

# Investitionsentscheidungen vor dem Hintergrund der Digitalisierung am Beispiel Schaltschrankbau

Robert Joppen,  
Sebastian von Enzberg,  
Arno Kühn und  
Roman Dumitrescu,  
Paderborn

Die Potenziale der Digitalisierung in der Produktion reichen von individuellen Maschinenoptimierungen bis zur Optimierung der gesamten Produktionsplanung und -steuerung. Im Rahmen von Industrie 4.0 sehen nun viele Unternehmen die Notwendigkeit, in ihre Produktion zu investieren. Insbesondere fällt es kleinen Unternehmen schwer, den wirtschaftlichen Nutzen abschätzen. Dies liegt nicht zuletzt an einer mangelnden methodischen Unterstützung bei Investitionsbewertungen im Kontext der Digitalisierung. In diesem Beitrag wird dafür ein Strukturierungsansatz vorgestellt.

## Anlass und Zielbild der Digitalisierung

Digitalisierung und Industrie 4.0 sind heute in aller Munde. Digitale Technologien, wie z. B. Analytics Lösungen oder Mensch-Maschine-Schnittstellen, sollen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Produktion unterstützen und Produkte intelligent machen [1]. Visionen von Industrie 4.0 zeigen beispielsweise wandlungsfähige Fabriken mit einer selbstorganisierenden Logistik und einem durchgängigen und dynamischen Engineering auf [2]. Dabei reichen die Potenziale in der Produktion von einer datengetriebenen Optimierung einzelner Maschinen bis hin zur Optimierung der gesamten Produktionsplanung und -steuerung bei der Maschinen miteinander kommunizieren [3].

Eine umfassende Vision der Digitalisierung wird anhand der Automatisierungspyramide verdeutlicht. Dies sind die drei Aspekte der vertikalen und horizontalen Integration sowie des durchgängigen digitalen Engineerings. Das Zielbild der Digitalisierung ist in Bild 1 dargestellt.

Die vertikale Integration stellt die Verknüpfung von IT-Systemen auf den unterschiedlichen Hierarchieebenen eines Unternehmens dar, während die horizontale Integration die unternehmensübergreifende Vernetzung beschreibt [4]. Das durchgängige digitale Engineering ist ein

domänenübergreifender Ansatz zur Entwicklung intelligenter technischer Systeme. Interdisziplinarität und eine ganzheitliche Problembetrachtung sind essentiell [4]. Dies wird nicht zuletzt aufgrund der steigenden Komplexität von intelligenten technischen Systemen benötigt [5].

## Herausforderungen einer Investitionsbewertung

Im Rahmen von Industrie 4.0 fühlen sich viele Unternehmen nun dazu angehalten, in ihre Produktion zu investieren und die Potenziale der Digitalisierung zu heben. Eines der Haupthindernisse ist jedoch

