

## Zur Beziehung zwischen MES-Funktionen und effizienter Einführung

René Pein<sup>a</sup>, Susanne Purucker<sup>a</sup>, Sabine Vogel<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institute for Information Systems Hof University, Alfons-Goppel-Platz 1, 95028 Hof, Germany

**Abstract:** *In den letzten zehn Jahren wurden viele Vorgehensmodelle für die Einführung von Industrie 4.0 (I40) bzw. Industrial Internet of Things (IIoT) Lösungen vorgeschlagen, insbesondere in der deutschen Literatur. Da sie auf alle Arten von I40-Projekten abzielen, müssen sie notwendigerweise etwas generisch sein und lassen wichtige Details insbesondere für die "Implementierungsphase" vermissen. Aber auch in spezifischen Modellen zur Einführung von Manufacturing Execution Systems (MES) finden sich viele vage Hinweise statt konkreter Ratschläge, wie eine effektive und effiziente Einführung erfolgen kann. Obwohl es sicherlich richtig ist, dass weiche Faktoren wie die Suche nach den richtigen Partnern und ein gutes Change Management, das die Endanwender frühzeitig in den Prozess einbezieht, mindestens ebenso wichtig sind wie technische Aspekte, sollten letztere nicht vernachlässigt werden. In diesem Beitrag werden einige wünschenswerte Merkmale von MES erörtert und wie sie sich positiv auf die Anstrengungen auswirken, die für die Einführung eines solchen Systems in einem kleinen bis mittleren Unternehmen (KMU) erforderlich sind.*

### Motivation

Cyber-physische Systeme, intelligente Produkte und datengesteuerte Prozesse ermöglichen eine höhere Qualität in der Produktion bei gleichzeitiger Minimierung des Ressourcenverbrauchs. Darüber hinaus kann die Digitalisierung dazu beitragen, völlig neue Geschäftsmodelle für Hersteller zu schaffen. Andererseits befindet sich die Branche aufgrund der sich verändernden Bedingungen im Wandel: VUCA-Welt mit hoher Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Mehrdeutigkeit. Auslöser dieser Entwicklungen sind unter anderem die Globalisierung, hochdynamische Produktlebenszyklen, der starke Wettbewerb um begrenzte natürliche Ressourcen, der Klimawandel sowie der demografische Wandel [12]. Der Einsatz digitaler Technologien unterstützt Unternehmen dabei, auf diese Entwicklungen zu reagieren und wettbewerbsfähig zu bleiben. Seit der Einführung der Industrie 4.0 (I40)-Strategie in Deutschland im Jahr 2012 hinken jedoch noch viele KMU (kleine und mittlere Unternehmen) bei der Digitalisierung ihrer Produktion aufgrund einer Vielzahl von Faktoren hinterher. Häufig genannte Hemmnisse sind z.B. hohe Investitionskosten, fehlendes Fachwissen und Personal, Zeitaufwand, keine Notwendigkeit erkennbar, da monetärer Nutzen schwer zu quantifizieren ist, Datenschutz, Infrastruktur & Schnittstellen oder (zu) langes Warten auf Marktreife [15].

Um die KMU angesichts des dringenden Digitalisierungsbedarfs nicht abgehängt zu lassen, muss den Unternehmen die Angst vor den "neuen" Technologien genommen werden.

Aufgrund des zunehmenden Fachkräftemangels stehen vor allem KMU vor der Herausforderung, dass Mitarbeiter Aufgaben übernehmen müssen, die bisher von Kollegen mit höherer Qualifikation und Erfahrung ausgeführt wurden [21]. Die neuen Mitarbeiter brauchen daher eine bessere Unterstützung, auch digital. Wo früher ein Zuruf genügte, können prozessorientierte Assistenzsysteme die Erfahrungslücke (teilweise) schließen [21].

Die Informationstechnologie ist zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor geworden, sowohl für die Unterstützung interner Prozesse als auch für die effiziente Vernetzung mit Geschäftspartnern und Kunden [8]. Angesichts der Vielfalt der KMU können Standardangebote von IT-Dienstleistern die Produktionsprozesse nur rudimentär angemessen unterstützen [8]. Gleichzeitig besteht auf Seiten der KMU ein zunehmender Bedarf, die Transparenz über vorhandene Aufträge und Fähigkeiten zu verbessern, insbesondere vor dem Hintergrund komplexer werdender Prozesse. Es bedarf daher effizienter und effektiver Methoden zur Einführung neuer IT-Systeme zur Unterstützung der Produktionsprozesse in KMU. Insbesondere Manufacturing Execution Systeme (MES) sind notwendig, um die gewünschte Transparenz zu erreichen. In diesem

Beitrag werden bestehende Vorgehensmodelle für die Einführung von I40-Lösungen überprüft und ein eigenes Modell mit Fokus auf die Einführung eines MES vorgeschlagen, das detailliertere Hinweise zu den notwendigen Schritten gibt und eine effiziente Einführung mit den Eigenschaften des MES-Systems verknüpft.

Der Rest des Beitrags ist wie folgt gegliedert. In Abschnitt zwei werden bestehende Vorgehensmodelle für I40 beschrieben und ihre wichtigsten Aspekte hervorgehoben. Als Verbesserung gegenüber der Übersicht in [24] bietet die Beschreibung eine integrierte Sicht auf die Modelle, anstatt sie nebeneinander darzustellen. Im dritten Abschnitt werden weitere Modelle zur Einführung von MES analysiert. Zusätzliche Anforderungen an ein Vorgehensmodell werden in Abschnitt vier aus empirischen Daten abgeleitet. In Abschnitt fünf wird der Vorschlag für das detaillierte Vorgehensmodell vorgestellt, bevor der Artikel mit einer Diskussion und einem Ausblick abgeschlossen wird.

