



Die Zukunft der Fertigungsindustrie

Neue Arbeitsabläufe, Aufgaben und Kompetenzen für die
Erreichung der Unternehmensziele mit Industrie 4.0

Forschungsbericht



Inhalt

| | | | |
|----|---|----|---|
| 02 | Zusammenfassung | 32 | Empfehlungen für die Einführung in der Industrie |
| 08 | Einführung | 34 | Empfehlungen für die Einführung in der Lehre |
| 11 | Forschungsprozess | 36 | Zusammenarbeit zwischen Industrie, Hochschulen und Behörden |
| 15 | Branchentrends treiben den Wandel voran | 41 | Fazit |
| 16 | Geschäftliche Herausforderungen | 43 | Danksagungen |
| 17 | Lösungsansatz auf der Systemebene | 45 | Anhänge |
| 19 | Zukünftige Arbeitsabläufe, Aufgabenbereiche und Kompetenzen | | |

Die Zukunft der Fertigungsindustrie

Die Fertigungsindustrie steht vor zahlreichen Veränderungen, durch die sich die Aufgaben, Kompetenzen und Arbeitsabläufe von Maschinenbau- und Fertigungsingenieuren und -technikern sowie Maschinenbedienern in den nächsten zehn Jahren grundlegend verändern werden. Diese Veränderungen sind in erster Linie darauf zurückzuführen, dass Unternehmen zunehmend unter Druck stehen, ihre Produktivität, den Durchsatz und die Rentabilität zu steigern bzw. Kosten zu senken und ihre Wettbewerbsfähigkeit, Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft auszubauen. Man geht davon aus, dass die Aufgaben von Maschinenbau- und Fertigungsingenieuren und -technikern weiter konvergieren werden und dass die Aufgaben der Maschinenbediener, die mit CNC-Steuerungen (Computer Numerical Control) arbeiten, einen erheblichen Wandel erfahren werden.



Zusammenfassung

Die Fertigungsindustrie steht am Scheideweg. Ein Weg führt zu einer Vielzahl von Industrie-4.0-Technologien, die innovative Möglichkeiten für die digitale Transformation bieten und damit eine fortschrittliche Fertigung, bessere Geschäftsergebnisse und die Stärkung der Wettbewerbsposition für die Zukunft ermöglichen. Der andere Weg ist ein starrer „Business-as-usual“-Ansatz mit Technologien bis Industrie 3.0. Diese bieten nur begrenzte Spielräume für die Automatisierung, Skalierung und Optimierung von Prozessen im Unternehmen, um den veränderten Anforderungen auf dem Markt gerecht zu werden.

Und während die Unternehmen noch über die Entscheidung nachdenken, wachsen die Herausforderungen der Industrie überall auf der Welt durch den verschärften Wettbewerb, steigende Kosten und immer kürzere Markteinführungszeiten auf den vertikalen Märkten und in den Fertigungsprozessen. Zugleich steigt auf dem Markt die Nachfrage nach zunehmend komplexen, maßgeschneiderten und mehr denn je auf Elektronik basierenden Produkten. Die Unternehmen bemühen sich unterdessen um intelligenterere, schlankere und nachhaltigere Fertigungsverfahren, um sich im globalen Wettbewerb zu behaupten.

Alle Branchen-, Markt- und Geschäftsindikatoren weisen in Richtung Industrie 4.0. Dies ist die realistischste Option, um die gewünschten Geschäftsergebnisse zu erzielen und ein Fertigungsunternehmen so aufzustellen, dass es sich in der vom raschen Wandel geprägten Branche weiterentwickeln kann. Dieser Umbruch bietet eine strategische Gelegenheit, die Geschäftsprozesse, die Arbeitsabläufe in der Fertigung und das technische Portfolio so zu transformieren, dass eine vernetzte, flexible und agile Fertigungsindustrie entsteht.



Zu den neuen Technologien zählen:

- Fertigungsorientierte Entwicklung bzw. fertigungsgerechte Konstruktion (Design for Manufacturing, DfM)
- Infrastruktur für Betriebstechnologie (Operations Technology, OT)
- KI-/ML-gesteuerte Technologien (künstliche Intelligenz, maschinelles Lernen) wie generatives Design
- Cloud-basierte Softwareplattformen, z. B. integrierte CAD/CAM-Lösungen (Computer-Aided Design and Manufacturing)
- PLM (Project Lifecycle Management)
- Manufacturing Execution-Systeme (MES)
- Business Intelligence (BI)-Lösungen
- Zentrales Datenmanagement für Zusammenarbeit und Datenanalysen

Durch einen Ansatz auf der Systemebene können Unternehmen fortschrittliche Strategien für die Fertigung entwickeln und die Einführung von Technologien so planen, dass vernetzte, kontinuierliche, auf Zusammenarbeit basierende Arbeitsabläufe in der Fertigung möglich werden und die Arbeitskräfte so unterstützt werden, dass sie optimal zu den gewünschten Geschäftszielen und -ergebnissen beitragen können. (Siehe Infografik über die Transformation zu Industrie 4.0 auf der nächsten Seite.)

Maschinenbau- und Fertigungsingenieure und -techniker und CNC-Maschinenbediener benötigen neue Kenntnisse in der fertigungsorientierten Entwicklung (Design for Manufacturing, DfM) sowie digitale Kompetenzen, um die zur Unterstützung neuer Arbeitsabläufe erforderlichen Aufgaben effektiv ausführen zu können. Für die Aus- und Weiterbildung für fertigungsrelevante Berufe ist festzustellen, dass zwischen den Kompetenzen, die Hochschulabsolventen mitbringen, und den Anforderungen an die Fachkräfte in der Industrie eine erhebliche Diskrepanz besteht. Somit wird die Einrichtung neuer, moderner Lehrgänge für fertigungsrelevante Berufe erforderlich, in denen die von der Industrie nachgefragten Kenntnisse, Fähigkeiten und Kompetenzen vermittelt werden. Der Erfolg steht und fällt mit der Entwicklung neuer Ausbildungskonzepte für fertigungsrelevante Berufe, in denen die Studierenden für die benötigten Industrie-4.0-Technologien ausgebildet werden. Die folgenden neuen Kompetenzbereiche müssen entwickelt werden:

- Technische/fachliche Kompetenzen (KI/ML, Programmierung, Datenanalyse, Visualisierung)
- Soft-Skills (Teamarbeit, Kommunikation, Problemlösung)
- Fachübergreifende Kompetenzen (Systemtechnik, Automatisierung, Nachhaltigkeit, Lieferkettenmanagement, PLM, integriertes CAD/CAM)

Unser Ziel war es, der Industrie und Wissenschaft Empfehlungen im Hinblick auf fortschrittliche Fertigungsverfahren zu vermitteln. Daher führten ASME und Autodesk von August 2021 bis Mai 2022 eine Studie durch, in der die Arbeitsabläufe und Kompetenzen untersucht und identifiziert wurden, die im Maschinenbau, in der Fertigung sowie in Aufgabenbereichen von CNC-Maschinenbedienern in den nächsten zehn Jahren relevant sein werden. (Siehe Forschungsprozess auf Seite 11.)

Jede dieser Berufsgruppen wird sich unterschiedlich weiterentwickeln. Doch die Studie zeigt, dass die notwendigen neuen Kompetenzen aus einer sinnvollen Kombination der entsprechenden fachlichen Kompetenzen jeder Gruppe mit Soft-Skills und fachübergreifenden Kompetenzen bestehen werden.

Transformation zur Optimierung der Geschäftsergebnisse

Heute

Unvereinbar.
Getrennt.
Verschieden.

- ✓ Maschinenbauingenieur/-techniker
- ✓ Fertigungsingenieur/-techniker
- ✓ CNC-Maschinenbediener
- ✓ Produktion

Industrie 3.0

Ältere CAD/CAM-Anwendungen
Aufgabenspezifische Robotik und anwendungsspezifische Automatisierung; unvereinbare Datenanwendungen
Isolierte Arbeitsabläufe und Teams

Digitale Transformation

Erfassung und Organisation von Daten auf einer zentralen Plattform
Vernetzung von Teams für den Datenzugriff und -austausch
Konvergierte Cloud-Anwendungen

Transformation von Arbeitsabläufen

Neugestaltung der Arbeitsabläufe
Neugestaltung von Rollen und Verantwortlichkeiten; Aus- und Weiterbildung
Fachübergreifende Zusammenarbeit
Nutzung von Cloud-Lösungen

Transformation der Geschäftsprozesse

Neue Technologien wie KI/ML, GD (Generatives Design), AM (Additive Fertigung), Robotik
Visualisierung und Analyse von Daten zur Prozessautomatisierung und -optimierung
Beseitigung von Datensilos

Morgen

Konvergiert.
Vernetzt.
Teamorientiert.



Industrie 4.0

Konvergierte Cloud- und Datenplattformen (z. B. integriertes CAD/CAM)
KI-/ML-Anwendungen, generatives Design, Datenanalysen, AM, Cobotik
Einheitliche Produktion – auf verteilten Systemen orchestriert
Vernetzte Arbeitsabläufe und funktionsübergreifende Zusammenarbeit



Zu den allgemeinen Fachkenntnissen wird nach Angaben der Befragten aus der Industrie zunehmend der Umgang mit KI-/ML-Technologien gehören, beispielsweise mit generativem Design, mit denen sich Entwürfe im Hinblick auf Kosten, Eigenschaften und andere Kriterien optimieren lassen. Nach Angaben von 324 Befragten (nähere Informationen zu den Befragten siehe Seite 14) werden KI-/ML-Kenntnisse immer wichtiger – für Maschinenbauingenieure und -techniker, um die Produktentwicklung zu optimieren (56 %); für Fertigungsingenieure und -techniker, um den Fertigungsprozess zu modernisieren und zu optimieren (61 %); für CNC-Maschinenbediener, um die Produktion zu betreiben und zu steuern (56 %). Wenn Kompetenzen in der fertigungsorientierten Konstruktion und Entwicklung (Design for Manufacturing, DfM) im gesamten Unternehmen vorhanden sind, können diese Berufsgruppen gemeinsam dazu beitragen, die Verfahren in der Fertigung zu optimieren. Tatsächlich bestätigen 90 Prozent der Befragten, dass die Vermittlung gründlicherer DfM-Kenntnisse die effektivste Möglichkeit ist, wie die Hochschulen zukünftige Fachkräfte für die Fertigung fit machen können. Ein Großteil der befragten Ingenieure und Techniker (84 % aus dem Maschinenbau und 88 % aus der Fertigung) sieht die Notwendigkeit, die DfM-Kompetenzen in den nächsten 5 bis 10 Jahren auszubauen.

Weitere digitale Fertigkeiten, etwa in der Modellierung, Simulation und Datenanalyse, werden für zahlreiche Aufgabenbereiche von Bedeutung sein, da Unternehmen zunehmend datenorientierter und automatisierter arbeiten.



Als gemeinsame Soft-Skills für jede der drei Berufsgruppen sind kreative Problemlösungsfähigkeiten, kommunikative Fähigkeiten und die Fähigkeit zur Teamarbeit erforderlich. Fast 60 Prozent der befragten Ingenieure und Techniker der Branche gehen davon aus, dass die drei Berufsgruppen künftig enger zusammenarbeiten werden. Diese verstärkte Kooperation erfordert eine bessere Kommunikation und Problemlösung in der Gruppe im Zuge der Konvergenz neuer Arbeitsabläufe. Plattformen für die Zusammenarbeit in der Cloud überwinden geografische Entfernungen und bringen die Teams auf eine neue Weise zusammen, sodass alle drei Berufsgruppen effizienter zusammenarbeiten können.





Maschinenbauingenieuren und -technikern wird eine entscheidende Rolle zukommen bei der Entwicklung besserer – d. h. schlanker, intelligenterer und nachhaltigerer – und fertigungsorientierter Produkte. So ergeben sich Innovationen, aus denen neue Geschäftsmodelle hervorgehen: auf der Basis intelligenter Produktentwicklungen mit Daten-Feedbackschleifen zur Optimierung künftiger Produktiterationen. Die für den Maschinenbau erforderlichen Kompetenzen werden über den traditionellen Horizont hinausgehen: Zum einen muss mehr Elektronik in die Konstruktion mit einbezogen werden, und zum anderen müssen die Produkte modularer gestaltet werden, damit längerer Produktlebenszyklen möglich werden.

Um komplexe Produkte erfolgreich entwickeln zu können, benötigen Maschinenbauingenieure zunehmend Technologiekenntnisse, etwa auf dem Gebiet der additiven Fertigung (AM, Additive Manufacturing), von diversen CAD-, CAM- und CAE-Technologien (Computer-Aided Engineering) und von Entwurfssoftware für Leiterplatten. 222 befragte Techniker und Ingenieure prognostizieren, dass sie zunehmend mit CAD/CAM (67 %), PLM-Software (73 %) und fertigungsorientierter Entwicklung für die additive Fertigung (DfAM, 71 %) arbeiten werden. Darüber hinaus erwarten 102 Hochschulvertreter einen zunehmenden Schwerpunkt auf generativem Design (80 %) und Programmierertechniken (75 %).



Den Fertigungsingenieuren und -technikern wird bei den strategischen Bemühungen zur Optimierung und Einführung fortschrittlicher Fertigungstechniken und -prozesse eine führende Rolle zukommen. Sie werden darüber entscheiden, wie Technologien, z. B. KI/ML, zur Optimierung der Automatisierung eingesetzt und welche intelligenten Fertigungsverfahren eingeführt werden, z. B. die Programmierung von Produktionsanlagen, die Steuerung verteilter Fertigungsstandorte und die Bereitstellung von Systemen, welche die Produktion in Echtzeit überwachen. Sie müssen Fertigungssysteme entwickeln und implementieren, um die Markteinführungszeit zu verkürzen und zugleich mit weniger Ausschuss, Kosten- und Zeitaufwand zu produzieren. Diese Berufsgruppe wird darauf achten, Arbeitskräfte und Produktionsmaschinen optimal einzusetzen und auszulasten. Dabei wird sie Robotik, additive Fertigung und digitale Zwillinge einbeziehen. Sie wird Produktionsdaten analysieren und visualisieren, um Potenziale für Effizienzsteigerungen aufzudecken.



CNC-Maschinenbediener werden unter den drei Berufsgruppen den größten Sprung nach vorn vollziehen, denn ihre Rolle profitiert erheblich von den Industrie-4.0-Technologien. Ihr Aufgabenbereich wird umfangreicher werden. Als neue Aufgaben werden die Steuerung und Programmierung von Robotern, autonomen Maschinen und Cobots (Robotern mit künstlicher Intelligenz, die Aufgaben in Zusammenarbeit mit Menschen ausführen) ebenso hinzukommen wie Echtzeitanalysen der Produktionsergebnisse, Inspektionen der Produktionsanlagen und die Beteiligung an Qualitätssicherung (QS) und Qualitätskontrolle (QK). Maschinenbediener müssen sich neue Kenntnisse in den Bereichen KI/ML für die Produktion, 5-Achsen-Maschinen, additive Fertigung und hybride Fertigung (Kombination aus additiver und subtraktiver Fertigung) aneignen. Außerdem wird von ihnen erwartet, dass sie enger mit den Konstruktionsteams zusammenarbeiten und sich stärker mit den vorgelagerten Prozessen (z. B. dem Entwurf) befassen, was umfangreichere CAD/CAM-Kenntnisse erfordert. Fachkräfte aus der Industrie (n = 51) prognostizieren für die nächsten fünf bis zehn Jahre, dass die wichtigsten technischen Kenntnisse von CNC-Maschinenbedienern im Bereich der CAM-Software (86 %) und der CAD-Software (82 %) liegen werden.



Fachübergreifende Kompetenzen werden angesichts der zunehmenden Zusammenarbeit von Maschinenbau- und Fertigungsingenieuren und -technikern und Maschinenbedienern ebenfalls von entscheidender Bedeutung sein. Der Bedarf an systemtechnischen Kompetenzen wird in den nächsten fünf bis zehn Jahren voraussichtlich wachsen. Dabei fallen sowohl die Implementierung der Automatisierung als auch die Verfolgung der Nachhaltigkeitsziele unter die Rubrik der fachübergreifenden Kompetenzen.

Die Verbreitung von gemeinsamen und fachübergreifenden Kompetenzen in diesen drei wesentlichen Berufsgruppen in der Fertigung ermöglicht eine effektivere Nutzung von Softwareplattformen zur Vernetzung von Arbeitsabläufen, zur zentralen Speicherung von Daten und deren Freigabe für verschiedene Arbeitsabläufe und Teams. Außerdem werden diese Kompetenzen die Zusammenarbeit an gemeinsamen Produkt- und Geschäftszielen unterstützen.