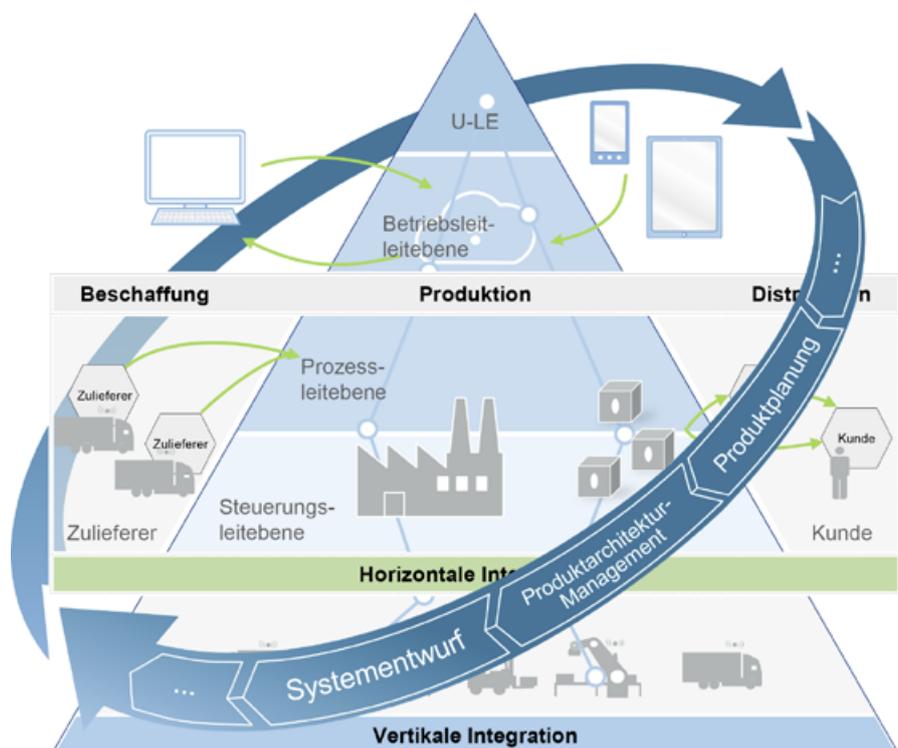


Bild 1. Zielbild der Digitalisierung nach [4]

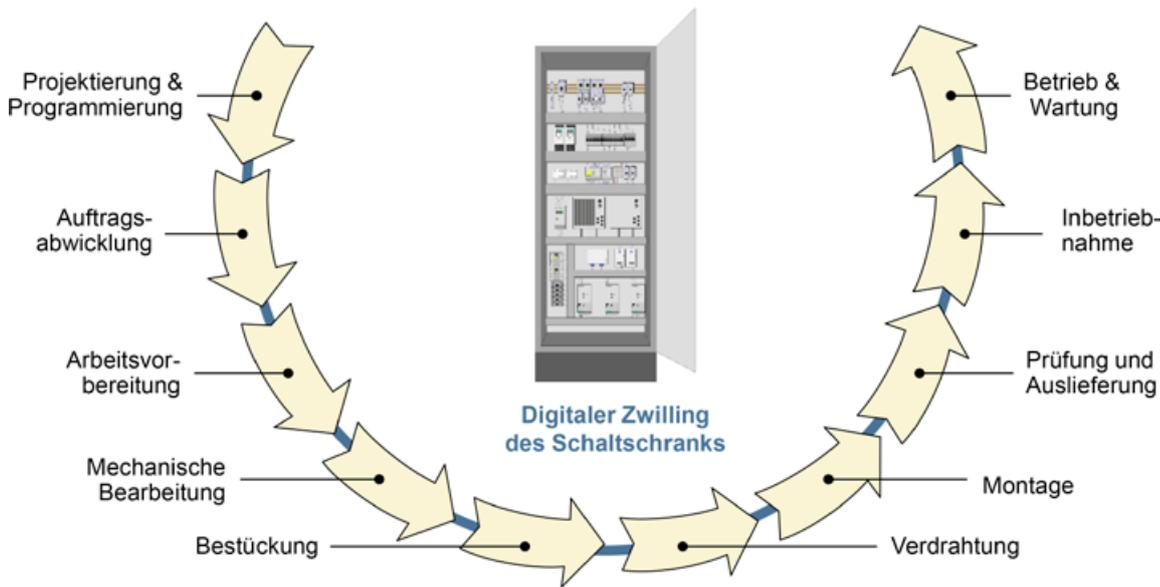


Bild 2. Abstrahierter Auftragsabwicklungsprozess im Schaltschrankbau [13]

die Bewertung der Wirtschaftlichkeit solcher Investitionen. Gerade kleine und mittlere Unternehmen sind oft nicht in der Lage, den wirtschaftlichen Nutzen abzuschätzen. Dies liegt nicht zuletzt an der mangelnden methodischen Unterstützung [6, 7, 8].

Eine typische Investition sind Tablets in der Fertigung um die Mitarbeiter bei der Arbeit zu unterstützen. Dabei ist die Investition bzw. das Projekt zur Einführung der Tablets weitaus mehr als das Kaufen der physischen Objekte der Tablets. Die Herausforderungen der Investitionsbewertung lassen sich anhand der oben aufgezeigten Aspekte der vertikalen und horizontalen Integration sowie des umfassenden Systems Engineering aufzeigen. Im Sinne der vertikalen Integration benötigt der Einsatz der Tablets die richtigen Daten am richtigen Ort. Dafür müssen nicht nur die richtigen Daten in richtiger Qualität zur Verfügung stehen, sondern müssen die entsprechenden IT-Systeme auch miteinander vernetzt sein. Sind diese in einem Unternehmen nicht vorhanden bzw. vernetzt, ist die Schaffung der Datenbasis bzw. die Vernetzung der IT-Systeme ebenfalls als Aufwand bei der Bewertung für Tablets in der Fertigung zu berücksichtigen.

