehen auf Basis der üblichen Metaplantchnik. Zur Erarbeitung der Wirkstruktur entschieden sich die Studierenden direkt in Arbeitsbereich II am Smartboard zu modellieren. In der Gruppenarbeit wurde das Touch-Interface genutzt um die Wirkstruktur direkt mit MS Visio zu manipulieren und anzupassen. Dieses Vorgehen spart bei geübten Workshopteams die nachträgliche Digitalisierung der Modelle und verkürzt so die Bearbeitungszeit. Nach Abschluss des Projektseminars lagen die Analyse der Ausgangssituation sowie ein dokumentiertes Konzept der neuen Abfüllanlage in Form von Umfeldmodell und Wirkstruktur vor.

### 3.2 Verbesserung einer teilautomatisierten Fertigungsinsel

Das abgeschlossene Projekt mit einem mittelständischen Unternehmen der Region OstWestfalenLippe kann im Bereich *Practice* der Qualifikationsstufe *Anwendung* eingeordnet werden. Zielsetzung war die Erhöhung der Ausbringungsmenge einer Fertigungsinsel. Hierzu sollte die bereits teilautomatisierte Fertigungsinsel weiter automatisiert werden und möglichst sämtliche manuelle Arbeitsschritte zu vermeiden. Dazu musste die aktuelle Fertigungsinsel ganzheitlich analysiert werden, um entsprechendes Optimierungspotential abzuleiten. Das interdisziplinäre Projektteam bestand im Wesentlichen aus Produktmanager, Entwicklungsleitern für Elektrotechnik/Elektronik, Maschinebau und Software, Produktionsplaner sowie dem Projektmanager, der auch die Aufgaben des Systems Engineers übernommen hat. Alle Veranstaltungen im SE LIVE LAB wurden von einem externen Moderator begleitet.

Zu Projektbeginn wurde im Rahmen mehrerer Workshops in Arbeitsbereich I der Ist-Stand der Fertigungsinsel mit der Spezifikationstechnik CONSENS (Gausemeier et al. 2014) am hybriden Whiteboard (Abb. 3) aufgenommen. Mit Hilfe von CONSENS wurden Wechselwirkungen innerhalb des betrachteten Systems sowie zu seinem Umfeld identifiziert und in Umfeldmodell und Wirkstruktur dargestellt. Anhand dieses Systemmodells wurden anschließend mittels diverser Kreativitätstechniken mögliche Optimierungspotentiale identifiziert und in Verbindung mit weiteren existierenden Anforderungen in einer weiteren Workshopreihe in Arbeitsbereich I ein initiales Systemmodell des verbesserten Systems erarbeitet. Dabei wurden System- und Umfeldelemente mit Hilfe magnetischer Metaplankarten am Whiteboard modelliert; die Wirkbeziehungen wie Stoff-, Energie-, oder Informationsbeziehungen und insb. die Störeinflüsse wurden mittels üblicher Boardmarker dargestellt. Eine Farbsyntax ermöglicht die Unterscheidung verschiedener Merkmale, z.B. der Art des Elements (System- oder Umfeldelement), des Elementtyps (Energiewandler, informationsverarbeitendes Element, etc.) oder des Typs der Wirkbeziehung (Kaiser et al. 2013). Im Laufe der Workshops wurde das Modell detailliert und iterativ entwickelt. Das Modell wurde zu diesem Zweck nach jedem Workshop manuell digitalisiert und beim nächsten Workshop mithilfe der Projektoren auf das



## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Wie anhand der Beispiele in Kapitel 3 gezeigt wurde, bietet das SE LIVE LAB vielfältige Nutzungsmöglichkeiten für Forschung, Praxis und Lehre. Diese Möglichkeiten des SE LIVE LAB werden in Zukunft weiter ausgebaut: So werden z.B. im Rahmen von Pilot- und Transferprojekten des BMBF-geförderten Spitzencluster Intelligente Technische Systeme (it's OWL) nicht nur die Spezifikation im Vordergrund stehen, sondern Anwendungen wie etwa Machbarkeitsstudien. Ferner wurde jüngst ein Schulungsbaukasten für Schulungen im SE LIVE LAB entwickelt. Zurzeit bilden sich bereits erste Konsortien zur gemeinsamen Nutzung der Infrastruktur des Labors.

### Literaturverzeichnis

- Friedenthal, S., Moore, A. & Steiner, R. (2011). *A Practical Guide to SysML*. Second Edition. Waltham: Morgan Kaufmann
- Gausemeier, J., Czaja, A., Wiederkehr, O., Dumitrescu, R., Tschirner, C. & Steffen, D. (2013). *Studie: Systems Engineering in der industriellen Praxis*. In: Maurer, M. & Schulze, S. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering 2013, München: Carl Hanser Verlag, S. 113-122
- Gausemeier, J., Trächtler, A. & Schäfer, W. (2014). *Semantische Technologien im Entwurf mechatronischer Systeme – Effektiver Austausch von Lösungswissen in Branchenwertschöpfungsketten*. München: Carl Hanser Verlag
- Gausemeier, J., Lanza, G. & Lindemann, U. (2012). *Produkte und Produktionssysteme integrativ konzipieren*. München: Carl Hanser Verlag
- INCOSE (International Council on Systems Engineering) (2007). *Systems Engineering Vision 2020*, Online: [http://www.incose.org/ProductsPubs/pdf/SEVision2020\\_20071003\\_v2\\_03.pdf](http://www.incose.org/ProductsPubs/pdf/SEVision2020_20071003_v2_03.pdf), abgerufen am 18.10.2012
- INCOSE (International Council on Systems Engineering) (2012). *INCOSE Systems Engineering Handbuch*, deutsche Übersetzung, GfSE
- Kaiser, L. Dumitrescu, R., Holtmann, J. & Meyer, M. (2013). Automatic verification of modeling rules in Systems Engineering for mechatronic systems. In: *Proceedings of the ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE*, Portland, Oregon, USA
- Tschirner, C., Bansmann, M., Dumitrescu, R. & Gausemeier, J. (2015). *Tailoring Model-Based Systems Engineering*. In: Proceedings of the 9th Annual IEEE International Systems Conference, Vancouver, Canada, pp. 69-76
- Weisberg, D. (2008). *The Engineering Design Revolution*, Online: <http://www.cadhistory.net/>, abgerufen am 15.04.2015
- Higgins, J. M. & Wiese, G. G. (1996). *Innovationsmanagement. Kreativitätstechniken für den unternehmerischen Erfolg*, Berlin: Springer



### **Kontaktinformationen**

Alexander A. Albers

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik, Produktentstehung

Zukunftsmeile 1

33102 Paderborn

[alexander.albers@ipt.fraunhofer.de](mailto:alexander.albers@ipt.fraunhofer.de)