Dieser Wandel findet bereits statt und wird sich noch beschleunigen. Das bedeutet, dass die Aus- und Weiterbildung für die fertigungsrelevanten Berufe möglichst bald auf den Prüfstand gehört und so umgestaltet werden muss, dass die Unternehmen auf die rasanten Veränderungen in der Arbeitswelt vorbereitet sind. Schrittweise Erweiterungen der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften genügen dafür nicht. Vielmehr sollten die Hochschulen in enger Zusammenarbeit mit der Industrie neue Ausbildungskonzepte entwickeln, in denen fachübergreifende Kenntnisse und Fertigkeiten vermittelt werden. Industrie 4.0 muss der neue Standard bei der Entwicklung technischer Kompetenzen in der Aus- und Weiterbildung sein. Angesichts des wachsenden Bedarfs an Kenntnissen in den Bereichen generatives Design, KI/ML und CAD/CAM bei Technikern, Ingenieuren und Maschinenbedienern besteht breite Unterstützung für die Qualifizierung von Fachkräften für die Fertigung im Rahmen von Zertifizierungs- oder Qualifizierungsprogrammen als Alternative oder Ergänzung zu Hochschulstudiengängen. 84 Prozent aller Befragten gaben an, dass eine gemeinsame Entwicklung zusätzlicher Zertifizierungsprogramme durch Industrie und Hochschulen besonders effektiv sein wird.

Die Industrie kann durch Praktika, Kooperationsprogramme, Zertifizierungen und Best Practices einen wesentlichen Beitrag zur Ausbildung für Fertigungsberufe leisten. Um im Wettbewerb bestehen zu können, stellt die Fertigungsindustrie unwiderruflich auf Industrie 4.0 um. Angesichts dieser Entwicklung müssen die Hochschulen heute aktiv werden, um sich an die neuen Trends anzupassen, denn die Reform von Ausbildungsverfahren ist ein langwieriges Unterfangen.

Treibende Geschäftsfaktoren wie Kostendruck, Unterbrechungen der Lieferkette, Produktivität und Nachhaltigkeit führen dazu, dass diese Veränderungen der Technologien, Arbeitsabläufe und Prozesse Fachkräfte mit neuen Kompetenzen erfordern, um zu optimalen Ergebnissen zu gelangen. Ohne grundlegende Veränderungen auf dem gesamten Ausbildungsweg von den Hochschulen bis zur Industrie besteht die Gefahr, dass sich die Schere zwischen Fachkräfteangebot und -nachfrage weiter öffnet. Damit der Übergang zu Industrie 4.0 gelingt, stehen also beide Seiten vor Herausforderungen. Das bedeutet, dass sowohl die Verfahren in der Industrie als auch die Studiengänge transformiert werden müssen. Eine solche Transformation wird Zeit in Anspruch nehmen – und dabei drängt die Zeit. In diesem Dokument werden die wesentlichen bevorstehenden Veränderungen der Aufgaben und Arbeitsabläufe von Maschinenbau- und Fertigungstechnikern und -ingenieuren und CNC-Maschinenbedienern erörtert und Optimierungsstrategien vorgeschlagen, mit denen bessere Ergebnisse erreichbar werden.

„Ich denke, dass ein abgeschlossenes Studium wichtig ist. Ein abgeschlossenes Studium ist die Grundlage. Zusatzqualifikationen und Zertifizierungen sind natürlich auch sehr wichtig, weil man damit aktuelle Kenntnisse, Kenntnisse in der intelligenten Fertigung, fertigungsbezogenes Methodenwissen und Kenntnisse in künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen nachweisen kann. Das sind die neuen Abschlüsse.“

Raju Dandu, PhD

Professor; Director, Bulk Solids Innovation Center
Kansas State University Salina

Einführung

Die globalisierte Wirtschaft hat die Fertigungsindustrie unter enormen Wettbewerbs-, Kosten- und Zeitdruck gesetzt. Neue Produkte müssen immer schneller zur Marktreife gebracht werden. Diesem Druck können die Unternehmen nur standhalten, wenn sie produktiver, profitabler und effizienter werden. Am Ende dieses Veränderungsprozesses steht die vollständige Digitalisierung der Fertigungsprozesse. Zugleich erfordern die Lieferkettenrisiken und die angestrebte Kreislaufwirtschaft bei den Produktlebenszyklen eine bessere Vorausplanung und Prozessmodellierung der physischen Produktion.

Derzeit laufen die Arbeiten in Entwicklung und Fertigung jedoch voneinander getrennt und einzeln nacheinander ab. Das führt zu häufigen Änderungen und anderen Beeinträchtigungen der Effizienz. Den Unternehmen gelingt es auf diese Weise nicht, ihre Ergebnisse zu steigern, die Qualität zu verbessern und weniger Ausschuss zu produzieren. Bisherige Prozesse basieren häufig immer noch auf jahrzehntealten Technologien und Ressourcen aus der Industrie-2.0- oder Industrie-3.0-Ära. Im heutigen Industrie-4.0-Zeitalter hingegen stehen für Entwicklung und Fertigung modernere Ressourcen zur Verfügung.

Auf dem Weg in die zukünftige Arbeitswelt kommen wir nur voran, wenn wir die Art und Weise, wie wir arbeiten, neu denken. Wir brauchen eine Transformation auf der Systemebene für die Erfassung, Analyse und Freigabe zentral gespeicherter und verwalteter Daten. Die Arbeitsabläufe und Stellenprofile in der Fertigung müssen neu gestaltet werden. Und es müssen Technologien wie generatives Design und andere CAD/CAM-Lösungen eingeführt werden, die KI/ML nutzen. Programmierbare Prozesse müssen automatisiert werden (z. B. durch additive und subtraktive Fertigung und Betriebstechnologien). Und für die Bearbeitung der Produktions- und Lieferkettenprozesse in Echtzeit sind interoperable Daten erforderlich.

„Die Kunden wollen alles schneller, billiger, mit weniger Nacharbeit und höherer Präzision.“

Jeffrey Reed

Director, Engineering

Northrop Grumman Corporation

„Alle Daten werden in der Cloud gespeichert. Dort arbeiten die Techniker und Ingenieure mit globalen Teams zusammen und nutzen dieselben wertvollen Daten.“

Vukica Javanovic, PhD

Assoc. Professor; Interim Department Chair

Mechanical Engineering Technology

Old Dominion University

Sollen die Ergebnisse der Fertigungsindustrie jedoch allgemein verbessert werden, dann müssen sich die traditionellen Rollen von Maschinenbau- und Fertigungstechnikern und -ingenieuren und CNC-Maschinenbedienern verändern. Das Weltwirtschaftsforum (WEF) schätzte im Jahr 2020,¹ dass 50 Prozent aller Beschäftigten in der Fertigung nachgeschult werden müssen. Die Arbeit in der Industrie verändert sich rasant, doch das Bildungssystem hält mit diesem Tempo leider nicht Schritt und bereitet die Absolventen nicht auf die Anforderungen von morgen vor. Die Curricula der meisten technischen Studiengänge in den USA haben sich seit dem Grinter Report aus dem Jahr 1955 nicht verändert. Immer noch genießen Mathematik und Physik höhere Priorität als projektbasiertes Lernen und anwendungsorientierte Praxisübungen. Viele aktuelle Studiengänge tragen daher den modernen Entwicklungen in der Digitalisierung überhaupt nicht Rechnung. In einigen technischen Studiengängen werden immer noch die Methoden von vor 80 Jahren gelehrt, und die Softwarepakete sind über 30 Jahre alt. Dementsprechend werden die Kompetenzlücken bei den Berufseinsteigern in der Industrie immer größer.²

Die Ausbildung für Maschinenbau- und Fertigungstechniker und -ingenieure muss systematisch so umgestaltet werden, dass die Arbeitsabläufe dem Bedarf der Fertigungsindustrie entsprechend weiterentwickelt und optimiert werden. Eines der wichtigsten Ziele bei der Reform der Studiengänge besteht darin, qualifizierte Fachkräfte möglichst schnell fit für den Arbeitsmarkt zu machen. Der Bedarf an höheren Abschlüssen wird auch weiterhin bestehen, aber es sind auch kürzere Bildungsangebote von Nöten, mit denen Studierende die für eine Karriere in der Industrie 4.0 erforderlichen Qualifikationen in kürzerer Zeit erwerben können.

¹ WEF, „The Future of Jobs Report 2020“, <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/in-full/infographics-e4e69e4de7>.

² Sorby, S., Fortenberry, N. und Bertoline, G., 2021, „Stuck in 1955, Engineering Education Needs a Revolution“, Issues Sci. Technol., <https://issues.org/engineering-education-change-sorby-fortenberry-bertoline/>.

„Wir müssen uns verabschieden von der veralteten Vorstellung, dass unsere Studiengänge lauter Professoren der Ingenieurwissenschaften hervorbringen müssen. Wir brauchen Studiengänge, die hochqualifizierte Ingenieure für eine Tätigkeit in der Industrie ausbilden. Die Grundlagen der Ingenieurausbildung in den USA wurden Mitte der Fünfzigerjahre gelegt. Die Paradigmen, auf denen die Curricula basieren, haben sich seit über 50 Jahren nicht mehr verändert.“

Pierre Larochelle, PhD

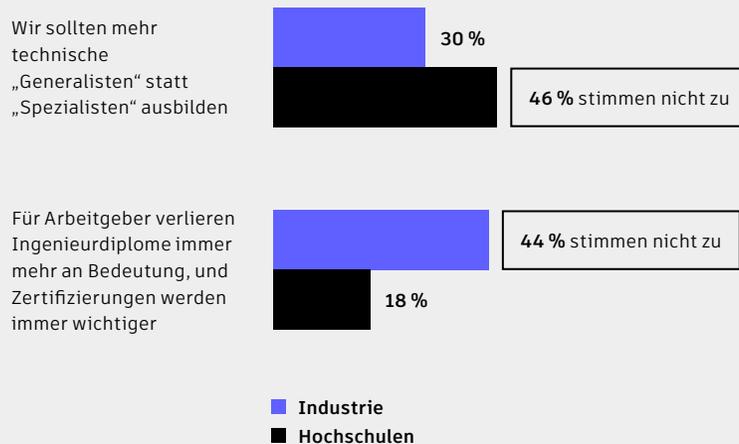
Abteilungsleiter und Professor
South Dakota Mines



Abbildung 1:
Einstellung zur Berufsausbildung und der Zukunft der Fertigung (Hochschulen vs. Industrie, % der Befragten, die nicht zustimmen)

Die Meinungen der Hochschulvertreter darüber, ob die Hochschulen technische Generalisten oder Spezialisten ausbilden sollten, sind deutlich geteilt. Auch in der Industrie gehen die Meinungen über den Wert von technischen Hochschulabschlüssen gegenüber Zertifizierungen deutlich auseinander.

Grundlage: 222 Industriepraktiker und 102 Hochschulvertreter



Ausgehend von der Erkenntnis, dass die derzeitigen Studiengänge für Ingenieure und Techniker den Anforderungen des Industrie-4.0-Zeitalters nicht gerecht werden, führte ASME in Partnerschaft mit Autodesk ein Forschungsprojekt in mehreren Phasen durch, um die Stellenbeschreibungen, typischen Arbeitsabläufe und voraussichtlichen Aufgaben bzw. erforderlichen Kompetenzen von Maschinenbau- und Fertigungstechnikern und -ingenieuren und CNC-Maschinenbedienern in den nächsten fünf bis zehn Jahren zu erheben. Wir haben die traditionellen Arbeitsabläufe für diese Berufsgruppen aufgeschlüsselt, um zu untersuchen, wie sich die Ergebnisse bei Konstruktion und Fertigung insgesamt verbessern lassen.

Wir haben eine Methodik für die Aufschlüsselung der Abhängigkeiten und die Einbeziehung aller verfügbaren Innovationen entwickelt, mit denen die Fertigungsindustrie Fortschritte auf dem Weg zu vernetzten, kooperativen und nachhaltigen Arbeitsabläufen, Technologien und Prozessen machen kann, um bessere Geschäftsergebnisse zu erzielen.

Angesichts des Vormarsches von Industrie 4.0 in den nächsten fünf bis zehn Jahren sucht diese Studie nach Antworten auf die folgenden Fragestellungen:

- Wie werden sich die Arbeitsabläufe von Maschinenbautechnikern, Fertigungstechnikern und Maschinenbedienern weiterentwickeln?
- Welche Kompetenzen und welche Einstellung müssen Fachkräfte mitbringen, um in diesen Berufen erfolgreich zu sein?
- Wie verändern sich ihre Aufgabenbereiche?
- Wie wirken sich diese Veränderungen der Aufgabenbereiche auf die Aus- und Weiterbildung und die Einstellungspraxis aus?
- Wie können Industrie, Hochschulen und Behörden gewährleisten, dass Studierende und Fachkräfte aller Gebiete die nötigen Kompetenzen und die richtige Einstellung entwickeln, um in diesen Berufen erfolgreich sein zu können?
- Welche Maßnahmen sollten die Hochschulen durchführen, um die Curricula an den Bedarf anzupassen?

Forschungsprozess



Phase 1

Literaturrecherche

Durchsicht von **77** vorhandenen Quellen

Durchsicht vorhandener Curricula von Studiengängen in den USA und Großbritannien



Phase 2

Interviews

30 Einzelinterviews

10 Hochschulvertreter

20 Industrie: USA und Großbritannien



Phase 3

Umfrage

324 Befragte

Hochschulen und Industrie:
USA, Kanada und Großbritannien

Phase 1:

Literaturrecherche

In Phase 1 des Projekts wurde die Literatur zu relevanten Themen aus der Wissenschaft, Industrie und von Behörden eingehend analysiert. Wir erstellten einen Plan für die bibliografische Recherche, die wissenschaftliche und andere Veröffentlichungen von 2018 bis 2021 umfasste.³Für diese Darstellung wurden Dokumente aus den USA, Großbritannien und der Europäischen Union sowie wichtige Studien der Industrie ausgewertet, um zu ermitteln, welche externen Effekte und neuen Technologien Auswirkungen auf künftige Berufsbilder haben. Wir belegten und ergänzten die daraus gewonnenen Erkenntnisse mit zusätzlicher wissenschaftlicher Literatur. Aufgrund der rasant fortschreitenden Entwicklung dieses Themas haben außerhalb des wissenschaftlichen Rahmens veröffentlichte Artikel unsere Forschungsergebnisse zusätzlich untermauert.

³ Außerhalb der Hochschulen veröffentlichte Literatur oder Forschung, wie Studien der Industrie, Regierungsdokumente und Arbeitspapiere



Wir erstellten typische Arbeitsabläufe, die die aktuellen Aufgaben der einzelnen Berufe widerspiegeln. Hierzu haben wir detaillierte Informationen vom Occupational Information Network (O*Net), einer kostenlosen Online-Datenbank mit berufsbezogenen Informationen für die USA, und die Stellenmarkt-Datenanalyseplattform Burning Glass herangezogen. Außerdem haben wir die erforderlichen Kenntnisse und die zugehörigen Technologien für jede Phase im Arbeitsablauf basierend auf allen oben genannten Quellen und unseren Interpretationen zugeordnet. Die ermittelten Aufgaben, Kompetenzen und die damit verbundenen Technologien sind zwar repräsentativ, aber nicht vollständig.

O*Net und Burning Glass trafen eine Auswahl derjenigen Kompetenzen, die im letzten Jahr am stärksten nachgefragt wurden. Die Kompetenzen, welchen Burning Glass für die nächsten zwei Jahre das größte Wachstum prognostizierte sowie jene, die anhand der aktuellen Fachliteratur identifiziert wurden, wurden als die Fertigkeiten festgelegt, nach welchen die Nachfrage am schnellsten steigen wird. Schwerpunkt dieser Literaturrecherche waren Maschinenbauingenieure, die Produkte konstruieren. Gebiete wie Sanitär- oder Heizungs- und Klimatechnik wurden nicht berücksichtigt. Soft-Skills, beispielsweise „körperliche Fähigkeiten“, wurden für die Maschinenbau- und Fertigungstechniker und -ingenieure ebenfalls unberücksichtigt gelassen, da sie nicht von Interesse waren. Bei den CNC-Maschinenbedienern hingegen wurden die „körperlichen Fähigkeiten“ berücksichtigt, da diese auch für die zukünftige Arbeit dieser Berufsgruppe von Belang sind.

Zuletzt erstellten wir zukünftige Arbeitsabläufe, indem wir die Erkenntnisse aus der Literatur über externe Faktoren, die Veränderungen in diesen Berufen antreiben, und über neue Technologien, die sich auf die Produktentwicklung und -fertigung auswirken, zusammenfassten. Anschließend verglichen wir die zukünftigen Arbeitsabläufe mit den aktuellen Arbeitsabläufen. In diesen Vergleichen zeigen sich die aktuellen Aufgaben, die von neuen Technologien entweder unterstützt, transformiert oder ersetzt werden. Auch allgemeinere Verschiebungen, die aufgrund von technologischen und nicht technologischen externen Trends erforderlich sind, wurden sichtbar.

In den Phasen 2 und 3 führten wir 30 Interviews und 324 Online-Befragungen durch. Mit den Ergebnissen dieser Interviews und Befragungen erweiterten wir die Erkenntnisse aus Phase 1. Unser Schwerpunkt lag dabei auf der Frage, wie die Arbeitsabläufe und Stellenbeschreibungen der drei untersuchten Berufsgruppen möglicherweise in zehn Jahren aussehen könnten. Die Ergebnisse aus Phase 1 flossen in den Fragebogen und in die Interviewfragen für die Phasen 2 und 3 ein.

