

Reifegradmodell Industrie 4.0 - Ein Vorgehensmodell zur Identifikation von Industrie 4.0 Potentialen

Herbert Jodlbauer¹ und Michael Schagerl²

Abstract: Zahlreiche Kongresse, Tagungen und Symposien werden unter dem Begriff „Industrie 4.0“ abgehalten. Für eine breite Anwendung in Unternehmen fehlt es oft an Umsetzungsideen mit entsprechender Bewertungsmöglichkeit. Das Reifegradmodell Industrie 4.0 ist ein strategiegeleitetes Vorgehensmodell für Unternehmen, das in den Dimensionen Daten, Intelligenz und Digitale Transformation den Industrie 4.0 Reifegrad bestimmt. Nach Feststellung des IST-Reifegrades lässt sich strategiegeleitet der angestrebte SOLL-Reifegrad bestimmen. Konkrete Projektvorschläge zur Erreichung dieses Sollzustandes lassen sich ebenfalls aus dem Reifegradmodell für die teilnehmenden Unternehmen ableiten.

Keywords: Reifegradmodell Industrie 4.0, Digitale Transformation, Big Data, Maschinelle Intelligenz

1 Einleitung und Problemstellung

Der Begriff Industrie 4.0 ist in der Öffentlichkeit zurzeit weit verbreitet. Industrie 4.0 verspricht eine neue Zukunft, die mit innovativen Technologien, Vernetzung und neuen Geschäftsmodelle frischen Wind in die heimischen Unternehmen bringen soll. Das Reifegradmodell Industrie 4.0 leistet einen Beitrag zur Dissemination von Industrie 4.0 und liefert Unternehmen ein breiteres Verständnis und Umsetzungsvorschläge zu Industrie 4.0.

Eine wichtige Rolle kommt unter Industrie 4.0 der Informationsverarbeitung zu. Neue Entwicklungen in der IT ermöglichen Lösungen, die bis vor wenigen Jahren unvorstellbar gewesen wären. Ein mit der Entwicklung einhergehender Preisverfall erweitert zusätzlich den Handlungsspielraum für Unternehmen [Jo16]. Kaufentscheidungen des Kunden können besser verstanden werden. Produkte werden individueller gestaltet. Prozesse werden in Echtzeit dargestellt. Die IT wird als Enabler für Industrie 4.0 gesehen. Die IT ermöglicht aufgrund des Preisverfalls und der Leistungssteigerung die Substitution von etablierten Geschäftsmodellen und Produkten. Innovative Geschäftsmodelle werden innerhalb kurzer Zeit neue Märkte erobern und bestehende Produkte verdrängen [Br15, PH14].

¹ Institut für Intelligente Produktion, Fachhochschule OÖ, Campus Steyr, Wehrgrabengasse 1 – 3, A-4400 Steyr, Herbert.Jodlbauer@fh-steyr.at

² Institut für Intelligente Produktion, Fachhochschule OÖ, Campus Steyr, Wehrgrabengasse 1 – 3, A-4400 Steyr, Michael.Schagerl@fh-steyr.at

Bei bestehenden Unternehmen entsteht unter Industrie 4.0 die Notwendigkeit, Prozesse auf ihre Wirtschaftlichkeit hin zu überprüfen. Neue IT-Entwicklungen sind in der Lage unternehmerische Prozesse effizienter zu gestalten oder die Menschen in der Arbeitswelt in einem größeren Umfang als bisher zu unterstützen. Dadurch werden Unternehmen vor folgende Fragen gestellt: Durch welche Industrie 4.0 Technologien kann ein Unternehmen für seine Kunden einen höheren Wert generieren oder seine eigenen Kosten reduzieren? Wie kann mittels Internet of Things (IoT) zukünftig mit Produkten und Diensten Geld verdient werden?

In Unternehmen gilt es, Aufwände zu reduzieren oder neue Erlöse zu generieren. Dafür benötigt es ein Erkennen und Realisieren von Potentialen. Im Zuge der Reifegradbewertung Industrie 4.0 zeigen Experten neue Sichtweisen auf und helfen Potentiale zu identifizieren. Vor allem bei gut etablierten Prozessen kann eine Unterstützung hilfreich sein. Der Fokus liegt auf Unternehmensprozessen, die maßgeblich zur Wertsteigerung beitragen oder die hohen Aufwände verantworten. Potentiale, die diese Bereiche betreffen, werden den benötigten Aufwand zur Realisierung schnell decken.

2 Reifegradmodell Industrie 4.0

Das Reifegradmodell Industrie 4.0 ist ein Vorgehensmodell, das Unternehmen unterstützt Industrie 4.0 besser zu verstehen und zielorientiert anzuwenden. Mit diesem Vorgehensmodell wird der Nutzen von Industrie 4.0 spezifisch für ein Unternehmen aufgezeigt. Durch Bestimmung des IST-Reifegrades erfolgt eine Dokumentation und Bewertung der Ausgangssituation. Diese Analyse der aktuellen Situation unterstützt, Potentiale, entsprechend der Strategie und der Unternehmensziele, zu identifizieren. Konkrete Maßnahmen für ein Unternehmen werden durch die Anwendung des Reifegradmodells vorgeschlagen, um den festgestellten IST-Reifegrad zum anzustrebenden SOLL-Reifegrad zu entwickeln. Die Ergebnisse der Unternehmensbewertungen fließen in eine Benchmark-Datenbank, wodurch sich aktuelle Marktsituationen in den Branchen identifizieren lassen. Ein anonymisierter Vergleich wird ermöglicht, der den eigenen Fortschritt jenem der Branche gegenüberstellt.