Im Sinne der horizontalen Integration betrifft die Investition mehr als einen Bereich bzw. einen Teil der Wertschöpfungskette. So sind neben der Fertigung auch häufig die Projektierung und der Betrieb betroffen, da wichtige Daten für den eigenen Auftragsabwicklungsprozess vom Kunden benötigt werden. Dazu sind Systeme miteinander zu vernetzen.

Die Vernetzung von Systemen erzeugt einen konkreten Aufwand, während der Nutzen i. d. R. schwer bezifferbar ist.

Schließlich lassen sich die Funktionen der Systeme im Sinne des umfassenden Systems Engineering relativ einfach erweitern. Ist ein System erst einmal aufgesetzt, lassen sich zahlreiche Use Cases auf der gleichen Infrastruktur und Datenbasis mit einem relativ geringen Aufwand aufsetzen. Nutzt ein Mitarbeiter die Tablets als Montageassistent, kann bspw. eine Einsicht in die Lagerbestände relativ einfach hinzugefügt werden [9].

Die Use Cases sind i. d. R. abteilungsübergreifend und bringen somit eine organisatorische Komplexität mit sich. Für die Investitionsbewertung gilt es somit die Use Cases zunächst im Sinne des Systems Engineering zu spezifizieren und die Frage zu klären, welche Use Cases und deren Nutzen berücksichtigt werden sollen [10, 11].

### Beispiel der Digitalisierung im Schaltschrankbau

Das Beispiel der Einführung von Tablets im Schaltschrankbau ist repräsentativ für ein Projekt in die Digitalisierung einer Produktion und den einhergehenden Herausforderungen für die Investitionsbewertung. Dabei sollen die Tablets in der Fertigung zunächst als Verdrahtungsassistent eingesetzt werden.

Bild 2 zeigt einen abstrahierten Auftragsabwicklungsprozess im Schaltschrankbau. Ausgangspunkt ist die Projektierung und Programmierung. Daran schließt die Auftragsabwicklung und Ar-

beitsvorbereitung an und geht bis hin zum Betrieb und der Wartung. Dabei erzeugt die Projektierung und Programmierung, die Auftragsabwicklung und die Arbeitsvorbereitung zusammen i. d. R. nur ca. 8 Prozent des Aufwands. Während die anschließende mechanische Bearbeitung ca. 6 Prozent und das Bestücken ca. 22 Prozent des Aufwands ausmacht, ist das Verdrahten eines Schaltschranks mit Abstand der größte Aufwandstreiber. Auf diesen Prozessschritt allein entfallen ca. 51 Prozent des Aufwands. Die anschließenden Prozesse von der Montage, Prüfung und Inbetriebnahme machen einen Anteil von 13 Prozent des Aufwands aus [12].

Die prozentuale Verteilung des Aufwands zeigt das Potenzial eines Assistenzsystems für das Verdrahten auf. Eine der zentralen Herausforderungen im Schaltschrankbau ist jedoch, dass i. d. R. in Losgröße 1 gefertigt wird. Mit dem Aspekt der Losgröße 1 gehen zahlreiche Herausforderungen nicht nur für die Fertigung, sondern auch für den gesamten Auftragsabwicklungsprozess einher. Bei dem Auftragseingang ist so stets ein individuelles digitales Modell (der sogenannte „Digitale Zwilling“) des Schaltschranks zu erzeugen, was häufig mit großem Aufwand verbunden ist. Dieser fast kreative Prozess in der Projektierung und Programmierung eines Schaltschranks lässt sich nur sehr schwer abbilden, geschweige denn standardisieren.