Phase 2: Interviews

Über ASME und Beacon Technology Partners LLC führten wir ausführliche Telefoninterviews mit 30 ausgewählten Meinungsführern durch, davon 20 aus der Industrie und 10 aus der Wissenschaft.⁴ Gesprächsthemen in den Interviews:

- Veränderungen der Arbeitsabläufe und die Erwartungen an die Kompetenzen von Maschinenbautechnikern, Fertigungstechnikern und CNC-Maschinenbedienern in den nächsten zehn Jahren
- Die Auswirkungen von CAD/CAM-Software, generativem Design, 3D-Fertigung, digitalen Zwillingen, fachübergreifendem Wissen und Zusammenarbeit, Datenanalysen und Programmierung sowie weitere Themen
- Anforderungen an Industrie, Behörden und Bildungseinrichtungen, um den Weg zu den erforderlichen Kenntnissen und Kompetenzen zu ermöglichen
- Wie durch projektbasierte Lehrpläne zum „lebenslangen Lernen“ motiviert werden kann, wie das Image der Fertigungsindustrie verbessert und die Zusammenarbeit mit Fachkollegen gefördert werden kann, Berufsausbildung und Praktika, wie kleine bis mittelgroße Fertigungsunternehmen ausbilden können und vieles mehr

⁴ Der Begriff „Industrie“ bezieht sich auf gewinnorientierte Unternehmen, die technikbezogene Produkte oder Ressourcen entwickeln oder herstellen. Unter „Hochschulvertretern“ werden in diesem Artikel Personen verstanden, die vorwiegend in Forschung und Lehre an einer Einrichtung des tertiären Bildungsbereichs tätig sind, welche Hochschulabschlüsse vergibt.

Phase 3: Befragungen

Im Rahmen einer Online-Befragung wurden vom 1. Februar bis zum 4. März 2022 Fragebögen verteilt und es wurden 324 brauchbare beantwortete Fragebögen gesammelt (was einem Konfidenzintervall von insgesamt $\pm 3,1\%$ entspricht).

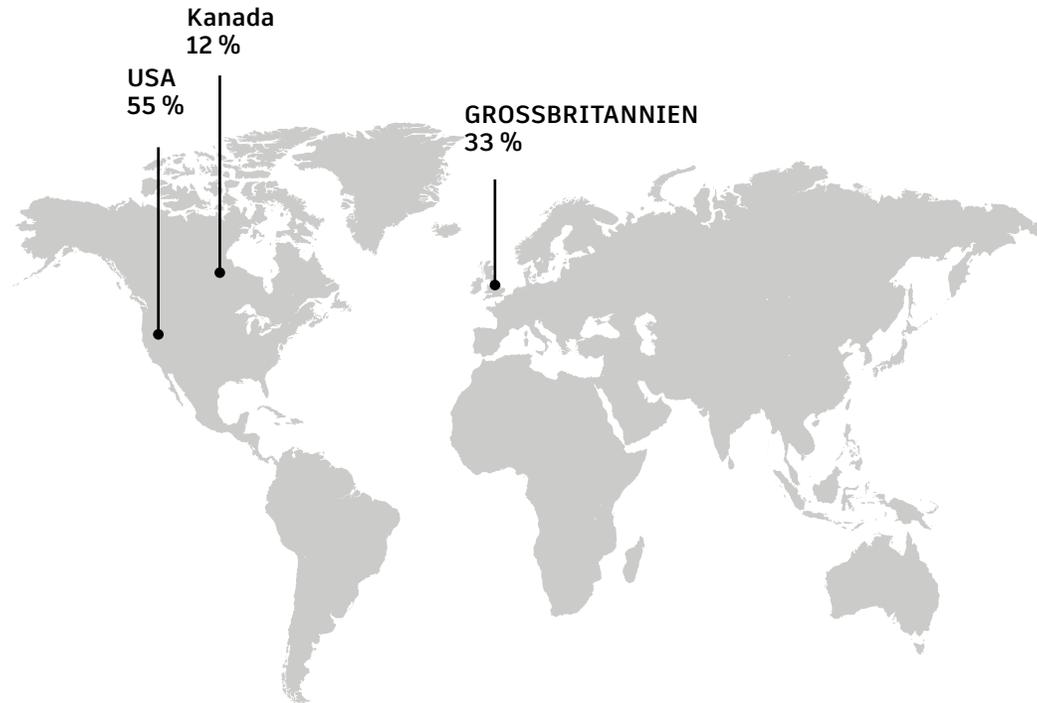


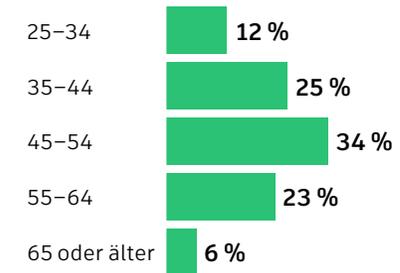
Abbildung 2:
Demografie der Umfrageteilnehmer (Phase 3)

Nordamerika
67 %

Großbritannien
33 %

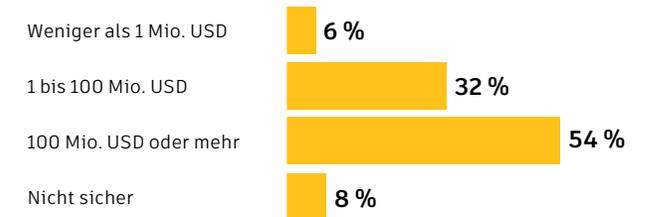
324
Beantwortete
Fragebögen

Alter



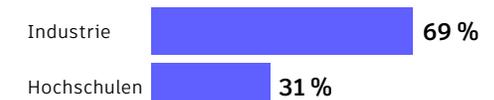
Durchschnittsalter: 47,8 Jahre

Unternehmensgröße, nach Umsatz



Durchschnittlicher Jahresumsatz = 72,5 Mio. US-Dollar

Status



Branchentrends treiben den Wandel voran

Die Veränderungen in der Industrie beschleunigen sich zunehmend. Für die Fertigungsindustrie ergeben sich daraus besondere Herausforderungen. Die Ergebnisse unserer Befragung zeigen deutlich, dass die bedeutendsten Gründe für die industrielle und digitale Transformation die Verbesserung der Produktivität, die Steigerung der Gewinne und kürzere Produktentwicklungszyklen sind (siehe Abbildung 3).

Fertigungsunternehmen sind ständig bestrebt, ihre Prozesse weiter zu automatisieren und zu rationalisieren, um ihre Ergebnisse sowohl quantitativ als auch qualitativ zu steigern. Mit der Optimierung von Produktionsanlagen sind jedoch zahlreiche Herausforderungen verbunden, denn viele Produktionsstätten und Zulieferer sind über den Globus verteilt und verwenden häufig unterschiedliche Technologien bei Maschinen und Systemen.

Zugleich setzen immer mehr Unternehmen auf Nachhaltigkeit, um ihren ökologischen Fußabdruck zu verringern. Daraus ergeben sich zusätzliche Anforderungen an ihre bestehenden Fertigungsprozesse und -systeme. In dieser Situation sehen sich Unternehmen mehr und mehr gezwungen, Lösungen für

diese zentralen geschäftlichen Herausforderungen zu finden.

Viele Unternehmen setzen dabei auf Technologie. Die im Rahmen von Industrie 4.0 verfügbaren Technologien bieten Unternehmen neue Entfaltungsmöglichkeiten durch die digitale Transformation. Technologien auf der Basis von KI/ML, Softwareplattformen, Robotik, das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT), Cloud-Datenspeicher und andere Technologien bilden zusammen eine synergistische, leistungsstarke digitale Infrastruktur mit neuen Tools und Programmierfähigkeiten. Damit erhalten Fertigungsteams ganz neue Möglichkeiten der Zusammenarbeit. Allerdings hat dieser technologische Wandel auch zu mehr Wettbewerb geführt. Umso bedeutender ist es, dass Unternehmen strategisch aufgestellt sind, um sich zu behaupten.

Viele Unternehmen erkennen die Notwendigkeit, sich anzupassen und ihre technologische Infrastruktur, ihre Prozesse, ihr Personal und ihre Fähigkeiten weiterzuentwickeln, um produktiver und rentabler zu werden und im Wettbewerb zu bestehen. Aber wie?

Abbildung 3:
Branchentrends und digitale Transformationstrends, die den Wandel fördern

Doch die Industrieunternehmen müssen nicht nur ihre Produktivität und Rentabilität steigern und die Produkt(entwicklungs)zyklen verkürzen, sondern der Bedarf an maßgeschneiderten und nachhaltigen Produkten stellt sie noch vor zusätzliche Herausforderungen.

Grundlage: 171 Maschinenbau- und Fertigungstechniker und -ingenieure





Geschäftliche Herausforderungen

Um Produktivitäts- und Rentabilitätssteigerungen sowie kürzere Markteinführungszeiten zu erzielen, müssen Unternehmen eine Transformation vollziehen, bei der neue Prozesse, Arbeitsabläufe, Technologien und Kompetenzen implementiert werden, die zu dauerhaft verbesserten Ergebnissen führen.

In unserer Studie zeigt sich, dass sich die Kompetenzen und Technologien typischer Maschinenbau- und Fertigungstechniker und -ingenieure und Maschinenbediener heute deutlich von den Kompetenzen und Technologien unterscheiden, die sie in den nächsten zwei Jahren bzw. in den nächsten fünf bis zehn Jahren benötigen werden.

Die aktuellen Geschäftsprozesse, Arbeitsabläufe und Kompetenzen basieren auf den Methoden und Technologien von Industrie 2.0 oder 3.0. Aus ihnen ergeben sich grundlegende Einschränkungen. Die Unternehmen plagen sich mit getrennten Arbeitsabläufen, nicht vernetzten Systemen und isolierten Informationen, die weitgehende Verbesserungen der Betriebsabläufe praktisch unmöglich machen. Doch die geschäftlichen Gründe, die für Kostensenkungen, Produktivitätssteigerungen und mehr Nachhaltigkeit sprechen, lenken die Fertigung immer schneller in Richtung Industrie 4.0 und zugehöriger Technologien und vernetzter, kooperativer Arbeitsabläufe. Ein „Weiter so“ wird also nicht zu den gewünschten Geschäftsergebnissen führen, weder bei diesen drei wesentlichen fertigungsrelevanten Berufsgruppen noch, was die derzeit getrennten, nicht vernetzten und isolierten Arbeitsabläufe angeht.

Nur durch eine digitale Transformation, die die Arbeitsabläufe, Anwendungen, die digitale und betriebliche Infrastruktur und die Datenverwaltung von Grund auf neu gestaltet, und durch die Entwicklung neuer Kompetenzen für die Planung und Durchführung der Arbeiten werden die Unternehmen die gewünschten Verbesserungen ihrer Geschäftsergebnisse erzielen. Mit diesen innovativen Maßnahmen werden die Unternehmen in die Lage versetzt, effizienter zu produzieren, Kosten zu senken und die für ihre Geschäftsentwicklung nötige Differenzierung im Wettbewerb zu erreichen.

Lösungsansatz auf der Systemebene

Um von den Technologien von Industrie 4.0 profitieren zu können, müssen Unternehmen ihr Betriebsmodell für die Fertigung auf der Systemebene untersuchen und entscheiden, welche Technologien sie integrieren möchten und wie sie diese bei der Schaffung neuer Arbeitsabläufe anwenden, um den Fertigungsprozess zu modernisieren. Jede neue Technologie bietet eine Möglichkeit, die Arbeit neu und insbesondere rationeller zu gestalten. Dabei muss analysiert werden, wie sich diese Technologien auf die Aufgabenbereiche der Fachkräfte im Arbeitsablauf auswirken werden, um entsprechende Aus- und Weiterbildungsangebote einzurichten, die die Arbeitskräfte fit für die digitale Transformation machen.

In diesem Abschnitt untersuchen wir mit einem Bottom-up-Ansatz, wie jede Technologielösungsschicht in einer Transformation zu Industrie 4.0 neue Arbeitsabläufe und Verbesserungen der Geschäftsprozesse unterstützt und ermöglicht. Dies wird als Grundlage dienen, um den Bedarf an neuen Kompetenzen und Bildungsmaßnahmen zu erklären.

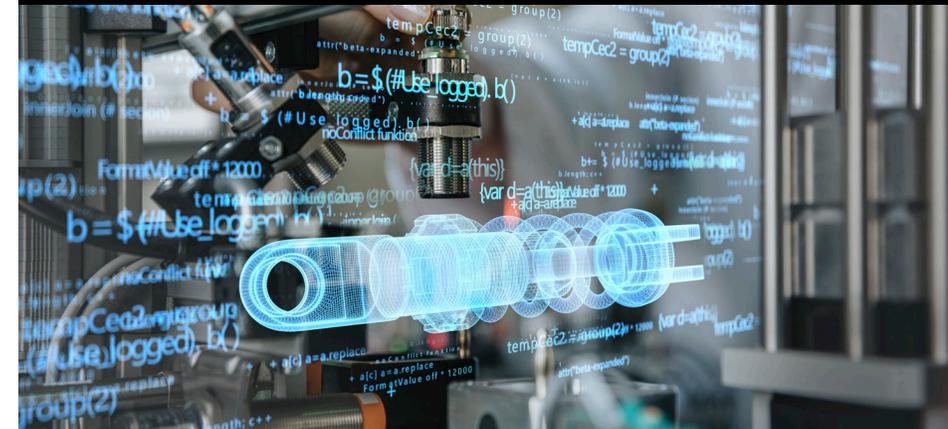
Betriebsabläufe auf der Basis von Daten planen. Produktmodelle, Fertigungskosten, Produktionszeitpläne und CNC-Maschinenprogramme sind jeweils Beispiele für wertvolle Daten. Je mehr Informationen für die Teams zugänglich und bei Bedarf verfügbar sind, desto intelligentere Entscheidungen können sie über die Arbeitsabläufe treffen, um jeden Schritt im Fertigungsprozess optimal und datengestützt zu planen. Die Teammitglieder erstellen, teilen und nutzen Daten. Daher benötigen sie die entsprechenden Fähigkeiten, um Daten zentral zu speichern, zu verwalten und zu analysieren.

„Meiner Ansicht nach hängt es von den zwischenmenschlichen Fähigkeiten ab, ob die fachübergreifende Zusammenarbeit gelingt. Denn jeder von uns, der schon in der Industrie gearbeitet hat, weiß doch, dass ein Maschinenbediener womöglich völlig anders tickt als ein Ingenieur. Man muss daher in der Lage sein, der einen Fachabteilung klar zu vermitteln, was in der anderen Abteilung passiert.“

Timothy Robertson

ATDM Technical Program Manager

Institute for Advanced Learning and Research



Infrastruktur ist für die Vernetzung von Teams, Systemen und Anwendungen unverzichtbar. Eine digitale, funktionale Infrastruktur ermöglicht die Gesamtsicht auf die Fertigungssysteme und den Betriebsstatus, um Leistung und Produktivität steuern zu können. Dashboards für Betriebssysteme liefern Einblicke und Analysen, anhand derer die gesamten Prozesse im System von der Entwicklung und Konstruktion über die Fertigungsplanung bis hin zur Produktion nahtlos gesteuert und betrieben werden. Bei der Automatisierung müssen Datenanalysen und Technologien für die Visualisierung zum Einsatz kommen, um die Planung und Ausführung der Systeme effizienter und skalierbarer zu gestalten.

Moderne Softwareplattformen helfen bei der Konsolidierung von Werkzeugen, der Vernetzung von Arbeitsabläufen und einer effektiveren Zusammenarbeit. So führt beispielsweise eine integrierte Plattform für CAD, CAM, CAE und Software für die Konstruktion von Leiterplatten die Entwicklungs-, Konstruktions- und Fertigungsabläufe zusammen und bietet allen Beteiligten ein gemeinsames Werkzeug, um die Arbeitsschritte zu vereinheitlichen und zu beschleunigen, die bisher nacheinander auf Desktops mit eigenen Desktop-Werkzeugen in unterschiedlichen Dateiformaten getrennt voneinander ausgeführt wurden. Heute kann ein virtuelles Team bei der Ausführung der erforderlichen Aufgaben mithilfe von Cloud-basierter Software wesentlich effizienter zusammenarbeiten.

Arbeitsabläufe legen fest, wie Teams an einem Projekt zusammenarbeiten und wer welche Aufgaben übernimmt. Um an das Beispiel vom integrierten CAD/CAM anzuknüpfen: Ein verbesserter Arbeitsablauf in der Konstruktion kann die Vorteile der neuen KI-/ML-Technologie nutzen, beispielsweise generatives Design. Für Konstrukteure verändert generatives Design vollständig die Art und Weise, wie Produkte konstruiert und anschließend im Hinblick auf bestimmte Zielgrößen (z. B. Kosten, Gewicht und Haltbarkeit) optimiert werden. Die Auswahl der Zielgrößen kann intelligent auf der Grundlage der Verfügbarkeit von Materialien und Komponenten in den Lieferketten und der Verfügbarkeit von additiver Fertigung in der Produktion getroffen werden. Dies alles wird durch Daten ermöglicht, die im gesamten System erfasst und zentral gespeichert und abgerufen werden.