2.1 Dimensionen und Kriterien der Reifegradbewertung

Die Reifegradbewertung basiert auf den drei Dimensionen Daten, Intelligenz und Digitale Transformation (siehe Abb. 1). Diese drei Dimensionen sind nicht voneinander unabhängig zu sehen, sie bauen aufeinander auf. Daten in ausreichender Qualität bilden die Grundlage, damit maschinelle Intelligenz überhaupt ermöglicht wird. Ist ausreichend maschinelle Intelligenz implementiert, so können erst dann Prozesse, Aufgaben, Produkte und Dienstleistungen digital transformiert werden. Eine Skala von 0 bis 10 zeigt den Reifegrad je Dimension an. Je höher eine Bewertungszahl ist, desto mehr

Aspekte von Industrie 4.0 sind im Unternehmen umgesetzt. Zur Bemessung der Dimensionen werden sie in Kriterien unterteilt, und diese wiederum in Subkriterien. Die Dimension Daten wird zur Veranschaulichung in diesem Beitrag detailliert beschrieben.

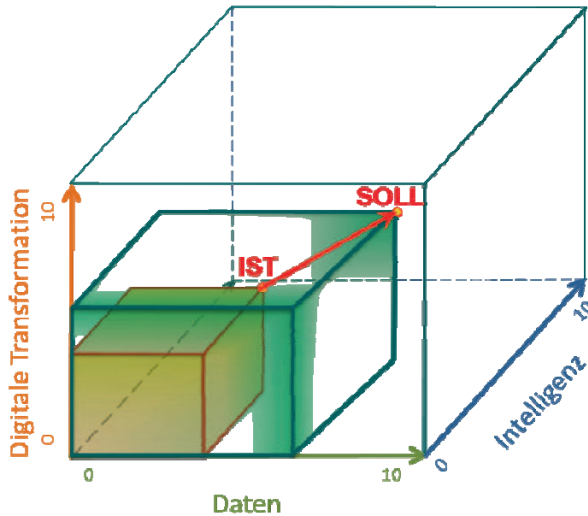


Abb. 1: Dimensionen der Reifegradbewertung Industrie 4.0

Daten bilden die Grundlage und die Hauptressource für Industrie 4.0 und werden als Öl der Zukunft dargestellt [Be14, Jo16]. *Big Data* mit den 5Vs (*Volume, Velocity, Variety, Veracity, Visualization*) beschreibt die Fähigkeit große Datenmengen zu erfassen, zu bearbeiten, zu korrigieren, zu analysieren, zu bewerten, und zuletzt sinnvoll zu nutzen. Weiters kommt in einer vernetzten Welt den Kriterien *Open* und *Security*, eine hohe Bedeutung zu, da vorhandene Daten idealerweise von mehreren genutzt werden und daher auch vor Missbrauch geschützt werden müssen. Die Bewertungsstruktur der Dimension Daten mit ihren Kriterien und Subkriterien ist in folgender Aufzählung zusammengefasst.

- Big Data
 - Volume
 - Velocity
 - Variety
 - Veracity
 - Visualization
- Open
- Security

Unter dem Kriterium *Big Data* befinden sich die 5Vs als Subkriterien. Sie beschreiben die Fähigkeit der Datennutzung von unterschiedlichen Quantitäten und Qualitäten. McAfee und Brynjolfsson schlussfolgern: „*Using big data leads to better predictions, and better predictions yield better decisions.*“ [MB12]

Das Subkriterium *Volume* bewertet die Fähigkeit enorme Datenmengen zu speichern und zu verarbeiten [MB12]. Eine große Menge an Daten zu besitzen und verarbeiten zu können führt jedoch nicht notwendigerweise zu richtiger Informationsgenerierung [RBQ13]. Wichtiger als die Menge an Daten sind Anwendungswissen bzw. Kontextwissen, mit welchem sich die Gefahr reduziert aus Daten etwas Falsches herauszulesen [Jo16].

Unter *Velocity* wird die Geschwindigkeit der Datenerfassung, -übermittlung, -verarbeitung und -bereitstellung verstanden. Die Zeitdauer von der Entstehung der Daten durch ein reales Ereignis bis zur Nutzung kann bewertet werden. Industrie 4.0 Produkte und Geschäftsmodelle funktionieren vielfach auf Basis von Echtzeitdaten. Aus diesem Grund bildet eine echtzeitfähige Erfassung, Aufbereitung und Zurverfügungstellung von Daten die Grundlage für neuartige Produkte und Dienste [MB12].

Variety beschreibt die Mannigfaltigkeit der Daten. Kann ein Unternehmen mit einer großen Datenvielfalt umgehen? Können nur eigene Daten verwendet werden, oder ist das System fähig, unstrukturierte Daten aus Fremdsystemen zu nutzen? Dahinter liegt das Ziel, die Vernetzung verschiedenster Dinge, Systeme und Dienste zu ermöglichen. Benötigte Funktionen sind oft nicht vollständig in einem System integriert. Zum Beispiel kann eine Erfassung der Umwelt (z.B. Feuchtigkeit, Temperatur, Personen im Gefahrenbereich) für eine Anlage von wesentlicher Bedeutung sein. Liefern bereits andere Systeme Daten in ausreichender Qualität, so entfällt der Bedarf an diversen Sensoren für diese Anlage. Die Fähigkeit Daten aus Fremdsystemen richtig zu interpretieren ist für die Anlage eine notwendige Voraussetzung [JS16].

