

Industrie 4.0 im Mittelstand: Erfolgsfaktoren in der Organisation

Kurzgefasst

- › **Status quo:** Während Industrie 4.0 in größeren Betrieben bereits weitgehend umgesetzt wird, stehen viele mittelständische Unternehmen erst am Anfang ihrer Entwicklung hin zu Industrie 4.0.
- › **Potenzial:** Industrie 4.0 eröffnet zahlreiche neue Chancen auf verschiedenen Ebenen: Von der Effizienzsteigerung über die Möglichkeit, Produkte mit innovativen Services und Dienstleistungen zu kombinieren, bis hin zu neuen Wertschöpfungs- und Erlösmodellen.
- › **Herausforderungen:** Neben Treibern wie hohem Wettbewerbsdruck gibt es für Industrie 4.0 auch zahlreiche Hemmnisse, etwa die hohe Komplexität der eingesetzten Technologien. Viele dieser Faktoren lassen sich von den Unternehmen kaum beeinflussen.
- › **Fazit:** Viele Potenziale von Industrie 4.0 lassen sich auch ohne umfassende Umstrukturierungen des Unternehmens erfolgreich ausschöpfen. Dies macht Industrie 4.0 besonders für KMU interessant, denen oft nur begrenzte Ressourcen zur Verfügung stehen. Für eine erfolgreiche Umsetzung sind organisationale Faktoren entscheidend, da sie direkt von den Unternehmen gesteuert werden können. Werden diese Stellschrauben gezielt eingesetzt, entwickeln sie sich zu zentralen Erfolgsfaktoren.

Kontext

Die vierte industrielle Revolution geht weit über die bloße Steigerung der Produktivität oder Effizienz hinaus. Vielmehr werden zunehmend die Bereiche Zulieferung, Fertigung, Wartung, Auslieferung und Kundenservice vernetzt. So können hochflexible, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke entstehen, die die Produktion unter anderem nachhaltiger und resilienter gestalten. Gleichzeitig lassen sich Produkte mit neuartigen Services und Dienstleistungen ergänzen und neue Wertschöpfungs- und Erlösmodelle generieren.¹ Um die mannigfaltigen Potenziale von Industrie 4.0 zu nutzen, ist keine komplette Umstellung des Unternehmens erforderlich. Gerade für KMU, deren Ressourcen oft beschränkt sind, bietet es sich an, Industrie 4.0-Lösungen gezielt in einzelnen Bereichen wie etwa der Auftragsabwicklung oder der Kommunikation mit Kundinnen und Kunden einzusetzen.²

Die Potenziale von Industrie 4.0 werden derzeit jedoch gerade in mittelständischen Unternehmen nur begrenzt genutzt.³ Laut einer Umfrage der Bitkom Research wird Industrie 4.0 in deutschen Unternehmen noch nicht flächendeckend angewendet. Fast zwei Drittel der befragten Unternehmen sehen sich als Nachzügler bei der Digitalisierung und rund die Hälfte berichtet von Schwierigkeiten bei der Umsetzung.⁴ Entscheidende Enabler-Technologien⁵, wie beispielsweise Big Data, Internet of Things oder Künstliche Intelligenz werden, wenn überhaupt, nur von jedem dritten Unternehmen genutzt.⁶ Nach einer Studie des BMWK verwenden weniger als ein Viertel aller Industrieunternehmen KI, bei den Kleinunternehmen sind es sogar nur vier Prozent.⁷

Die Gestaltung organisationaler Einflussfaktoren ist entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0-Projekten. **ForschungInKürze** beleuchtet in dieser Ausgabe, wie solche Stellschrauben die Einführung von Industrie 4.0 im Mittelstand sowohl positiv als auch negativ beeinflussen können. Praxisnahe Fallbeispiele bieten Einblicke in die Unternehmensrealität und sensibilisieren Institutionen in der Forschungsförderung und forschende Unternehmen für Herausforderungen, die über technologische Fragestellung bei der Umsetzung von Industrie 4.0 hinausgehen. Zudem veranschaulichen sie für interessierte Unternehmen die organisatorischen Aspekte, die bei der Annäherung an das Thema zu beachten sind.

1 Für detaillierte Erläuterung der Potenziale und Herausforderungen von Industrie 4.0 vgl. beispielsweise acatech 2024a, acatech 2022a, acatech 2022b, acatech 2021a.