Neu gestaltete Geschäftsprozesse können die Geschäftsergebnisse optimieren. So ermöglichen beispielsweise neue Methoden für ein agiles Projektmanagement, die flexibel, schnell und kontinuierlich angewandt werden, die schnelle Prototypenherstellung und unterstützen die Entwicklung und Fertigung modularer Produkte. Diese neuen Prozesse können die Produktivität steigern, Kosten senken und die Markteinführung beschleunigen.

Branchenexperten sind sich bewusst, dass für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit und den Aufbau langfristiger Vorteile für das Unternehmen die Arbeitsabläufe dahingehend neu gestaltet werden müssen, dass eine bessere Zusammenarbeit ermöglicht wird. Auch müssen die Unternehmen so flexibel sein, dass sie Prozesse einrichten können, die sich problemlos in andere Lösungen integrieren lassen, um so ein reibungsloses Zusammenspiel vom ersten Entwurf bis zum Endprodukt zu ermöglichen.

In einer solchen kooperativen und vernetzten Arbeitsumgebung sind für alle Rollen Soft-Skills ebenso wichtig wie Fachkenntnisse und technisches Wissen. Empathie, kommunikative, Konfliktbewältigungs-, Problemlösungs- und Teambildungsfähigkeiten werden für eine effektivere fach- und teamübergreifende Zusammenarbeit in der Fertigungsindustrie unverzichtbar sein. Diese Soft-Skills sind ebenfalls notwendig zur Sozialisierung und Unterstützung der neuen vernetzten und kooperativen Arbeitsabläufe im gesamten Unternehmen. Zusammenarbeit ist das Modell der Zukunft. Daher müssen Techniker und Ingenieure ihre Soft-Skills weiterentwickeln, um ihre kommunikativen Fähigkeiten und ihre Teamfähigkeit zu verbessern und umzudenken: von der Arbeit an isolierten Komponenten hin zu Teams, Systemen und fachübergreifenden Projekten.

Zukünftige Arbeitsabläufe, Aufgabenbereiche und Kompetenzen

Die Industrie hat deutlich darauf hingewiesen, wie sehr der Bedarf an Qualifikationen von Fachkräften mit den Qualifikationen von Bewerbern auseinanderklafft. In dem Maße, wie sich die digitale Transformation zu Industrie 4.0 in den Unternehmen beschleunigt, wird sich diese Kompetenzlücke noch weiter vergrößern. Arbeitgeber suchen zunehmend nach Fachkräften mit erweiterten Computer- und Datenanalysefähigkeiten. So sollen Fachkräfte in der Produktion beispielsweise in der Lage sein, eine CNC-Maschine für eine neue Bearbeitung zu programmieren; Fertigungsingenieure sollen die Produktionsstraßen automatisieren und rationalisieren können und Maschinenbautechniker sollen in der Lage sein, Entwürfe im Hinblick auf die Kosten zu optimieren, etwa mit Technologien wie generativem Design. Bei der Ausbildung neuer Fachkräfte für die Industrie müssen die Hochschulen sowohl praktische Fähigkeiten entwickeln als auch Kenntnisse in der fertigungsorientierten Konstruktion und Entwicklung (Design for Manufacturing, DfM) und im Operations Research vermitteln, damit die Hochschulabsolventen bei der Entwicklung und Umsetzung effizienterer Arbeitsabläufe und Prozesse in der Fertigung mitwirken können.

In unserer Studie haben wir untersucht, welche Kompetenzen bei Maschinenbau- und Fertigungstechnikern und -ingenieuren und CNC-Maschinenbedienern heute verlangt werden und welche neuen Kompetenzen sie in den nächsten fünf bis zehn Jahren mitbringen müssen, um erfolgreich zu sein. Um es auf eine kurze Formel zu bringen: Die zusätzlichen Kenntnisse und Kompetenzen für Industrie-4.0-Technologie gehen weit über die aktuellen Kompetenzen hinaus.

Die Anforderungen an jede dieser drei Berufsgruppen werden sich individuell weiterentwickeln, doch es gibt auch bestimmte Veränderungen, die für alle drei gelten. Die neuen Kompetenzen lassen sich in drei Kategorien gliedern: Fachkenntnisse bzw. technische Kenntnisse – d. h. Kenntnisse und Fertigkeiten für die Ausführung der stellenspezifischen Aufgaben; Soft-Skills – d. h. zwischenmenschliche Qualitäten wie kommunikative Fähigkeiten, Teamgeist und Problemlösungsfähigkeiten; sowie fachübergreifende Kompetenzen – hierunter fallen Fähigkeiten zur Integration von Wissen aus den verschiedenen Bereichen, da die beruflichen Aufgaben im Zuge der weiteren Entwicklung im gesamten Fertigungsprozess zunehmend vernetzter und kooperativer werden. So erwarten beispielsweise fast 60 Prozent der befragten Techniker aus der Industrie (n = 171), dass die drei Berufsgruppen wesentlich stärker zusammenarbeiten werden.

Bestimmte Kompetenzen müssen alle drei Berufsgruppen entwickeln, darunter Kenntnisse in DfM- und KI-/ML-Technologien (z. B. generatives Design). Dies deutet darauf hin, dass für eine produktive Zusammenarbeit ein gemeinsames Verständnis der wesentlichen Begriffe und Funktionen erforderlich ist. Die Befragten aus der Industrie (n = 222) sind der Ansicht, dass Maschinenbauingenieure zunehmend KI-/ML-Kenntnisse benötigen, da diese für die Produktentwicklung notwendig sind (56 %), dass Fertigungstechniker diese Kenntnisse benötigen, weil sie für den Fertigungsprozess relevant sind (61 %), und dass CNC-Maschinenbediener diese Kenntnisse mitbringen müssen, da sie für die Produktion wichtig sind (56 %).

Gründliche DfM-Kenntnisse werden also für alle drei Berufsgruppen in der Industrie grundlegend sein und an Bedeutung gewinnen. 90 Prozent aller 324 Befragten der Umfrage gaben an, dass die Vermittlung gründlicherer DfM-Kenntnisse die effektivste Möglichkeit ist, wie die Hochschulen zukünftige Fachkräfte für die Fertigung fit machen können.

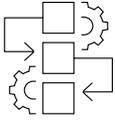
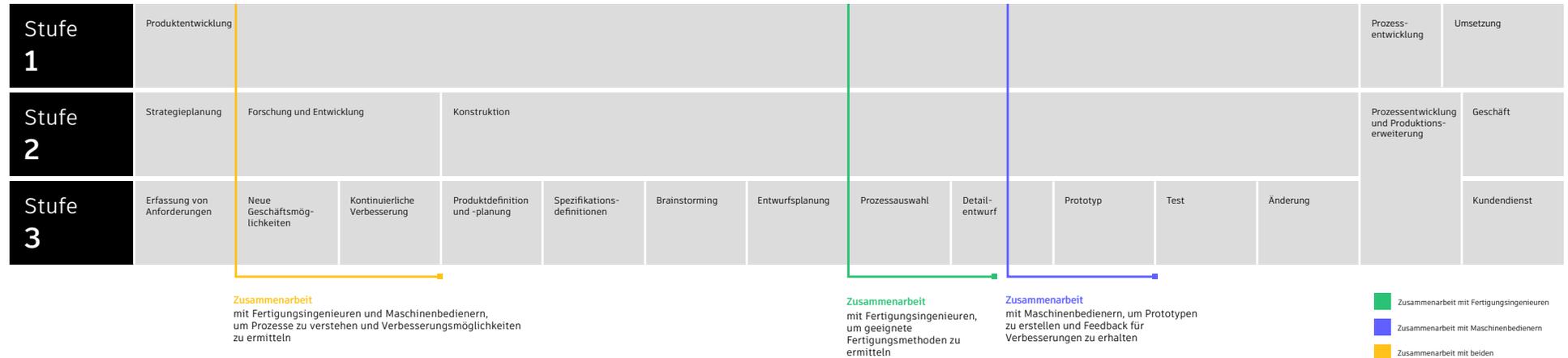


Abbildung 4:
Aktueller Arbeitsablauf für
Maschinenbautechniker
und -ingenieure

Anmerkung: Diagramme der zukünftigen vernetzten Arbeitsabläufe und wesentliche Punkte der Zusammenarbeit, die sich durch neue Technologien und Werkzeuge ergeben, sind in Anhang A aufgeführt.



Maschinenbauingenieure sind heute hauptsächlich für Forschung, Planung, Konstruktion, Entwicklung, Tests und kontinuierliche Verbesserungen sowie für die Änderung neuer und bestehender Produkte, Maschinen und Werkzeuge verantwortlich, wobei die meiste Arbeit in der Konstruktionsphase anfällt (siehe Abbildung 4). Einige Maschinenbauingenieure und -techniker konzentrieren sich auch auf die strategische Planung und die Entwicklung von Kundendienstleistungen. Die meisten als Maschinenbautechniker tätigen Fachkräfte erwerben mindestens einen Bachelor-Abschluss (83 %), einige haben einen Fachschulabschluss (7 %) oder gar keinen Abschluss (5 %).⁵

⁵ O*Net, „Mechanical Engineers 17-2141.00“, <https://www.onetonline.org/link/summary/17-2141.00>

Aktuelle Kompetenzen und verwendete Technologien im Maschinenbau:

- Computergestütztes Design (Computer-Aided Design, CAD)
- Analysesoftware wie Matlab und Minitab
- Enterprise Resource Planning (ERP)-Software
- Programmierwerkzeuge
- Finanzanalysesoftware

Maschinenbautechnikern und -ingenieuren wird in fünf bis zehn Jahren eine entscheidende Rolle bei der fertigungsorientierten Entwicklung von besseren – d. h. schlankeren, intelligenteren und nachhaltigeren – Produkten zukommen. Die daraus resultierenden Innovationen werden neue Geschäftsmodelle auf der Grundlage intelligenter Produktvarianten ermöglichen. Die für den Maschinenbau erforderlichen Kompetenzen werden über den traditionellen Horizont hinausgehen: Zum einen muss Elektronik in die Konstruktion mit einbezogen werden, und zum anderen müssen die Produkte modular gestaltet werden, um eine längere Produktnutzung zu ermöglichen.

Für die künftige Entwicklung komplexerer Produkte benötigen Maschinenbauingenieure und -techniker zunehmend Technologiekenntnisse, etwa auf dem Gebiet der fortschrittlichen additiven Fertigung (AM), von diversen CAD-, CAM- und CAE-Technologien (computergestützte Entwicklung, Computer-Aided Engineering) und von Entwurfssoftware für Leiterplatten. Die befragten Ingenieure prognostizieren, dass sie zunehmend mit CAD/CAM (67 %), PLM-Software (73 %) und fertigungsorientierter Konstruktion für die additive Fertigung (DfAM, 71 %) arbeiten werden. Und Hochschulvertreter erwarten, dass der Schwerpunkt zunehmend auf generativem Design (80 %) und Programmiertechniken (75 %) liegen wird.

Die additive Fertigung wird an Bedeutung gewinnen. Ingenieure und Konstrukteure müssen daher mit generativem Design auf der Grundlage von KI/ML arbeiten, um Produkte fertigungsgerecht zu entwickeln (siehe Abbildung 6).

Generatives Design birgt ein enormes Potenzial bei der Verkürzung der Markteinführungszeit und der Senkung des Materialverbrauchs – ohne Einbußen an Festigkeit, Haltbarkeit oder anderen Produkteigenschaften. Von 171 befragten Maschinenbau- und Fertigungstechnikern und -ingenieuren sind 65 Prozent der Ansicht, dass Ingenieure und Konstrukteure in den nächsten fünf bis zehn Jahren auf generative Designtechniken umsteigen müssen (siehe Abbildung 6).

„Künftig wird von Ingenieuren verlangt werden, dass sie mindestens grundlegende Programmierkenntnisse mitbringen – d. h. dass sie in der Lage sind, Makros und Skripte in dem von ihnen verwendeten CAD-System zu schreiben.“

Dmitry Ovsyannikov

Chief Technology Officer
Matre

„Ich denke, dass maschinelles Lernen und KI das Berufsbild des Maschinenbauingenieurs enorm verändern werden. Die Ingenieure und Konstrukteure von morgen müssen wahrscheinlich gründlichere Kenntnisse der Fertigungsprozesse besitzen, denn es wird eine unübersehbare Menge von Daten verfügbar sein, die sie dann in den Entwicklungsprozess mit einbeziehen müssen.“

Timothy Robertson

ATDM Technical Program Manager
Institute for Advanced Learning and Research

„Die Grenzen zwischen Konstruktion und Fertigung verschwinden zusehends. In zehn Jahren werden die Abschlüsse von Maschinenbau- und Fertigungstechnikern und -ingenieuren vermutlich recht ähnlich sein.“

Jeffrey Reed

Director, Engineering
Northrop Grumman Corporation

„Den Aspekt der Fertigung bereits in den Entwurf mit einzubeziehen, ist eine wichtige Kompetenz, die im Maschinenbaustudium nicht ausreichend vermittelt wird. Es genügt nicht, ein Produkt zu konstruieren, sondern die Konstruktion muss auch die Frage berücksichtigen, wie das Produkt gefertigt werden soll. Und wie die Anwender mit ihm umgehen sollen.“

Raju Dandu, PhD

Professor; Director, Bulk Solids Innovation Center
Kansas State University Salina

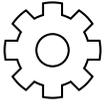
Mit der Einführung von IoT und anderen Industrie-4.0-Technologien werden große Mengen an Daten aus dem Betrieb verfügbar. Ingenieure brauchen dann geeignete Werkzeuge und Kompetenzen, um aussagefähige Informationen und Einblicke aus den Daten extrahieren zu können. 69 Prozent der befragten 171 Maschinenbau- und Fertigungstechniker und -ingenieure sind der Ansicht, dass Datenanalyse- und -visualisierungsfähigkeiten zu den zentralen Kompetenzen von Maschinenbauingenieuren gehören werden. Auch Programmierkenntnisse (insbesondere Low-Code- und No-Code-Methoden) werden notwendig sein, um Möglichkeiten zur Optimierung und Automatisierung zu erkennen.

Um intelligentere, nachhaltigere Produkte herzustellen, werden Techniker nach Ansicht von 84 Prozent der Befragten aus der Industrie zunehmend die Prinzipien der fertigungsorientierten Entwicklung (DfM) bei ihrer Arbeit anwenden müssen. DfM ermöglicht effizientere Arbeitsabläufe mit weniger Nacharbeit. Ein Konzept in den Raum werfen und sehen, ob es funktioniert – diese Vorgehensweise akzeptieren die meisten Unternehmen inzwischen nicht mehr. Vielmehr wird Wert auf projektbasiertes Lernen und auf integrierte End-to-End- Designplattformen gelegt, die eine Konvergenz der Konstruktions- und der Produktionsphase ermöglichen.

Zusammenarbeit ist ebenfalls ausschlaggebend für den Erfolg mit DfM. Bei der Konzeption neuer Produkte müssen Produktdesigner mit Maschinenbedienern und Fertigungstechnikern interagieren, um direktes Feedback über ihre Produkte einzuholen. Durch häufigere Gespräche mit Teammitgliedern lassen sich die bisherigen Informationssilos abbauen, und es entsteht eine offenerere und kooperativere Arbeitsumgebung. Nach unseren Daten waren mindestens 90 Prozent der Befragten aus der Industrie fest davon überzeugt, dass Soft-Skills in der kreativen Problemlösung, Teamarbeit und Kommunikation für Maschinenbauingenieure immer mehr an Bedeutung gewinnen werden.

Außerdem werden Maschinenbautechniker und -ingenieure bei ihrer Arbeit zunehmend fachübergreifend vorgehen müssen, indem sie komplexe integrierte Lösungen entwerfen und konstruieren, die Kenntnisse in Mechanik, Elektronik und Softwareentwicklung erfordern. Laut unserer Umfrage bei 171 Maschinenbau- und Fertigungstechnikern und -ingenieuren und 102 Hochschulvertretern besteht ein breiter Konsens (77 % bzw. 87 %) darüber, dass Maschinenbauingenieure systemtechnische Fähigkeiten benötigen werden. 79 Prozent der Befragten aus der Industrie sind der Ansicht, dass Maschinenbauingenieure bei ihrer Arbeit künftig die Grundzüge der Elektronik und der Softwareentwicklung kennen müssen. In Nordamerika sagten 59 Prozent von 217 Befragten, dass Maschinenbautechniker außerdem auf Nachhaltigkeit achten müssen. Das bedeutet, dass sie den gesamten Produktlebenszyklus im Blick haben müssen.