Das Subkriterium *Veracity* bewertet den Wahrheitsgehalt und die Richtigkeit der Daten. Ist dieser bekannt, so können auch unsichere Daten in geeigneter Form weiterverwendet werden. Beispielsweise kann durch Wissen über Unsicherheiten in Forecasts und zur Kostenstruktur eine qualitativ hochwertigere Entscheidung getroffen werden [SG09]. Richtige Daten bzw. das Wissen über den Wahrheitsgehalt ermöglichen neue datenbasierte Produkte oder Dienste. Ist der Wahrheitsgehalt der Daten nicht bekannt, so können darauf basierende Entscheidungen und Geschäftsmodelle nur eingeschränkt genutzt werden [JS16].

Gesammelte Daten sollen zur Generierung von Informationen und Wissen dienen. Wie weit es gelingt, die Wissensgenerierung durch geeignete Darstellung der Daten zu unterstützen, bewertet das Subkriterium *Visualization*. Eine automatische, übersichtliche, personenorientierte und zielorientierte Darstellung der Daten unterstützt den Menschen in der Interpretation der Daten. Darauf aufbauend können datenbasiert Entscheidungen getroffen werden und für ein Unternehmen zu besseren Resultaten führen [MB12].

Das Kriterium *Open* beurteilt einerseits die Offenheit der Daten gegenüber internen und externen Stakeholdern und andererseits die Nutzung von frei zur Verfügung stehenden Daten und Services. Dieses Kriterium basiert auf der Annahme, dass letztendlich nur offene Dienste und Daten eine vernetzte Welt ermöglichen. Bei einer weit verbreiteten hohen Open-Reife kann eine herstellerunabhängige Datendurchgängigkeit erreicht werden. Dies würde zu einer Reduktion von derzeitigen IT-Aufwänden für automatisierten Datenaustausch mit proprietären Systemen führen.

Das Kriterium *Security* bewertet die Informationssicherheitsmaßnahmen und gibt an, inwiefern Daten vor Manipulation und unberechtigten Zugriff geschützt sind. Je bewusster sich ein Unternehmen mit *Security* auseinandersetzt und sich immer näher an das ISO/IEC 27001 Informationsmanagementsystem annähert, desto reifer wird das Unternehmen angesehen [IS13].

Die Dimension **Intelligenz** bewertet Dinge oder Systeme (*Enabler*), welche auf Basis von Daten maschinell intelligent handeln (*Nutzung maschineller Intelligenz*). Mittels maschineller Intelligenz verringert sich die Notwendigkeit des menschlichen Eingreifens in der Abwicklung von Aufgaben. Auf der einen Seite benötigt es *Enabler*, welche durch ihre Eigenschaften maschinell intelligentes Handeln ermöglichen. In einer Produktion können beispielsweise Transportbehälter, Produkte, Maschinen solche *Enabler* darstellen. Nur wenn ausreichend *Enabler* in einem Unternehmen vorhanden sind, kann maschinell intelligentes Handeln durch diese realisiert werden. Das Kriterium *Nutzung maschineller Intelligenz* betrachtet dieses maschinell-intelligente Handeln. Dabei wird unterschieden, ob *Enabler* lediglich eingesetzt werden, um Standardaufgaben abzarbeiten oder ob Systeme vorhanden sind, die mit Menschen als auch mit anderen Systemen kooperieren, selbstständig arbeiten, reagieren und lernen [JSB16]. Die Bewertungsstruktur der Dimension Intelligenz mit ihren Kriterien und Subkriterien ist in folgender Aufzählung zusammengefasst.

- Enabler
 - Identifizierbarkeit
 - Lokalisierbarkeit
 - Connectivity-Grad
 - Speicherfähigkeit
 - Sensorausstattung
 - Ausstattung Aktoren
 - Rechenfähigkeit
- Nutzung maschineller Intelligenz
 - Selbstständigkeit
 - Reaktionsfähigkeit

- Anpassungsfähigkeit
- Kooperationsfähigkeit
- Mensch-Maschine Symbiose

Für eine hohe Reife der dritten Dimension **Digitale Transformation** werden ausreichend Daten und maschinelle Intelligenz benötigt, um eine *Transformation* herbeizuführen. Ziel ist es, Materielles durch Digitales zu ersetzen oder möglichst viel Wertschöpfung in der virtuellen Welt zu erreichen. Um digitale Transformation im Unternehmen zu ermöglichen, benötigt es Menschen, die an den Dimensionen Daten, Intelligenz und Digitale Transformation aktiv arbeiten und damit den Fortschritt ermöglichen [Br15, JS16]. Die Bewertungsstruktur der Dimension Digitale Transformation mit ihren Kriterien und Subkriterien ist in folgender Aufzählung zusammengefasst.