2 Vgl. Dumitrescu 2023 und Schuh 2020.

3 Vgl. Lerch 2023.

4 Vgl. Bitkom 2024.

5 Vgl. acatech 2024b, BMWK 2022, acatech 2021b.

6 Vgl. Bitkom 2024.

7 Vgl. BMWK 2024.

Determinanten für den Einsatz von Industrie 4.0

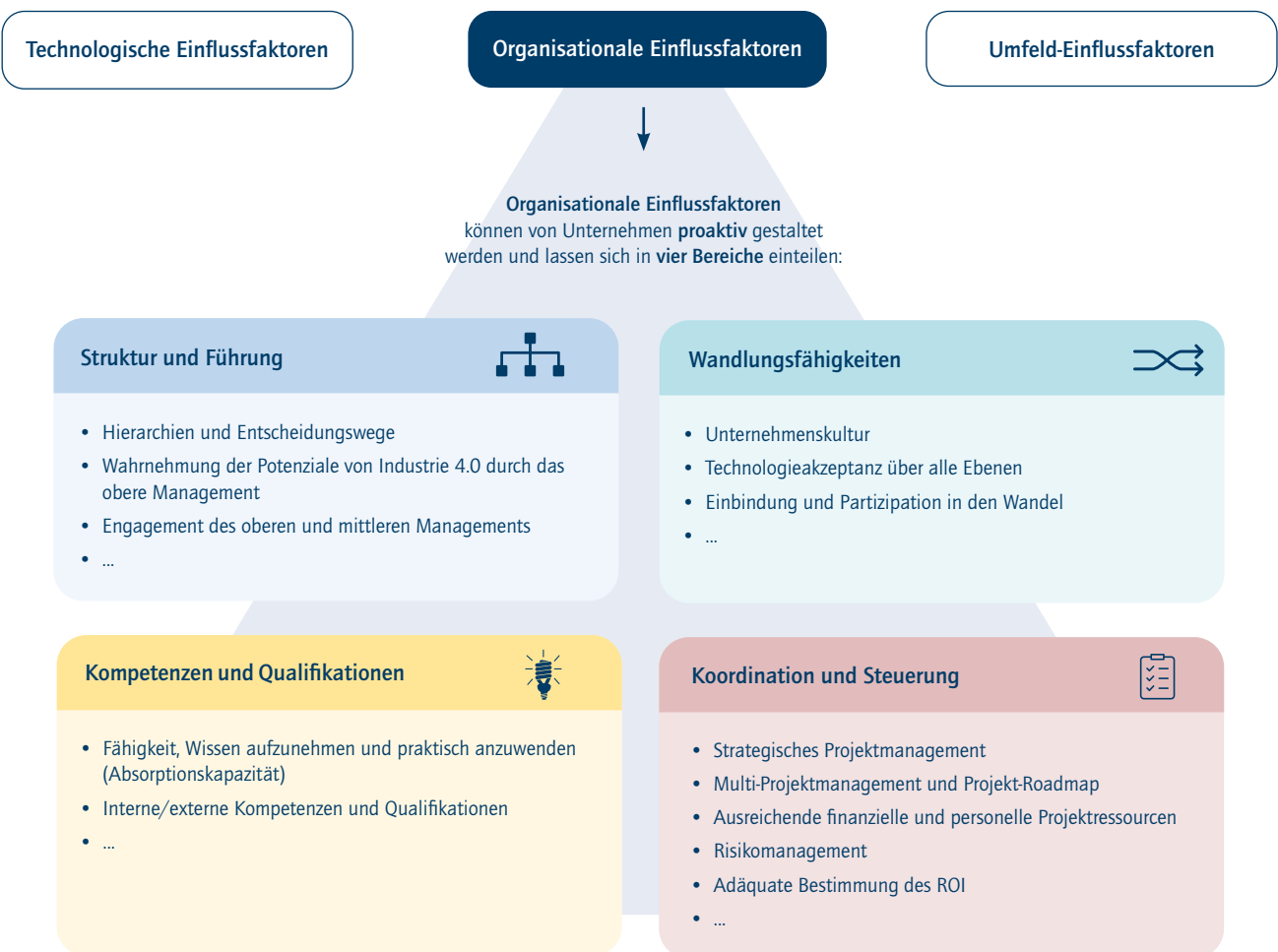
Der Erfolg von Unternehmen bei der Transformation zu Industrie 4.0 hängt von zahlreichen Einflussfaktoren ab. Diese lassen sich grob den Kategorien Technologie, Organisation und Umfeld zuordnen (siehe Abb. 1). In die Kategorie Technologie fällt beispielsweise die hohe Komplexität der Industrie 4.0-Anwendungen, sei es bei der Einbindung von Legacy-Systemen, beim Erheben, Verwalten und Auswerten von Daten oder der IT-Sicherheit.

Zu den Einflussfaktoren aus dem Unternehmensumfeld zählen die Marktdynamik und die Geschwindigkeit des Wettbewerbs, aber auch die Unterstützung durch Geschäftsnetzwerke, Forschungs-kooperationen und staatliche Förderprogramme. Auch die regio-

nale Infrastruktur und die Marktstruktur der Technologieanbietenden fällt in diesen Bereich. Organisationale Einflussfaktoren umfassen alle unternehmensinternen Determinanten, wie etwa die Unternehmenskultur, bestehende Kompetenzen oder das Engagement von Management und Mitarbeitenden. Zur besseren Übersicht werden die organisationalen Einflussfaktoren in vier Unterkategorien eingeteilt: Struktur und Führung, Wandlungsfähigkeiten, Kompetenzen und Qualifikationen sowie Koordination und Steuerung (siehe Abb. 1).⁸

Abbildung 1: Einflussfaktoren für den Einsatz von Industrie 4.0.

Drei Arten von Einflussfaktoren beeinflussen den Erfolg bei der Umsetzung von Industrie 4.0:



Quelle: eigene Darstellung.