Erforderliche Kompetenzen zukünftiger Maschinenbauingenieure und -techniker



Technische bzw. Fachkenntnisse

Generatives Design

KI/ML für die Produktentwicklung

Fertigungsorientierte Entwicklung (Design for Manufacturing, DfM) mit Berücksichtigung der nachfolgenden Fertigungsprozesse (für die an der Konzeptionsphase beteiligten Ingenieure)

Kenntnisse in der Programmierung

3D-Modellierung/-Konstruktion mit Fokus auf Ästhetik

Datenanalyse und -visualisierung

Prototypentwicklung

Simulation von Konstruktion und digitalem Zwilling

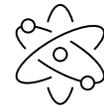


Soft-Skills

Kreative Problemlösung

Zusammenarbeit mit einzelnen Personen bzw. Teams

Kommunikation (schriftlich/mündlich)



Fachübergreifende Kompetenzen

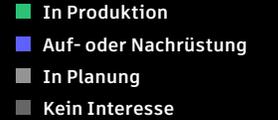
Erfahrungen in der Systemtechnik

Kenntnisse im Bereich der Elektrotechnik, Elektronik und Softwareentwicklung

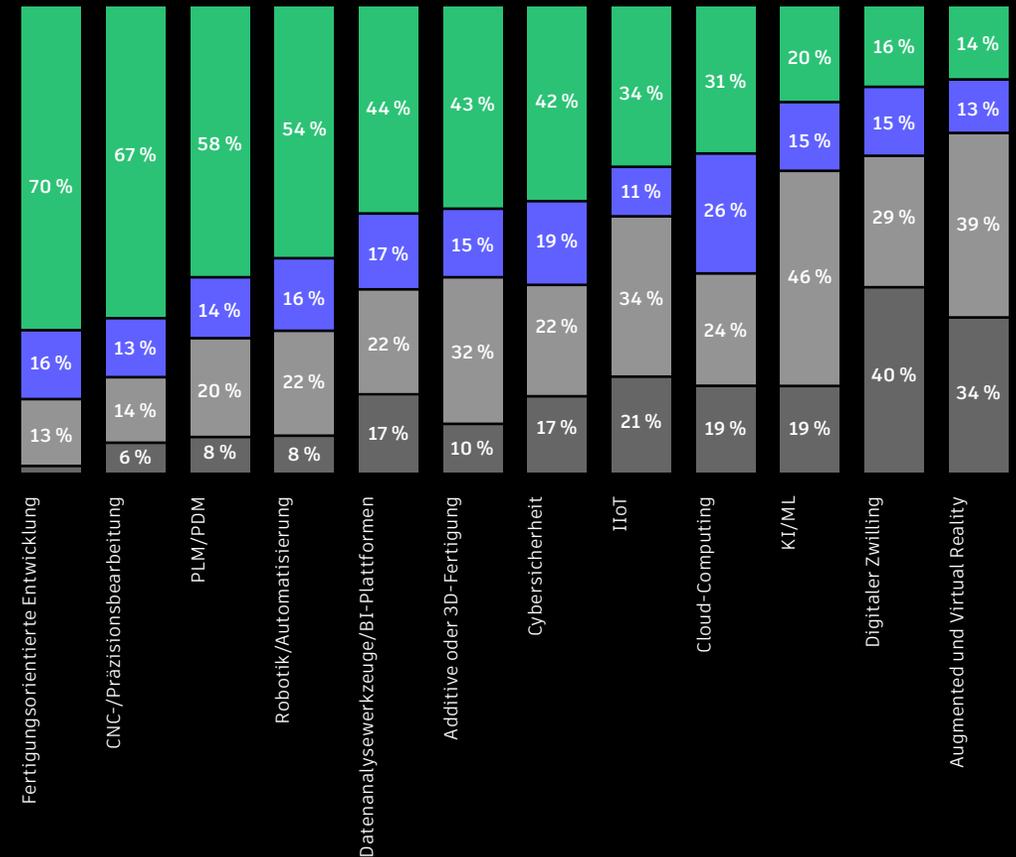
Schwerpunkt auf Nachhaltigkeit

Abbildung 5:
Status der Initiativen im Bereich der Fertigungstechnologie

Die Einführung von Industrie-4.0-Technologien wird in den nächsten zehn Jahren weiter zunehmen.



Grundlage: 171 Maschinenbau- und Fertigungstechniker und -ingenieure



**Abbildung 6:
Erforderliche Kompetenzen von
Maschinenbautechnikern und
-ingenieuren heute und in 5–10 Jahren**

Maschinenbautechniker und -ingenieure müssen auch künftig ausgeprägte Soft-Skills mitbringen, z. B. Problemlösungs- und kommunikative Fähigkeiten. Sie müssen ihre fachübergreifenden Kompetenzen in der Elektronik und Softwareentwicklung, in der Softwareanwendung (z. B. CAM), Programmierung, Datenanalyse, additiven Fertigung, im generativen Design und der nachhaltigen Produktentwicklung sowie in der Anwendung von KI-/ML-Algorithmen erweitern.

■ **Aktuell**
■ **Nächste 5 bis 10 Jahre**

Grundlage: 171 Maschinenbau- und Fertigungstechniker und -ingenieure



Fertigungstechniker und -ingenieure sind heute

normalerweise für die Planung, Implementierung und Optimierung von Fertigungsprozessen und -systemen zuständig (siehe Abbildung 7). Die meisten von ihnen haben einen Bachelor-Abschluss erworben (76 %), während ein erheblicher Anteil einen Fachschulabschluss (16 %) oder einen höheren Schulabschluss (4 %) hat.⁶

Aktuelle Kompetenzen und verwendete Technologien in der Fertigung:

- Werkzeugmaschinen und andere Maschinen
- Schlanke Fertigung
- Prozessoptimierung
- Qualitätskontrolle (QK)
- Computergestütztes Design (CAD)
- Analysesoftware wie Matlab und Minitab

⁶ O*Net, „Manufacturing Engineers 17-2112.03“, <https://www.onetonline.org/link/summary/17-2112.03>

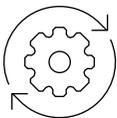
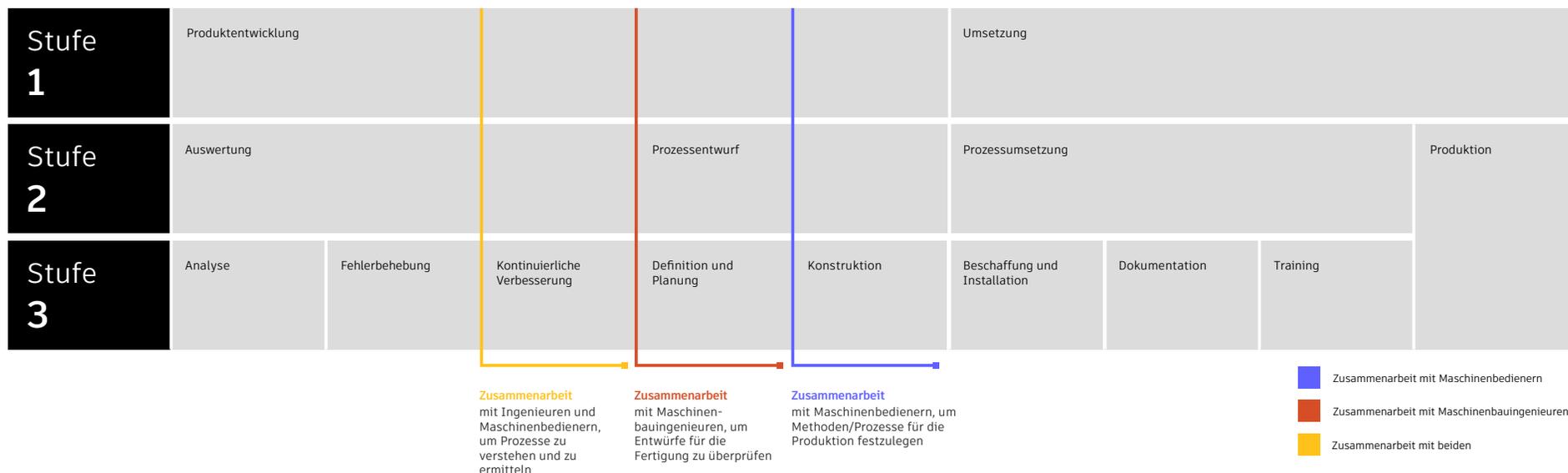


Abbildung 7:
Aktueller Arbeitsablauf
für Fertigungstechniker
und -ingenieure

Anmerkung: Diagramme der zukünftigen vernetzten Arbeitsabläufe und wesentliche Punkte der Zusammenarbeit, die sich durch neue Technologien und Werkzeuge ergeben, sind in Anhang B aufgeführt.



Fertigungstechniker und -ingenieure werden in fünf bis zehn Jahren die strategischen Bemühungen zur Verbesserung und Einführung moderner Fertigungstechniken und -prozesse leiten. Sie werden darüber entscheiden, wie Technologien, z. B. KI/ML, zur Optimierung der Automatisierung eingesetzt und welche intelligenten Fertigungsverfahren eingeführt werden, z. B. die Programmierung von Produktionsanlagen, die Steuerung verteilter Fertigungsstandorte und die Bereitstellung von Echtzeitüberwachungssystemen für die Produktion. Sie müssen Fertigungssysteme entwickeln und implementieren, um die Markteinführungszeit zu verkürzen und zugleich Kosten, Ausschuss und Mängel zu reduzieren. Diese Berufsgruppe wird darauf achten, Arbeitskräfte und Produktionsmaschinen optimal einzusetzen und auszulasten, einschließlich Robotik und additiver Fertigung. Sie wird digitale Zwillinge nutzen und Daten analysieren und visualisieren, um Potenziale für Effizienzsteigerungen aufzudecken.

Über 70 Prozent der Befragten sind der Meinung, dass Fachkenntnisse bzw. technische Kenntnisse, z. B. in der Interaktion zwischen Mensch und Roboter, zu dem dramatischen Wandel in der Rolle des Fertigungstechnikers oder -ingenieurs beitragen werden. Die Mehrheit der Befragten nannte außerdem KI-/ML-Kenntnisse für die Produktivität in der Produktion, Kenntnisse in der additiven/hybriden Fertigung und in robusteren Betriebstechnologien, darunter Cloud-Speicher, Edge Computing, MES-/ERP-Plattformen, Cybersicherheit und das Internet der Dinge (IoT). KI und IoT können bei der Prozessoptimierung hilfreich sein, indem anhand von Simulationen Fehler gesucht und behoben und die Leistung von Produktionsanlagen getestet wird. Die Ergebnisse können zu kontinuierlichen Verbesserungen der Betriebsabläufe beitragen.

Die überwiegende Mehrheit der befragten Techniker (88 %) ist der Ansicht, dass Fertigungstechniker und -ingenieure in den nächsten fünf bis zehn Jahren bessere Kenntnisse in der fertigungsorientierten Entwicklung (DfM) benötigen werden. Außerdem sind 58 % der Befragten der Ansicht, dass sie auch in der Lage sein müssen, Echtzeitinspektionen der Maschinenabteilung durchzuführen. Die Befragten in Großbritannien (n = 107) gehen überwiegend davon aus, dass Fertigungstechniker und -ingenieure zunehmend auf Werkzeuge und Methoden im Bereich der Augmented Reality bzw. Virtual Reality (AR/VR) zurückgreifen werden (65 %).

Wie die übrigen beiden Berufsgruppen werden auch Fertigungstechniker und -ingenieure von besseren Soft-Skills profitieren, zum Beispiel von Problemlösungsfähigkeiten, kommunikativen Fähigkeiten und Teamfähigkeit. Die meisten Befragten in unserer Umfrage sind der Ansicht, dass Maschinenbau- und Fertigungstechniker und -ingenieure und Maschinenbediener in den nächsten fünf bis zehn Jahren immer enger zusammenarbeiten werden. Die befragten nordamerikanischen Techniker sehen eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen Konstrukteuren und Maschinenbedienern (68 %) sowie QS-/QK-Fachkräften (62 %) voraus (siehe Abbildung 8).

Fertigungstechniker und -ingenieure arbeiten zunehmend fachübergreifend, da sich ihr Kenntnisprofil mit dem von Maschinenbautechnikern und -ingenieuren und CNC-Maschinenbedienern überschneidet. Daher benötigen sie mehr Fähigkeiten in der Integration von Robotik und CNC-Maschinen, CAD/CAM-Software und besserer Datenanalyse. 74 % der Befragten aus der Industrie sehen eine wesentliche Aufgabe der Fertigungsingenieure und -techniker in der zunehmenden Automatisierung von Produktionsstraßen und dem Zusammenspiel von Maschinen, Robotern, Sensoren und Aktuatoren.

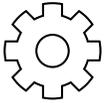
„Künftig wird die Konstruktionssoftware fähig sein, Abhängigkeiten in der Fertigung zu berücksichtigen und präzisere Simulationen der Fertigungsprozesse durchzuführen. Dadurch wird die Arbeit von Konstrukteuren und Fertigungsingenieuren immer ähnlicher. Auch sinkt das Risiko, dass Dinge konstruiert werden, die nicht gefertigt werden können.“

Andrew Partin

Innovation Engineer
Stellantis



Erforderliche Kenntnisse zukünftiger Fertigungstechniker



Technische bzw. Fachkenntnisse

- DfM
- KI/ML für die Produktivität in der Werkhalle
- Robotik/Cobotik
- CAD/CAM-Software und -Programmierung
- Additive und hybride Fertigung
- Datenanalysen
- Betriebstechnologien wie Cloud-Speicher, Edge Computing, Cybersicherheit, MES-/ERP-Plattformen und das Internet der Dinge (IoT)
- CNC-Bearbeitung
- Augmented Reality/Virtual Reality



Soft-Skills

- Kreative Problemlösung
- Zusammenarbeit mit einzelnen Personen bzw. Teams
- Kommunikation (schriftlich/mündlich)

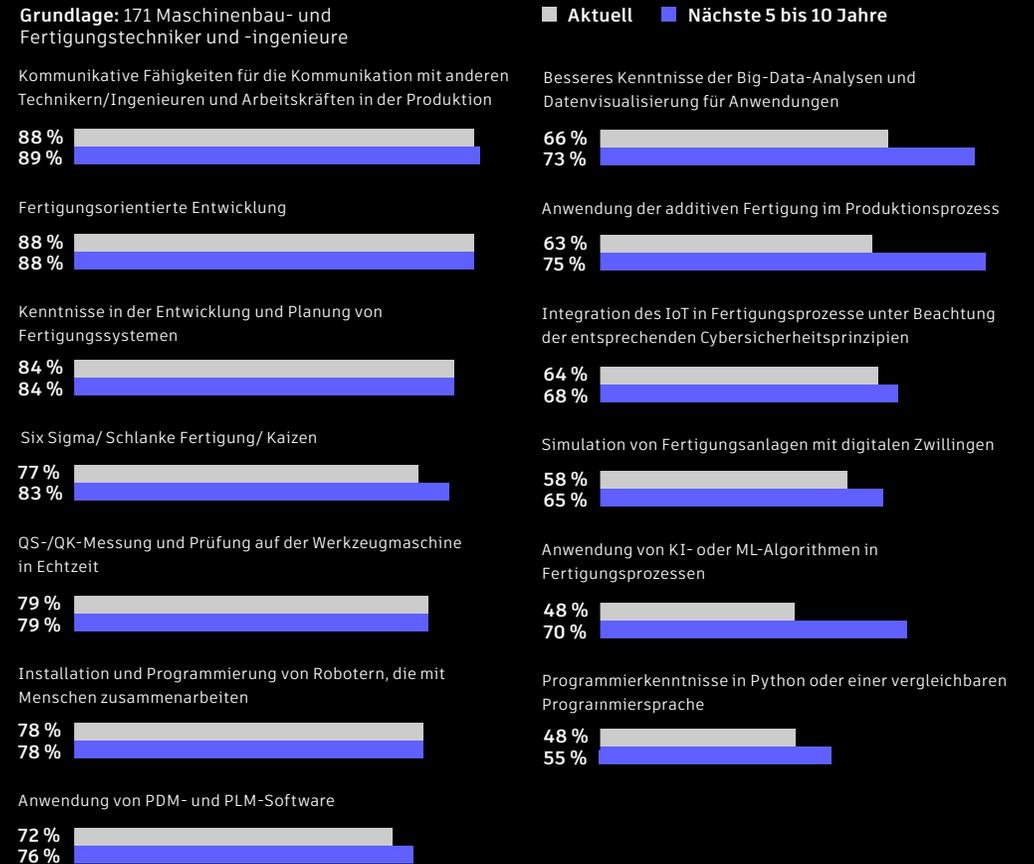


Fachübergreifende Kompetenzen

- Grundlagen des Maschinenbaus
- Automatisierung von Fertigungsstraßen mithilfe von Maschinen, Robotern, Sensoren und Aktuatoren
- Schwerpunkt auf Nachhaltigkeit

Abbildung 8: Erforderliche Kompetenzen von Fertigungstechnikern und -ingenieuren heute und in 5–10 Jahren

Ähnlich wie die Maschinenbautechniker werden auch die Fertigungstechniker und -ingenieure von morgen immer wieder auf erweiterte Kommunikationsfähigkeiten und Fertigungssysteme sowie QS-/QK-Kenntnisse angewiesen sein. Außerdem werden von ihnen Kompetenzen in dem Bereichen Datenanalyse, additive Fertigung (3D-Druck), digitaler Zwilling, Programmierung und KI-/ML-Anwendungen erwartet werden, um Durchsatz und Effizienz der Fertigung zu verbessern.