Ist ein Auftrag jedoch erst einmal digital angelegt, weist die Nutzung des digitalen Zwillings große Potenziale auf. Mit-

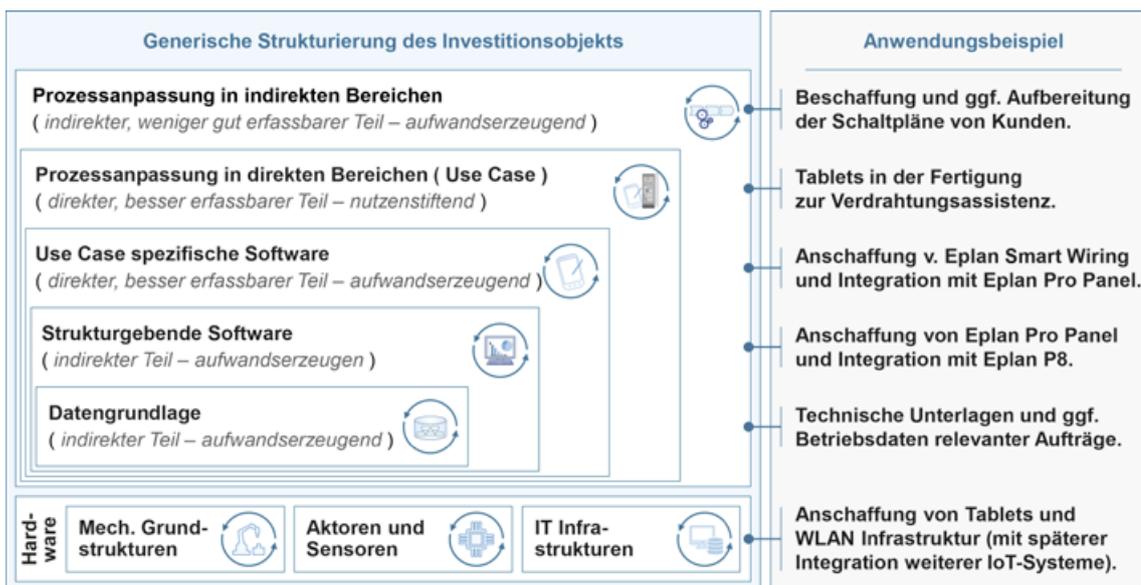


Bild 3. Charakteristika von Investitionen in die Digitalisierung einer Produktion

hilfe des digitalen Zwillings kann nicht nur der Prozessschritt des Verdrahtens unterstützt werden, sondern kann dieser zu einer transparenten Auftragsrückverfolgung, einer automatisierten Datenübertragung an die Maschinen für den Zuschnitt und kürzeren Durchlaufzeiten bis hin zu Kosteneinsparungen im gesamten Prozess genutzt werden.

### Strukturierung von Investitionsobjekten im Rahmen der Digitalisierung

Im Rahmen von modernen maschinenbaulichen Erzeugnissen wird von sog. cyber-physischen Systemen gesprochen. Sie besitzen „cyber“ und „physische“ Komponenten [14]. Dies gilt auch für das aufgezeigte Beispiel der Tablets in der Fertigung. Bei Investitionen in die Digitalisierung einer Produktion sind neben technischen Anforderungen auch organisatorische bzw. prozessuale Anpassungen zu berücksichtigen. Es kann zwischen einem tangiblen und einem intangiblen Bereich unterschieden werden. Dargestellt sind die Charakteristika einer Investition in die Digitalisierung einer Produktion in Bild 3. Die linke Seite der Darstellung zeigt die generische Strukturierung des Investitionsobjekts, während die rechte Seite das Anwendungsbeispiel verdeutlicht. Dabei entstehen bei nahezu allen Charakteristika mehrheitlich Aufwände. Ausnahme ist der Use Case an sich. Dieser ist überwiegend nutzenstiftend.

Der obere, intangible Bereich der Investition gliedert sich in fünf Layer. Die Layer sind als aufeinander aufbauende

Schalen zu verstehen. Der unterste Layer ist die Datengrundlage. Sie stellt die Grundlage für jegliche Software und deren Anwendung dar. Ob entsprechende Daten vorhanden sind bzw. bereits in einem Unternehmen gesammelt werden, ist von struktureller Natur. Aus der Sicht einer Investitionsbewertung stellt dies einen indirekten Teil dar, da er nur sehr schwer erfassbar ist. Letztlich ist hier der Wert von Daten zu beziffern. Dies geschieht letztendlich in Form der später folgenden Use Case Bewertung. Im genannten Anwendungsbeispiel der Tablets in der Fertigung sind dies die technischen Unterlagen und ggf. Betriebsdaten relevanter Aufträge.