8 Ghobakhloo 2022 bietet einen umfassenden Überblick über die wissenschaftliche Literatur zu den Einflussfaktoren.

Jeder Einflussfaktor kann als Treiber oder Hemmnis für Industrie 4.0-Projekte wirken (siehe Abb. 2).⁹ Unternehmen können organisationale Stellschrauben direkt beeinflussen und gestalten. Externe Einflussfaktoren aus den Bereichen Technologie und Umfeld können sie hingegen nur indirekt verändern, indem sie den Austausch mit Akteurinnen und Akteuren aus beispielsweise Forschung, Politik oder Geschäftsnetzwerken suchen, um gemeinsam Lösungen zu erarbeiten.¹⁰

Eine gezielte Ausgestaltung dieser Einflussgrößen kann sie zu Erfolgsfaktoren für die Umsetzung von Industrie 4.0-Projekten machen. Dies gelingt beispielsweise durch die Besetzung des Projektteams mit Mitarbeitenden aus allen relevanten Fachbereichen, klar definierte Zuständigkeiten und ausreichende Entscheidungsbefugnisse. Darüber hinaus sollten den Projektteams ausreichende Kapazitäten zur Verfügung gestellt werden (siehe Abb. 2).¹¹

Abbildung 2: Determinanten können sowohl Treiber als auch Hemmnis sein.

Einflussfaktoren fungieren als **Stellschrauben** und können sowohl ein Hemmnis als auch ein Treiber für die Umsetzung von Industrie 4.0 sein.



Quelle: eigene Darstellung.

⁹ Vgl. Rauch 2019.

¹⁰ Vgl. acatech 2022b.

¹¹ Vgl. WZL 2018.

Fallbeispiele

Die nachfolgenden Fallbeispiele sollen den Einfluss organisationaler Stellschrauben bei der Umsetzung von Industrie 4.0-Lösungen

in der Praxis verdeutlichen. Ein zentraler Faktor wird herausgestellt, der das Umsetzungsergebnis maßgeblich beeinflusste.

Fallbeispiel: Digitalisierung interner Prozesse im Handwerk

Ausgangslage: Eine Bautischlerei mit rund 70 Mitarbeitenden entschied sich, ineffiziente papierbasierte interne Prozesse zu digitalisieren. Obwohl bereits CNC-Maschinen und eine digitale Zeiterfassung eingesetzt wurden, erfolgte die Auftragsverwaltung und Finanzübersicht bislang analog und war oft unübersichtlich.

Ziele: Das Unternehmen strebte eine Effizienzsteigerung an und wollte gleichzeitig eine bessere Übersicht über den Auftragsstatus und die Finanzlage erreichen. Dies sollte auch zu einer deutlichen Arbeitserleichterung für die Mitarbeitenden führen.

Maßnahmen: Die Betriebsführung entschloss sich, ein **Auftragsmanagement-Tool** eines externen Software-Anbieters einzuführen, das mit der vorhandenen Konstruktionssoftware verknüpft wurde.

Damit können die Mitarbeitenden Aufträge an Standterminals mit **automatischer Zeiterfassung** aufrufen. **Tablets für die Führungskräfte** sollten die Kommunikation zwischen den drei Produktionshallen verbessern.

Best Practices: Die schrittweise und transparente Einführung der neuen Systeme half, die Bedenken der Mitarbeitenden auszuräumen und ihre Wandlungsbereitschaft zu steigern. Peer-to-Peer-Lernen und das Engagement des Managements trugen ebenfalls wesentlich zum Erfolg bei.

Erkenntnisse: Ein deutlich erhöhter Arbeitsaufwand für Einzelne ließe sich durch verbessertes Ressourcenmanagement und die Einstellung zusätzlichen Personals vermeiden.

Zentrale Stellschrauben

Struktur und Führung



- + Management erkannte Potenziale der Digitalisierung und trieb die Einführung neuer Technologien tatkräftig voran

Wandlungsfähigkeiten



- + Skepsis in der Belegschaft konnte durch langsame und schrittweise Einführung überwunden werden
- + Konsequente Nutzung der Technologie durch Geschäftsleitung beförderte Akzeptanz
- + Vorteile der Veränderung war der gesamten Belegschaft klar

Kompetenzen und Qualifikationen



- + Interne Fähigkeiten zur Auswahl und Implementierung der Software waren vorhanden
- + Mitarbeiter und Führungskräfte wurden regelmäßig in der Nutzung der neuen Technologie geschult

Koordination und Steuerung



- Kein Risikomanagement
- Projekt war sehr zeitintensiv und konnte nur durch hohen Arbeitsaufwand Einzelner erfolgreich umgesetzt werden

Entscheidender Faktor



Misstrauen der Belegschaft gegenüber der Technologie konnte durch langsame, schrittweise und transparente Einführung überwunden werden.



+

Fallbeispiel: Gut gemeint - schlecht gemacht – Smartphones für die Qualitätssicherung im Logistikbereich SST

Ausgangslage: Ein Logistikdienstleistungsunternehmen erhielt wiederholt Beschwerden aus nachgelagerten Prozessschritten und von Endkundinnen und -kunden über Qualitätsschäden – etwa Kratzer, die während Transport- und Handlingsvorgängen an den Gütern entstanden. Dies führte zu erheblichen Reklamationskosten.