## Vorgehensmodelle für die Einführung von I40-Lösungen

Das übergeordnete Ziel eines jeden I40-Projekts sollte es sein, eine wettbewerbsfähige Position auf dem Markt zu erlangen und zu halten [17]. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, ist die Konzentration auf die Entwicklung von Geschäftsmodellen und das Kundenerlebnis [4], wie msg vorschlägt. Im Gegensatz dazu betonen Matt et al., dass sowohl die horizontale als auch die vertikale Digitalisierung berücksichtigt werden sollte [14], was bedeutet, dass sowohl die interne Prozesseffizienz als auch die Zusammenarbeit mit Geschäftspartnern entlang der Wertschöpfungskette bedacht werden sollte. Dies steht im Einklang mit Kaufmann, der explizit auf die Balance zwischen der Generierung von Mehrwert für den Kunden und der Kostensenkung / Effizienzsteigerung im eigenen Unternehmen hinweist [5]. Um sowohl die übergeordneten als auch die feinkörnigen Ziele festzulegen, bedarf es einer systematischen Vorgehensweise, die den Weg zu einer erfolgreichen Umsetzung weist. Die Übersicht über Vorgehensmodelle in [24] gliedert den Gesamtansatz in fünf Phasen, wie in Abb. 1 dargestellt.

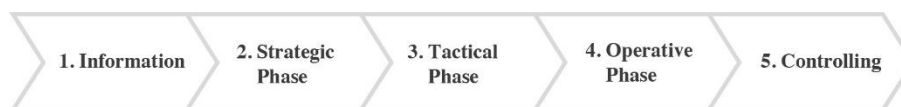


Abb. 1 Phasenabfolge bei der Einführung von I40-Lösungen [24].

Alles sollte mit einer Informationsphase beginnen, die das Ziel hat, ein erstes gemeinsames Verständnis zwischen Technik- und Prozessspezialisten sowie dem produzierenden Unternehmen zu bilden. Die Experten für die Abläufe im Zielunternehmen müssen ein gewisses Verständnis für die Gesamtvision von I40 erlangen und dafür, wie gut die derzeitigen Technologien geeignet sind, diese bereits umzusetzen. Auf der anderen Seite müssen die Berater die Besonderheiten des Unternehmens kennenlernen.

In der strategischen Phase geht es um eine gründliche Analyse des aktuellen Zustands im Unternehmen, einschließlich der Prozesse, Maschinen, Mitarbeiter, Kultur, Organisation und des Digitalisierungsgrads. Darauf aufbauend werden in der taktischen Phase Verbesserungsideen generiert und bewertet, bevor sie in der operativen Phase umgesetzt werden. In einigen Vorgehensmodellen beinhaltet die operative Phase nicht einmal die Umsetzung, sondern befasst sich lediglich mit der Erstellung eines Fahrplans für die Implementierung [14]. In der Controllingphase muss schließlich überprüft werden, ob die angestrebten Ziele tatsächlich erreicht wurden.

In [24] werden 28 Modelle besprochen. Dieser Beitrag konzentriert sich auf diejenigen, die spezifisch für KMU sind und wichtige Aspekte im Vergleich zu den bereits diskutierten Modellen hinzufügen. Darüber hinaus bezieht er White Papers von Beratungsunternehmen und anderen Praktikern in die Untersuchung ein, da es an einer akademischen Behandlung des Themas mangelt [13]. Da I40 ein Thema ist, das stark von Deutschland aus getrieben wird, wird auch deutsche Literatur in die Analyse einbezogen.

In der Informationsphase sollten die neuen Technologien und ihr Potenzial bewertet werden [17]. Matt et al. schlagen Workshops und Seminare vor, um Informationsdefizite abzubauen und eine erste Orientierung zu erhalten [14]. Der Besuch von anderen Unternehmen sowie von Messen, um Inspirationen zu erhalten und sich über mögliche Ansätze zu informieren, ist eine gute Ergänzung dazu [3,18].

In der Strategiephase sollte nach der Informationsphase eine Selbsteinschätzung des Unternehmens zum aktuellen Stand auf dem Weg zu I40 erfolgen [14]. Sie sollten dazu eine detaillierte Checkliste zur Bestimmung ihres Reifegrades verwenden [5]. Die Verwendung eines Reifegradmodells zur Orientierung kann als gute Praxis angesehen werden [5,10,22]. Kaufmann empfiehlt die Verwendung eines Modells mit den Stufen 0 (offline), 1 (rudimentär), 2 (vernetzt), 3 (fortgeschritten), 4 (handlungsorientiert), 5 (Geschäftsmodell). Das etablierte acatech Reifegradmodell [22] ist ähnlich strukturiert und schlägt die Stufen 1 (Computerisierung), 2 (Konnektivität), 3 (Sichtbarkeit), 4 (Transparenz), 5 (Vorhersagbarkeit) und 6 (Adaptierbarkeit) vor.

Nach diesem ersten Schritt ist eine detailliertere Analyse des Ist-Zustandes im Unternehmen notwendig. Die Prozessverbesserung hat hier eine große Bedeutung [17]. Unternehmen sollten sich Zeit für eine strukturierte und detaillierte Modellierung der Prozesse bzw. Prozessstrukturen nehmen [21]. Neben den Prozessen sind die Daten ein zweiter Schlüsselfaktor für I40. Kaufmann nennt gute Datenflüsse und die Fähigkeit, Datenanalysen durchzuführen, als erstrebenswertes Ziel [5]. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hebt Daten noch stärker hervor und fordert, Datenzugriff und -verfügbarkeit zu ermöglichen, datengetriebene Prozesse zu gestalten und eine intelligente Nutzung von Daten anzustreben [25]. Auch die Pläne für Arbeitsplätze der Zukunft sollten in die Überlegungen mit einbezogen werden [18].