- Mitarbeiter
 - Mitarbeiter (Können & Wollen)
 - Führung (Dürfen)
- Transformation
 - Durchgehende digitale Modellbildung
 - Simulation & Optimierung
 - Ersetzen Materielles durch Digitales

Intelligenz.Enabler.Identifizierbarkeit			
Langfristig, technologieunabhängig	Maschinell automatisch identifizierbar	10	RFID, Bluetooth, 3D Scanner
		9	
		8	
		7	
		6	
	Maschinell lesbare Identität mit menschlicher Aktivität	5	Barcode, QR-Code, OCR
		4	
		3	
		2	
	Eindeutige Identitätsmerkmale, welche nicht maschinell gelesen werden	1	Identnummer
Keine eindeutige Identität	0	Keine Identnummer	

Abb. 2: Referenztabelle Intelligenz/Enabler/Identifizierbarkeit

Jedes Subkriterium wird mit Hilfe einer Referenztabelle von 0 bis 10 bewertet. In Abb. 2 ist beispielhaft die Referenztabelle für die Dimension Intelligenz, Kriterium Enabler und

Subkriterium Identifizierbarkeit dargestellt. Dieses Subkriterium behandelt die maschinell eindeutige Identität des Enablers. Taucht dieses Gerät im betrachteten System nur einmal auf und kann es immer wieder unter diesem Merkmal von einem Menschen identifiziert werden, so wird 1 Punkt vergeben. Erfolgt eine vollautomatische maschinelle Identifizierung des Gerätes ohne menschliches Zutun, so werden 10 Punkte vergeben.

2.2 Die Anwendung des Reifegradmodells

Vor Applikation des Reifegradmodells, erfolgt eine strategiegeleitete Auswahl an Applikationsfeldern, die den Untersuchungsgegenstand definieren. Ein Applikationsfeld könnte zum Beispiel ein Fertigungsbereich, die externe Werkzeug- und Anlagenbeschaffung oder auch der Kundenauftragsabwicklungsprozess sein. In einem Startworkshop werden auf breiter Basis Strategie, Visionen und Ziele des Unternehmens besprochen. Fragen zum Unternehmen ermöglichen die Einschränkung auf wesentliche Applikationsfelder. Wie und in welchen Bereichen kann Industrie 4.0 die derzeitige Organisation stärken? Wodurch können Wettbewerbsvorteile erzielt werden? Welche Prozesse, Produkte und Dienstleistungen sind für den Unternehmenserfolg wichtig? Eine Diskussion über Ziele in jedem Applikationsfeld fokussiert die Anwendung der Reifegradbewertung.

Für jedes Applikationsfelder werden nun Träger definiert. In Bezug auf obige Bewertungskriterien ist ein Träger die größte Einheit, die einer eindeutigen Bewertung zugeführt werden kann. Ein Träger kann ein Prozess, eine Aufgabe oder ein Ding sein. Träger stellen wesentliche Funktionen des Applikationsfeldes dar. Im Startworkshop definierte Ziele werden durch die Träger wesentlich beeinflusst. Mögliche sinnvolle Träger des Applikationsfeldes Fertigung könnten die Maschinenbelegungsplanung, die Personaleinsatzplanung, Transportbehälter oder Maschinen sein. Die ausgewählten Träger werden mittels der obigen Kriterien in allen drei Dimensionen bewertet.

Die zur Bewertung notwendigen Informationen werden in strukturierten Interviews eingeholt. Die Interviewpartner beschreiben den aktuellen Zustand des Trägers und die Auswertung von Prozessbeschreibungen, Daten und Beobachtungen liefern zusätzliche Informationen. Potentiale können nun identifiziert und dokumentiert werden. Auf Basis dieser Analyse erfolgt die IST-Reifegradbestimmung je Träger. Die endgültige Bewertung auf der Skala von 0 bis 10 wird durch einen Vergleich mit der Referenztafel je Subkriterium unterstützt (siehe Abb. 2). Eine mit der Punktevergabe einhergehende Begründung wird ebenfalls je Subkriterium dokumentiert. Das Bewertungsteam erarbeitet aufgrund der Strategie, der definierten Ziele und der IST-Analyse mit den festgestellten Potentialen eine SOLL-Reife, die für das Unternehmen erstrebenswert ist. Wirtschaftliche als auch technische Restriktionen werden in der SOLL-Reife berücksichtigt. Ein SOLL-Reifegrad von 10 wird selten angestrebt werden. Grund dafür ist, dass zur Erreichung der Unternehmensstrategie Ressourcen bestmöglich einzusetzen sind. Ein Reifegrad von 10 stellt jedoch das Höchstmaß an technologischen

Fortschritt zu Industrie 4.0 dar. Bei großer Differenz zwischen SOLL und IST wird die erforderliche Investition nicht mehr rentabel sein.