Ziele: Eine Dokumentation sollte Transparenz für interne und externe Kundinnen und Kunden sowie Lieferantinnen und Lieferanten schaffen, wodurch auch Reklamationskosten und –aufwände reduziert würden. Das übergeordnete Ziel war die Einführung einer halbautomatisierten Qualitätsdokumentation.

Maßnahmen: Die Mitarbeitenden entwickelten eigeninitiativ eine Foto-dokumentation der transportierten Güter (z.B. des Zustands beim Inbound- und Outbound). Mit Unterstützung eines Praktikanten wurde dafür eine funktional einfache **App** programmiert, die auf den privaten **mobilen Endgeräten** der Mitarbeitenden installiert werden konnte. Die Bilddaten wurden über eine eigens entwickelte **IT-Schnittstelle** in das bestehende Warehouse Management System (WMS) eingespielt.

Nach zwei Wochen im operativen Einsatz kam es jedoch über diese Schnittstelle zu einer Phishing-Attacke, die das gesamte WMS mehrere Wochen lahmlegte. Das Projekt wurde eingestellt. Es entstanden erhebliche Aufwände und Kosten für das Unternehmen.

Best Practice: Die Geschäftsführung unterstützte die Wandlungsbereitschaft und hohe Motivation der Mitarbeitenden, kostengünstige Lösungen zu entwickeln und schnell umzusetzen.

Erkenntnisse: Klare Regeln und Prozesse, die sowohl Führungskräfte als auch die IT-Abteilung einbeziehen, sollten festlegen, wie Daten erhoben und ausgewertet sowie Schnittstellen zur aktiven IT-Landschaft geschaffen werden können. Schulungen und Trainings für operatives, administratives und Führungspersonal sollten grundlegendes Wissen zu Prozess- und Cyberrisiken neuer Technologien vermitteln. Dabei gilt es insbesondere, verzerrte Wahrnehmungen, wie die vermeintlichen Vorteile lokaler und minimalinvasiver Lösungen gegenüber integrierten, etwa Cloud-basierten Lösungen zu korrigieren und kontinuierlich zu aktualisieren.

Zentrale Stellschrauben

Struktur und Führung



- + Möglichkeit für proaktives Engagement der Mitarbeitenden

Wandlungsfähigkeiten



- + Große Eigeninitiative der Mitarbeitenden

Kompetenzen und Qualifikationen



- + Möglichkeit für Mitarbeitende bestehendes Know-How einzubringen
- Fehlendes Wissen über Anfälligkeit neuer Technologien für böswillige Angriffe sowie Prozesssicherheit

Koordination und Steuerung



- Fehlendes Risikomanagement
- Bevorzugung schneller Lösungen
- Unzureichend klare Prozesse und Regeln für die Implementierung
- Keine Einbindung von IT- und Sicherheitsexperten

Entscheidender Faktor



Bevorzugung schneller Lösungen für das operative Geschäft anstelle einer integrierten Betrachtung mittelfristiger technischer Risiken für das Gesamtsystem



Fallbeispiel: Smarte Laser

Ausgangslage: Die Laserline GmbH mit rund 400 Mitarbeitenden wollte ihre Kernprodukte Hochleistungsdiodenlaser angesichts von Kundenanforderungen und des hohen Innovationsdrucks um Industrie 4.0-Funktionalitäten erweitern.

Ziele: Die Zielvorgaben wurden im Laufe der Zeit schrittweise konkretisiert, sodass die Herangehensweise zunächst ergebnisoffen blieb. Potenziale ergaben sich bei der Optimierung der verbauten Sensorik und der Arbeitsprozesse. Das Ziel, die Produkte um digitale Dienstleistungen zu erweitern, wurde teilweise erreicht.

Maßnahmen: Im ersten Schritt wurden die bestehenden Sensoren der Laser um **Schnittstellen zur Datenerhebung** erweitert. Im zweiten Schritt entwickelte das Team Methoden, um diese Daten mithilfe **künstlicher Intelligenz** auszuwerten. Die erarbeiteten Lösungen und die gewonnene Expertise bieten den Kundinnen und Kunden einen

deutlichen Mehrwert, werden jedoch kostenlos und im Rahmen der Beratung zur Verfügung gestellt. Das Ziel, daraus ein eigenes Produkt zu entwickeln, konnte nicht umgesetzt werden.

Best Practice: Der Einstieg in das Thema erfolgte sehr systematisch, indem eine eigene Stelle geschaffen und mit einer geeigneten Fachkraft besetzt wurde. So konnte sichergestellt werden, dass ausreichend Ressourcen für Planung und Umsetzung zur Verfügung standen. Mittels eigens gebildeter fachbereichsübergreifender Teams wurde vorhandene Expertise im Unternehmen identifiziert und gebündelt. Wissenslücken konnten durch intensive Zusammenarbeit mit Externen geschlossen werden.

Erkenntnisse: Trotz der eigens geschaffenen Stelle verursachten die Projekte für einige Mitarbeitende einen erheblichen zusätzlichen Arbeitsaufwand, sodass Aufgaben umpriorisiert werden mussten.