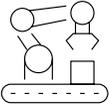
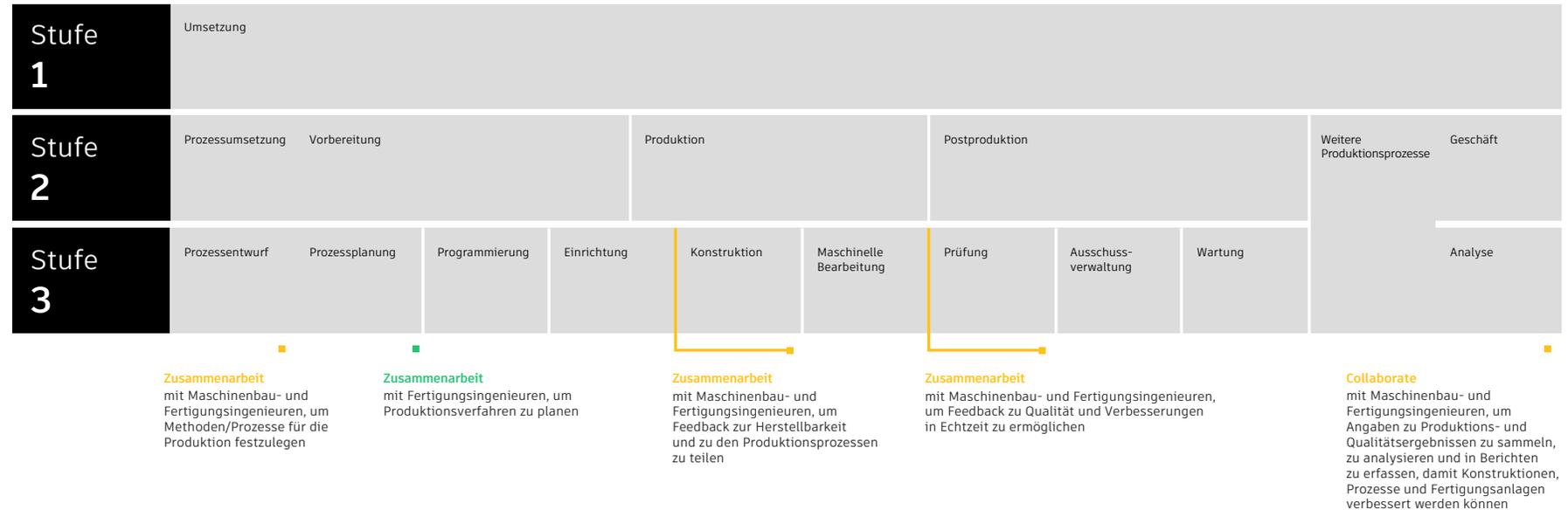


Abbildung 9:
Aktueller Arbeitsablauf für
Maschinenbediener

Anmerkung: Diagramme der zukünftigen vernetzten Arbeitsabläufe und wesentliche Punkte der Zusammenarbeit, die sich durch neue Technologien und Werkzeuge ergeben, sind in Anhang C aufgeführt.

■ Zusammenarbeit mit Fertigungsingenieuren

■ Zusammenarbeit mit Maschinenbau- und Fertigungsingenieuren



CNC-Maschinenbediener sind heute für die Herstellung von Präzisionsbauteilen mit Bearbeitungs- und Werkzeugmaschinen sowie für Einrichtung, Betrieb, Reparatur und Wartung von Maschinen verantwortlich (siehe Abbildung 9). Diese Berufsgruppe besitzt einen höheren Schul- oder vergleichbaren Abschluss (36 %), Berufszertifikate (33 %) oder ein College-Studium ohne akademischen Grad (17 %).⁷

Aktuelle Kompetenzen und verwendete Technologien von CNC-Maschinenbedienern:

- CNC-Bearbeitung
- Werkstückspannvorrichtungen, Maschinenkinematik, Form- und Lagetoleranzen (GD&T)
- CAD- und CAM-Software für die Konstruktion von Spannmitteln und Werkzeugen
- Gründliche Kenntnisse über die verwendeten Werkzeugmaschinen und anderen Maschinen
- Ausreichende ERP-Kenntnisse
- Analyse- und Industriesteuerungssoftware

⁷ O*Net, „Machinists 51-4041.00“, <https://www.onetonline.org/link/summary/51-4041.00>

CNC-Maschinenbediener werden in fünf bis zehn Jahren unter den drei Berufsgruppen den größten Schritt nach vorn vollziehen, denn sie profitieren erheblich von den Industrie-4.0-Technologien. Ihr Aufgabenbereich wird wachsen und neue Schwerpunkte enthalten: die Steuerung und Programmierung von Robotern und Cobots, Echtzeitanalysen der Produktionsergebnisse, Messungen und Prüfungen in der Werkstatt und die Mitwirkung bei der Qualitätssicherung (QS) und der Qualitätskontrolle (QK). Maschinenbediener müssen sich neue Kenntnisse in den Bereichen KI/ML für die Produktion, 5-Achsen-Maschinen, die additive Fertigung und hybride Fertigung aneignen. Außerdem wird von ihnen erwartet, dass sie enger mit den Konstruktionsteams zusammenarbeiten und sich stärker mit den vorgelagerten Prozessen (z. B. der Konstruktion) befassen, was umfangreichere CAD/CAM-Softwarekenntnisse erfordert. In den nächsten 5 bis 10 Jahren werden die am häufigsten nachgefragten Fachkenntnisse von CNC-Maschinenbedienern im Bereich der CAM-Software (86 %) und CAD-Software (82 %) liegen.

Fachkräfte in der Industrie, die CAD/CAM-Software und -Programmierung besser beherrschen, können ihre Kenntnisse für Technologien wie die Fünf-Achsen-Bearbeitung (65 %), additive/hybride Fertigung (66 %) und die Interaktion von Robotern/Cobots (65 %) umfassend einsetzen. Robotik ist heute in der Arbeit von CNC-Maschinenbedienern noch nicht sehr verbreitet, wird jedoch künftig in ihre Arbeitsabläufe integriert werden müssen. Ihre soliden Kenntnisse der CNC-Bearbeitung werden jedoch auch weiterhin gefragt sein. In naher Zukunft müssen CNC-Maschinenbediener in der Lage sein, 3D-CAD/CAM-Systeme mit integrierten GD&T-Funktionen (Form- und Lagetoleranzen) zu nutzen. Tatsächlich sind 62 Prozent der befragten Techniker der Ansicht, dass CNC-Maschinenbediener in den nächsten fünf bis zehn Jahren zusätzliche Programmierkenntnisse benötigen werden, um intelligente Produkte zu fertigen (siehe Abbildung 10).

„CNC-Maschinen werden ganz unterschiedliche Materialien bearbeiten. Die Vielfalt der verwendeten Materialien wird explosionsartig zunehmen. Die CNC-Maschinenbediener werden sich in der Arbeit mit Materialien wie hochlegiertem Stahl, Aluminium, Titan und Lithium auskennen müssen.“

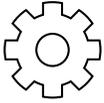
Pierre Larochelle, PhD

Department Head und Professor
South Dakota Mines

Generell gilt, dass CNC-Maschinenbediener ihre mechanischen Kenntnisse erhalten und weiter ausbauen müssen, dass sie jedoch auch den Umgang mit moderner digitaler Technologie erlernen und Kenntnisse in der Programmierung von Software erwerben müssen, um weiterhin einen positiven Beitrag zur Produktion und zur QK zu leisten.

Eine große Mehrheit aller Befragten (79 %) ist sich auch einig, dass eine engere fachübergreifende Zusammenarbeit von Technikern und CNC-Maschinenbedienern notwendig sein wird, um den Aufgaben der Produktentwicklung auf der Systemebene gerecht zu werden. Die Zusammenarbeit ist notwendig für eine angemessene Verwaltung von Daten aus einer wachsenden Zahl intelligenter Fabriken (aller Größen), die IoT-Geräte implementieren, der additiven Fertigung, KI/ML und der erweiterten Datenanalyse.

Erforderliche Kenntnisse zukünftiger CNC-Maschinenbediener



Technische bzw. Fachkenntnisse

KI/ML für die Produktion

Vorausschauende/vorbeugende
Wartung

Additive und hybride Fertigung

Wechselspiel von Robotik und Cobotik,
Programmierung und/oder Wartung

CAD/CAM-Software und
-Programmierung

5-Achsen-Werkzeugmaschinen oder
Maschinen mit größerer Kapazität

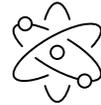


Soft-Skills

Kreative Problemlösung

Zusammenarbeit mit einzelnen
Personen bzw. Teams

Kommunikation (schriftlich/mündlich)



Fachübergreifende Kompetenzen

Zusammenarbeit mit Ingenieuren bei der
Produktentwicklung

Zusammenarbeit mit QS- und QK-Teams

Abbildung 10:

Erforderliche Kompetenzen von CNC-Maschinenbedienern heute und in 5–10 Jahren

Viele der aktuellen Kompetenzen von CNC-Maschinenbedienern werden auch in Zukunft wichtig sein. Zugleich wird man von ihnen zunehmende Kenntnisse im Zusammenspiel von Mensch und Roboter, der Kombination aus additiver und subtraktiver Fertigung (hybride Fertigung), der Anwendung von KI-/ML-Algorithmen, Datenanalyse und allgemeine Programmierkenntnisse erwarten.

Grundlage: 222 Fachkräfte aus der Industrie

■ Aktuell ■ Nächste 5 bis 10 Jahre

Kenntnisse in der Einrichtung und Kinematik von
Werkzeugmaschinen



Grundkenntnisse in der Datenanalyse mit
Tabellenkalkulationssoftware



Die Fähigkeit, datengestützte Entscheidungen über Werkzeug-
und Schnittparameter zu treffen



Einsatz von Robotern oder Nutzung von Interaktionen zwischen
Mensch und Roboter bei der maschinellen Bearbeitung



Erweiterte CNC-Programmierkenntnisse



Kenntnisse über manuelle und automatisierte
QS-/QK-Prozesse und -Techniken



Kommunikationsfähigkeiten für die Zusammenarbeit mit
Entwicklungs-, Konstruktions- und Produktionsteams



Kombinierte Anwendung von additiver und subtraktiver
Fertigung



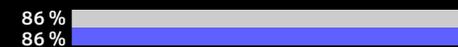
Form- und Lagetoleranzen (GD&T)



Anwendung von KI- oder ML-Algorithmen bei der CNC-Bearbeitung



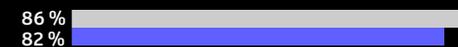
Anwendung von CAM-Software



Allgemeine Programmierkenntnisse in Python oder einer
vergleichbaren Programmiersprache



Anwendung von CAD-Software

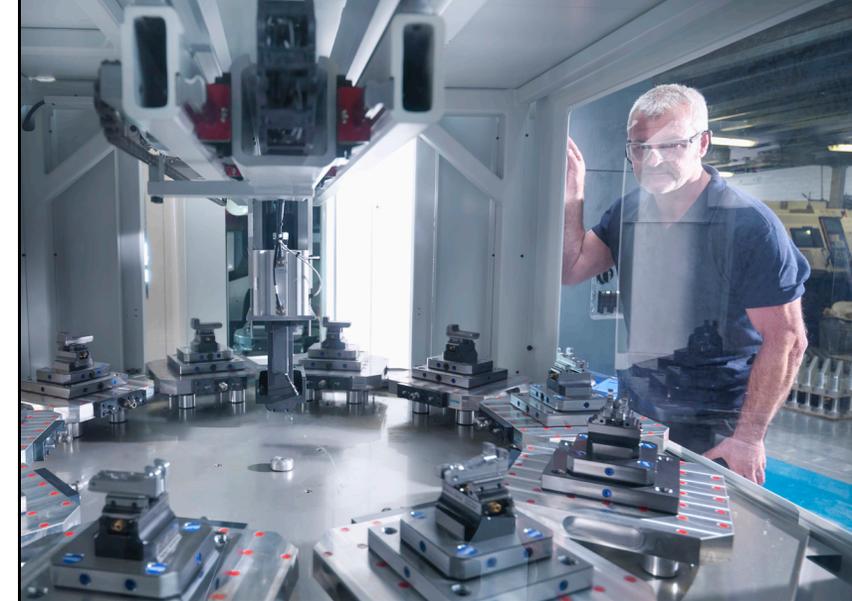


Geschäftliche Gründe motivieren zur Modernisierung der Fertigung mit Industrie 4.0. Daher werden Maschinenbau- und Fertigungstechniker und -ingenieure und Maschinenbediener zusätzliche technologische Kenntnisse benötigen. Nicht alle diese Kenntnisse lassen sich durch praktische Schulungen erwerben. Es ist die Industrie, die die qualifizierten Fachkräfte braucht. Daher muss die Aus- und Weiterbildung die Trends in Industrie 4.0 berücksichtigen, um die Auszubildenden und Studierenden optimal vorzubereiten. Sofern dies nicht bereits geschehen ist, müssen Schulen und Hochschulen diese neuen Kompetenzen jetzt unbedingt in ihre Lehrpläne bzw. Studiengänge aufnehmen.

Zugleich kann die Fertigungsindustrie nicht erwarten, dass sie ihre Ziele erreicht, indem sie einfach neue Qualifikationsanforderungen an diese drei Berufsgruppen stellt. In dem Maße, wie Industrie 4.0-Technologien zum wesentlichen Bestandteil des Kompetenzprofils von Ingenieuren, Technikern sowie CNC-Maschinenbedienern werden, müssen auch die Arbeitsabläufe und die betriebliche Infrastruktur so umgestaltet werden, dass alle Glieder der Prozesskette zentralisiert, vernetzt und integriert werden und eine optimale Zusammenarbeit ermöglichen.

Die aktualisierten Aufgaben- und Qualifikationsprofile von Ingenieuren, Technikern und CNC-Maschinenbedienern sind nicht bloß eine schöne Ergänzung ihrer gegenwärtigen Qualifikationen, sondern sie sind notwendig, um die Ergebnisse zu erzielen, die mit dem Umstieg auf Industrie 4.0 erreicht werden sollen. Da die derzeitige Bildungsinfrastruktur die Absolventen technischer Berufe in der nahen Zukunft nicht entsprechend vorbereitet, können diese neuen Qualifikationsprofile in den Unternehmen derzeit nur über Ansätze für lebenslanges Lernen entwickelt werden, um eine robuste, für modernste Innovationen gut gerüstete Fachkräftebasis zu erhalten.

Glücklicherweise begrüßen 86 % der Hochschulvertreter in unserer Befragung eine Strategie, die weniger auf Berufs- und Hochschulabschlüsse setzt, sondern verstärkt auf maßgeschneiderte Zertifizierungsprogramme, die in Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelt werden. Enge Partnerschaften zwischen Industrie und Hochschulen können hilfreich sein, um die qualifizierten Fachkräfte für Industrie 4.0 aus- und weiterzubilden, die die Unternehmen benötigen, um sich durch höhere Produktivität, schnellere Markteinführungszeiten und eine höhere Gesamtrentabilität im Wettbewerb zu behaupten.



„In zehn Jahren wird ein Maschinenbediener die Arbeit machen, die heute noch einem Fertigungsingenieur zukommt, und das Aufgabenprofil für Fertigungstechniker und -ingenieure wird in zehn Jahren völlig anders aussehen als alles, was wir bis heute kennen.“

Timothy Robertson

ATDM Technical Program Manager
Institute for Advanced Learning
and Research



Empfehlungen für die Einführung in der Industrie

Einige der in diesem Dokument dargestellten Tatsachen mögen recht düster klingen: eine Entwicklungs- und Fertigungslandschaft, die überwiegend auf jahrzehntealten Industrie-2.0/3.0-Prozessen basiert, und ein Bildungssystem, das noch gar nicht aufgestellt ist, um den Studierenden die so dringend benötigten Industrie-4.0-Fähigkeiten zu vermitteln.

Doch diese Situation bietet viel Potenzial. Die erforderlichen Industrie-4.0-Technologien und -Arbeitsabläufe gibt es bereits, und in einigen Fällen sind sie schon etabliert. Doch von jetzt auf gleich können die Unternehmen davon nicht profitieren. Der Weg in eine effizientere, nachhaltigere und rentablere Zukunft in Industrie 4.0 beginnt mit einem ersten Schritt und kann von dort aus schrittweise weiter verfolgt werden. Diejenigen Unternehmen, die sich gegen diesen schrittweisen Weg in die nahe Zukunft wehren, laufen Gefahr, auf Dauer abgehängt zu werden. Wenn Unternehmen aber die Veränderungen jetzt angehen, verschaffen sie sich jetzt und auf dem Weg Vorteile: eine gesteigerte Produktivität, kürzere Markteinführungszeiten, Kosteneffizienz und Nachhaltigkeit.