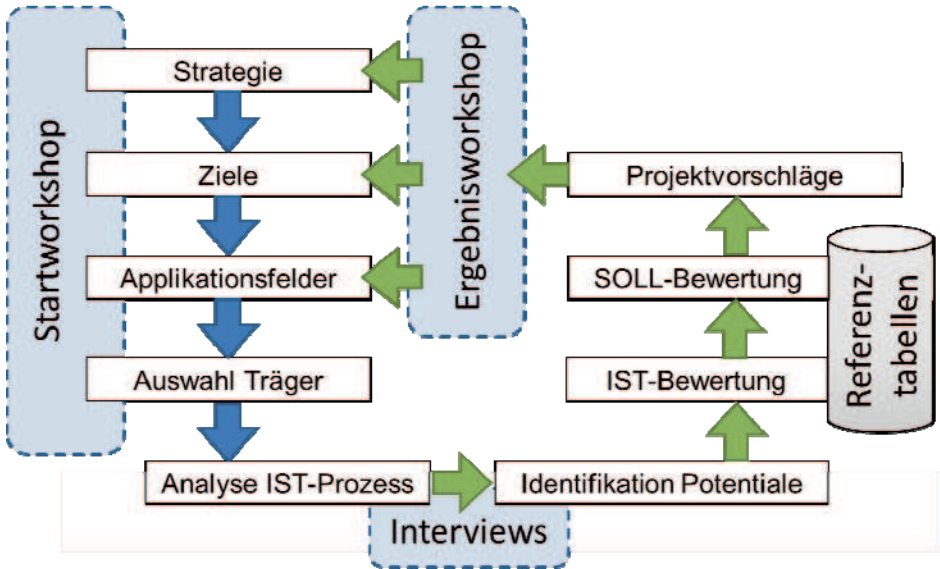


Abb. 3: Vorgehensmodell der Reifegradbewertung

Zur Erreichung der SOLL-Reife, werden Projektvorschläge erarbeitet. Diese Projektvorschläge basieren einerseits auf identifizierten Potentialen und andererseits auf den anzustrebenden SOLL-Reifegrad. Bewertungen und Projektvorschläge werden abschließend im Ergebnisworkshop mit dem Unternehmen diskutiert und konkrete Umsetzungsschritte fixiert. Das gesamte Vorgehensmodell ist in Abb. 3 dargestellt. Die Anwendung des Reifegradmodells Industrie 4.0 kann auch iterativ erfolgen. Nach Abschluss der ersten Bewertungen können weitere Applikationsfelder der Untersuchung unterzogen werden. Eine Bewertung aller Applikationsfelder und der Einsatz von Industrie 4.0 im gesamten Unternehmen werden damit ermöglicht. Ebenso besteht die Möglichkeit die Erreichung der SOLL-Positionen zu späteren Zeitpunkten zu überprüfen.

2.3 Vergleich und Abgrenzung von Reifegradbewertungen

Für die Messung von Industrie 4.0 Anwendungen existieren auch andere Vorgehensweisen. In diesem Kapitel wird das vorgestellte Reifegradmodell mit einigen ausgewählten Methoden und Werkzeugen verglichen und es werden die Unterschiede in den verschiedenen Ansätzen herausgearbeitet.

VDMA Werkzeugkasten

Im Leitfaden Industrie 4.0 der VDMA wird ein Werkzeugkasten Industrie 4.0 für die Umsetzung in Unternehmen vorgestellt. Der Leitfaden soll Unternehmen des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus unterstützen, kreative Ideen für neue Geschäftsmodelle zu entwickeln. Das Vorgehen ist in einen mehrstufigen Prozess unterteilt. Mittels Analyse wird der Ist-Stand zu Kompetenzen des Unternehmens und zur Marktpositionierung erhoben. Auf Basis dessen werden mittels Kreativitätstechniken und mit Hilfe des Werkzeugkastens Industrie 4.0 neue Ideen generiert und darauf basierend Geschäftsmodelle konzeptioniert. Diese gilt es zu bewerten und umzusetzen. Der Werkzeugkasten Industrie 4.0 dient dabei als Unterstützung bei der Ideengenerierung. Der Werkzeugkasten soll *„Visionen und grundlegende Technologien auf Entwicklungsstufen reduzieren, die eine schrittweise Umsetzung innovativer Ideen [...] ermöglicht.“* [Le15] Die Applikation des Werkzeugkastens kann für die Bereiche Produkte und Produktion erfolgen. Eine Unterscheidung verschiedener Visionen und Technologien erfolgt durch die Anwendungsbereiche. Eine Einstufung von eins bis fünf stellt die Entwicklung je Anwendungsbereich dar. Je höher die Stufe, desto mehr Industrie 4.0 Visionen und Technologien werden im Unternehmen umgesetzt. Durch diese Einstufung wird die Reife eines Unternehmens je Anwendungsbereich dargestellt. Beteiligte Personen bekommen durch die Einstufung ein Verständnis, wie sich Industrie 4.0 auf ihre Produkte und die Produktion im Maschinen- und Anlagenbau auswirken kann. Davon ausgehend wird überlegt, wie höhere Stufen zu erreichen sind und welche Geschäftsmodelle davon abgeleitet werden können. [Le15]

Wesentliche Unterschiede zum Reifegradmodell Industrie 4.0 sind:

- **Einschränkung in der Applikation:** Der VDMA Werkzeugkasten fokussiert sich auf Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus. Dabei sind Werkzeugkästen für Produkte und für die Produktion vorhanden. Das Reifegradmodell beinhaltet diese Einschränkungen nicht. Diese Breite an Anwendungsmöglichkeiten erfordert jedoch tieferes Wissen zu den Kriterien des Reifegradmodells.
- **Visuelles Werkzeug zur Ideenfindung:** Der Werkzeugkasten eignet sich zur Ideenfindung für neue Geschäftsmodelle. Über eine zuvor durchgeführte Kompetenz- und Marktanalyse werden mittels Werkzeugkasten Ideen generiert, die zu neuen Geschäftsmodellen und neuen Strategien führen. Das Reifegradmodell wird zur Umsetzung vorhandener Strategien als auch zur Findung neuer Strategien oder Geschäftsmodelle eingesetzt. Vorhandene Kompetenzen werden dabei als Subkriterium betrachtet. Der Aufbau des Werkzeugkastens hat Ähnlichkeiten zu den Referenztabellen des Reifegradmodells. Beide stellen in ihrer tabellarischen Form je Kriterien Reifegrade dar. Je besser ein Unternehmen die Kriterien erfüllt, desto höher ist die Industrie 4.0 Reife.

