

Gerrit Sames

Reifegradmodell zur Digitalisierung und Industrie 4.0

THM-Hochschulschriften Band 18

Gerrit Sames

Reifegradmodell zur Digitalisierung und
Industrie 4.0

THM-Hochschulschriften Band 18

THM-Hochschulschriften Band 18

© 2021 Gerrit Sames

Technische Hochschule Mittelhessen

Fachbereich Wirtschaft

Herausgeber der THM-Hochschulschriften:

Der Präsident der Technischen Hochschule Mittelhessen

Alle Rechte vorbehalten, Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung und Quellenangabe.

Einzelne Hochschulschriften sind auch online abrufbar:

www.thm.de/bibliothek/thm-hochschulschriften

ISSN (Print) 2568-0846

ISSN (Online) 2568-3020

Wo steht mein Unternehmen aktuell bezüglich Digitalisierung? Wie kann ich den aktuellen Stand im Dschungel der Begrifflichkeiten aus Digitalisierung und Industrie 4.0 systematisch erfassen? Wie kann ich eine Digitalisierungsstrategie für mein Unternehmen entwickeln? Der vorliegende Beitrag liefert dazu nützliche Werkzeuge. Ziel ist es, damit die Grundlage für eine systematische Entwicklung einer Digitalisierungs-Roadmap als Einstieg oder für die Erweiterung von bereits laufenden Digitalisierungsmaßnahmen zu legen.

Über den Autor:

Prof. Dr.-Ing. Gerrit Sames ist Professor für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre mit Schwerpunkt ERP-Systeme am Fachbereich Wirtschaft der Technischen Hochschule Mittelhessen und Leiter des Schwerpunkts Digital Business. Zusätzlich beschäftigt er sich mit der Weiterentwicklung von Digitalisierungslösungen und ist Vorstandsmitglied im Smart Electronic Factory e.V.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 5 |
| 2 | Kategorie Produkte | 6 |
| 3 | Kategorie Produktion..... | 9 |
| 4 | Kategorie Organisation..... | 12 |
| 5 | Kategorie Mitarbeiter | 15 |
| 6 | Kategorie IT-Sicherheit | 18 |
| 7 | Das AWF-Modell zur Vorgehensweise bei der Digitalisierung..... | 22 |
| 8 | Zusammenfassung | 26 |
| | Literaturverzeichnis | 28 |

1 Einleitung

Nach zögerlichem Start seit 2011, als der Begriff Industrie 4.0 erstmalig in Verbindung mit der Hannover Messe in die Öffentlichkeit gelangt ist, sind Industrie 4.0 und Digitalisierung inzwischen in der Wirtschaft bekannt. Die Anforderung des Marktes, immer schneller, immer transparenter, immer verlässlicher zu werden, kann nur mit Digitalisierung erreicht werden. Studien des Autors zeigen aber, dass insbesondere der Mittelstand noch erhebliches Aufholpotential hat¹.

Im Business-to-Customer (B2C) Umfeld ist man weiter. Junge Menschen benutzen für sehr viele Geschäftsprozesse ihr Smartphone oder ihren Tablet-Computer und wickeln diese rein digital ab. Betrachten wir als einfaches Beispiels eine Bestellabwicklung. In aller Regel erhalten Sie bei Online-Bestellungen im B2C-Bereich innerhalb von wenigen Minuten eine Auftragsbestätigung und Versandhinweise. Davon sind die Unternehmen im Business-to-Business Bereich (B2B) leider noch weit entfernt. Hier werden sehr oft noch Bestellungen ausgedruckt und per Post versendet. Oft dauert es Tage, bis dazu dann eine Auftragsbestätigung ebenfalls per Post eingeht.

Die Digitalisierung ist ein komplexes Thema. Es gibt eine Vielzahl von Begriffen, die meist technisch geprägt sind. Oft fehlt potentiellen Anwendern eine Ordnungsstruktur, um diese Begriffe und Technologien in einen Zusammenhang zu bringen. Das aber ist eine Voraussetzung, um die richtigen Schritte im Unternehmen Richtung Digitalisierung beschreiten zu können.

Der vorliegende Beitrag stellt mit dem **Reifegradmodell** ein Instrument und mit dem **AWF-Modell** eine Vorgehensweise für die Digitalisierung vor. Damit sollen Unternehmen unterstützt werden, eine individuelle Digitalisierungs-Roadmap zu entwickeln. Das Reifegradmodell basiert in einigen Teilen auf dem Werkzeugkasten Industrie 4.0 vom VDMA². Dieser ist an der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM) erweitert worden.

¹ Sames, Diener (2018); Sames, Lapa (2020)

² VDMA (2015)

Um ein vollständiges Instrument vorliegen zu haben, wird in den Kapitel 2 und 3 zunächst der Werkzeugkasten Industrie 4.0 des VDMA wiedergegeben. In diesem sind die Kategorien **Produkte** und **Produktion** mit Merkmalen beschrieben, die in jeweils 5 Ausprägungsstufen vorliegen können. Die Ausprägungsstufen beschreiben einen zunehmenden Grad von Industrie 4.0 bzw. Digitalisierung.

In den Kapiteln 4 bis 6 werden die neuen Kategorien **Organisation**, **Mitarbeiter** und **IT-Sicherheit** vorgestellt, die als Erweiterung an der THM entwickelt worden sind. Sie folgen der gleichen Systematik wie der Werkzeugkasten Industrie 4.0.

Kapitel 7 schildert dann die Vorgehensweise, die das Reifegradmodell als zentrales Instrument nutzt. Diese Vorgehensweise ist gemeinsam mit verschiedenen Unternehmen im „Ausschuss für Wirtschaftliche Fertigung (AWF)“ erarbeitet worden.

2 Kategorie Produkte³

Die Kategorie „Produkte“ des Werkzeugkastens Industrie 4.0 unterstützt die Ideengenerierung bei der Entwicklung innovativer Industrie-4.0-Produkte. Der Werkzeugkasten kann sowohl auf Produkte als auch auf einzelne Teilkomponenten von Produkten angewendet werden. Die Kernfrage lautet: Inwiefern können mithilfe von Industrie 4.0 neue Produkte entwickelt beziehungsweise bestehende weiterentwickelt werden, sodass für potentielle Kunden ein Mehrwert entsteht?

Die Kategorie „Produkte“ ist untergliedert in die Merkmale bzw. Anwendungsebenen Sensoren und Aktoren, Kommunikation und Connectivity, Datenspeicherung und Informationsaustausch, Monitoring, produktbezogene IT-Services und Geschäftsmodelle (S. Abb. 1).