In der taktischen Phase müssen die Gesamtziele des Unternehmens in Bezug auf I40 in konkrete Maßnahmen heruntergebrochen werden, um die bei der Analyse in der strategischen Phase festgestellten Defizite zu beheben. Dies sollte separat geschehen, um Ideen für die Umsetzung von Verbesserungen und deren Bewertung zu trennen [26]. Die Ideenfindung kann durch Kreativitätsmethoden wie Design Thinking unterstützt, durch Beratung gefördert und durch Werkzeuge wie die I40-Toolbox inspiriert werden (ebd.). Die anschließende Bewertung sollte eine fundierte Wahl zwischen cloudbasierten und selbst gehosteten Systemen [4] sowie eine Make-or-Buy-Entscheidung beinhalten. Dabei sollten die Entscheidungsträger unterscheiden zwischen Systems-of-Record auf der einen Seite, die stabil und langlebig sein müssen, und Systems-of-Engagement auf der anderen Seite, die in der Lage sein müssen, sich schnell an veränderte Marktanforderungen anzupassen [4]. Heutzutage müssen MES jedoch sehr flexibel sein, obwohl sie auch als Aufzeichnungssysteme (z. B. für Audits und Kundenbeschwerden) betrachtet werden können. Die zu planenden Maßnahmen sollten die Organisation, die Prozesse, die Technik und den Menschen als Handlungsfelder einbeziehen [18]. Diese Forderung deckt sich mit dem Vorschlag von acatech, die Organisation (intern/extern), Ressourcen, Informationssysteme und Kultur als relevante Handlungsfelder sehen. Beide vorgeschlagenen Aufteilungen können als Erweiterung des bekannten TOM-Modells (Technik, Mensch und Organisation [6]) und des eigenständig entwickelten HOT-fit-Modells [29] gesehen werden. Die Autoren der Bremer Wirtschaftsförderung schlagen darüber hinaus vor, den kontextbasierten Informationszugang über anwendungsspezifische Benutzerschnittstellen (UI) zu ermöglichen [18]. Dies deckt sich mit der Forderung nach iterativer Verbesserung der UI in [21]. Schließlich müssen Integration, Standardschnittstellen, Data Governance (Qualität) und IT-Sicherheit bei der Implementierung berücksichtigt werden. Das Ergebnis der taktischen Phase ist eine Roadmap mit mehreren Projekten, die zusammen das Unternehmen einen großen Schritt in Richtung der Vision von I40 bringen, aber auch unabhängig voneinander sinnvoll sind. Ein Investitions- und Kapazitätsplan ist ebenfalls erforderlich [26].

In der operativen Phase müssen die geplanten Maßnahmen umgesetzt werden. Hier werden die meisten Vorgehensmodelle aus der Literatur aufgrund ihres generischen Charakters eher vage. Bildstein und Seidelmann schlagen ein iteratives Vorgehen vor, wie es heute bei agilen Softwareentwicklungsmethoden wie Scrum [3] üblich ist. Zunächst sollten Pilotprojekte nach der 80:20-Regel identifiziert werden. Nach deren erfolgreicher Umsetzung und Evaluation kann ein Rollout in der gesamten Organisation folgen (ebd.). Ein ähnlicher Vorschlag, mit Demonstratoren zu arbeiten und I40-Ideen zu testen, bevor ein vollständiges

System eingeführt wird, findet sich in [23] und [21]. Alle getroffenen Maßnahmen, Entscheidungen usw. sollten gründlich dokumentiert werden, und die Einschränkungen und die Zuverlässigkeit der Hardware, insbesondere wenn es sich um Consumer-Hardware handelt, sollten nicht unterschätzt werden [21].

Die abschließende Kontrollphase ist nur in wenigen Modellen vorgeschrieben und auch hier fehlen Details. Bildstein und Seidelmann sprechen von einer kontinuierlichen Erfolgskontrolle [3]. Die Autoren der Bremer Wirtschaftsförderung raten Unternehmen, ihren Erfolg nachhaltig zu sichern, indem sie sich immer wieder Zeit für Innovationen nehmen, sich an Forschungsprojekten beteiligen und ein festes Review-Team zur kontinuierlichen Überwachung der Produktionsprozesse einrichten [18].

Alle Modelle gehen auf zusätzliche Faktoren ein, die als Querschnittsthemen betrachtet werden können. Der wichtigste ist die Notwendigkeit eines angemessenen Change Managements [17]. Dies ist ein komplexer Prozess, der stark von der Unternehmenskultur abhängig ist. Er lässt sich jedoch auf mindestens zwei Aspekte herunterbrechen. Diese sind zum einen die frühzeitige Einbindung relevanter Mitarbeiter in den Innovationsprozess [18] und zum anderen die Qualifizierung der Mitarbeiter [23]. Die Qualifikation der Mitarbeiter ist z.B. erforderlich, um Datenanalysesoftware nutzen, fortgeschrittene Abfragen durchführen und die Ergebnisse interpretieren zu können [15]. Nicht nur technische Fähigkeiten, sondern auch weiche Faktoren wie die Entwicklung einer Aufgeschlossenheit für Technologie-Einsatz sollten geschult werden [10]. Schulungen sollten in die täglichen Arbeitsabläufe integriert werden [18], um die Lücke zwischen dem Erlernen neuer Konzepte und deren Anwendung zu schließen. Mikrotrainings sind eine gute Methode, um dies zu erreichen, und eignen sich besonders für diejenigen, deren Grundkenntnisse aufgefrischt oder verbessert werden müssen und die Informationen zur sofortigen Anwendung in ihrer täglichen Praxis benötigen [11]. Die frühzeitige Einbindung und Schulung in einem iterativen Ansatz, um Feedback für weitere Verbesserungen des Systems zu erhalten, kann die Akzeptanz der neuen IT-Lösung erhöhen, was von entscheidender Bedeutung ist.

Als weiterer weicher Faktor wird die Zusammenarbeit in Unternehmensnetzwerken vorgeschlagen [23]. Insbesondere KMU sind regelmäßig mit den Aufgaben überfordert, die erforderlich sind, um in einem I40-Projekt voranzukommen. Unternehmensnetzwerke können bei der gemeinsamen Entwicklung helfen und ein Ökosystem für fruchtbare Diskussionen bieten [17] sowie wertvolle externe Perspektiven auf die Herausforderungen eines Unternehmens liefern [18]. Allerdings sollten sich die Unternehmen nicht zu sehr auf externe Hilfe verlassen, sondern auch eigene Kompetenzen entwickeln [17]. Interdisziplinäre, funktionsübergreifende Projektteams können dabei helfen [1,28]. Sie sollten in flexible Communities of Practice eingebettet sein und sich häufig an team-übergreifender Zusammenarbeit beteiligen [18].