Die Datengrundlage wird von der Software in einem Unternehmen genutzt und verarbeitet. Hier sind zunächst strukturgebende Software wie Enterprise Resource Planning Systeme, Manufacturing Execution Systeme, Verarbeitungsframeworks oder weitere Autorenwerkzeuge im Bereich des Engineerings zu nennen. Diese können große Teile des Geschäftsbetriebs beeinflussen. Aufgrund ihrer Durchgängigkeit ist der Nutzen und die Kostenzurechnung dieser Systeme nur sehr schwer erfassbar und gelten somit auch als indirekter Teil im Rahmen einer Investitionsbewertung. Im Anwendungsbeispiel sind dies Engineering Software, wie z. B. P8 und Pro Panel von EPLAN.

Use Case spezifische Software stellen Softwarelösungen für einzelne spezifische Anwendungsfälle dar. Diese erfordern oder basieren häufig auf der strukturgebenden Software. Die Use Case spezifische Software stellt einen direkteren,

besser erfassbaren Teil im Rahmen einer Investitionsbewertung dar. Kosten lassen sich beispielsweise direkt auf eine oder mehrere Abteilungen zuweisen. Der Nutzen lässt sich aufgrund der Tatsache, dass die Veränderungen direkt den Use Cases zuordenbar sind, erfassen. Im Anwendungsbeispiel ist dies Software zu Verdrahtungsassistenz, wie z. B. Smart Wiring von E-PLAN.

Der Use Case an sich stellt eine Prozessanpassung im direkten Bereich dar. Die Prozessanpassungen und damit einhergehenden Effizienzsteigerungen lassen sich i. d. R. relativ gut beschreiben und erfassen. Im Anwendungsbeispiel ist dies die Anpassung der Verdrahtungsprozesse unter zur Hilfenahme der Tablets.

Um entsprechende Use Cases nicht nur technisch, sondern auch organisatorisch umzusetzen erfordert es darüber hinaus noch Prozessanpassungen in indirekten Bereichen. Dies stellt den obersten Layer dar. Das abteilungsübergreifende Wesen entsprechender Anpassungen macht dessen Bewertung schwierig, sodass dieser Layer als indirekter, weniger gut erfassbarer Teil beschreibbar ist. Im Anwendungsbeispiel ist dies die Beschaffung und ggf. Aufbereitung der digitalen Daten, welche für die Nutzung der Tablets notwendig sind.

Der tangibele Bereich des Investitionsobjekts ist die benötigte Hardware. Hier sind die mechanische Grundstruktur, die Aktoren und Sensoren sowie die IT-Infrastruktur zu berücksichtigen. Im Anwendungsbeispiel sind dies die Tablets an sich und die WLAN Infrastruktur.