VDMA Impuls Studie

Von der VDMA wurde eine Industrie 4.0 Readiness-Studie durchgeführt. Ziele der Studie waren, Verständnis für Industrie 4.0 zu schaffen, den Reifegrad für die Unternehmen zu erheben und notwendigen Veränderungsbedarf in den unternehmerischen Rahmenbedingungen aufzuzeigen. In der Studie wurde mit Hilfe von sechs Dimensionen (Strategie und Organisation, Smart Factory, Smart Operations, Smart Products, Data-driven Services und Mitarbeiter) die Reife eines Unternehmens bestimmt. Die Unternehmensbewertung erfolgte über Online-Selbsttests. Teilnehmende Unternehmen gaben in einem Online-Fragebogen Antworten zu gestellten Fragen. Davon ließ sich der Reifegrad je Dimension ableiten. Die Bewertung erfolgte in sechs Stufen, die durch Mindestanforderungen je Stufe definiert wurden. Je Dimension kann ein Unternehmen urteilen, welche Schritte notwendig sind, um eine höhere Industrie 4.0-Reife zu erreichen [Li15].

Folgender Unterschied zeigt sich zum Reifegradmodell Industrie 4.0:

- Erhebungsmethode: Ein Onlinefragebogen bietet die Möglichkeit, viele Unternehmen mit geringem Aufwand zu erreichen und zu bewerten. Die Ergebnisse stellen Selbsteinschätzungen der Unternehmen dar. Das Resultat ist ein generelles Branchenverständnis. Tipps zur Verbesserung und zur spezifischen Anwendung von Industrie 4.0 sind allgemein formuliert. Das Reifegradmodell bewertet individualisiert und liefert strategiegeleitete Verbesserungsvorschläge. Den individualisierten und strategiegeleiteten Ergebnissen stehen höhere Aufwände in der Erhebung gegenüber. Inhaltlich decken sich zu weiten Teilen die Bewertungskriterien der VDMA Impuls Studie mit den Subkriterien des Reifegradmodells.

Readiness Modell nach Bildstein und Seidelmann

Bildstein und Seidelmann beschreiben ein weiteres Industrie 4.0 Readiness Modell. Mittels Analyse relevanter Geschäftsprozesse wird der Ist-Stand erhoben und Verbesserungspotentiale werden identifiziert. *„Im Kern der Überlegungen steht hierbei die Frage, ob Industrie 4.0-Konzepte, wie beispielsweise Vernetzung in Echtzeit, smarte Objekte, Software Services in der Cloud oder cyber-physische Produktionssysteme dabei helfen können, diese Prozesse zu verbessern.“* [BS14] Die zuerst analysierten Ist-Prozesse werden mit Industrie 4.0 Standardanwendungsfällen verglichen. Standardanwendungsfälle stellen allgemeine Unternehmensprozesse dar, in denen Industrie 4.0-Konzepte bereits erfolgreich umgesetzt wurden. Durch Vergleich der Ist-Prozesse mit Standardanwendungsfällen lassen sich Soll-Prozesse und Umsetzungsvoraussetzungen erarbeiten. Durch die Differenz zwischen Ist und Soll wird der benötigte Aufwand zur Industrie 4.0 Implementierung bemessen. Ein zu erarbeitendes Kosten-Nutzen-Verhältnis und iteratives Vorgehen bilden die Basis für die Umsetzungsplanung und eine unternehmensweite Migration. [BS14]

Ein Unterschied zum Reifegradmodell Industrie 4.0 liegt in der Prozessorientierung:

- Die Anwendung des Readiness Modells orientiert sich am Prozessmanagement. Wesentliche Prozesse werden ausgewählt und diese mit Best Practices zu Industrie 4.0 („Standardanwendungsfälle“) gegenübergestellt. Eine Prozessoptimierung mittels neuen Lösungsansätzen aus Industrie 4.0 ist das Resultat. Das Reifegradmodell bewertet Prozesse, Abläufe und Dinge auf Ebene der Träger. In der Bewertungsstruktur der Referenztafel werden je Subkriterium die technologischen Reifegrade aufgelistet. Es erfolgt keine Fokussierung auf Best Practices, sondern auf technologische Möglichkeiten. Der SOLL-Reifegrad zeigt den wirtschaftlich sinnvollen Reifegrad innerhalb der technologischen Möglichkeiten auf.

2.4 Praxisbeispiel

Das Reifegradmodell Industrie 4.0 wurde bereits in einer Pilotphase getestet. Ein Praxisbeispiel aus der Pilotphase dient zur Veranschaulichung, wie das Reifegradmodell in Unternehmen eingesetzt wird. Es stellt allerdings nur einen Auszug aus einer umfassenden Reifegradbewertung dar.

Bei diesem Beispiel handelt es sich um einen Tier 1 Automobilzulieferanten. Ziel der Reifegradanwendung war es, die Planung der Halbfabrikats-Fertigung zu optimieren und den Halbfabrikat-Bestand zu reduzieren. Als Applikationsfeld wurde die Produktion einer Baugruppe ausgewählt. Unter mehreren identifizierten Trägern werden in diesem Beitrag die Träger Produktionsplanung-Halbfabrikate, Rüsten und Halbfabrikats-Fertigung beschrieben.



Abb. 4: Fertigungsablauf einer Produktgruppe aus einem Unternehmensbeispiel

Abb. 4 zeigt den Fertigungsablauf einer Produktgruppe vom Rohmaterial bis zur Auslieferung. In der betrachteten Produktgruppe gibt es vier Varianten an Rohmaterialien. Die Presse fertigt in Wochenlosgröße. Da für jede Produktgruppe ein eigenes Pressenwerkzeug existiert, ist beim Wechsel der Produktgruppe auch ein Werkzeugwechsel erforderlich. Vier Rohmaterialvarianten führen zu vier verschiedenen Varianten im Lager der Halbfabrikate. Die Finalisierung erfolgt auftragsbezogen und die Kunden erwarten sich eine Anlieferung in Just in Sequenz (JIS). Das Unternehmen finalisiert und verpackt in der geforderten Reihenfolge, wobei das Unternehmen die

Informationen dazu drei Tage vor Auslieferung erhält. Entsprechend der Information wird in Losgröße 1 die entsprechende Halbfabrikat-Variante aus dem Lager entnommen, finalisiert und für die Auslieferung verpackt.