## Einführung von MES Systemen

Um für die operative Phase mehr Details zu liefern als die im vorigen Kapitel vorgestellten generischen Modelle, muss der Umfang auf eine konkrete Umsetzungsmaßnahme beschränkt werden. Da Manufacturing Execution Systeme (MES) für I40 eine so herausragende Rolle spielen [2,13], konzentriert sich das Vorgehensmodell auf die Einführung eines MES. MES sind neben Enterprise Resource Planning (ERP), Supply Chain Management (SCM) und anderen eines der wichtigsten Enterprise Information Systems (EIS) im Unternehmen [19]. Daher sind die vorgeschlagenen Einführungsprozesse manchmal sehr nah an den Standardsätzen für jede Art von Informationssystem. Wiendahl et al. [27] fügen zumindest die Prozessbewertung und das Prozessdesign als zwei zusätzliche Phasen für einen MES-Einführungsprozess hinzu. Danach ist der vorgeschlagene Prozess mit der Erstellung der Anforderungsspezifikation, der Marktforschung, der Vorauswahl und der endgültigen Auswahl der Software eher allgemein gehalten, bevor ein Pflichtenheft erstellt, ein Vertrag unterzeichnet und mit der Implementierung begonnen wird.

MES bestehen jedoch wie die anderen EIS aus Computern, Software, Menschen, Prozessen und Daten [19]. Daher sollten auch Menschen, Hardware und Daten in das Einführungsmodell einbezogen werden. Ein grober Projektplan nach Kletti [7] macht bereits zum Teil. Er setzt dort an, wo Wiendahl et al. aufhören und schlägt vor, zunächst eine (1) Produktschulung der Hauptnutzer durchzuführen. Dann sollte (2) ein

Sicherheits- und Schutzkonzept sowie ein Schnittstellenkonzept erstellt und detailliert werden. Es folgen (3) die Schaffung bzw. Vervollständigung der Infrastruktur (Netzwerk, Strom, etc.) sowie (4) die Definition und Beschaffung von Hardwarekomponenten (Server, PCs, etc.). Dann kann (5) die Installation eines Test- und Trainingsystems erfolgen, gefolgt von (6) der Bereitstellung von Testdaten. Danach müssen (7) Schnittstellen zu anderen Systemen definiert werden, bevor der (8) Pilotbetrieb (in mehreren Stufen) erfolgen kann. Die Schulung der Systembenutzer (9) sollte zusammen mit der Erstellung (10) einer Benutzerdokumentation oder eines Benutzerhandbuchs erfolgen. Schließlich kann das System (11) eingeführt werden (in mehreren Schritten), bevor das Projekt mit einer (12) Projektabschlussbesprechung beendet werden kann.

Geht man einen Schritt weiter ins Detail, ist eine wichtige Maßnahme im Rahmen der Implementierung das Customizing und dort insbesondere die individuelle Anpassung der Benutzeroberflächen der MES-Software [27]. Ein klares UI-Maskendesign (z.B. bedarfsgerechte Zusammenstellung der Auswahlmenüs, vereinfachte Benutzerführung durch geeignete Positionierung der Buttons) erhöht die Akzeptanz der neuen Software deutlich. Da es sich bei der Konfiguration um benutzerspezifische Anpassungen handelt, ist es von großer Bedeutung, diese detailliert zu dokumentieren. Dies kann in der späteren Betriebsphase des MES den Aufwand für die Behebung von Fehlern deutlich reduzieren. Darüber hinaus sollten MES gewählt werden, die umfangreiche Anpassungen erlauben, ohne die Updatefähigkeit zu beeinträchtigen.

## Empirische Untersuchung

Die Forschungsarbeiten wurden im Rahmen des öffentlich geförderten Projekts Moonrise mit insgesamt 19 Projektpartnern durchgeführt. Als Anwendungspartner dienen produzierende Unternehmen mit 20 bis 120 Mitarbeitern und bis zu 15 Millionen Euro Umsatz pro Jahr aus unterschiedlichen Branchen. Im Rahmen des Projekts führten wir qualitative Interviews mit den Teilnehmern durch, um ihre bisherigen Erfahrungen mit der Einführung von IT-Systemen in produktionsnahen Bereichen sowie ihre Ziele für das I40-Projekt zu erheben.

Viele wussten bereits, dass sie es ohne externe Partner nicht schaffen können, da sie in der Regel nur etwa einen IT-Spezialisten pro 100 Mitarbeiter beschäftigen. Sie sind sich auch der Bedeutung von Daten für ihre künftige Produktion und des Kapitalbedarfs für den Einsatz moderner Technologien bewusst. Wie in [9] berichtet, sind die meisten KMU weder datenfähig noch verfügen sie über das Kapital, um ihren vorhandenen Maschinenpark aufzurüsten. Die meisten ihrer vorhandenen Maschinen verfügen nicht über Datenerfassungsfunktionen. Sie wünschen sich Hilfe bei der Nachrüstung dieser Maschinen mit Sensoren, um diese Einschränkung mit einem kleinen Budget zu überwinden, und brauchen Hilfe bei der Vorstellung, was sie mit den Daten anfangen können. Einige Anwendungspartner verfügen zwar über Maschinen mit Netzwerkschnittstelle, haben diese aber nicht an das interne Netzwerk angeschlossen, weil sie entweder keine Vorstellung davon haben, was sie mit den Daten anfangen sollen, oder weil sie Angst vor Hackerangriffen haben. Die meisten Befragten nutzen alte Produktionsanlagen sowie veraltete Informationssysteme (manchmal sogar ohne Support). Sie wollen sicherstellen, dass der Übergang von den alten zu den neuen Systemen reibungslos verläuft (Parallelbetrieb beider Systeme für einen bestimmten Zeitraum). Einige sind sich auch bereits der Notwendigkeit einer Schulung der Hauptbenutzer bewusst, und einige wünschen eine kontinuierliche Weiterentwicklung des Systems nach der ersten Inbetriebnahme.