Zentrale Stellschrauben

Struktur und Führung



- + Hohes Engagement der Geschäftsführung
- + Schaffung einer dedizierten, zentralen Stabsstelle
- + Zusammenarbeit in crossfunktionalen Teams mit klaren Zuständigkeiten und Mandaten

Wandlungsfähigkeiten



- + Erarbeitung einer verbindlichen KI-Richtlinie zur Erhöhung der Akzeptanz bei Mitarbeitenden
- + Mitarbeitenden wird der Nutzen der Technologien verdeutlicht, um Akzeptanz zu steigern. Sorge vor Arbeitsplatzverlust konnte ausgeräumt werden

Kompetenzen und Qualifikationen



- + Interne Kompetenzen wurden durch Schulungen, Neueinstellungen und Zusammenarbeit mit Externen systematisch ausgebaut
- + Bündelung der Kompetenzen und Anforderungen von Kundinnen und Kunden sowie Fertigungsbetrieben von Vorprodukten und Wissenschaft

Koordination und Steuerung



- + Aufteilung des übergeordneten Ziels in Unterprojekte
- + Projektanträge enthalten Zuständigkeiten, Roadmaps, zu erreichende Ergebnisse sowie Motivation
- Hoher Arbeitsaufwand für Projektbeteiligte
- Kein systematisches Risikomanagement

Entscheidender Faktor



Schaffung einer zentralen, der Geschäftsführung direkt unterstellten Stabsstelle, mit der Aufgabe, Potenziale von Industrie 4.0 zu identifizieren und Projekte umzusetzen.



Erkenntnisse aus den Fallbeispielen

Obwohl es sich hier um keine repräsentative Erhebung handelt, lassen sich aus den vorgestellten Fallbeispielen **allgemein gültige Erfolgsfaktoren** ableiten:

Struktur und Führung:



Die Größe von KMU kann einen Vorteil bieten: Üblicherweise sind die **Entscheidungswege kurz** und **Mitarbeitende** können sich **direkt einbringen**.¹² In allen drei Fallbeispielen waren Motivation und Engagement der Leitungsebene sowie der Mitarbeitenden entscheidende Erfolgsfaktoren.¹³ Um zu verhindern, dass Projekte aufgrund wechselnder Priorisierungen nicht abgeschlossen werden, helfen klar definierte Zuständigkeiten. Allerdings zeigte sich in allen Fallbeispielen, dass Ressourcenknappheit häufig eine Herausforderung für KMU darstellt, weshalb eine sorgfältige Planung und Verteilung der Ressourcen entscheidend ist.

Kompetenzen und Qualifikation:



Aufgrund ihrer Größe können KMU nicht ohne weiteres eigene Digitalisierungsabteilungen aufbauen. Daher ist es zentral, das **Wissen der Mitarbeitenden** zu nutzen.¹⁴ Durch eine strukturierte Analyse können vorhandene Kompetenzen identifiziert, Qualifikationsmaßnahmen bestimmt und die Bereiche festgelegt werden, in denen externe Unterstützung erforderlich ist. Dies kann durch Geschäftspartnerschaften, Zulieferbetriebe, Kundinnen und Kunden, aber auch durch spezialisierte Beratungsfirmen, Industrie 4.0-Scouts¹⁵ oder wissenschaftliche Einrichtungen erfolgen.¹⁶ Die drei Fallbeispiele verdeutlichen, dass fehlende Expertise nicht ignoriert werden darf. Ob interne oder externe Kompetenzen bevorzugt werden sollten, ist jeweils im Einzelfall zu entscheiden.

Wandlungsfähigkeiten:



Die **Bereitschaft zum Wandel bei Management und Beschäftigten** ist die Voraussetzung dafür, Veränderungen erfolgreich umzusetzen. Die Umstellung auf Industrie 4.0 beeinflusst den Arbeitsalltag der Beschäftigten oft erheblich, was zu unterschiedlichen Reaktionen führt. Bestehende Einwände sollten sorgfältig geprüft und adressiert werden, um potenzielle Probleme frühzeitig zu erkennen. Eine erfolgreiche Transformation erfordert zudem einen starken Fokus auf **Kommunikation** und die **Einbindung** der Mitarbeitenden, sodass sie den Wandel aktiv mitgestalten können.¹⁷

Koordination und Steuerung:



Die **strategische Ausrichtung und Konzeption**, beispielsweise anhand von Projekt-Roadmaps, ist ein ausschlaggebender Erfolgsfaktor für das Gelingen von Industrie 4.0-Projekten.¹⁸ Die Untergliederung langfristiger Projekte in kleinere Teilprojekte ermöglichte in einem Fallbeispiel, dass auch Teilerfolge effektiv genutzt werden konnten. In solchen Fällen spielt das Multi-Projektmanagement eine zentrale Rolle, um Prioritäten und Ressourcen gezielt zu steuern.

Die Bereitstellung **ausreichender finanzieller und personeller Projektressourcen** ist entscheidend für die erfolgreiche operative Umsetzung. In einem Fallbeispiel erwies sich die Schaffung einer eigenen Stelle als zielführend, jedoch sollten stets die Kapazitäten und Ressourcen aller Projektbeteiligten berücksichtigt werden.

Das Risikomanagement im Zusammenhang mit Industrie 4.0 wurde in allen Fallbeispielen vernachlässigt, was in einem Fall sogar zur Einstellung des Projekts führte. **Klar definierte Prozesse** können hier Abhilfe schaffen.¹⁹

¹² Vgl. Cimini 2021.