³ Kategorie Produkte i.W. entnommen bei VDMA (2015) S.13

| Produkte | | | | | |
|--|---|---|--|---|--|
| Integration von Sensoren/Aktoren | Keine Nutzung von Sensoren/Aktoren | Sensoren/Aktoren sind eingebunden | Sensordaten werden vom Produkt verarbeitet | Daten werden vom Produkt für Analysen ausgewertet | Das Produkt reagiert auf Basis der gewonnenen Daten eigenständig |
| Kommunikation/Connectivity | Keine Schnittstellen am Produkt | Das Produkt sendet bzw. empfängt I/O-Signale | Das Produkt verfügt über Feldbus-Schnittstellen | Das Produkt verfügt über Industrial Ethernet-Schnittstellen | Das Produkt verfügt über einen Internetzugang |
| Funktionalitäten zur Datenspeicherung und Informationsaustausch | Keine Funktionalitäten | Möglichkeit zur eindeutigen Identifikation | Produkt verfügt über passiven Datenspeicher | Produkt mit Datenspeicher zum autonomen Informationsaustausch | Daten- und Informationsaustausch als integraler Bestandteil |
| Überwachung (Monitoring) | Kein Überwachung durch das Produkt | Detektion von Ausfällen | Erfassung des Betriebszustands zur Diagnose | Prognose der eigenen Funktionsfähigkeit | Selbstständige Maßnahmen zur Steuerung |
| Produkt-bezogene IT-Services | Kein Service | Service über Online-Portale | Service-Ausführung direkt über Produkt | Selbstständige Ausführung von Serviceleistungen | Vollständige Eingliederung in IT-Service-Infrastruktur |
| Geschäftsmodelle um das Produkt | Gewinne durch Verkauf der Standardprodukte | Verkauf und Beratung zum Produkt | Verkauf, Beratung und Anpassung des Produktes an Kundenwünsche | Zusätzlicher Verkauf produktbezogener Dienstleistungen | Verkauf von Produktfunktionen |

Abbildung 1: Kategorie Produkte
Merkmals „Integration von Sensoren/Aktoren“

Die Integration von Sensoren, Aktoren sowie Rechenkapazitäten in physische Objekte ist eine Kernidee von Industrie 4.0 beziehungsweise cyber-physischer Systeme. Die Bandbreite reicht hierbei von Produkten gänzlich ohne Sensor- und Aktor-Funktionalitäten bis hin zu Produkten mit eigener Auswertung von Sensordaten und darauf basierenden, eigenständigen Reaktionen.

Merkmal „Kommunikation und Connectivity“

Geeignete Kommunikationsschnittstellen ermöglichen neue Anwendungen, die physisch entkoppelt bereitgestellt werden können, und von einer verbesserten Verfügbarkeit der gewonnenen Daten profitieren. Auf dem Weg zur Vision einer vollständigen internetbasierten Vernetzung im Sinne des „Internet of Things“ sind hierbei Zwischenstufen wie die Vernetzung über Feldbus-systeme zu sehen.

Merkmal „Funktionalitäten zu Datenspeicherung und Informationsaustausch“

Produkte können über verschieden ausgestaltete Funktionalitäten zu Datenspeicherung und Informationsaustausch verfügen. Das Spektrum reicht von einfachen Barcodes über wiederbeschreibbare Datenspeicher bis hin zu Informationsdarstellung und –austausch als integralem Produktbestandteil.

Merkmal „Monitoring“

Das breite Anwendungsfeld des Monitorings stellt einen Kernaspekt vieler Industrie-4.0-Anwendungen dar. Die Bandbreite möglicher Anwendungen reicht von der bloßen Detektion von Ausfällen über die Diagnose und Prognose der eigenen Funktionsfähigkeit bis hin zu Möglichkeiten der selbstständigen Steuerung, etwa zur Vermeidung kostspieliger Folgeschäden bei Ausfällen.

Merkmal „Produktbezogene IT-Services“

Die im Zusammenhang mit Industrie 4.0 häufig diskutierten produktbezogenen IT-Services können entweder physisch vom Produkt entkoppelt (beispielsweise Online-Portale zur Darstellung von Ersatzteil-Listen) oder direkt mit dem Produkt verknüpft sein. Denkbar sind Services zur zustandsabhängigen Instandhaltung oder Produktsupport mit Funktionen der Ferndiagnose.

Merkmal „Geschäftsmodelle um das Produkt“

Innovative Technologien ermöglichen die Entwicklung neuartiger Geschäftsmodelle. So kann eine stärkere Anpassung von Produkten an Kundenwünsche durch Ansätze von Industrie 4.0, beispielsweise in Verbindung mit einer Flexibilisierung der Produktion, unterstützt werden. Auch der Verkauf von Produktfunktionen, bei dem das Produkt Herstellereigentum bleibt und lediglich eine Funktionserfüllung vergütet wird, kann durch Technologien im Umfeld von Industrie 4.0 ermöglicht werden – die umfangreiche Erfassung von Betriebszuständen oder die Steuerung einer zustandsbasierten Instandhaltung durch den Hersteller sind hier als Beispiele zu nennen.

3 Kategorie Produktion⁴

Die zweite Kategorie des Werkzeugkasten Industrie 4.0 des VDMA fokussiert sich auf Ansatzpunkte im Kontext der Produktion. Ausgangspunkt der Überlegungen stellt die Frage dar, wie mithilfe von Industrie 4.0 Produktionsabläufe optimiert und Produktionskosten gesenkt werden können. Die Anwendungsebenen des Bereiches „Produktion“ des Werkzeugkasten Industrie 4.0 gliedern sich in die Datenverarbeitung in der Produktion, Maschine-zu-Maschine-Kommunikation, unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion, Infrastruktur von Informations- und Telekommunikationstechnologie in der Produktion, Mensch-Maschine-Schnittstellen und Effizienz bei kleinen Losgrößen (s. Abb. 2).

⁴ Kategorie Produktion i.W. entnommen bei VDMA (2015) S. 15



| Produktion | | | | | |
|--|---|---|--|---|--|
| Datenverarbeitung in der Produktion | Keine Verarbeitung von Daten | Speicherung von Daten zur Dokumentation | Auswertung von Daten zur Prozessüberwachung | Auswertung zur Prozessplanung/-steuerung | Automatische Prozessplanung/-steuerung |
| Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M) | Keine Kommunikation | Feldbus-Schnittstellen | Industrial Ethernet-Schnittstellen | Maschinen verfügen über einen Internetzugang | Webdienste (M2M-Software) |
| Unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion | Keine Vernetzung der Produktion mit anderen Unternehmensbereichen | Informationsaustausch über E-Mail / Telekommunikation | Einheitliche Datenformate und Regeln zum Datenaustausch | Einheitliche Datenformate und Abteilungsübergreifende vernetzte Datenserver | Abteilungsübergreifende, vollständig vernetzte IT-Lösungen |
| IKT-Infrastruktur in der Produktion | Informationsaustausch über E-Mail / Telekommunikation | Zentrale Datenserver in der Produktion | Internetbasierte Portale mit gemeinsamer Datennutzung | Automatisierter Informationsaustausch (z.B. Auftragsnachverfolgung) | Zulieferer / Kunden sind vollständig in Prozessgestaltung integriert |
| Mensch-Maschine-Schnittstellen | Kein Informationsaustausch zwischen Mensch und Maschine | Einsatz lokaler Anzeigeräte | Zentrale / dezentrale Produktionsüberwachung/-steuerung | Einsatz mobiler Anzeigeräte | Erweiterte und assistierte Realität |
| Effizienz bei kleinen Losgrößen | Starre Produktionsmittel und geringer Anteil von Gleichteilen | Nutzung von flexiblen Produktionsmitteln und Gleichteilen | Flexible Produktionsmittel und modulare Baukästen für die Produkte | Bauteilgetriebene, flexible Produktion modularer Produkte im Unternehmen | Bauteilgetriebene, modulare Produktion in Wertschöpfungsnetzen |

Abbildung 2: Kategorie Produktion

Merkmal „Datenverarbeitung in der Produktion“

Die Verarbeitung von Daten für verschiedenste Anwendungen ist ein Kernthema bei Industrie-4.0-Anwendungen in der Produktion. Datenverarbeitung in der Produktion kann sowohl zur einfachen Dokumentation eingesetzt werden als auch Ziele verfolgen, die von der Prozessüberwachung bis hin zur autonomen Prozessplanung und -steuerung reichen.