Die wichtigsten Ziele der Unternehmen bei der Einführung eines MES sind:

- Verkürzung der Zeit, um die richtigen Informationen zu finden. Bisher müssen papierbasierte Informationen wie Maschinenparameter, die für ein bestimmtes Werkzeug eingestellt werden müssen, um ein bestimmtes Gut zu produzieren, im entsprechenden Ordner im Archiv gefunden werden.
- Vermeiden von veralteten Informationen an der Maschine. Manchmal ändern sich Informationen kurzfristig, und bei papiergestützten Prozessen ist es schwierig, die Informationen auf dem Papier rechtzeitig zu aktualisieren.

- Informationen über Probleme im Produktionsprozess an die Entscheidungsträger weiterleiten. Papiergestützte Informationen ermöglichen zwar Freitextkommentare, aber diese Informationen gelangen trotzdem oft nicht zu den richtigen Personen, zumindest nicht rechtzeitig.
- Erleichtern der Rückverfolgung von Problemen, die vom Kunden gemeldet wurden, zu Auffälligkeiten während der Produktion mit detaillierten Daten über die durchgeführten Produktionsschritte und das verwendete Material.
- Erlangen eines besseren Überblicks darüber, was derzeit produziert wird, wie gut die Maschinen ausgelastet sind und wie lange es dauert, bis ein bestimmter Auftrag fertig ist.
- Bessere Nachkalkulation der tatsächlichen Kosten im Vergleich zu den geplanten Produktionskosten.
- Unterstützung der Feinplanung, welcher Produktionsauftrag auf welcher Maschine und in welcher Reihenfolge ausgeführt werden soll. Während die Grobplanung bei mehreren Anwendungspartnern im ERP-Systemen erfolgt, wird die Feinplanung derzeit entweder auf Papier oder mit Excel durchgeführt.

## Eigenes Vorgehensmodell

Das Moonrise-Vorgehensmodell kann als eine Art "Best of" der in Abschnitt 2 und 3 beschriebenen Modelle gesehen werden, das die weichen Faktoren wie Co-Creation und Wissensaustausch in Unternehmensnetzwerken, Change Management mit frühzeitiger Einbindung der Endanwender und Mikrotrainings-basierte Qualifizierung der Mitarbeiter sowie funktionsübergreifende und interdisziplinäre Teams aus Experten des Anwendungspartners, Prozessberatern, IT-Spezialisten und Wissenschaftlern betont. Des Weiteren werden die notwendigen Schritte zur Einführung von MES sowie die Nachrüstung von Datenerfassungs- und Datenanalyseplattformen zur intelligenten Nutzung von Daten zur Verbesserung der Produktion inkludiert. In diesem Abschnitt werden die Schritte für die Einführung des MES vorgestellt. Für die anderen Aspekte gibt es andere Vorlagen und Checklisten für die operative Phase. Die übrigen Schritte des Vorgehensmodells bleiben gleich (siehe Abb. 2). Das resultierende Modell kann mittels zwei ineinandergreifenden Entwicklungszyklen beschrieben werden. Zum einen gibt es einen großen Zyklus zur Definition der einzelnen Maßnahmen, die das Unternehmen umsetzen will (Phasen 3-5). Für jede Maßnahme gibt es eine Make-or-Buy-Entscheidung mit einer gründlichen Analyse der auf dem Markt verfügbaren Lösungen und einer groben Kostenschätzung für die Entwicklung einer eigenen Lösung, vorzugsweise auf der Grundlage eines bestehenden Open-Source-Projekts. Sie benötigen auch eine Priorisierung der verschiedenen Maßnahmen und eine Abschätzung, welche davon Sie sich im Hinblick auf Störungen des Tagesgeschäfts und in Bezug auf die Personalkapazität externer und interner Ressourcen parallel leisten können. Ein Multiprojektmanagement ist notwendig, um die Abhängigkeiten zwischen den Maßnahmen zu erfassen. So ist es z.B. notwendig, zunächst Nachrüstungsmaßnahmen durchzuführen, um Daten verfügbar zu machen, bevor es sinnvoll ist, eine Datenerfassungs- und Analyseplattform wie ein MES oder eine Business Analytics Suite zu implementieren.

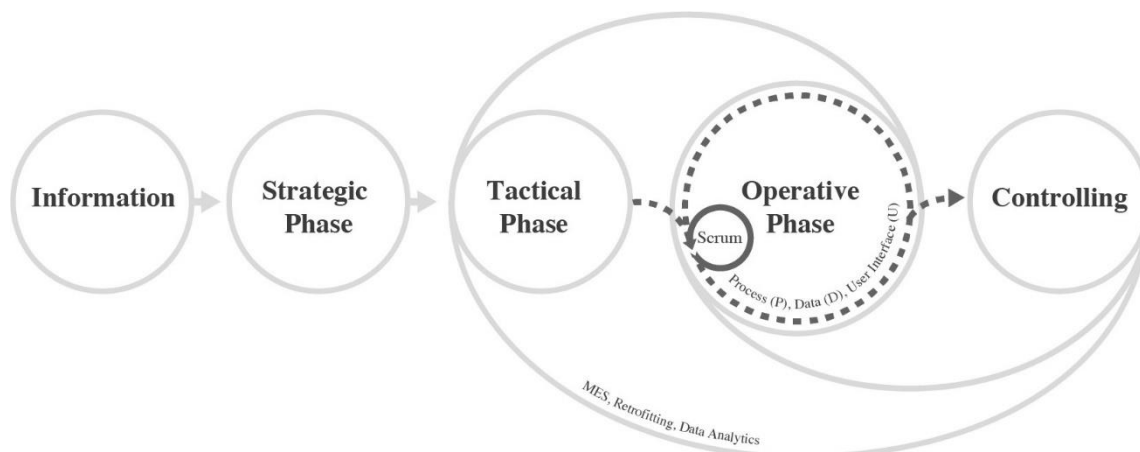


Abb. 2 Illustration eines eigenen Vorgehensmodells, das die äußeren und inneren Entwicklungszyklen zeigt (eigene Darstellung).