Die drei ausgewählten Träger wurden wie folgt analysiert:

- **Produktionsplanung-Halbfabrikate:** Auf Basis des Verbrauches werden Losgrößen für die Fertigung definiert. Jede Woche wird ein Los einmal aufgelegt. Die Fertigungsreihenfolge der Produktgruppen wird von der Produktionsplanung definiert, die Reihenfolge innerhalb der Produktgruppen (Rohmaterialvarianten) wird vom Produktionspersonal bestimmt. Produktionsrückmeldungen erfolgen retrograd über ein ERP-System bei vollen Behältern oder durch Eingabe der Mitarbeiter (Rüstzeiten, Fertigungszeit, Gutteile, Ausschuss).
- **Rüsten:** Werkzeugwechsel erfolgen durch das Produktionspersonal manuell. Bei elektrischer Verbindung des Werkzeuges identifiziert die Presse das Werkzeug selbstständig. Vordefinierte Anlagenparameter werden auf Basis des Werkzeuges automatisch geladen. Materialwechsel erfolgen durch das Produktionspersonal ebenfalls manuell. In der Anlage wird dabei das Rohmaterial durch ein neues ersetzt. Feinjustierungen, die einen wesentlichen Zeitanteil bei den Rüstvorgängen darstellen, erfolgen in Verantwortung des Produktionspersonals. Aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften des Rohmaterials (Materialvariante, Materialzusammensetzung, Lagerung) und der Umgebung (Jahreszeit, Temperatur, Luftfeuchtigkeit) ist diese Feinjustierung erforderlich. Die Feinjustierung erfolgt mittels Veränderung bestimmter Anlagenparameter, die durch das Produktionspersonal nicht dokumentiert werden muss. Eine laufende Überprüfung der Halbfabrikate und Nachjustierung der Anlagenparameter ist notwendig, um Gutteile zu produzieren. Ein wesentlicher Anteil an Ausschuss wird durch die unterschiedlichen Eigenschaften im Rohmaterial und die Umgebung verursacht.
- **Halbfabrikats-Fertigung:** Die Presse wird vom Produktionspersonal mit Rohmaterial versorgt. Entsprechend der Anlagenparameter erfolgt die Fertigung. Sensoren überwachen die Anlage und das Werkzeug. Die Steuerungseinheit kontrolliert die Anlage und dient als Schnittstelle zum Personal. Ein Hubzähler erfasst Anzahl und Zeitpunkte der Hübe innerhalb der Presse. Daten zum Auftrag, zur Umgebung, zum Rohmaterial, zum Prozess (Maschine und Werkzeug z.B. Einstellparameter, Sensordaten ausgenommen Hubzähler) werden nur teilweise erfasst und nicht dokumentiert. Daten zur Halbfabrikat-Qualität sind nicht systematisch vorhanden.

Im Rahmen der IST-Bewertung wurden für jeden Träger die Kriterien des Reifegradmodells Industrie 4.0 angewandt. Beispielhaft findet sich hier ein Auszug davon: Der Träger Halbfabrikats-Fertigung erhält beim Subkriterium Volume (Dimension Daten, Kriterium Big Data) 2 Punkte, die sich durch den Vergleich mit der Referenztablelle ergeben. Die Begründung dafür ist, dass wenige Daten (Größenordnung

Megabyte) elektronisch vorhanden sind und verarbeitet werden. Für die Bewertung des Subkriteriums Identifizierbarkeit (vergleiche Abb. 2) benötigt es Enabler. In dem vorgestellten Fertigungsablauf stellen die Anlage (Presse) und das Werkzeug solche Enabler dar. Das Werkzeug ist maschinell automatisch identifizierbar. Aus diesem Grund erhält das Werkzeug 10 Punkte beim Subkriterium Identifizierbarkeit. Die Anlage hat eindeutige Identitätsmerkmale aufgrund einer eindeutigen Bezeichnung im Unternehmen. Die Anlage ist jedoch nicht maschinell identifizierbar. Aus diesem Grund erhält die Anlage 1 Punkt beim Subkriterium Identifizierbarkeit.

In der SOLL-Bewertung wurden die Optimierung der Halbfabrikat-Planung und die Reduktion des Halbfabrikat-Bestandes als Ziele des Unternehmens berücksichtigt. Eine Möglichkeit zur Zielerreichung ist die Reduktion der Rüstzeiten. Dadurch werden kleinere Produktionslose ermöglicht, die einen geringeren Bestand im oben dargestellten Halbfabrikat-Lager zur Folge haben. Ebenso kann eine Reduktion der Schwankungen in den Rüstzeiten zu besseren Planungsergebnissen führen. Da in diesem Unternehmen die Feinjustierung einen wesentlichen Anteil der Rüstzeit darstellt und Schwankungen der Rüstzeiten verursacht, trägt eine Automatisierung der Feinjustierung zum Erreichen der unternehmerischen Ziele bei. Eine Identifikation wesentlicher Parameter und ein entsprechender Algorithmus sind für die automatisierte Feinjustierung erforderlich. Die Speicherung und Verarbeitung von Daten zum Auftrag, zur Umgebung, zum Rohmaterial, zum Prozess und zur Halbfabrikat-Qualität bilden das Fundament dafür. Aus wirtschaftlichen Gründen ist die Erhebung aller Daten zum derzeitigen Zeitpunkt jedoch noch nicht sinnvoll. Die Speicherung und Verarbeitung ausgewählter Material-, Umgebungs- und Prozessdaten in Verbindung mit Daten zur Halbfabrikat-Qualität scheinen aus Unternehmenssicht das größte Potential zu haben. Die SOLL-Bewertung zum Subkriterium Volume liegt in der Folge entsprechend der Referenztable bei 5 Punkten.