Mit einem Drei-Stufen-Plan werden die Unternehmen die vollständige Transformation zu Industrie 4.0 auf der Systemebene vollziehen, dem oben beschriebenen Ansatz folgend. Die erste Phase betrifft die digitale Transformation. Darin werden die technologischen Grundlagen gelegt, die die neuen Arbeitsabläufe und Geschäftsprozesse unterstützen bzw. ermöglichen sollen. Die zweite Phase betrifft die Transformation der Arbeitsabläufe. In dieser Phase wird die Arbeit so umdefiniert, dass die in der digitalen Transformation entwickelten technischen Fähigkeiten genutzt werden. Die dritte und letzte Phase betrifft die Transformation der Geschäftsprozesse. Hier kommen Technologien und Arbeitsabläufe zusammen, um bessere Geschäftsergebnisse zu erzielen.

|  Transformation | Digital | | | Arbeitsablauf | Geschäft |
|---|---|---|---|---|--|
|  Lösungsebene | Anwendung | Infrastruktur | Daten | Arbeitsablauf | Prozesse |
|  Ziel | Konsolidieren und Integrieren von Anwendungen und Werkzeugen für die Konvergenz von Arbeitsabläufen | Vernetzung von Teams und Systemen für den Zugriff auf und den Austausch von Daten und Dateien | Erfassung und Organisation aller Daten auf einer einzigen, zentralen Datenmanagement-Plattform | Neudefinition von Rollen, Funktionen und Arbeitsabläufen, um neue datengestützte Einblicke, Technologien und Funktionen zu nutzen | Einführung neuer Technologien und Methoden zur Steigerung der Produktivität im gesamten Konstruktions- und Fertigungsprozess |
|  Nutzen | Reduzieren von Anwendungen und Vereinfachen der Arbeit mit gängigen Softwareplattformen | Verbindung von Teammitgliedern für eine bessere Interaktion über Abteilungen und Standorte hinweg | Zugriffsrechte für Teammitglieder, um in ihrem Aufgabenbereich datengestützte Entscheidungen zu treffen | Bessere rollen- und teamübergreifende Zusammenarbeit für die Koordinierung und Optimierung von Arbeitsabläufen | Bessere Geschäftsergebnisse durch Prozessoptimierung |

Bei einer vollständigen Transformation zu Industrie 4.0 konvergieren alle Aufgabenbereiche der Fachkräfte in einer Weise, die die Zusammenarbeit aller Fachbereiche ermöglicht. Dabei werden zentral gespeicherte und verwaltete Daten genutzt und ausgetauscht und die Informationen werden auf allen Geräten in Echtzeit aktualisiert. Die Arbeitsabläufe von Mensch und Maschine sind miteinander vernetzt. Technologien wie generatives Design, andere KI-/ML-Prozesse, additive und hybride Fertigung, Cobotik, Datenvisualisierung und andere werden für die Produktion maximal genutzt.

Diese Transformation auf der Systemebene ist per se effizienter, eröffnet aber auch neue Möglichkeiten für kreatives Design und Verbesserungen in der Fertigung, die ihrerseits mehr Effizienz, höhere Kapazitäten in der Lieferkette, neue Erfolgsbereiche, nachhaltige Produktlebenszyklen und eine Fülle weiterer neuer Chancen bieten.

Empfehlungen für die Einführung in der Lehre

In allen Ausbildungs- und Studiengängen für angehende Maschinenbau- und Fertigungstechniker und -ingenieure und Maschinenbediener sollten Bildungseinrichtungen und Lehrkräfte mit den modernsten Industriewerkzeugen und -technologien arbeiten. Doch die Anforderungen der Industrie an die Qualifikationen der Absolventen entwickeln sich immer schneller weiter und wachsen über das hinaus, was die derzeitigen Aus- und Weiterbildungsprogramme leisten können. Viele Lehrpläne sind nicht auf die modernsten Industrie-4.0-Kompetenzen abgestimmt, die die Industrie heute schon benötigt und deren Bedarf in naher Zukunft weiter steigen wird.

Folglich müssen viele Fertigungsunternehmen ihre neuen Arbeitskräfte selbst fit machen für die neuen Anforderungen. Das bedeutet Investitionen und monatelange Schulungsmaßnahmen. Das kostet die Unternehmen wertvolle Ressourcen. Dabei kann es durchaus vorkommen, dass ein Berufseinsteiger mit einem erfahrenen Ingenieur oder Maschinenbediener zusammenarbeitet. Das bedeutet jedoch, dass im Grunde zwei Arbeitskräfte für Aufgaben bezahlt werden, die eine einzige Arbeitskraft bei entsprechendem Qualifikationsprofil auch allein erledigen könnte.

Doch für die Hochschulen gilt im Zusammenhang mit dem Wandel zu Industrie 4.0 dasselbe wie für die Fertigungsunternehmen: Je größer das Problem, desto größer die Chancen für eine Transformation. Bei der Entwicklung praxisrelevanter Ausbildungsprogramme für die Fertigungsindustrie müssen die Anforderungen der Industrie vollständig berücksichtigt werden. Mit einer Modernisierung der Curricula allein ist es nicht getan. Die Hochschulen brauchen einen neuen pädagogischen Ansatz für die Lehre, um die modernen Kenntnisse, Technologien und Kompetenzen zu vermitteln, die für eine erfolgreiche Tätigkeit in der Fertigungsindustrie gebraucht werden. Zuerst müssen die dringendsten Kompetenzlücken angegangen werden. Sie sollten als Chance für die Schaffung neuer Aus- und Weiterbildungsprogramme begriffen werden.

Dem Bedarf der Industrie entsprechend bieten die Studiengänge in Maschinenbau und Fertigungstechnik die größten Chancen für eine Reform veralteter Curricula. Die Mindestanforderungen für die Akkreditierung durch die amerikanische Akkreditierungsorganisation Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) werden die Ausrichtung dieser technischen Studiengänge maßgeblich beeinflussen, während die Fachschulen und die Berufsschulen bei der Aufstellung neuer Curricula die größte Flexibilität genießen. Bei der Neuausrichtung der technischen Aus- und Weiterbildung an Schulen und Hochschulen sollte also auch die entsprechenden Akkreditierungsstandards berücksichtigt werden und wie viel Flexibilität diese jeweils zulassen.

Zu den zwei- und vierjährigen Studiengängen wird es sicherlich auch Alternativen geben müssen. Zum Glück sind Industrie und Hochschulen gleichermaßen aufgeschlossen gegenüber solchen Alternativen. So sind beispielsweise 84 Prozent aller Befragten – aus Industrie und Hochschulen – der Ansicht, dass Arbeitgeber aus der Fertigungsindustrie und Hochschulen bei neuartigen, auf die Anforderungen der Arbeitgeber zugeschnittenen Zertifizierungsprogrammen kooperieren sollten, und 91 Prozent wünschen sich neue Chancen für langfristige Praktikums- und Kooperationsprogramme.



Die nachfolgenden Empfehlungen sollen akademische Einrichtungen bei der Reformierung der Ausbildungsangebote im Hinblick auf Arbeitsabläufe, Technologien und Kompetenzen unterstützen:



Kontakte zu anderen Hochschulen

Teilnahme an Konferenzen und Webinaren, um über die Entwicklung der Curricula zu diskutieren und Best Practices der führenden und innovativsten Einrichtungen kennenzulernen



Partnerschaften mit der Industrie

Durch den Kontakt mit Experten und Beratern der Industrie von neuen Technologien und Trends beim Qualifikationsbedarf erfahren, um diese bei der Gestaltung neuer Aus- und Weiterbildungsprogramme zu berücksichtigen



Weiterbildungsprogramme

Flexible Programme für die berufsbegleitende Weiterbildung an Universitäten und Fachschulen anbieten, um notwendige neue Kompetenzen zu vermitteln und Wissenslücken zu schließen, die von den Kerncurricula möglicherweise nicht abgedeckt werden



Wissenstransfer aus der Industrie

Aktive Industrieexperten und -praktiker in die Lehrveranstaltungen einladen, damit sie von ihren Erfahrungen, Einblicken und gelernten Lektionen aus der Praxis berichten



Technologieunternehmen

Vorhandene Bildungsressourcen wie Online-Kurse und Vorträge von Unternehmen nutzen, die Hardware oder Software für die Fertigungsindustrie liefern, um sich über die neuesten Innovationen und Lösungen in der Industrie zu informieren

Die Reform der Studiengänge und Lehrpläne kann in vier Phasen stattfinden:

Phase

1

Die Studiengänge und Lehrpläne grundlegend auf den Prüfstand stellen, um sie an der digitalen Transformation aktueller und zukünftiger Arbeitsabläufe auf der Grundlage von Industrie-4.0-Technologien auszurichten. Nach Möglichkeiten suchen, um theoretisches Wissen durch angewandtes Lernen zu ersetzen.

Phase

2

Partner aus Industrie und Technologie einbeziehen, um eine Beziehung zwischen Industrie und Hochschulen aufzubauen, damit die Hochschulen von aktuellen Trends, Entwicklungen und dem Qualifikationsbedarf der Industrie erfahren und die Studierenden entsprechend auf den Beruf vorbereiten können.

Phase

3

Bestehende Curricula neu ausrichten und/oder neue Curricula oder Bildungsangebote einrichten, um fortschrittliche fertigungsbezogene Themen und Qualifikationen – dem Bedarf der Industrie entsprechend – zu lehren, die die neuen Arbeitsabläufe und Geschäftsprozesse unterstützen werden.

Phase

4

Einen offenen Dialog mit der Industrie pflegen und Curricula und Bildungsangebote regelmäßig daraufhin überprüfen, ob sie dem Bedarf der Industrie noch gerecht werden.

Zusammenarbeit von Industrie, Hochschulen und Behörden

Behörden, Industrie und Hochschulen – alle müssen sich gemeinsam an der Ausbildung der Fachkräfte von morgen beteiligen. Die Mehrheit der 324 befragten Vertreter aus Industrie und Hochschulen ist der Ansicht, dass die Industrie durch Praktika und Kooperationsprogramme (90 %), interne Aus- und Weiterbildung und Personalentwicklung (86 %) sowie durch die Zusammenarbeit mit örtlichen Fach- und Berufsschulen und deren Unterstützung (74 %) zur Ausbildung künftiger Fachkräfte für die Industrie beitragen kann.

Die meisten der 102 befragten Hochschulvertreter würden Führungskräfte aus der Industrie gerne als Lehrbeauftragte einsetzen (80 %) und wünschen sich direkte finanzielle Unterstützung durch die Industrie (87 %). Zwei Drittel der befragten Techniker halten es für aussichtsreich, bei den Sekundarschulen für moderne Fertigungsberufe zu werben. Hochschulvertreter technischer Fakultäten sind sich darüber bewusst, dass sie mehr praxisbezogene, bzw. praxisnahe Angebote einbeziehen müssen, damit die Studierenden alle erforderlichen Kenntnisse und Kompetenzen in der fertigungsorientierten Entwicklung erlangen können (90 %). (Siehe

Abbildung 11.) Wir beobachten eine verstärkte Zusammenarbeit von Hochschulen untereinander – z. B. Partnerschaften zwischen Universitäten und Fachschulen –, wenn es darum geht, die Ausbildung für technische Berufe weiterzuentwickeln. Außerdem bewerten 86 Prozent der Hochschulvertreter das zusätzliche Angebot von spezialisierten Zertifizierungen positiv, und 81 Prozent halten es für sinnvoll, Themen einzubeziehen, die das kritische Denken und die kommunikativen Fähigkeiten fördern.

51 Prozent der Fachkräfte aus der Industrie empfehlen stattdessen, die technischen Studiengänge um ein Jahr zu verlängern, um die künftig notwendigen Kompetenzen für die moderne Fertigung zu vermitteln. Darüber, ob die technischen Studiengänge „Generalisten“ oder „Spezialisten“ ausbilden sollten, sind sich die Befragten jedoch nicht einig. Auch darüber, ob technische Studienabschlüsse an Bedeutung verlieren, herrscht Uneinigkeit (siehe Abbildung 11).

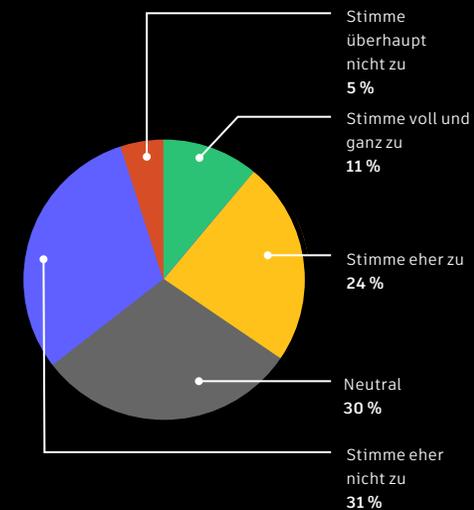
Abbildung 11:
Meinungen über die Aus- und Weiterbildung und die Zukunft der Industrie

Darüber, ob die technischen Studiengänge „Generalisten“ oder „Spezialisten“ ausbilden sollten, sind sich die Befragten jedoch nicht einig. Auch darüber, ob technische Studienabschlüsse an Bedeutung verlieren, herrscht Uneinigkeit.

Grundlage: Alle 324 Befragten

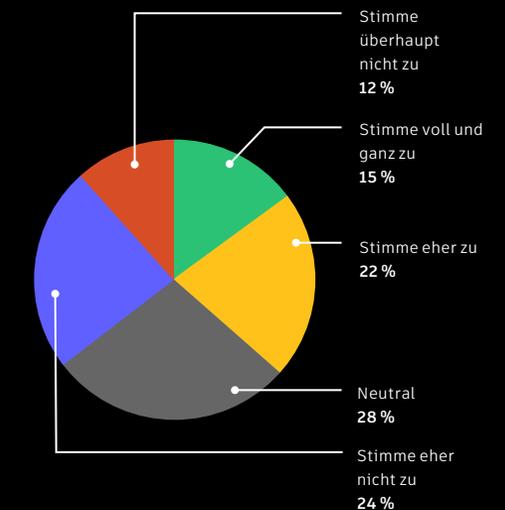
Stimme voll und ganz zu
35 %

Wir sollten mehr technische „Generalisten“ statt „Spezialisten“ ausbilden



Stimme voll und ganz zu
37 %

Für Arbeitgeber verlieren Ingenieurdiplome immer mehr an Bedeutung und Zertifizierungen werden immer wichtiger



Die Rolle der Industrie

Um die Studierenden und die aktuellen Arbeitnehmer auf die künftigen beruflichen Aufgaben vorzubereiten, muss die Industrie den Wert von beruflicher Weiterbildung erkennen und diese fördern. Außerdem sollte sie interne Weiterbildungsprogramme durchführen und Stellen und Projekte regelmäßig rotieren, damit die Arbeitskräfte fach- und funktionsübergreifende Kompetenzen entwickeln (siehe Abbildung 12).

Im Rahmen einer Kooperation mit den Bildungseinrichtungen kann die Industrie ihren Bedarf klar vermitteln und längerfristige Praktikumsplätze für Studierende anbieten. Aktive Fach- und Führungskräfte aus der Industrie können außerdem wesentliches Know-how vermitteln, indem sie in Beratungsgremien von Fachschulen und als Lehrbeauftragte mitwirken.

Durch den frühzeitigen Kontakt mit jungen Menschen kann die Industrie davon überzeugen, dass es bei einer Karriere in der Fertigungsindustrie um Hightech und Nachhaltigkeit geht und dass eine solche Karriere insgesamt sehr attraktiv ist. Die Industrie kann die Karrierewege ihrer Arbeitskräfte besser steuern, wenn sie zeigt, dass die moderne Fertigung nichts mehr mit den altmodischen Vorstellungen von dunklen Fabriken, qualmenden Schloten und alternden Belegschaften gemein hat.

„Dass Berufseinsteiger mit einer Vielzahl von Prozessen vertraut gemacht werden, ist wichtig. Im Idealfall sollten Arbeitgeber ihnen die Möglichkeit geben, verschiedene Arbeitsbereiche in der Elektronik und Mechanik, Hydraulik und Pneumatik und in der Fertigung zu durchlaufen.“

John Saunders

Principal, Saunders Machine Works

Abbildung 12:

Effektivste strategische Initiativen der Industrie zur Entwicklung künftiger Fachkräfte für die Fertigung

Die Industrie kann einen weiteren Beitrag leisten, indem sie Praktika und Kooperationsprogramme verlängert, Zertifizierungsprogramme mit lokalen Universitäten und Fachschulen entwickelt und Universitäten, Berufsschulen und Primar-/Sekundarschulen stärker unterstützt.

Grundlage: 222 Fachkräfte aus der Industrie und 102 Hochschulvertreter

Möglichkeiten für längerfristige Praktika für Studierende und Kooperationsprogramme anbieten



Akademische Einrichtungen direkt finanziell unterstützen



Interne Weiterbildungsprogramme in Kombination mit Online-Schulungsressourcen anbieten



Führungskräfte als Lehrbeauftragte an Fachschulen und Universitäten vor Ort einsetzen



In Zusammenarbeit mit Universitäten und Schulen vor Ort Zertifizierungsprogramme entwickeln, die auf den Bedarf des Arbeitgebers zugeschnitten sind



Programme für die Kontaktaufnahme mit Mittelstufenschülern einführen, um ihnen die Fertigungsberufe als attraktive Laufbahn nahe zu bringen



Aktiv in den Beratungsgremien von Fachschulen und Universitäten mitwirken, um die Curricula zu beeinflussen



Digitale Qualifikationsnachweise im Einstellungs- und Weiterbildungsprozess einführen, um die Qualifikationen der Arbeitnehmer im Blick zu behalten



■ Industrie ■ Hochschulen

Die Rolle der Hochschulen

Fertigungsrelevante Ausbildungsprogramme sowie solche für technische Berufe müssen reformiert werden, damit die Fachkräfte schneller fit für den Beruf sind. Es besteht zwar nach wie vor Bedarf an Spezialisierung und Forschung, aber es müssen auch kürzere anwendungsorientierte Alternativen für die Fachkräfteausbildung angeboten werden. Die Ausbildungsangebote für fertigungsbezogene Berufe müssen pädagogisch neu ausgerichtet werden. Gefragt ist eine praxisbezogene, praxisnahe, projektbasierte Ausbildung. Hochschulvertreter möchten jedoch nicht auf technische Grundlagenfächer wie Mathematik und Naturwissenschaften verzichten. Die technischen Studiengänge müssen interdisziplinärer werden. Zugleich soll jedoch auch ein allzu sehr generalisierter Ansatz vermieden werden, bei dem die Studierenden von allem etwas lernen, ohne jedoch praktische Kenntnisse in einem bestimmten Bereich vorweisen zu können.