Für jede Maßnahme gibt es einen inneren Zyklus, der in agiler Weise mit einem Product Owner, einem Scrum Master, einem Product Backlog, einem Sprint Backlog und Produktinkrementen arbeitet. In der Regel sind die Sprint-Zyklen in I40-Szenarien länger als eine Woche. Wie in anderen Scrum-Projekten müssen Sie zunächst an den Anforderungen arbeiten, bis diese detailliert genug für die Umsetzung sind. Handelt es sich bei dem einzuführenden System um eine Standardsoftware, kümmert sich das Team um das Customizing und nicht um die Softwareentwicklung.

Wie von Wiendahl et al. [27] hervorgehoben, ist die Anpassung des einzuführenden MES ein wichtiger Schritt. Um dies zu erreichen, muss das MES entsprechend den Produktionsprozessen und Datenstrukturen des Unternehmens arbeiten. Zudem sollte die Benutzeroberfläche auf die Bedürfnisse der Endbenutzer zugeschnitten sein, um die Akzeptanz zu erhöhen. Zu diesem Zweck sollte das MES gut geeignete Möglichkeiten zur Anpassung oder besser noch zur Konfiguration (keine Programmierung) bieten.

Bereits in der Strategiephase wurden die **Prozesse** auf einer groben Ebene nach dem Vorgehensmodell erfasst. Dies wird typischerweise von den Prozessberatern durchgeführt, um Verbesserungspotenziale zu finden. Für diese spätere Anpassung können diese Prozessmodelle häufig nicht wiederverwendet werden, da sie zu grob und nicht ausführbar sind. Da die Anpassung in der Regel von IT-Spezialisten und nicht von Prozessberatern vorgenommen wird, wird die Wiederverwendung auch durch das "Not-invented-here"-Syndrom behindert. Wir schlagen vor, diese beiden Schritte der Prozessmodellierung eng miteinander zu verknüpfen, indem die bestehenden Modelle so verfeinert werden, dass sie ausführbar werden und alle notwendigen Details enthalten, damit das MES den Prozess unterstützen kann. Dies setzt voraus, dass die Prozessberater die gleiche Prozessnotation wie das MES verwenden. Wir schlagen hier die Verwendung des etablierten Standards BPMN vor, der z.B. für die Anpassung von HiCuMES, einem hochgradig anpassbaren MES [16], wiederverwendet werden kann. In unserem iterativen Ansatz werden zunächst die grundlegenden Abläufe der Prozesse dokumentiert (P1). Dann müssen Sonderfälle erfasst werden, wenn das MES auch diese unterstützen soll (P2). Im nächsten Schritt sollten Schnittstellen zu bestehenden Systemen in die Prozesse eingebunden werden (P3). Dazu gehören insbesondere das Lesen oder Schreiben von Daten aus Maschinen, Waagen und einem eventuell vorhandenen CAQ-System sowie das Zurückschreiben von Daten in das ERP-System. Diese werden in BPMN mit Serviceaufgaben modelliert. HiCuMES stellt hierfür mehrere vordefinierte Service-Tasks mit entsprechendem "Code behind" zur Verfügung. Flowable, eine Open-Source-Prozessmanagement-Lösung, enthält dafür eine Service-Registry. Außerdem muss der Datenfluss für jeden Prozessschritt (was geht rein, was kommt raus) definiert werden (P4). Dies stellt auch die Verbindung zwischen der Prozessmodellierung und der Anpassung der Benutzeroberfläche her. Schließlich müssen einige technische Aspekte hinzugefügt werden, um sicherzustellen, dass die Prozesse ausführbar sind und die Anforderungen des MES erfüllen (P5). Im Falle von HiCuMES bedeutet dies z.B., dass die IDs der Vorgänge in HiCuMES mit den IDs der modellierten Prozesse in der BPMN übereinstimmen müssen, genau wie die IDs der Maschinengruppen mit den Pool-/Teilnehmer-IDs in der BPMN übereinstimmen müssen.

Die **Datenflüsse** (D1) sind bereits teilweise in P4 erfasst. Leider hat BPMN im Gegensatz zu anderen Prozessmodellierungsstandards wie ARIS [20] keine explizite Datensicht. Es spezifiziert jedoch ein Datenobjekt und ein Datenspeicher-Modellelement, die verwendet werden können, um Datenflüsse direkt im Prozessmodell anzuzeigen. Flowable verfügt über einen eigenen GUI-Editor zur Definition von Datenfeldern, die mit den Datenobjekten verbunden sind, sowie über Servicemodelle, die definieren, wie die Daten aus einem Datenspeicher gelesen oder in diesen geschrieben werden können. Dabei werden sowohl Datenbanken als auch RESTful Webservices unterstützt. Signavio verfügt über eine Funktion namens Glossar, bei der es sich im Wesentlichen um ein Objekt-Repository handelt, das die Wiederverwendung von Modellelementen wie Datenspeichern ermöglicht. Da Camunda, die in HiCuMES verwendete Prozess-Engine, nicht über solche Funktionen verfügt, wird HiCuMES mit einem eigenen Datenbank-Editor geliefert, der Erweiterungen des Datenschemas (D2) ermöglicht, sowie mit einem Schema-Mapper, um Daten in und aus der internen Datenbank auf externe Datenspeicher (D3) wie das ERP-System, Maschinen oder computerisierte Waagen abzubilden. Dabei unterstützt es JSON, XML und CSV/TSV als Datenformat sowie Dateisystem, SMB, CMIS,

SOAP, REST und OPC-UA als Datenzugriffsprotokolle. Auf Feldbusgeräte kann mit PLC4j in einem eigenen Plugin zugegriffen werden, das auf dem in HiCuMES verwendeten PF4j-Framework basiert. Werden diese Werkzeuge direkt für die initiale Analyse von Systemschnittstellen eingesetzt, anstelle von nicht-integrierten Werkzeugen wie Postman oder SOAP-UI, können zusätzliche Synergien zwischen Ist-Analyse und Anpassung erzeugt werden.

Der schwierigste Teil ist jedoch, die semantische Bedeutung der oft kryptischen Felder in den Datenschemata der bestehenden Systeme zu verstehen. Kein Tool kann dabei helfen, wenn keine Dokumentation verfügbar ist (z.B. im OpenAPI-Format). Die einzige Möglichkeit besteht darin, sich die Benutzeroberfläche der Maschine anzusehen und den Hersteller zu fragen, welcher Datenpunkt an einer bestimmten Stelle des Bildschirms angezeigt wird.