¹³ Vgl. acatech 2022c und Agostini 2020.

¹⁴ Vgl. Herceg 2020 und Agostini 2020.

¹⁵ Beispielsweise hier: www.i40-bw.de/scouting/

¹⁶ Vgl. Benitez 2020.

¹⁷ Vgl. acatech 2019.

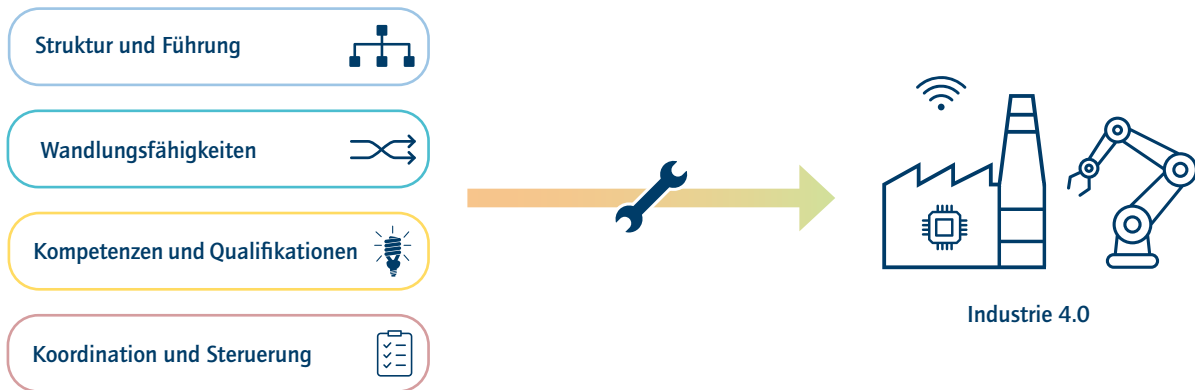
¹⁸ Vgl. Ghobakhloo 2021.

¹⁹ Vgl. Arlinghaus 2021.

Die Fallbeispiele zeigen, dass auch KMU Industrie 4.0-Lösungen erfolgreich einsetzen können. Um die Nutzenvorteile zu erschließen, muss nicht gleich der gesamte Betrieb umgestellt werden. Bereits kleine Modernisierungen bieten echten Mehrwerte: „Industrie 4.0 Light“.

Gleichzeitig verdeutlichen die Fallbeispiele, dass alle identifizierten Kategorien organisationaler Stellschrauben wichtig sind, da die Vernachlässigung eines einzelnen Faktors zum Scheitern des Projektes führen kann (siehe Abb. 3).

Abbildung 3: Erfolgsfaktor: Organisationale Stellschrauben.



Quelle: eigene Darstellung.

Stimmen aus dem Forschungsbeirat

„Digitalisierung und Automatisierung erlauben es auch dem Mittelstand, den scheinbaren Widerspruch zwischen Effizienz, Flexibilität und Nachhaltigkeit am Hochlohnstandort Europa aufzulösen. Dennoch sind erhebliche zeitliche, finanzielle und personelle Ressourcen nötig, um die an den entsprechenden Projekten beteiligten Menschen intensiv zu begleiten und zu schulen. Das Management sollte sich neben der Auswahl geeigneter Use Cases – im Sinne von Leuchtturmprojekten mit Vorbildcharakter – vor allem darauf konzentrieren, die organisationalen Voraussetzungen zu schaffen und dafür zu sorgen, dass Transformationsprojekte im Rahmen von Industrie 4.0 mit ausreichenden Kapazitäten ausgestattet sind.“



Prof. Dr. Julia Arlinghaus,
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF



„Industrie 4.0 kann auch im Mittelstand funktionieren, jedoch stehen die Unternehmen oft vor erheblichen Hemmnissen. Überregulierung und die hohe Komplexität der Technologien führen dazu, dass viele KMU die Umsetzung scheuen. Daher ist es entscheidend, dass der Nutzen der Anwendungen klar und nachvollziehbar ist, insbesondere angesichts der großen zeitlichen Einschränkungen, mit denen diese Unternehmen konfrontiert sind. Zudem müssen die Risiken minimal, die Handhabbarkeit einfach und die Integration ins bestehende Ökosystem gewährleistet sein. Neben der technischen Umsetzung spielen auch organisationale Stellschrauben eine zentrale Rolle, um den Mehrwert von Industrie 4.0 für KMU zu erschließen.“

Prof. Dr. Thomas Bauernhansl,
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

„Im Wettbewerb um qualifizierte Fachkräfte kann Industrie 4.0 einen echten Vorteil verschaffen, etwa durch attraktive Arbeitsbedingungen und innovative Rekrutierungsmodelle. Ein bislang noch zu wenig erprobter Ansatz besteht darin, Kompetenzen und Fachkräfte durch eine unternehmensübergreifende Zusammenarbeit zu teilen und gemeinsam einzusetzen. Dabei muss nicht alles teuer und komplex sein: Low-Cost-Industrie 4.0-Lösungen bieten KMU die Chance, mit überschaubaren Investitionen erfolgreich zu sein und gleichzeitig ihre Attraktivität für Fachkräfte zu steigern.“



Prof. Dr. Martin Krzywdzinski,
Weizenbaum Institut für die vernetzte Gesellschaft

Welche Fragen sind offen?