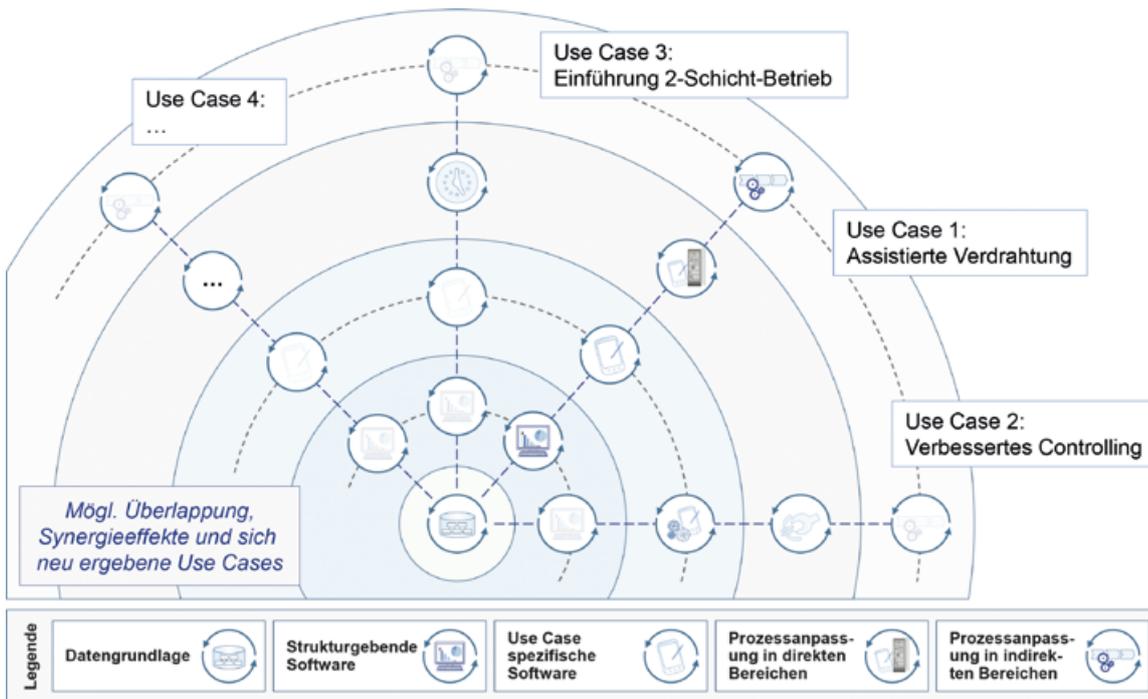


Bild 4. Schalenmodell zur Strukturierung von Investitionen in die Digitalisierung

### Schalenmodell zur Strukturierung von Investitionen in die Digitalisierung

Die zuvor aufgezeigte generische Strukturierung beschreibt die zu bewertenden Facetten von Investitionsobjekten zur Digitalisierung einer Produktion. Die Bewertung von entsprechenden Investitionen vermag häufig negativ ausfallen, obwohl subjektiv empfunden, die Vorteile den Nachteilen deutlich überwiegen.

Zentral bei der Bewertung von Investitionen in die Digitalisierung ist die Erweiterbarkeit des Investitionsobjekts. Ist zunächst ein Use Case wie die assistierte Verdrahtung bei einem Schaltanlagenbauer umgesetzt, lassen sich durch die gleiche Datengrundlage weitere Use Cases umsetzen. Beispielsweise wird ein besseres Controlling ermöglicht, da durch den Einsatz einer assistierten Verdrahtung mithilfe von Tablets in der Produktion die Bearbeitungszeiten besser ausgewertet werden können. Ein weiteres Beispiel ist die Einführung eines 2-Schicht-Betriebs, da die Zusammenarbeit an Projekten und die Übergabe von Projekten zwischen Mitarbeitern ermöglicht wird. Dies ist mithilfe eines klassischen, gedruckten Schaltbuches nur unter großen Aufwänden möglich.

Um eine Datenbasis können so zahlreiche weitere Use Cases generiert werden. Aus der generischen Strukturierung eines Investitionsobjekts in Bild 3 ergibt sich

somit ein Schalenmodell um die Datengrundlage. Dies ist in Bild 4 dargestellt.

Zwischen mehreren Use Cases vermag nicht nur die Datenbasis die gleiche sein, sondern auch die Software und die indirekten Prozessanpassungen. Gleiches gilt für die Mehrfachnutzung der Infrastruktur.

Die Mehrfachnutzung der Datenbasis und die Erweiterbarkeit von Softwarelösungen wird häufig bei einer Investitionsbewertung vernachlässigt und der zukünftige Nutzen somit nicht berücksichtigt. Dabei sind die Use Cases die nutzenstiftenden Elemente in dem Modell, während die weiteren Elemente Aufwände bzw. Kosten erzeugen. Dies führt dazu, dass die Investition in die Digitalisierung einer Produktion häufig einen sehr langfristigen positiven Nutzen erzeugen, während kurzfristig Aufwände überwiegen.