Bei der Abbildung externer Daten auf das MES kann zwischen Stammdaten (D3a) wie Produkttypen und Maschinengruppen sowie Bewegungsdaten (D3b) wie Fertigungsaufträge oder Produktions- und Ausschussmeldungen unterschieden werden. Für die Zuordnung von Datenfeldern zu Prozessschritten wird das Camunda-Formularpanel im BPMN-Modellierer verwendet (D4).

Die **Benutzeroberfläche** steht in direktem Zusammenhang mit diesem letzten Schritt der Datenmodellierung D4. Um sie anzupassen, muss der Anwendungspartner entscheiden, welche Daten auf welchem Bildschirm sichtbar sein sollen und wie sie beschriftet werden sollen (U1). Dies kann in HiCuMES mit Hilfe des Forms-Panels [16] geschehen, das somit eine feingranulare Kontrolle darüber erlaubt, welche Felder auf welcher UI-Maske angezeigt werden, so dass das UI kontextualisiert wird und für jeden Prozessschritt genau die benötigten Informationen anzeigt. In einem nächsten Schritt werden die Felder in schreibgeschützte und beschreibbare Felder unterteilt (U2). Um dies benutzerfreundlicher zu gestalten, wird HiCuMES mit einem Plug-In für den Camunda Modeler ausgeliefert, das ein Kontrollkästchen für die Sichtbarkeit einbindet, anstatt "readonly" als Validierungsbedingung eintragen zu müssen. Auf diese Weise definierte Formularfelder müssen mit demselben Schema-Mapper, der in Schritt D3 verwendet wird, auf das HiCuMES-Datenschema (U3) abgebildet werden. Schließlich kann das vordefinierte Layout der UI-Maske mit Hilfe des HiCuMES UI-Editors verändert werden (U4). Dieser generiert JSON-Konfigurationsdateien für Angular formly, die in HiCuMES verwendete UI-Bibliothek, zusammen mit benutzerdefiniertem CSS, um auch firmenspezifische Farben, Schriftarten und Größen zu ermöglichen. Die Anpassung der Benutzeroberfläche (UI) der MES-Software [27] ist besonders wichtig für die Terminals in der Fertigung, die Informationen für weitere Abläufe anzeigen sowie die Rückmeldung von Daten über den Zustand der Maschinen und des Produktionsprozesses ermöglichen, die (noch) nicht automatisch erfasst werden können. Dieser Anwendungsfall wird manchmal als "mobiles MES" bezeichnet [27]. Die Menschen, die dort arbeiten, sind nicht an die Arbeit mit Computern gewöhnt und benötigen daher eine maßgeschneiderte Benutzeroberfläche, die sowohl physische Einschränkungen wie große Touch-Targets für große Hände als auch Interaktionselemente, die diesen Menschen vertraut sind, berücksichtigt.

Ein wünschenswertes Merkmal des MES ist schließlich die Möglichkeit, kundenspezifischen Code einzubinden, ohne die Update-Möglichkeiten der Standardsoftware zu beeinträchtigen. Die Kunden sollten in der Lage sein, von künftigen Aktualisierungen des Basissystems zu profitieren, ohne dass alle ihre Anpassungen verloren gehen. Solange die oben beschriebenen Mechanismen verwendet werden, ist dies gewährleistet, da es sich streng genommen nur um Konfiguration und nicht um Anpassung im engeren Sinne handelt. In der Praxis ist es jedoch realistischer, davon auszugehen, dass eine Code-Entwicklung in geringem Umfang erforderlich ist, anstatt ohne Code-Entwicklung auszukommen. In HiCuMES ist dies möglich, wenn Service-Tasks innerhalb der Prozesse verwendet werden und der dahinter liegende Code nicht direkt auf interne HiCuMES-Klassen zugreift, sondern die offizielle API nutzt. Letztere muss in zukünftigen Versionen noch verbessert werden.



## Diskussion und Ausblick

Trotz der Fülle von Vorgehensmodellen für die Einführung von I40-Lösungen mangelt es an konkreten Hinweisen, wie die Implementierung solcher Lösungen durchzuführen ist. Dies ist besonders schwerwiegend für KMU, die versuchen, durch die Einführung eines MES Wettbewerbsvorteile zu erhalten und eine datengestützte Entscheidungsfindung für ihre Produktionsprozesse einzuführen. Der Beitrag stellt ein neues Vorgehensmodell vor, das die hilfreichsten Elemente bestehender Modelle zusammenfasst, sie mit konkreten Schritten zur Einführung eines MES aus der Literatur kombiniert und weitere Details zur Vorgehensweise bei einem solchen Vorhaben liefert. Es zeigt auf, dass bestimmte Eigenschaften eines MES, insbesondere die Anpassungsmöglichkeiten, eng damit zusammenhängen, wie effizient ein solches System eingeführt werden kann, indem nicht nur die Anpassung oder Konfiguration selbst beschleunigt wird, sondern zusätzlich Synergien mit der Ist-Analyse in der strategischen Phase erzeugt werden. Um dies zu erreichen, benötigt das einzuführende MES grafische Editoren für die Modellierung der Produktionsprozesse mitsamt den Datenflüssen, Schnittstellen zu anderen Informationssystemen sowie die Anpassung der Benutzeroberfläche. Eine Einschränkung des Ansatzes ist das Henne-Ei-Problem der freien Wahl eines beliebigen, für das Unternehmen geeigneten MES im Gegensatz zur Einschränkung, ein MES mit solchen Anpassungswerkzeugen wie oben beschrieben zu verwenden, um die vom Vorgehensmodell vorgeschlagenen Synergien zu nutzen.

## Danksagung

Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 02L20B000 im Rahmen des Projektes "Mass Customization zur Einführung produktionsnaher IT-Systeme in Unternehmensnetzwerken" im Programm "REGION.innovativ: Gestaltung von Arbeitswelten der Zukunft in strukturschwachen Regionen" unterstützt.