Um die Verbreitung von Industrie 4.0 – insbesondere im Mittelstand – weiter voranzutreiben, bestehen zahlreiche interdisziplinäre **Forschungs- und Entwicklungsbedarfe**. Die Technologien, ihre Anwendung und Implementierung sollten möglichst einfach zugänglich und verständlich sein.²⁰ Zentrale Fragestellungen sind:

- Wie lässt sich die **kulturelle Transformation** hin zu Industrie 4.0 erfolgreich gestalten, die Akzeptanz des Wandels fördern und eine frühzeitige Einbindung der Beschäftigten in die Gestaltung von Industrie 4.0-Lösungen sicherstellen?
- Wie können neue **Geschäftsmodelle** im Mittelstand auch mit begrenzten Ressourcen erfolgreich konzipiert und implementiert werden (Industrie 4.0 Light)?
- Wie können Industrie 4.0-Ansätze die Attraktivität von Unternehmen als Arbeitgebende für qualifizierte **Fachkräfte** steigern? Wie können Unternehmen Fachkräfte gemeinschaftlich einsetzen („Pooling“)?
- Wie können **neue Lernformen** die Schulung von Mitarbeitenden einfach und effektiv ermöglichen, etwa kollaborative Lernformen oder wertschöpfungsintegrierte Kompetenzentwicklungen mittels cyber-physischer Assistenzsysteme? Welche Anforderungen müssen lernförderliche Arbeitsumgebungen erfüllen, um die Weiterentwicklung von Handlungsfähigkeiten und Kompetenzen zu fördern?
- Wie können Industrie 4.0-Lösungen mit möglichst geringen **Qualifikationsanforderungen** umgesetzt werden, beispielsweise über „No-Code“- sowie „Low-Code“-Anwendungen?
- Wie lassen sich zum Beispiel in offenen Test- und Experimentierräumen **Potenziale und Einschränkungen** von Industrie 4.0-Lösungen niedrigschwellig testen?
- Wie können neue **Finanzierungsmodelle**, wie beispielsweise Pay-per-Use, KMU helfen, die oft hohen Kapitalanforderungen für den Aufbau von Industrie 4.0-Lösungen zu decken?
- Wie müssen **Rahmenbedingungen** ausgestaltet werden, um KMU den Zugang zu den neuen Möglichkeiten der Wertschöpfung zu vereinfachen, beispielsweise durch die Steigerung der Rechtssicherheit?

²⁰ Für eine ausführliche Darstellung aktueller Forschungs- und Entwicklungsbedarfe im Bereich Industrie 4.0 vgl. acatech 2022a.

Literatur

Agostini 2020

Agostini, L./Nosella, A.: „The adoption of Industry 4.0 technologies in SMEs: results of an international study“. In: Management Decision, 58:4, 2020, S. 625-643.

Arlinghaus 2021

Arlinghaus, J./Bendik, F./Fidan, Y./Kessler, M./Reinecke, L.: Risikomanagement für die Smarte Fabrik, 2021.

acatech 2024a

Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): Engineering autonom wandelbarer Industrie 4.0-Systeme, 2024.

acatech 2024b

Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): Künstliche Intelligenz und industrielle Arbeit – Perspektiven und Gestaltungsoptionen, 2024.

acatech 2022a

Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): Themenfelder Industrie 4.0 – Forschungs- und Entwicklungsbedarfe zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0. 2. überarbeitete Fassung, 2022.

acatech 2022b

Forschungsbeirat Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): Aufbau, Nutzung und Monetarisierung einer industriellen Datenbasis, 2022.

acatech 2022c

Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): Blinde Flecken in der Umsetzung von Industrie 4.0 – identifizieren und verstehen, 2022.

acatech 2021a

Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): Pandemiefeste Beschäftigung in Produktionsunternehmen, 2021.

acatech 2021b

Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): Künstliche Intelligenz zur Umsetzung von Industrie 4.0 im Mittelstand, 2021.

acatech 2019

Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): Akzeptanz von Industrie 4.0. Abschlussbericht zu einer explorativen empirischen Studie über die deutsche Industrie, 2019.

Benitez 2020

Benitez, G. B./Ayala, N. F./Frank, A. G.: „Industry 4.0 innovation ecosystems: An evolutionary perspective on value cocreation“. In: International Journal of Production Economics, 228, 2020.

Bitkom 2024

Bitkom (Hrsg.): Digitalisierung der Wirtschaft, 2024. URL: www.bitkom.org/sites/main/files/2024-02/240229Bitkom-ChartsDigitalisierung-der-Wirtschaftfinal.pdf, [Stand: 06.11.2024].

BMWK 2024

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Hrsg.): KI-Einsatz in Unternehmen in Deutschland. Strategische Ausrichtung und internationale Position., Mannheim, 2024.

BMWK 2022

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Hrsg.): Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland. Technologie- und Trendradar 2022. Studie im Rahmen des Projekts „Entwicklung und Messung der Digitalisierung der Wirtschaft am Standort Deutschland im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz“, 2022. URL: www.de.digital/DIGITAL/Navigation/DE/Lagebild/Technologie-und-Trendradar/technologie-und-trendradar.html, [Stand: 06.11.2024].