### Anwendung des Schalenmodells

Eingesetzt wird das Schalenmodell zur Strukturierung von Investitionen in die Digitalisierung einer Produktion. Entsprechend den aufgezeigten Beispielen, werden Investitionen bzw. Use Cases der Digitalisierung im Schalenmodell spezifiziert. Es lassen sich daran die notwendigen Schritte zur Umsetzung und die einhergehenden Aufwände aufzeigen. Weiterhin lässt sich der Zusammenhang

zwischen mehreren Use Cases strukturieren, mögliche weitere Use Cases (und Nutzenpotenziale) aufbauend auf Datengrundlage, Infrastruktur oder Prozessanpassungen identifizieren, und eine sinnvolle Umsetzungsreihenfolge ableiten. Mithilfe des Modells können insbesondere Zusammenhänge und Synergien zwischen den Use Cases berücksichtigt werden, da diese häufig die gleichen Datengrundlagen oder auch Software und Prozesse besitzen. Dies ermöglicht eine Strukturierung der Aktivitäten und eine Aufwands- und Nutzenargumentation unter Berücksichtigung von schwer kalkulierbaren Querbeziehungen.

Bild 5 zeigt den Einsatz des Schalenmodells als Strukturierungsmethode in einem Workshop. Ziel dabei war zunächst die Rahmenbedingungen und Voraussetzungen für den Einsatz von Tablets in der Fertigung zur als Verdrahtungsassistenz zu strukturieren. Dabei wurden zahlreiche weitere Potenziale der Tablet-Lösung in der Fertigung identifiziert.

Die Potenziale und Rahmenbedingungen zu dessen Umsetzung sind die Grundlage für eine weitere strukturierte Planung und Bewertung von möglichen Investitionen in der Produktion vor dem Hintergrund der Digitalisierung.

### Literatur

1. Lipsmeier, A.; Bansmann, M.; Röltgen, D.; Kuerpick, C.: Framework for the Identification and Demand-orientated Classification



Bild 5. Schalenmodell zur Strukturierung von Investitionen in die Digitalisierung als Workshopmethode

schäftsführer des Technolienetzwerks Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL). In diesem verantwortet er den Bereich Strategie, Forschung und Entwicklung.

Dr.-Ing. Arno Kühn studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Maschinenbau an der Universität Paderborn und der Lappeenranta University of Technology, Finnland. Seit 2012 arbeitet er am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Hier leitet er die Abteilung Produkt- und Produktionsmanagement, die sich schwerpunktmäßig mit Themen der strategischen Produkt- und Technologieplanung vor dem Hintergrund der Digitalisierung befasst.

Robert Joppen, M.Sc., studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Maschinenbau an der Universität Paderborn, der Universität von Oviedo in Spanien, sowie der Illinois State University in den USA. Während seines Studiums arbeitete er ca. zwei Jahre bei der Managementberatung UNITY AG bzw. dem Deutsche Bahn Management Consulting. Seit 2016 arbeitet er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Herr Joppen ist Mitarbeiter der Gruppe Produktionsmanagement im Bereich der Produktentstehung bei Prof. Dr.-Ing. Dumitrescu. Seine Aufgabenschwerpunkte liegen im Systems Engineering, der Gestaltung der Digitalen Transformation im Rahmen von Industrie 4.0 sowie der Wirtschaftlichkeitsbewertung von Cyber Physischen Systemen.

Dr.-Ing. Sebastian von Enzberg studierte Elektrotechnik an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg und promovierte dort im Dezember 2018 am Lehrstuhl Neuro-Informationstechnik. Seit 2017 ist er am Fraunhofer Institut für Entwurfstechnik Mechatronik tätig und leitet dort seit April 2018 die Gruppe Produktionsmanagement im Bereich Produktentstehung. Als Experte im Themenfeld „Industrial Data Science“ erforscht er die Anwendung von machineellen Lernverfahren und Data Analytics im industriellen Umfeld.

## Summary

**Investment Decisions in the Context of Digitization Using Switch Cabinet Construction as an Example.** The potential of digitization in production ranges from individual machine optimization to the optimization of the entire production planning and control. Within the framework of Industry 4.0, many companies now see the need to invest in their production. In particular, it is difficult for small companies to estimate the economic benefits. This is not least due to a lack of methodological support for evaluations of investments in the context of digitization. In this article we present an approach for structuring this.