Merkmal „Maschine-zu-Maschine-Kommunikation“

Schnittstellen zum automatisierten Datenaustausch zwischen Maschinen bilden die Grundlage vielfältiger Industrie-4.0-Anwendungen. Industrielle Anwendung finden sowohl Feldbus-, Industrial Ethernet- als auch Internet-Schnittstellen. Internet-Schnittstellen und Anwendungen mit autonomem Informationsaustausch (Webdienste) bieten den Vorteil einer möglichen Trennung von Informationen und Standort.

Merkmal „Unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion“

Eine Verbesserung der Vernetzung unterschiedlicher Unternehmensebenen mit der Produktion erschließt Synergien und vermeidet Doppelarbeit. Durch die Vernetzung der Produktion mit anderen Unternehmensbereichen entstehen vereinheitlichte IT-Lösungen, standardisierte Workflows oder durchgängige Dateiformate, von denen das gesamte Unternehmen profitiert.

Merkmal „Infrastruktur von Informations- und Telekommunikationstechnologie in der Produktion“

Die Infrastruktur von Informations- und Telekommunikationstechnologien in der Produktion bestimmt die Möglichkeiten der Umsetzung innovativer Anwendungen und damit potentieller Verbesserungen technischer und organisatorischer Abläufe. Neben der Nutzung zentraler Datenserver können internetbasierte Kommunikationsportale zum Einsatz kommen. Automatisierte Abläufe zum Austausch von Daten mit externen Partnern der Wertschöpfungskette beziehungsweise des Wertschöpfungsnetzes stellen weitere Stufen hin zu einer Vision von Industrie 4.0 dar.

Merkmal „Mensch-Maschine-Schnittstellen“

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Komplexität von Produktionsanlagen rücken Mensch-Maschine-Schnittstellen stark in den Fokus. Den Ausgangspunkt bilden in der industriellen Praxis häufig lokale Anzeigergeräte mit teils wenig anwenderfreundlichen Bedienkonzepten. Neuartige Bedienkonzepte, wie mobile Tablets oder Datenbrillen, die am jeweils richtigen Ort die

richtigen Informationen in geeigneter Weise bereitstellen, versprechen Potenziale zur Entlastung von Mitarbeitern und Steigerungen der Produktionseffizienz.

Merkmal „Effizienz bei kleinen Losgrößen“

Unter anderem der Trend hin zu individuell hergestellten Gütern und damit zu immer kleineren Losgrößen führt zu einer steigenden Komplexität der Abläufe in der Produktion. Die Erreichung hoher Effizienz bei kleinen Losgrößen wird damit zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor. Hierbei kann ein modularer Aufbau der jeweiligen Produkte oder der Einsatz flexibler Produktionsmittel mit geeigneter Abstimmung im jeweiligen Wertschöpfungsnetz Potentiale eröffnen.

4 Kategorie Organisation

Die Kategorie Organisation wurde in gleicher Systematik wie der VDMA-Werkzeugkasten an der Technischen Hochschule Mittelhessen entwickelt. Industrie 4.0 bzw. die Digitalisierung werden ebenso geprägt durch die Frage, welche IT-Systeme eingesetzt werden. Weitere Merkmale beschreiben Ausprägungen elementarer Prozesse, die in den meisten Unternehmen anzutreffen sind. Dazu gehört der Beschaffungsprozess, der Kundenauftrags-Abwicklungsprozess und die Abwicklung von Fertigungsaufträgen. Ein weiteres Merkmal beschreibt Grundsätzliches zum Geschäftsmodell (s. Abb. 3).



| Organisation | | | | | |
|---|--|--|---|--|--|
| IT- Basis | Kein ERP-System | ERP-System | ERP+ CIM-Komponente + BDE | ERP+ CIM-Komponente + BDE + MES | ERP + CIM-Komponente+ BDE+MES+ Embedded Systems für allgemeine Aggregate |
| Beschaffungsprozess | MA ermittelt und bestellt Bedarf manuell | Bedarfsermittlung durch ERP-System und Bestellung | ausgewählte Bedarfe werden automatisch über das ERP-System ohne Eingriff bestellt | Ein Großteil der Bedarfe wird über das ERP-System automatisch beschafft | Zusätzlich sind ausgewählte Lieferanten über Konsignation, Kanban oder Entnahmeautomaten angebunden. |
| Abwicklung Kundenauftrag | Aufträge gehen im Wesentlichen per Papier oder E-Mail ein | mit vereinzelt Kunden besteht eine ERP-seitige Datenvernetzung zum Austausch von Aufträgen und Auftragsbestätigung | Kunden erfassen ihren Auftrag per e-Commerce selbstständig | Kunden konfigurieren ihr Produkt selbstständig | Kunden können sich online den Status/Fortschritt ihrer Bestellung ansehen |
| Interne Abwicklung Fertigungsauftrag | Kundenaufträge müssen manuell erfasst und in das ERP-System eingegeben werden; Fertigungsaufträge werden ohne IT-System erstellt | Fertigungsaufträge werden im ERP-System erstellt und in Papierform in die Fertigung gegeben | Fertigungsaufträge werden von dem ERP-System an ein MES-System übergeben; in Papierform gelangen sie von dort an die Maschine | Fertigungsaufträge werden von dem ERP-System an ein MES-System übergeben; Fertigungsaufträge werden als Datensatz an ein Terminal in der Fertigung übertragen (papierfrei) | Kundenaufträge werden ohne Medienbruch und manuelle Nachbearbeitung dann als Fertigungsaufträge bis in die Fertigung/ an die Maschine elektronisch durchgereicht |
| Geschäftsmodell | Produktion und Verkauf von Produkten | zusätzliches Angebot von Wartung/Service , ggf. als eigene Unternehmenseinheit | zusätzliche Übernahme der Verantwortung der Produktionsverfügbarkeit durch Online-Monitoring | zusätzlich vereinzelt Verkauf der Leistung von Produkten | In erheblichem Umfang Verkauf der Leistung von Produkten |

Abbildung 3: Kategorie Organisation

Merkmals „IT-Basis“

Eine Grundlage für Geschäftsprozesse bilden die eingesetzten IT-Systeme. Mit zunehmender Digitalisierung werden neben einem Enterprise Resource Planning System (ERP) weitere Systeme eingesetzt. Dazu zählen Manufacturing Execution Systeme (MES), Komponenten des Computer Integrated Manufacturing (CIM), und die Ebene der Betriebsdatenerfassung (BDE). Für ausgewählte Gewerke, die eines besonderen Monitoring bedürfen, können

noch Embedded Systems lokal eingesetzt werden. Diese ermöglichen eine Daten-Vorverarbeitung, bevor Informationen gemäß der IT-Pyramide an die übergeordneten IT-Systeme weitergeleitet werden.

Merkmal „Beschaffungsprozess“

Beschaffungsprozesse können mit unterschiedlichem Automatisierungsgrad durch Nutzung von Technologien organisiert werden. So bietet sich z.B. die Möglichkeit, C-Teile (gemäß ABC-Klassifikation) weitgehend automatisiert zu beschaffen. Einbindung von Lieferanten durch Konsignationslager, Vending-Machines (Entnahmeautomaten) oder Kanban-Regelkreise dienen zur Entlastung der Mitarbeiter von Routineprozessen.