Cimini 2021

Cimini, C./Boffelli, A./Lagorio, A./Kalchschmidt, M./Pinto, R.: „How do Industry 4.0 technologies influence organisational change? An empirical analysis of Italian SMEs“. In: Journal of Manufacturing Technology Management, 2020, 32:3, S. 695-721.

Dumitrescu 2023

Dumitrescu, R./Riemensperger, F./Schuh, G. (Hrsg.): acatech Maturity Index Smart Services: Die Transformation von Unternehmen zum Smart Service Anbieter gestalten, (acatech STUDIE), München 2023.

Ghobakhloo 2022

Ghobakhloo, M. et al.: „Drivers and barriers of Industry 4.0 technology adoption among manufacturing SMEs: a systematic review and transformation roadmap“, 2022. In: Journal of Manufacturing Technology Management, 33:6, S. 1029-1058.

Ghobakhloo 2021

Ghobakhloo, M./Iranmanesh, M.: „Digital transformation success under Industry 4.0: a strategic guideline for manufacturing SMEs“. In: Journal of Manufacturing Technology Management, 32:8, 2021, S. 1533-1556.

Herceg 2020

Herceg, I.V./, Kuč, V./Mijušković, V.M./Herceg, T.: Challenges and Driving Forces for Industry 4.0 Implementation. In: Sustainability, 12(10): 4208, 2020.

Lerch 2023

Lerch, C./Jäger, A./Horvat, D./Berner, D.: Industrie 4.0 in Baden-Württemberg: (r) Evolution im Kontext von Nachhaltigkeit und Resilienz, 2023. URL: www.i40-bw.de/wp-content/uploads/2024/03/Studie_I4.0-in-BW_Nachhaltigkeit-Resilienz.pdf [Stand: 06.11.2024].

Rauch 2019

Rauch, E./Dallasega, P./Unterhofer, M.: „Requirements and Barriers for Introducing Smart Manufacturing in Small and Medium-Sized Enterprises“. In: IEEE Engineering Management Review, 47:3, 2019, S. 87-94.

Schuh 2020

Schuh, G./Anderl, R./Dumitrescu, R./Krüger, A./ten Hompel, M. (Hrsg.): Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten – UPDATE 2020 – (acatech STUDIE), München 2020.

WZL 2018

Werkzeugmaschinenlabor WZL der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (Hrsg.): Industrie 4.0: Implement it! – Ein Leitfaden zur erfolgreichen Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen, 2018. URL: https://werkzeugbau-akademie.de/wp-content/uploads/sites/17/2015/06/WZL_I4.0_Studie_Webversion.pdf [Stand: 06.11.2024].

Industrie 4.0 ForschungInKürze

Industrie 4.0 ForschungInKürze ist eine Publikationsreihe des Forschungsbeirats Industrie 4.0, die spezifische Industrie 4.0-Forschungsthemen in einer kompakten Form behandelt. Dabei wird eine konkrete Fragestellung prägnant, wissenschaftlich basiert und gestützt durch ansprechende Grafiken anschaulich beantwortet. Ausführlichere Informationen zu den Themen finden sich auf der Webseite des [Forschungsbeirats](#).

Der Forschungsbeirat Industrie 4.0 wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ (Förderkennzeichen: 02P17D260) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

Empfohlene Zitierweise:

Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): Industrie 4.0 im Mittelstand: Erfolgsfaktoren in der Organisation, 2024.

Impressum

Herausgeber

Forschungsbeirat Industrie 4.0/acatech –
Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

Projektbüro

acatech – Deutsche Akademie der Technik-
wissenschaften
Geschäftsstelle
Karolinenplatz 4
80333 München

Autorinnen und Autoren

Prof. Dr. Julia Arlinghaus, Fraunhofer-Institut
für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
Dr. Mareike Berger, acatech
Simon Litsche, acatech
Dr. Steffen Steglich, acatech

Beteiligte Expertinnen und Experten

Prof. Dr. Julia Arlinghaus, Fraunhofer-Institut
für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Prof. Dr. Thomas Bauernhansl, Fraunhofer-Institut
für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Prof. Dr. Martin Krzywdzinski, Weizenbaum-Institut
für die vernetzte Gesellschaft

Dr. Alexander Arndt, Laserline
Lianara Dreyer, Wissenschaftszentrum Berlin
für Sozialforschung wzb
Prof. Dr. Rainer Eber, Hochschule Aalen
Rolf Hömann, MEKU Kunststoff Technologie
GmbH
Malte Horstmann, OMM Solutions GmbH

Wir danken
Anja Glässing, VDMA Verband Deutscher
Maschinen- und Anlagenbau
Simone Lepper, Fraunhofer-Institut für
Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Koordination

Simon Litsche, acatech

Redaktion und Lektorat

Sara-Duana Meyer

Gestaltung und Produktion

GROOTHUIS. Gesellschaft der Ideen und
Passionen mbH für Kommunikation und Medien,
Marketing und Gestaltung;
groothuis.de

Bildnachweis

S. 10 oben: Julia Arlinghaus: Fraunhofer IFF/Vikto-
ria Kühne; mittig: Thomas Bauernhansl: Fraunho-
fer IPA/Rainer Bez; unten: Martin Krzywdzinski:
David Ausserhofer

Stand

November 2024