## Bibliography

DOI 10.3139/104.112119

ZWF 114 (2019) 7–8; page 483–487

© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG

ISSN 0032–678X

of Digital Technologies. IEEE ICTMod, Marrakech 2018

- FayY, A.; Gausemeier, J.; ten Hompel, M. (Hrsg.): Busert, T.; Lewin, M.; Joppen, R.; Mittag, T.; Pott, C.; Wernecke, M.: Einordnung der Beispiele der Industrie 4.0 Landkarte in die Anwendungsszenarien. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, München 2018
- Rüßmann, M.; Lorenz, M.; Gerbert, P.; Waldner, M.; Justus, J.; Engel, P.; Harnisch, M.: Industry 4.0 – The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. The Boston Consulting Group, 2015
- Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Kühn, A.; Luckey, M.; Plass, C.; Schneider, M.; Westermann, T.: Auf dem Weg zur Industrie 4.0 – Erfolgsfaktor Referenzarchitektur. it's OWL Clustermanagement, Paderborn 2015 DOI: 10.3139/104.111143
- Dumitrescu, R.; Kühn, A.; Steffen, D.; Thielemann, F.: Entwicklung intelligenter technischer Systeme. ZWF 113 (2018) 6, S. 420–425 DOI: 10.3139/104.111937
- Bley, S.; Kilger, C.; Vogel, J.: Industrie 4.0 – das unbekannte Wesen? Ernst & Young GmbH, Stuttgart 2016
- Graumann, S.; Bertschek, I.; Weber, T.; Ohnemus, J.: Wirkungen der Digitalisierung: Vorteile und Hemmnisse. In: Machnig, M. (Hrsg.): Monitoring-Report Wirtschaft DIGITAL 2016. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Königsdruck, Berlin 2016
- Geissbauer, R.; Schrauf, S.; Koch, V.; Kuge, S.: Industry 4.0 – Opportunities and Challenges of the Industrial Internet. PWC, Frankfurt a. M. 2014
- Joppen, R.; Kühn, A.; Dumitrescu, R.; Hupach, D.: Collecting Data in the Assessment of Investments within Production. 12<sup>th</sup> CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (CIRP ICME'18), 18–20 July 2018, Gulf of Naples, Italy, Procedia CIRP 79 (2019), S. 466–471 DOI: 10.1016/j.procir.2019.02.126
- Joppen, R.; von Enzberg, S.; Kühn, A.; Dumitrescu, R.: Data Map – Method for the Specification of Data Flows. 12<sup>th</sup> CIRP Con-

ference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (CIRP ICME'18), 18–20 July 2018, Gulf of Naples, Italy, Procedia CIRP 79 (2019), S. 461–465 DOI: 10.1016/j.procir.2019.02.127

- Dumitrescu, R.; Bremer, C.; Kühn, A.; Trächtler, A.; Friebe, T.: Model-based Development of Products, Processes and Production Resources – A State Oriented Approach for an Integrated System Model of Objects, Processes and Systems. at – Automatisierungstechnik 63 (2015) 10, S. 844–857 DOI: 10.1515/auto-2015-0014
- Tempel, P.; Eger, F.; Lechler, A.; Verl, A.: Schaltschränkbau 4.0 – Eine Studie über die Automatisierungs- und Digitalisierungspotentiale in der Fertigung von Schaltschränken und Schaltanlagen im klassischen Maschinen- und Anlagenbau. Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), Stuttgart 2017
- Joppen, R.; Kühn, A.: Auf dem Weg zur Digitalisierung im mittelständischen Schaltschränkbau – Ein praxiserprobter Leitfaden. In: Begleitforschung Mittelstand-Digital (Hrsg.): Wissenschaft trifft Praxis – Digitale Produktionsmittel im Einsatz. Ausgabe 9, Bad Honnef 2017
- Schuh, G.; Potente, T.; Thomas, C.: Steigerung der Kollaborationsproduktivität durch cyber-physische Systeme. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2014 DOI: 10.1007/978-3-658-04682-8\_14

## Die Autoren dieses Beitrags

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu ist Direktor am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM und Leiter des Fachgebiets „Advanced Systems Engineering“ an der Universität Paderborn. Unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier promovierte er 2010 im Bereich Systems Engineering für intelligente mechatronische Systeme am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. In Personalunion ist Prof. Dumitrescu heute Ge-