Merkmal „Abwicklung Kundenauftrag“

Dieses Merkmal beschreibt die Möglichkeiten, wie ein Unternehmen seine Kunden an das eigene ERP-System anbindet. Ohne Anbindung müssen Kundenaufträge händisch eingegeben werden, und der Informationsaustausch z.B. für eine Auftragsbestätigung läuft mit Aufwand ab. Digital besonders fortgeschrittene Unternehmen bieten die Möglichkeit, dass Kunden online den Fortschritt ihres Kundenauftrags einsehen können.

Merkmal „Interne Abwicklung Fertigungsauftrag“

Besonders in mittelständischen Unternehmen herrschen noch immer viele Medienbrüche vor, die das Durchstellen von Fertigungsaufträgen von der Entscheidungsebene (ERP-Ebene) bis zur Maschine oder dem Werker kennzeichnen. Mit zunehmender interner Vernetzung ist es möglich, Fertigungsaufträge auch ohne weitere manuelle Eingriffe an den Ausführungsort durchzustellen.

Merkmal „Geschäftsmodell“

Die Digitalisierung ermöglicht es, nach Verlassen des Produktionswerkes mit bestimmten Produkten in Kommunikation zu bleiben. Das legt die Basis für vollkommen veränderte Geschäftsmodelle. So kann der Hersteller Betriebs-

daten seines Produkts beim Kunden auslesen, Anomalien im Betrieb feststellen, Service- oder Wartungsvorschläge machen oder sogar eine Verantwortung für den OEE (Overall Equipment Effectiveness) übernehmen. Ein noch weitergehendes Geschäftsmodell ist es, wenn das Produkt dem Kunden zur Verfügung gestellt wird, und Pay-per-Use oder Pay-per-Outcome Vereinbarungen getroffen werden. Aus dem einmaligen Umsatz durch den Verkauf des Produktes werden dann kontinuierliche Umsätze aus der Nutzung.

5 Kategorie Mitarbeiter

Mit zunehmender Digitalisierung beginnt sich auch das Tätigkeitsspektrum der Mitarbeiter zu verändern. Rollen verändern sich, Tätigkeiten reichern sich teilweise inhaltlich an. Es sind die Merkmale Arbeitsteilung in der Fertigung, Personal und Montage, Rolle des Mitarbeiters und Qualifikationsverschiebung zu betrachten (s. Abb. 4).



| Mitarbeiter (MA) | | | | | |
|---------------------------------|---|---|--|---|--|
| Arbeitsteilung in der Fertigung | Maschinenführer Einrichter Instandhalter | Maschinenführer richtet selber ein; Instandhalter | Maschinenführer erledigt zusätzlich einfache Aufgaben der normalen Instandhaltung | Maschinenführer erledigt wesentliche Aufgaben der normalen Instandhaltung | Maschine fährt weitgehend mannos, Störungsinformation per App, Smartphone etc. an Maschinenführer oder Instandhalter |
| Personal und Montage | Serie: Der Monteur wird für die Serie trainiert Einzel-/Kleinserie: der Mitarbeiter erhält umfangreiche Papierdokumente (Stückliste/Zeichnung) | Pick-by-light Systeme zeigen dem Monteur, welche Teile zu verbauen sind, zusätzlich techn. Zeichnung | Pick-by-light Systeme zeigen den Monteuren, welche Teile zu verbauen sind. Visuelle Anzeige der Zeichnung an einem Monitor | Erste interaktive Führung des Monteurs, Unterstützung durch Kinect- Systeme; Kamerasysteme überprüfen die Qualität | weitgehend interaktive Führung des Monteurs, Unterstützung durch Kinect- Systeme; Kamerasysteme überprüfen die Qualität |
| Rolle des Mitarbeiters | MA führen weitestgehend Routinetätigkeiten aus | MA führen mit Unterstützung von ERP und/oder MES weitestgehend Routinetätigkeiten aus | Aufgaben mit hoher Wiederholhäufigkeit laufen teilweise automatisch im ERP/MES-System ab, MA kontrollieren | MA konzentrieren sich auf die Bearbeitung von Sonderfällen, Routinen werden von System erledigt | Schwerpunkt der MA liegt in der Überprüfung von Systemparametern, Gestaltung & Abbildung von Regelkreisen in ERP/MES |
| Qualifikationsverschiebung | Helfer, Fachkräfte, Spezialisten, Experten in traditioneller Spezialisierung | Helfer beginnen Aufgaben der Fachkräfte zu übernehmen, Fachkräfte drängen in Aufgaben von Spezialisten ein | Anzahl der Fachkräfte nimmt ab, Zahl der Helfer bleibt weitestgehend unverändert. Spezialisten werden teilweise zu Experten | Einige Aufgaben in der Verantwortung von Helfern; Fachkräfte, Spezialisten und Experten sorgen dafür, dass die Systeme funktionieren | Viele Aufgaben in der Verantwortung von Helfern; wenige verbleibende Fachkräfte, Spezialisten und Experten sorgen dafür, dass die Systeme funktionieren |

Abbildung 4: Kategorie Mitarbeiter

Merkmal „Arbeitsteilung in der Fertigung“

In der klassischen Produktion mit Fertigungsmaschinen herrscht typischerweise die Unterscheidung in Maschinenführer, Einrichter und Instandhalter vor. Die höchste Qualifikation kommt dabei dem Instandhalter zu, der in der Lage ist, eine Maschine ordnungsgemäß zu warten und Instand zu setzen. Der Einrichter ist die Tätigkeit mit der zweithöchsten Qualifikation. Der Einrichter ist für die korrekte Einrichtung von Werkzeugen und Vorrichtungen und

für das Einfahren eines Produktionsprogrammes zuständig. Der Maschinenführer ist dann derjenige, der das vollständige Fertigungslos abarbeitet, also eine rein repetitive Tätigkeit. Durch Digitalisierung fängt die Rollenverteilung an sich zu verschieben, indem durch Nutzung inzwischen vorhandenen Visualisierungstechnologien zunächst der Maschinenführer die Einrichtung der Maschine selber übernehmen kann. In der extremsten Ausprägung fährt dann eine Produktionsmaschine weitgehend mannlos. Störungsinformationen werden per App z.B. auf das Smartphone eines Maschinenführers oder Instandhalters gesteuert.

Merkmal „Personal und Montage“

Bei Unternehmen mit Montagebereichen muss man im Ausgangspunkt zwischen Serienfertigung und Einzel-/Kleinserienfertigung unterscheiden. Bei der Serienfertigung wird der Werker in aller Regel auf das Produkt trainiert. In Folge hat er wenig Dokumentationsmaterial für die Abwicklung eines Fertigungsauftrags zur Verfügung.

Bei der Einzel-/Kleinserienfertigung hingegen herrscht eine Vielzahl kleiner Losgrößen vor. Dem Werker müssen umfangreiche Informationen (Zeichnungen, Montageanweisungen, ...) zur Verfügung gestellt werden. Diese muss er sichten, verstehen und beachten. Mit zunehmender Digitalisierung wird die Information über andere, digitale Wege an den Mitarbeiter gebracht. Das kann so weit gehen, dass eine weitgehend interaktive Führung des Monteurs durch Visualisierungstechnologien erfolgt.

Merkmal „Rolle des Mitarbeiters“

In der niedrigsten Ausprägungsstufe führen die Mitarbeiter weitestgehend Routinetätigkeiten durch. Das können zum Beispiel die Buchung von Rechnungen in ein ERP-System oder die Disposition und Bestellung von Material sein. Mit zunehmendem Einsatz von Softwaresystemen werden die Routinetätigkeiten automatisiert. Die Mitarbeiter fokussieren sich dann auf die nicht oder nur schwer zu automatisierenden Sonderfälle. In der höchsten Ausprä-

gungsstufe konzentrieren sich die Mitarbeiter auf die Organisation der automatisierten Ausführung. Sie legen Eingriffsgrenzen fest, definieren, beschreiben und richten Regelkreise in Softwaresystemen ein.