## Quellenangaben

- [1] Anderl, R., Picard, A., Wang, Y., Fleischer, J., Dosch, S., Klee, B., Bauer, J. (2015). Leitfaden Industrie 4.0 - Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand, Frankfurt, VDMA Forum Industrie 4.0.
- [2] Aramja, A., Kamach, O., Elmeziane, R. (2021). Companies' perception toward manufacturing execution systems., *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708), 11(4).
- [3] Bildstein, A., Seidelmann, J. (2014). Industrie 4.0-Readiness: Migration zur Industrie 4.0-Fertigung., *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, Springer, pp. 581–597.
- [4] Daske, L., Engelschall, R.S., Gutzeit, C., Kansy, Rafael, Müller, Achim, Schäfer, Michael, Wacha, Erwin. (2018). *Digitale Transformation - Operationalisierung in der Praxis*, Munich, Germany, msg systems AG.
- [5] Kaufmann, T. (2015). *Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge: der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit*, Springer.
- [6] Kidd, P.T. (1990). Organisation, people and technology: Towards continuing improvement in manufacturing., *Computer Integrated Manufacturing*, Springer, pp. 387–398.
- [7] Kletti, J. (2007). Einführung eines MES im Unternehmen, Konzeption und Einführung von MES-Systemen: Zielorientierte Einführungsstrategie mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Fallbeispielen und Checklisten, pp. 209–260.
- [8] Knothe, T., Gering, P., Rimmelpacher, S.O., Maier, M. eds. (2020). *Die Digitalisierungshürde lässt sich Meister(n)*, Berlin, Springer.
- [9] Kolla, S.S.V.K., Lourenço, D.M., Kumar, A.A., Plapper, P. (2022). Retrofitting of legacy machines in the context of Industrial Internet of Things (IIoT), *Procedia Computer Science*, 200, pp. 62–70.
- [10] Lanza, G., Nyhuis, P., Ansari, S.M., Kuprat, T., Liebrecht, C. (2016). Befähigungs- und Einführungsstrategien für Industrie 4.0: Vorstellung eines reifegradbasierten Ansatzes zur Implementierung von Industrie 4.0, *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 111(1–2), pp. 76–79. DOI: 10.3139/104.111462.
- [11] Lukosch, H., De Vries, P. (2009). Mechanisms to support Informal Learning at the Workplace, *Proceedings of ICELW*, 9.
- [12] Mack, O., Khare, A., Krämer, A., Burgartz, T. (2015). *Managing in a VUCA World*, Berlin, Springer.
- [13] Mantravadi, S., Møller, C. (2019). An overview of next-generation manufacturing execution systems: how important is MES for industry 4.0?, *Procedia Manufacturing*, 30, pp. 588–595.
- [14] Matt, D.T. (2018). *KMU 4.0 - Digitale Transformation in kleinen und mittelständischen Unternehmen*, GITO Verlag, 2018.
- [15] Niemeyer, C.L., Gehrke, I., Müller, K., Küsters, D., Gries, T. (2020). Getting Small Medium Enterprises started on Industry 4.0 using retrofitting solutions, *Procedia Manufacturing*, 45, pp. 208–214.
- [16] Peinl, R., Perak, O. (2019). BPMN and DMN for Easy Customizing of Manufacturing Execution Systems., *International Conference on Business Process Management*, Springer, pp. 441–452.

- [17] Peter, M.K. (2017). *KMU-Transformation: Als KMU die Digitale Transformation erfolgreich umsetzen.: Forschungsergebnisse und Praxisleitfaden.*, BoD – Books on Demand.
- [18] Raveling, J., Wirtschaftsförderung Bremen. (2016). *Mit dem Leitfaden Industrie 4.0 Digitalisierungsprojekte starten.* Available at: <https://www.wfb-bremen.de/de/page/stories/digitalisierung-industrie40/infografik-mit-dem-leitfaden-industrie-40-digitalisierungsprojekte-starten>.
- [19] Romero, D., Vernadat, F. (2016). *Enterprise information systems state of the art: Past, present and future trends*, *Computers in Industry*, 79, pp. 3–13.
- [20] Scheer, A.-W., Schneider, K. (1998). *ARIS—architecture of integrated information systems.*, *Handbook on architectures of information systems*, Springer, pp. 605–623.
- [21] Schneider, B., Kaiser, M., Gelec, E. (2020). *Handlungsempfehlungen.*, In: Knothe, T., Gering, P., Rimmelspacher, S.O., Maier, M. eds., *Die Digitalisierungshürde lässt sich Meister(n)*, Berlin, Springer, pp. 107–116.
- [22] Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A., ten Hompel, M. (2020). *Industrie 4.0 Maturity Index - Managing the Digital Transformation of Companies (Update 2020)*, Esslingen, Germany, acatech.
- [23] *Shaping Industrie 4.0: Pioneering. Networked. Based on everyday practice.* (2017). Berlin, Platform Industrie 4.0.
- [24] Terstegen, S., Hennegriff, S., Dander, H., Adler, P. (2019). *Vergleichsstudie über Vorgehensmodelle zur Einführung und Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen in der produzierenden Industrie*, Frühjahrskongress Der Gesellschaft Für Arbeitswissenschaften, 65, pp. 1–7.
- [25] VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V. (2018). *Leitplan der digitalen Transformation*, VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung.
- [26] Wang, Y., Wang, G., Anderl, R. (2016). *Generic procedure model to introduce Industrie 4.0 in small and medium-sized enterprises.*, *Proceedings of the world congress on engineering and computer science*, vol. 2.
- [27] Wiendahl, H.-H., Kluth, A., Kipp, R. (2019). *MES im Kontext von Industrie 4.0*, Fraunhofer IPA und Trovartis.
- [28] Winkelhake, U. (2017). *Die digitale Transformation der Automobilindustrie: Treiber-Roadmap-Praxis*, Springer-Verlag.
- [29] Yusof, M.M., Kuljis, J., Papazafeiropoulou, A., Stergioulas, L.K. (2008). *An evaluation framework for Health Information Systems: human, organization and technology-fit factors (HOT-fit)*, *International Journal of Medical Informatics*, 77(6), pp. 386–398.