Projektvorschlag: Der Projektvorschlag für das Unternehmen ist die Erhebung und die Analyse ausgewählter Daten und Parameter. Daten und Parameter, die die Feinjustierung wesentlich beeinflussen, sollen identifiziert werden. Ein daraus zu entwickelnder Algorithmus soll eine Automatisierung der Feinjustierung ermöglichen.

Wird dieser Projektvorschlag im Unternehmen umgesetzt, so können im nächsten Schritt weitere Daten gespeichert und verarbeitet werden, um weitere Optimierungen zu erreichen. Eine iterative Anwendung des Reifegradmodells und laufende Verbesserungen ermöglichen ebenso eine auftragsbezogene Halbfabrikats-Fertigung. Das Entfallen der Produktionsplanung-Halbfabrikate und die Reduktion von Bestand wären die Folgen.

3 Zusammenfassung

Das vorgestellte Industrie 4.0 Reifegradmodell unterstützt Unternehmen in der Bestimmung des IST-Reifegrades und des SOLL-Reifegrades. Die resultierenden

Verbesserungsmaßnahmen versetzen das Unternehmen in die Lage, sich Richtung SOLL-Reifegrad strategiegeleitet zu entwickeln. Zur Reifegradbestimmung werden die Dimensionen Daten, Intelligenz und Digitale Transformation herangezogen. Die Dimension Daten beschreibt dabei die Fähigkeit Daten richtig sowie zielorientiert zu verwenden. Unter Intelligenz werden die Fähigkeit und die Nutzung von maschinell-intelligenten Handlungen bewertet. Die Digitale Transformation betrachtet den Anteil an Wertschöpfung, der in der digitalen Welt erfolgt.

Ein Vergleich zu anderen Reifegradbewertungen zeigt, dass das vorgestellte Industrie 4.0 Reifegradmodell sich nicht auf bestimmte Branchen oder Anwendungsgebiete spezialisiert. Strukturiertes Vorgehen und die Bewertung in den Subkriterien der drei Dimensionen ermöglicht ein breites Anwendungsgebiet. Um die Bewertungsstruktur anzuwenden, wird jedoch Fachwissen zu jedem einzelnen Kriterium benötigt. Als Resultat erhalten teilnehmende Unternehmen applikationsbezogene und strategiegeleitete Projektvorschläge zur Umsetzung von Industrie 4.0.

Literaturverzeichnis

- [AL05] Allmendinger, G.; Lombreglia, R.: Four Strategies for the Age of Smart Services. Harvard Business Review. Oct2005, Vol. 83 Issue 10, p131-145, 2005.
- [Be14] Berinato, S.: With Big Data Comes Big Responsibility. Harvard Business Review. Nov2014, Vol. 92 Issue 11, p100-104, 2014.
- [BS14] Bildstein, A.; Seidelman, J.: Industrie 4.0-Readiness: Migration zur Industrie 4.0-Fertigung. In (Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuer, B., Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 581-597, 2014.
- [Br15] Brauckmann, O.: Smart Production, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.
- [IS13] ISO/IEC 27001 - Information security management, <http://www.iso.org>, Stand: 01.10.2013.
- [Jo16] Jodlbauer, H.: Die Datenspinne. Im Netz von Google, Amazon, Alibaba und Co, Leykam, Graz, 2016.
- [JS16] Jodlbauer, H.; Strasser, S.: Geschäftsmodellinnovation basierend auf Industrie 4.0 sichern den zukünftigen Erfolg der Unternehmen. In (Gleich, R.; Losbichler, H.; Zierhofer, R., Hrsg.): Der Controlling Berater. Band 43, Haufe Gruppe, S. 109-122, 2016.
- [JSB16] Jodlbauer, H.; Schagerl, M.; Brunner, M.: Industrie 4.0 versus Automatisierung. ZWF 04/2016, S. 222-224, 2016.
- [Le15] Leitfaden Industrie 4.0. Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand, VDMA Forum Industrie, Frankfurt a. M., 2015.
- [Li15] Lichtblau, K. et. al.: Industrie 4.0-Readiness, IMPULS/VDMA, Aachen & Köln, 2015

- [MB12] McAfee, A; Brynjolfsson, E.: Big Data: The Management Revolution. Harvard Business Review. Oct2012, Vol. 90 Issue 10, p60-68, 2012.
- [PH14] Porter, M. E.; Heppelmann, J. E.: How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. Harvard Business Review. Nov2014, Vol. 92 Issue 11, S. 64-88, 2014.
- [RBQ13] Ross, J. W.; Beath, C. M.; Quaadgras, A.: You May Not Need Big Data After All. Harvard Business Review. Dec2013, Vol. 91 Issue 12, p90-98, 2013.
- [SG09] Sanders, N.; Graman, G.: Quantifying costs of forecast errors: A case study of the warehouse environment. Omega 2009; Vol. 37; p116-125, 2009.