Merkmal „Qualifikationsverschiebung“

Allgemein unterscheidet man in Fertigungsbereichen zwischen Helfern, Fachkräften, Spezialisten und Experten. Durch digitale Hilfsmittel beginnen sich deren Rollen zu verschieben. Helfer können z.B. durch Visual Computing einen Teil der Aufgaben von Fachkräften übernehmen, Fachkräfte dringen durch digitale Technologien in die Rolle von Spezialisten vor.

6 Kategorie IT-Sicherheit

Die zunehmende Vernetzung bei Industrie 4.0 bzw. Digitalisierung zwischen den Teilnehmern der Wertschöpfungskette einerseits und der Verbindung von Office-IT und Fertigungs-IT andererseits birgt Risiken. Diese gilt es abzusichern. Die Kategorie IT-Sicherheit beschäftigt sich mit den Merkmalen Unternehmensführung Awareness, Mitarbeiter Awareness, Prüfung der IT-Sicherheit, Zuständigkeit der IT-Sicherheit, Endpunktsicherheit und Absicherung von Netzen (s. Abb. 5).

| IT-Sicherheit | | | | | |
|---|--|---|---|--|---|
| Unternehmensleitung (UL) Awareness |  setzt sich nicht mit dem IT-Risiko auseinander |  erkennt potenzielle Risikoquelle an und hat nur begrenzten Einblick in IT-Management-Praktiken |  übernimmt Verantwortung für IT-Sicherheit, initiiert Informationssicherheitsmanagement und Sicherheitskonzept |  integriert IT-Sicherheit als Teil des Unternehmensziels |  zusätzlich stellt UL Ressourcen für Kooperationen über Unternehmensgrenzen hinweg. IT-Sicherheit ist gemeinschaftliche Aufgabe |
| Mitarbeiter Awareness |  kein Bewusstsein für IT-Sicherheit. Erhalten keinen thematischen Input an Wissen. |  Mitarbeiter erhalten im Rahmen der Einarbeitung IT-Sicherheitsanweisungen |  vereinzelt Mitarbeiter erhalten IT-Sicherheitsschulung. |  wdh. Schulungs- und Sensibilisierungskonzept für alle Mitarbeiter |  Belegschaft erkennt Handeln jedes Einzelnen als wichtigen Baustein zur Erreichung hoher IT-Sicherheit |
| Prüfung der IT-Sicherheit |  keine Prüfung |  Prüfung nur nach Vorfall |  regelmäßige interne Risikoanalyse |  externes Audit und Penetrationstest |  Zertifizierung nach Normen der IT-Sicherheit |
| Zuständigkeit der IT-Sicherheit |  Unternehmen ohne zuständigen Mitarbeiter für IT-Sicherheit |  IT-Sicherheit wird als selbstverständliche Aufgabe der IT-Abteilung betrachtet |  IT-Sicherheitsbeauftragter benannt |  qualifizierter IT-Sicherheitsbeauftragter steuert Sicherheitsprozess für Produktion und Office-IT |  IT-Sicherheitsbeauftragter wird uneingeschränkt durch die Unternehmensleitung unterstützt |
| Endpunkt-sicherheit |  Antivirusprogramm für Office-IT/ Einsetzbarkeit in Produktions-IT geprüft |  zeitnahe Updates und Patches von Antivirenprogrammen und IT-Systemen |  zusätzlich vorsichtiger Umgang mit E-Mails bspw. nur angeforderte Anhänge werden geöffnet |  zusätzlich nicht notwendige Schnittstellen gesperrt/ Einsatz von Datenschieuse |  zusätzlich Whitelisting für Applikationen und Wechseldatenträger |
| Absicherung von Netzen |  techn. Trennung Internet und internes Netz |  techn. Zonierung Office- und Produktionsnetz |  techn. Trennung von Anlagen Subnetzen nach Schutzbedarf |  hochsensible, kritische Systeme und Daten sind nicht mit dem Netzwerk verbunden |  Netz -Angriffserkennung Intrusion Detection/ Prevention Systeme |

Abbildung 5: Kategorie IT-Sicherheit

Merkmale „Unternehmensführung Awareness“

Das Bewusstsein der Unternehmensleitung zum Thema IT-Sicherheit ist essenziell für die Ausrichtung des gesamten Unternehmens in Bezug auf diese Thematik. Sie übernimmt dabei auch eine Führungs- bzw. Vorbildfunktion für die gesamte Organisation.

Auf der ersten Ausprägungsstufe befinden sich Unternehmen, deren Leitung sich nicht mit dem gegenwärtigen IT-Risiko befassen. Auf dem zweiten Level erkennt die Unternehmensleitung die Risiken und den Handlungsbedarf. Ver-

einzelne Maßnahmen werden bereits durch die Unternehmensleitung angestoßen. Es existieren jedoch keine Prozesse. IT-Sicherheit wird nicht gemanagt. In der dritten Stufe ist sich die Unternehmensleitung bewusst, dass sie die Verantwortung im Sicherheitsprozess trägt. Um dieser Verantwortung gerecht zu werden, wird ein Informationssicherheitsmanagement etabliert. Die Unternehmensleitung ist über den Status quo der IT-Sicherheit informiert und entscheidet rollierend, ob bereits getroffene Maßnahmen ausreichen oder erweitert werden sollen. Auf der vierten Stufe erachtet die Unternehmensleitung IT-Sicherheit als so wichtig, dass sie es als Teil des Unternehmensziels integriert. Da der Unternehmensleitung bewusst ist, dass Maßnahmen im eigenen Unternehmen auf Grund der Vernetzung nicht ausreichend sind, um ein sehr hohes Maß an IT- Sicherheit zu garantieren, werden auf der fünften Stufe im Unternehmen zusätzliche Ressourcen bereitgestellt für Kooperationen mit Partnern, Lieferanten, Herstellern oder Kunden.^{5 6}

Merkmal „Mitarbeiter Awareness“

Da das Verhalten der Mitarbeiter und deren Bewusstsein von großer Bedeutung ist, ist dies das zweite Merkmal. Auf der ersten Stufe weisen die Mitarbeiter kein Bewusstsein für das Thema IT-Sicherheit auf. Sie erhalten keinen thematischen Input an Wissen. Vorhandene Wissensbestände sind auf Eigeninitiative zurückzuführen. Gehandelt wird nach bestem Wissen und Gewissen. Auf Level zwei erhalten Mitarbeiter im Rahmen der Einarbeitung IT-Sicherheitsanweisungen. Auf dritter Stufe erhalten vereinzelt Mitarbeiter (z.B. Administratoren) Schulungen. Ausprägungsmerkmal der vierten Dimension ist ein Schulungs- und Sensibilisierungskonzept, welches zur regelmäßigen Bewusstseinsstärkung aller Mitarbeiter beiträgt. Bestandteil eines solchen Konzeptes können regelmäßige Schulungen, Tests und Newsletter sein. Die fünfte Stufe stellt das Wunschergebnis der vierten Dimension dar. Die Belegschaft erkennt das Handeln jedes einzelnen Mitarbeiters als wichtigen Baustein zur

⁵ Vgl. BITKOM e.V. et al. 2015, S. 72 u. 92.

⁶ Vgl. Schneider 2017, S. 58–59.

Erreichung einer hohen IT-Sicherheit. Die Sinne der Mitarbeiter sind geschärft, Bedrohungen werden erkannt und gemeldet, Kollegen auf Vergehen hingewiesen.

Merkmal „Prüfung der IT-Sicherheit“

Auf die erste Stufe sind Unternehmen einzuordnen, welche ihre IT-Sicherheit nicht prüfen. Auf der zweiten Ebene erfolgt eine Prüfung, die allerdings ereignisorientiert, also auf Grund eines Sicherheitsvorfalls, angestoßen wird. Die dritte Stufe steht für Unternehmen, welche in einem regelmäßigen Prozess eine interne Risikoanalyse betreiben. In der vierten Dimension ziehen Unternehmen externe Experten hinzu, um eine differenzierte Einschätzung in Form eines Audits zu erhalten. Die Widerstandsfähigkeit der IT-Systeme wird mittels simulierter Angriffe (Penetrationstest) getestet. An fünfter Stufe steht die Zertifizierung nach Normen der IT-Sicherheit.

Merkmal „Zuständigkeit der IT-Sicherheit“

Unternehmen, die in Level eins einzuordnen sind, haben keinen zuständigen Mitarbeiter, dessen Aufgabengebiet sich mit IT-Sicherheit befasst. Dimension zwei beschreibt einen Zustand, in dem IT-Sicherheit als selbstverständliche Aufgabe der IT-Abteilung gesehen wird. Hier besteht die Gefahr, dass Sicherheit neben dem Tagesgeschäft vernachlässigt wird. Auf Stufe drei verfügt das Unternehmen über einen Informationssicherheitsbeauftragten. Dass dieser ausreichend qualifiziert ist und sowohl Themenfelder der Produktions-IT als auch der Office-IT bearbeitet, thematisiert Stufe vier. Fünfte Stufe ist die uneingeschränkte Unterstützung des IT-Sicherheitsbeauftragten bei der Durchführung seiner Tätigkeiten durch die Unternehmensleitung.

Merkmal „Endpunktsicherheit“

Stufe eins ist der Einsatz von Antivirenprogrammen. Diese sollten im Bereich der Office-IT als Grundvoraussetzung implementiert sein. Auch eine Anwendung für die Produktions-IT ist zu prüfen. Die Ausprägungen der Stufe zwei beschreiben das zeitnahe Patchen und Updaten von IT-Systemen und Viren-

programmen. Mit Stufe drei wird die ausgehende Gefahr der E-Mail-Kommunikation aufgegriffen. Stellvertretend für diese Stufen ist ein vorsichtiger Umgang mit E-Mails wie bspw. das Öffnen nur angeforderter Anhänge oder das Verschlüsseln und Verifizieren von E-Mails. Die vierte Stufe legt einen Fokus auf Schnittstellen. Nicht notwendige Ports sind gesperrt. Des Weiteren wird für schlecht gesicherte notwendige Schnittstellen eine Datenträger-schleuse verwendet. Zusätzlich zu den Stufen kann ein Whitelisting-Ansatz zur Erhöhung der Sicherheit beitragen, in dem nur gelistete Anwendungen ausgeführt werden dürfen und gelistete Datenträger benutzt werden können.

Merkmal „Absicherung von Netzen“

Basis für ein sicheres Unternehmensnetz ist die technische Trennung zwischen internem und dem externen Netz, welches Stufe eins aufgreift. Für den Fall, dass die „Mauer“ zwischen dem internen und externen Netz durch einen Angreifer überwunden wird, sind weitere zonierende, segmentierende Maßnahmen zu treffen, welche mit Stufe zwei und drei aufgezeigt werden. Die vierte Dimension beschreibt, dass hochsensible Daten und Systeme mit keinem Netzwerk verbunden sind. In der fünften Stufe werden Netzangriffserkennungssysteme betrieben.

7 Das AWF-Modell zur Vorgehensweise bei der Digitalisierung

Der Arbeitskreis Industrie 4.0 im „Ausschuss für Wirtschaftliche Fertigung (AWF)“ mit Laufzeit 2016 bis 2019 widmete sich mit seinen Teilnehmern den verschiedensten Fragestellungen zum Komplex Industrie 4.0. Die ca. 20 Arbeitskreis-Mitglieder aus bekannten deutschen Unternehmen⁷ kamen 4 Mal jährlich wechselnd bei den Teilnehmer-Unternehmen zusammen und bearbeiten Themenstellungen zu Industrie 4.0. Beim einem dieser Arbeitskreis-

⁷ AWF-Arbeitskreis Industrie 4.0: Siemens AG, Wolf, Arconic, Hekatron, Rittal, Biotronik, CE-SYS Vision, E.G.O., Hottinger Baldwin, Bender, IPOL, Elabo, sense-IT, Braas Monier, IFESCA, Carl Geringhoff, incovia, Technische Hochschule Mittelhessen

Treffen stand die Entwicklung einer Vorgehensweise zu Industrie 4.0 im Mittelpunkt (vgl. Abb. 6), die nachfolgend vorgestellt wird.

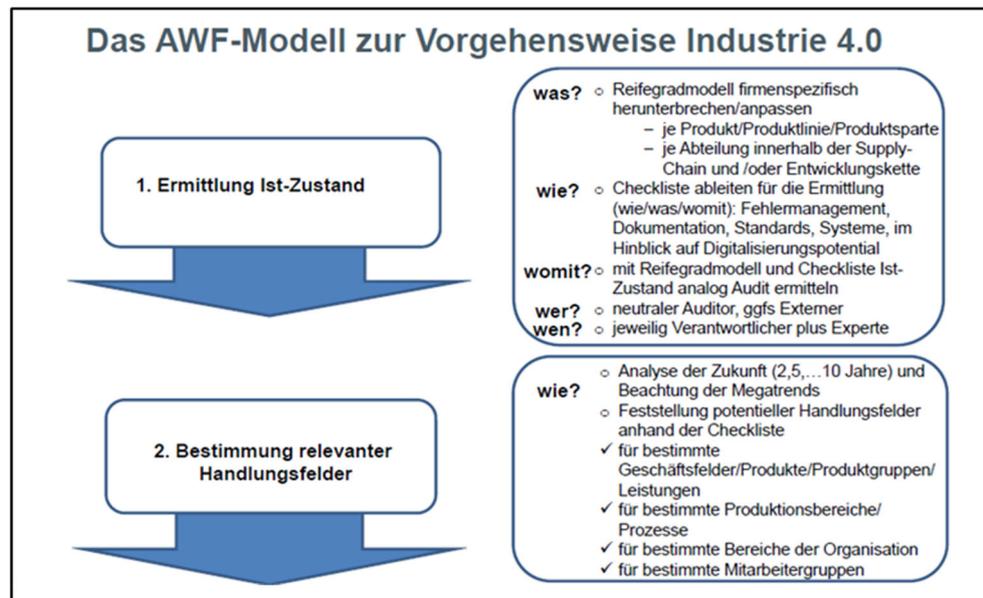


Abbildung 6: Das AWF-Modell, Schritte 1 und 2

Im Ergebnis entstand das im Folgenden näher erläuterte AWF-Modell.

Ermittlung des Ist-Zustands

Das Modell sieht vor, dass zunächst der Ausgangszustand im Hinblick auf Industrie 4.0/ Digitalisierung im Unternehmen ermittelt wird. Dazu dienen die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Kategorien des Reifegrad-Modells. Wichtig ist der Hinweis, dass nicht zwangsweise als Zielsetzung das Erreichen der höchsten Ausprägungsstufe sinnvoll ist.

Die Ermittlung des Ist-Zustands kann dabei beliebig detailliert werden. Das Reifegradmodell lässt sich für Produktbereiche, für Produktlinien, oder auch auf unterschiedliche Sparten oder Bereiche eines Unternehmens anwenden. Um die vorhandene Ausprägung eines Merkmals festzustellen, sind entsprechende Checklisten als Arbeitshilfen abzuleiten. Sie sollen Antwort geben,

wie ein Vorgang läuft, welche Hilfsmittel verwendet werden, welche Fehler im Ausgangszustand zu bemängeln sind, und welche Standards verwendet werden. Um die notwendige neutrale Sicht bei der Ermittlung des Ist-Zustands zu behalten, sieht das AWF-Modell vor, dass ein neutraler Auditor, gerne auch ein Externer, zu Rate gezogen wird. Die Ermittlung des Ist-Zustands setzt ebenso voraus, dass ein Verantwortlicher der zu betrachtenden Organisationseinheit zur Verfügung steht. Wichtig ist ein unkomplizierter Zugriff auf weitere Experten des jeweiligen Unternehmensbereichs.

Bestimmung relevanter Handlungsfelder

Welche Ausprägung im Reifegradmodell ist aber für die Zukunft des Unternehmens sinnvoll? Das AWF-Modell sieht dazu vor, dass die Megatrends, die auf das Unternehmen wirken, analysiert werden. Solche Megatrends können z.B. der sich aufgrund der Demografie abzeichnende Fachkräfte-Mangel sein, Veränderungen in Energiepreisen, Paradigmen-Wandel bei den Kunden, etc. Basierend auf dieser Analyse können anhand der Checkliste potentielle Handlungsfelder identifiziert werden. Die Detaillierungsebene ist wieder unternehmensindividuell festzulegen. So können bestimmte Geschäftsfelder, Produkte oder Produktgruppen, aber auch Leistungen des Unternehmens differenziert betrachtet werden.

Definition Soll-Zustand (s. Abb. 7)

Industrie 4.0 darf bei den Unternehmen kein Selbstzweck sein. Vielmehr muss der Soll-Zustand im Einklang mit der Unternehmensstrategie stehen. Auch kann mit Industrie 4.0/ Digitalisierung vieles gemacht werden. Doch im Vordergrund muss die Relevanz für das Unternehmen stehen. Dazu sind die Kosten, der Nutzen, notwendige Ressourcen, aber auch die finanziellen Möglichkeiten des Unternehmens zu beachten. Besonders Prozesse, die fehlerhaft ablaufen, sehr personalintensiv sind, also sogenannte Pain Points, sind dabei zu beachten. Das AWF-Modell sieht vor, dass der Soll-Zustand in Workshops mit Vertretern des Unternehmens festgelegt wird. Es ist zu überlegen, ob das Einschalten eines Beraters notwendige Impulse geben kann.

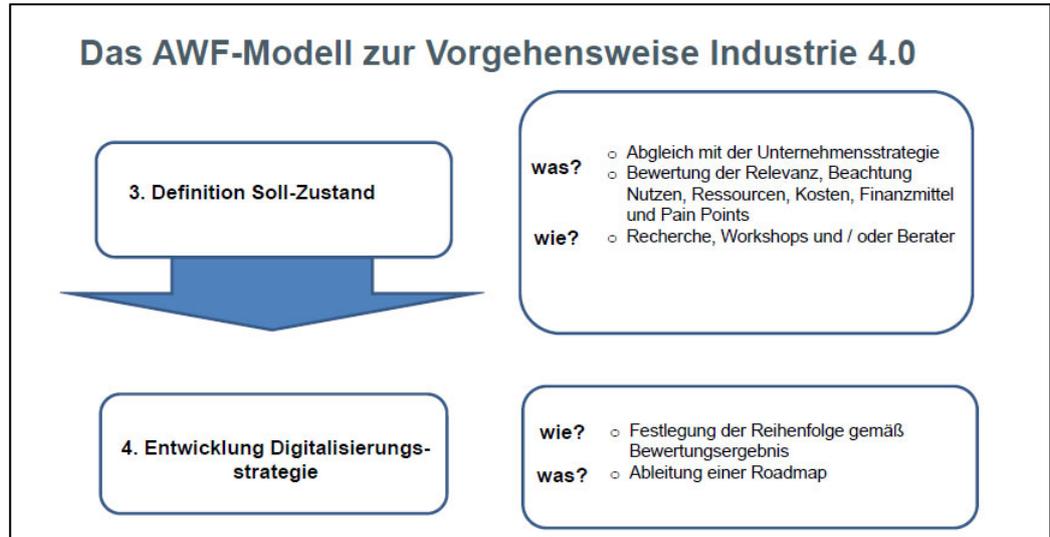


Abbildung 7: Das AWF-Modell, Schritte 3 und 4

Entwicklung Digitalisierungs-Strategie

Aus dem Soll-Zustand gemäß des Reifegradmodells wird schließlich die Digitalisierungs-Strategie abgeleitet. Anhand der Bewertungen von Kosten/Nutzen, Dringlichkeit oder anderen Kriterien, lässt sich eine Reihenfolge von Projekten ableiten. Diese bilden dann die Roadmap für das Unternehmen. In einer ersten qualifizierten Abschätzung lassen sich die so identifizierten Projekte in einem Portfolio nach Aufwand und Ertrag einordnen (s. Abb. 8).

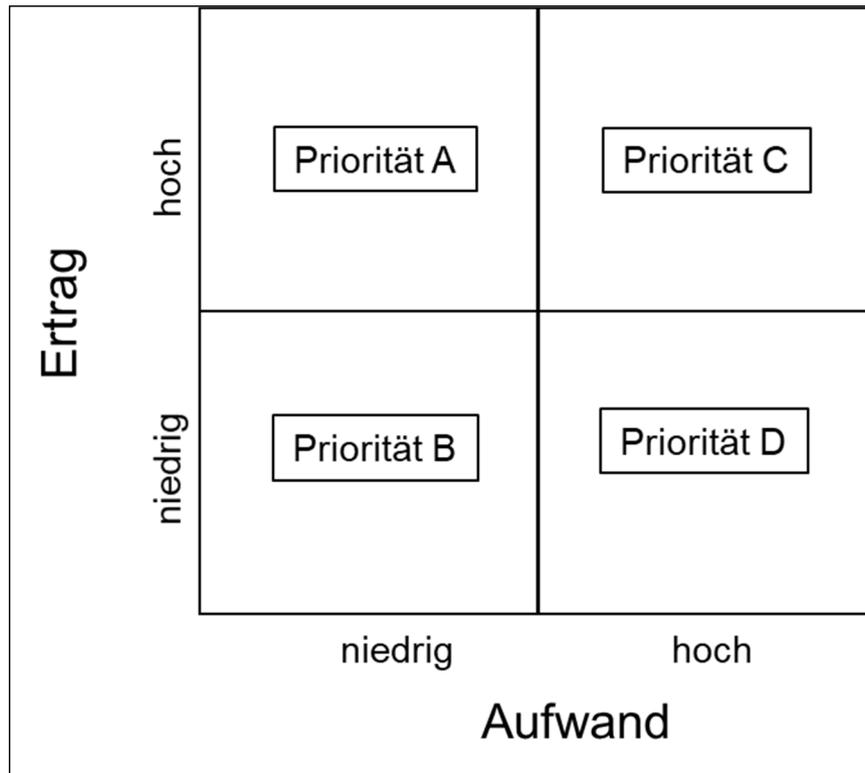


Abbildung 8: Aufwand-Ertrag-Portfolio

Die Roadmap leitet sich dann in der Reihenfolge aus den Nennungen im Feld der Priorität A bis C ab. Priorität D wird sicherlich zunächst nicht weiterverfolgt.

8 Zusammenfassung

Aufbauend auf dem VDMA-Werkzeugkasten Industrie 4.0 mit den Kategorien **Produkt** und **Produktion** ist eine Weiterentwicklung um die Kategorien **Organisation**, **Mitarbeiter** und **IT-Sicherheit** vorgenommen worden. Alle 5 Kategorien sind über Merkmale beschrieben. Diese können in unterschiedlichen Ausprägungsstufen im Unternehmen vorliegen. Die Ausprägungsstufen folgen der Logik, von links nach rechts einen höheren Digitalisierungsgrad bzw. Stand von Industrie 4.0 zu repräsentieren. Mit diesem Instrument kann der Reifegrad eines Unternehmens zur Digitalisierung/ Industrie 4.0 bestimmt werden. Im Weiteren wurde eine Vorgehensweise, das AWF-Modell, erläutert. Die Anwendung des AWF-Modells greift auf das Reifegradmodell

als Instrument zurück. Es dient dazu, abgeleitet von den zukünftigen Herausforderungen für ein Unternehmen Defizite in der Digitalisierung aufzuzeigen. Diese Defizite werden als Projekte in strukturierter Form in eine Roadmap für die Digitalisierung überführt. Natürlich ist es dann noch erforderlich, jedes identifizierte Projekt in der gebotenen Tiefe zu betrachten. Das AWF-Modell wurde mehrfach erfolgreich bei Unternehmen eingesetzt.

Literaturverzeichnis

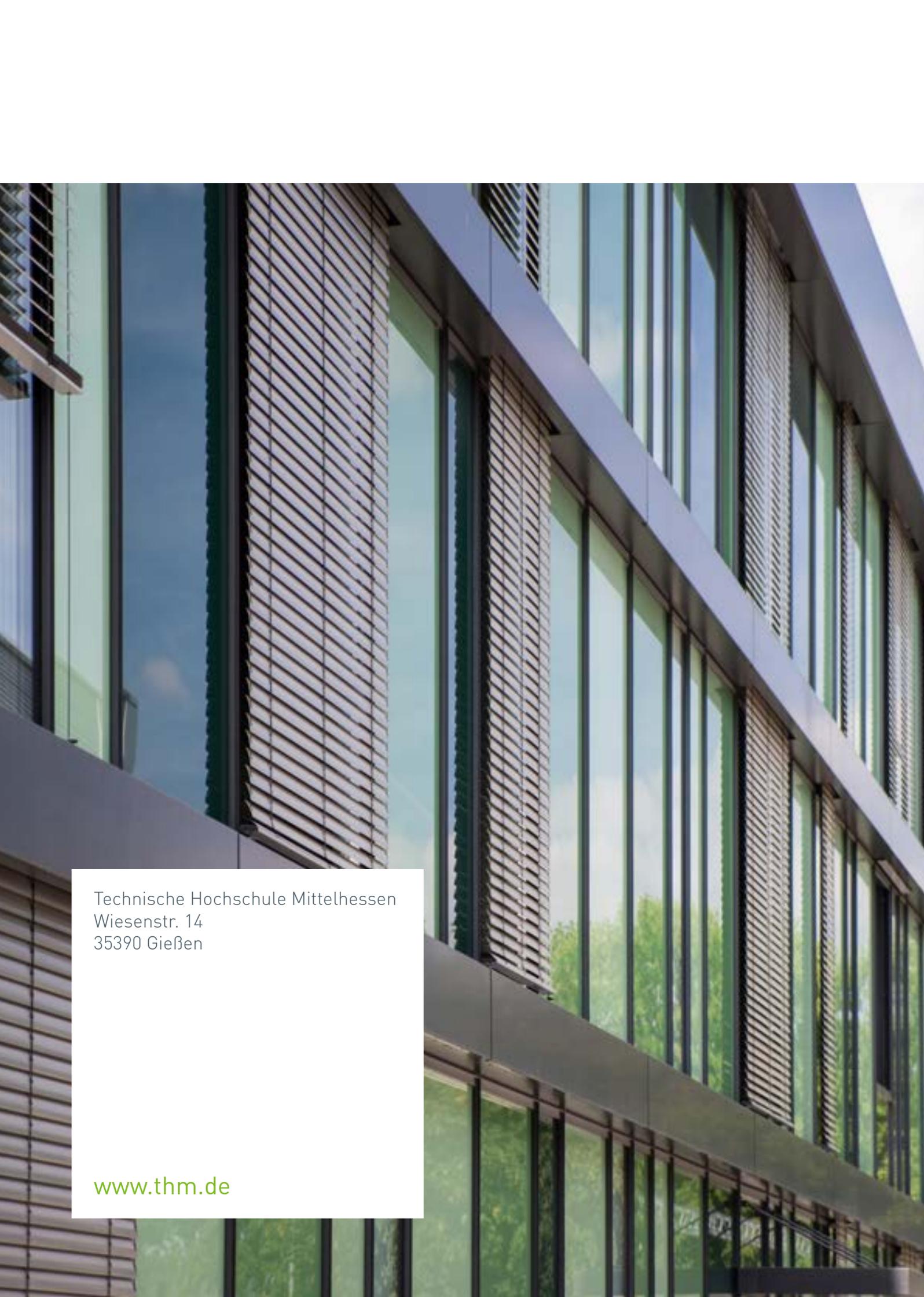
BITKOM e.V.; VDMA e.V.; ZVEI e.V. (Hg.) (2015): Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0. Online verfügbar unter https://www.its-owl.de/fileadmin/PDF/Industrie_4.0/2015-04-10_Umsetzungsstrategie_Industrie_4.0_Plattform_Industrie_4.0.pdf, zuletzt geprüft am 01.10.2020.

Sames, G.; Diener, A. (2018): Stand der Digitalisierung von Geschäftsprozessen zu Industrie 4.0 im Mittelstand – Ergebnisse einer Umfrage bei Unternehmen, THM Hochschulschriften Band 9.

Sames, G.; Lapa, J. (2020): Stand der Digitalisierung von Geschäftsmodellen zu Industrie 4.0 im Mittelstand – Ergebnisse einer Umfrage bei Unternehmen, THM Hochschulschriften Band 13.

Schneider, Ralf (2017): IT-Sicherheit: Gemeinsam sind wir Stärker. In: Ferri Abolhassan (Hg.): Security Einfach Machen. IT-Sicherheit als Sprungbrett für die Digitalisierung. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 52–64.

VDMA (2015): Leitfaden Industrie 4.0. Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. Online verfügbar unter https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/5356229/VDMA_Leitfaden_I40_neu.pdf/762e5ad4-978a-4e4a-bece-47fac3df4a86, zuletzt geprüft am 01.10.2020.

A photograph of a modern building facade featuring large glass windows and brickwork. The windows reflect the sky and surrounding greenery. The brickwork is a light color with a grid pattern. The building has a clean, architectural design with dark window frames and a light-colored brick facade.

Technische Hochschule Mittelhessen
Wiesenstr. 14
35390 Gießen

www.thm.de