Die Nachfrage nach fertigungsbezogenen Ingenieursdiplomen besteht bei Arbeitgebern und Studierenden nach wie vor. Doch auch andere Qualifikationsnachweise – z. B. Zertifizierungen für Software, bestimmte Aufgabenfelder oder Maschinen – werden in diesem Jahrzehnt an Bedeutung zunehmen und ihre Akzeptanz wird steigen.

Für einige technische Studiengänge werden an Instituten Fachkräfte aus der Industrie als Lehrbeauftragte eingesetzt, um DfM-Kenntnisse an die nächste Generation zu vermitteln. Die Berufsschulen spielen eine bedeutende Rolle (insbesondere bei der Weiterbildung von Maschinenbedienern und Facharbeitern). Das liegt an ihrer engen Vernetzung mit den örtlichen Unternehmen und ihrer größeren Flexibilität bei der Gestaltung der Curricula. Viele Berufsschulen kooperieren mit Universitäten vor Ort, um Absolventen von zweijährigen Studiengängen den Zugang zu technischen Programmen für die moderne Fertigung zu ermöglichen.

Auch die Möglichkeit einer Berufsausbildung wird von 82 Prozent aller Befragten unterstützt und ist als Konzept für die Ausbildung neuer Fachkräfte beliebt (siehe Abbildung 13). Anstelle des europäischen Modells der Berufsausbildung wird die Möglichkeit von Berufsausbildungen in Betracht gezogen, bei der Hochschulen und Industrie kooperieren und die Behörden die Aufsicht über Finanzierung, Regulierungsvorschriften und Standards führen. Ebenso halten 91 Prozent der Befragten längerfristige Praktika und Kooperationsprogramme zwischen Industrie und Hochschulen für eine effektive Option.

Eine größere Zahl von Industrievertretern (51 Prozent gegenüber 33 Prozent der Hochschulvertreter) empfiehlt, die Studiengänge um ein Jahr zu verlängern, um die nötigen Kompetenzen für Industrie 4.0 zu vermitteln. Doch die Studierenden und ihre Familien müssten dadurch auch zusätzliche finanzielle Belastungen aushalten – es sei denn, Industrie, Hochschulen oder Behörden stellten Fördergelder für das zusätzliche Studienjahr bereit. Dieser Ansatz würde allerdings auch dazu führen, dass sich die Ausbildung der künftigen Fachkräfte noch weiter verlängern würde – und das angesichts des aktuellen Fachkräftemangels in der Fertigungsindustrie.

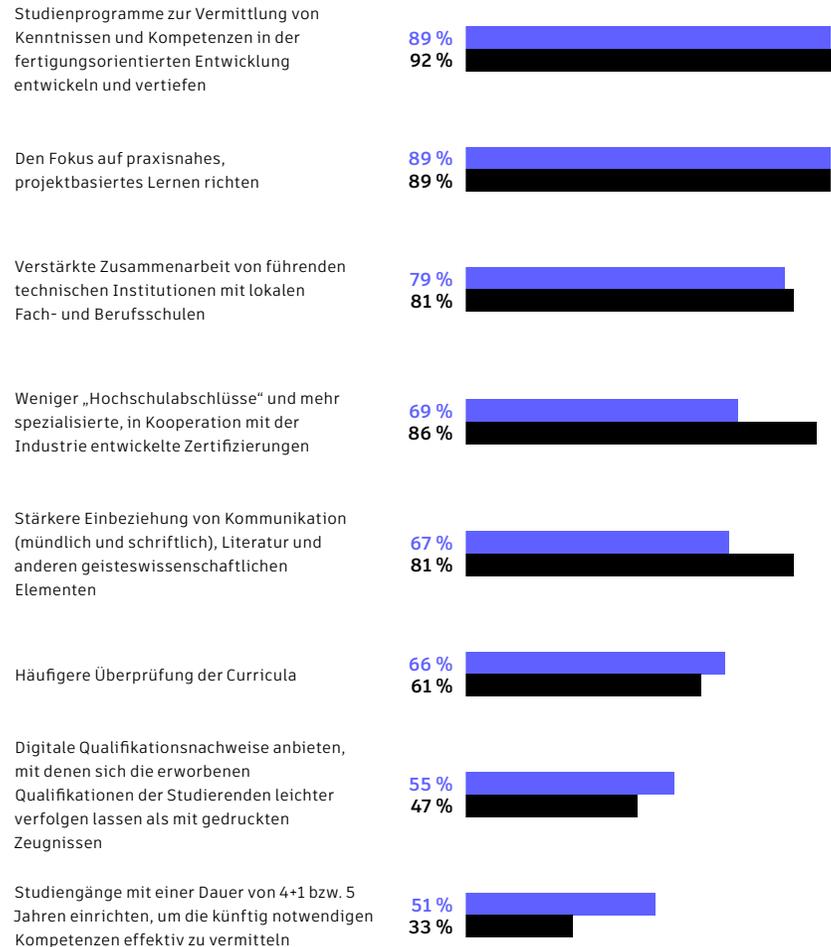


Abbildung 13:
Effektivste strategische Initiativen der Hochschulen zur Entwicklung künftiger Fachkräfte für die Fertigungsindustrie

Hochschulvertreter bevorzugen maßgeschneiderte Zertifizierungen und mehr Fächer, die kritisches Denken und Kommunikation fördern. Fachkräfte aus der Industrie empfehlen, die technischen Studiengänge um ein Jahr zu verlängern, um die notwendigen Kompetenzen für die moderne Fertigung zu vermitteln.

■ Industrie
 ■ Hochschulen

Grundlage: 222 Fachkräfte aus der Industrie und 102 Hochschulvertreter



„Bei den Praxisbeispielen müssen wir noch einen Schritt weiter gehen. Wenn wir eine Umgebung schaffen, in der Studierende Probleme mit einem projektbasierten Ansatz im Praxiskontext betrachten, werden sie dadurch lernen, diese Probleme auch später im Beruf zu lösen.“

Raju Dandu, PhD
 Professor; Director, Bulk Solids Innovation Center
 Kansas State University Salina

Rolle der Behörden

Die Behörden können bei der Entwicklung von Fachkräften für die Fertigungsindustrie ebenfalls eine aktive Rolle einnehmen. Bei allen 324 Befragten waren von der Regierung finanzierte Stipendien für die Ausbildung von Ingenieuren und Maschinenbedienern die beliebteste Möglichkeit (86 %) der Unterstützung durch die Regierung (siehe Abbildung 14). Die technischen Fakultäten wünschen sich Fördermittel der Regierung für eine ultramoderne Ausstattung der Hochschulen mit Maschinen und Werkzeugen (89 %). Auch 80 Prozent der Befragten aus der Industrie würden dies begrüßen. Die Hochschulvertreter befürworten außerdem Kooperationen mit den Behörden bei der Entwicklung und Finanzierung von standardisierten Berufsausbildungen (88 %). Aus der Industrie sprachen sich 79 Prozent der Befragten für diese Möglichkeit aus.

Im Rahmen von Kooperationen zwischen der öffentlichen Hand und der privaten Wirtschaft (Public-private Partnerships, PPP) können die Bundes-, Landes- und Kommunalbehörden die Weiterbildung von Fachkräften durch die folgenden Maßnahmen unterstützen:

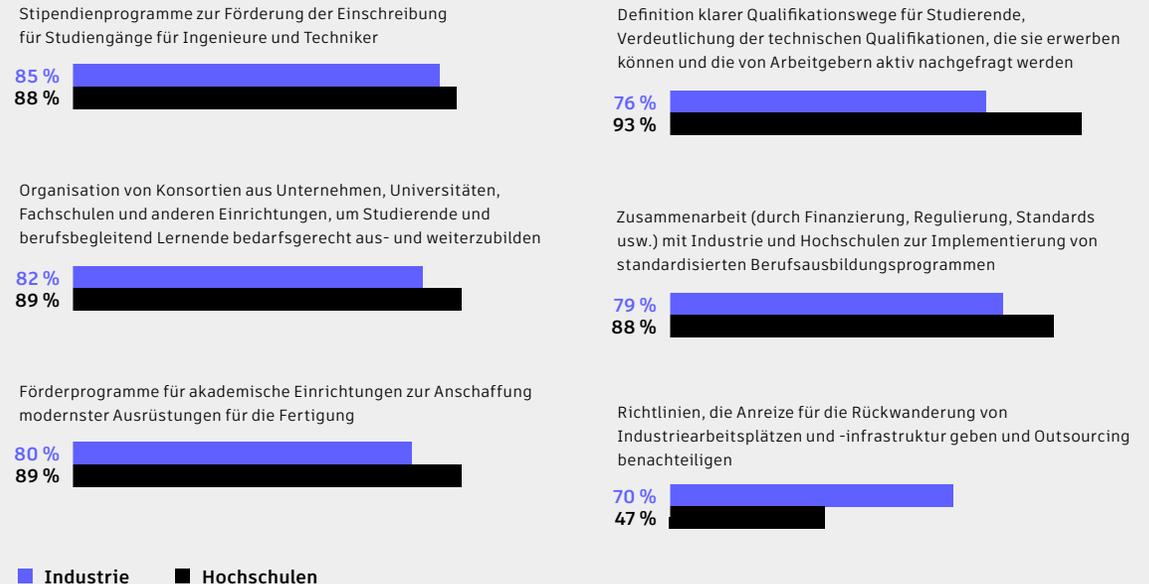
- Finanzielle Unterstützung für Universitäten und Forschungskonsortien
- Förderung der Zusammenarbeit von Bildungseinrichtungen und privater Wirtschaft
- Unterstützung und Förderung der Entwicklung von neuen institutionsübergreifenden Aus- und Weiterbildungsverfahren

Abbildung 14:

Effektivste strategische Initiativen der Behörden zur Entwicklung künftiger Fachkräfte für die Fertigung

Die technischen Fakultäten haben großes Interesse an einer Unterstützung durch die Behörden bei der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften für die Industrie durch Stipendienprogramme, die Kodifizierung klar definierter technischer Qualifikationen und die Förderung einer aktiven Zusammenarbeit von Behörden, Industrie und Hochschulen.

Grundlage: 222 Fachkräfte aus der Industrie und 102 Hochschulvertreter



Fazit

Natürlich möchte jedes Fertigungsunternehmen ein besseres System aufbauen, um Produktivität und Gewinne zu steigern, die Nachhaltigkeit zu verbessern und seinen Wettbewerbsvorsprung auszubauen. Der Weg der Fertigungsindustrie zu diesen Ergebnissen geht unweigerlich über Industrie-4.0-Technologien, und dieser Wandel hat bereits begonnen.

Im Rahmen der digitalen Transformation werden die Unternehmen diejenigen Industrie-4.0-Technologien identifizieren, die ihre neu gestalteten Fertigungs- und Geschäftsprozesse und -arbeitsabläufe unterstützen bzw. ermöglichen. Die Einführung neuer Technologien wie KI/ML, cloudbasierter Softwareplattformen, digitaler und betrieblicher Technologieinfrastruktur, von Robotik/Cobotik, additiver/hybrider Fertigung, Leistungsüberwachung und Datenanalysen sowie der neuen Arbeitsabläufe werden zu einem Fertigungssystem führen, das stärker vernetzt, für Zusammenarbeit ausgelegt und integriert ist.

Daraus ergeben sich wiederum Anforderungen an die Aus- und Weiterbildung von Fachkräften, die die neuen Veränderungen auf der Systemebene durchführen und mittragen sollen. In einem neu konzipierten Aus- und Weiterbildungssystem für Fachkräfte in der Industrie können sich Techniker, Ingenieure und Maschinenbediener Wissen und Kompetenzen aneignen, die sie für neue Technologien und Werkzeuge im Beruf brauchen. Durch die Kooperation von Behörden, Hochschulen und Industrievertretern entsteht ein besseres Verständnis von den globalen Trends und dem Bedarf der Industrie. Dies ist eine wichtige Grundlage, damit die Maschinenbau- und Fertigungstechniker und -ingenieure und CNC-Maschinenbediener der nächsten Generation die erforderlichen Kompetenzen entwickeln können, die sie für die revolutionären Veränderungen in der Industrie brauchen.





Dieser Wandel wird Schwerpunkt und Umfang der Aufgaben und der erforderlichen Qualifikationen von Ingenieuren, Technikern und CNC-Maschinenbedienern verändern. Um die Vorteile der digitalen Transformation auch wirklich nutzen zu können, müssen Berufseinsteiger und erfahrene Fachkräfte durch entsprechende Weiterbildung die neuen technischen Kenntnisse und Soft-Skills erwerben.

Mit den gegenwärtig verbreiteten Curricula und Lehrmethoden werden die Studierenden jedoch nicht ausreichend auf eine Tätigkeit in der Fertigungsindustrie vorbereitet. Die Transformation der Fertigungsindustrie erfordert daher auch eine Transformation der Bildungsangebote. Diese müssen neue pädagogische Ansätze zur Vermittlung der notwendigen Kenntnisse und Kompetenzen entwickeln.

Damit diese Transformation möglich wird, sollten Hochschulen, Industrie und Behörden bei der Neugestaltung der Aus- und Weiterbildung für Fertigungsberufe kooperieren. Konkret geht es um folgende Maßnahmen:

- Neugestaltung der Aus- und Weiterbildung zur Anpassung an die zukünftigen Arbeitsabläufe von Industrie 4.0
- Neuausrichtung der Curricula an den Kompetenzen, die für diese Arbeitsabläufe erforderlich sein werden
- Kooperation zwischen Industrie, Technologieunternehmen und Hochschulen bei der Erstellung von Curricula und für den ständigen Austausch über die Trends in der Industrie und den daraus resultierenden Bedarf an technologischer Bildung
- Pflege eines Dialogs mit der Industrie zur regelmäßigen Überprüfung der Curricula und Studiengänge im Hinblick darauf, ob sie dem Bedarf der Industrie noch gerecht werden

Die Industrie der Zukunft entwickelt sich weiter und verändert sich. Industrie 4.0 wird nicht der letzte Schritt auf diesem Weg sein. Es ist jedoch ein wichtiger und notwendiger Schritt in die richtige Richtung, um die gewünschten Geschäftsergebnisse zu erzielen. Innovative Unternehmen werden auch in Zukunft neue Wege finden, um Effizienz, Rentabilität und Nachhaltigkeit zu fördern, nachdem sie längst den Wandel zu Industrie 4.0 vollzogen haben. Sie werden weiterhin neue technologische Bausteine hinzufügen und Arbeitsabläufe verfeinern, um ihre Fertigung besser für die Zukunft zu rüsten. Wir alle brauchen das Bildungswesen, das die Fachkräfte von morgen ausbildet, um die Zukunft der Industrie hierzulande zu sichern.

Danksagungen

Besonderer Dank gilt allen Personen, die an Planung, Redaktion und Lektorat dieses Artikels mitgewirkt haben:

Mitwirkende bei Autodesk

Christina Batelli

Senior Manager, Campaign Marketing

Lorenzo Canlas

Director, Strategy, Business & Operations, Education Segment

Fabiola Clayton

Proj./Prog. Mgr., Field Engagement

Gary Conrad

Senior Director, Field Engagement

Alan Eng

Senior Manager, Product Marketing

Campbell Foster

Senior Director, Marketing

Jaime Perkins

Senior Director, Learning Strategies

Debra Pothier

AEC Senior Manager,
Go to Market Strategist Manager

Timothy Robertson

Design & Manufacturing Strategy & Business Development Manager

Alexander Stern

Senior Manager,
PDMS Platform Strategy

ASME und weitere Mitwirkende

Iana Aranda

ASME, Director, Engineering Global Development; President, E4C

Elizabeth Collins

Engineering for Change, Fellow

Bruce Falstein

ASME, Consultant

Ashley Huderson

ASME, Director, Engineering Education & Outreach

Lauralyn McDaniel

Metrix, Strategy & Engagement

Loreena Persaud

ASME, Director, Design & Brand Experience

Erin Peiffer

Engineering for Change, Fellow

Francisco Plaza

Engineering for Change, Fellow

Anne Nadler Shaffer

ASME, Senior Manager, Gov't Relations

Christine Reilley

ASME, Managing Director, Strategy & Innovation

Anand Sethupathy

ASME, Managing Director, Strategy & Programs

Svetlana Shaknes

ASME, Director, Market Intelligence

Sahar Shamsi

Engineering for Change, Fellow

Stephanie Viola

ASME, Director of Corporation & Foundation Relations

James Warrick

Beacon Technology Partners LLC, Managing Partner

Aaron Weinerman

ASME, Manager, International Development

Einschränkungen der Studie

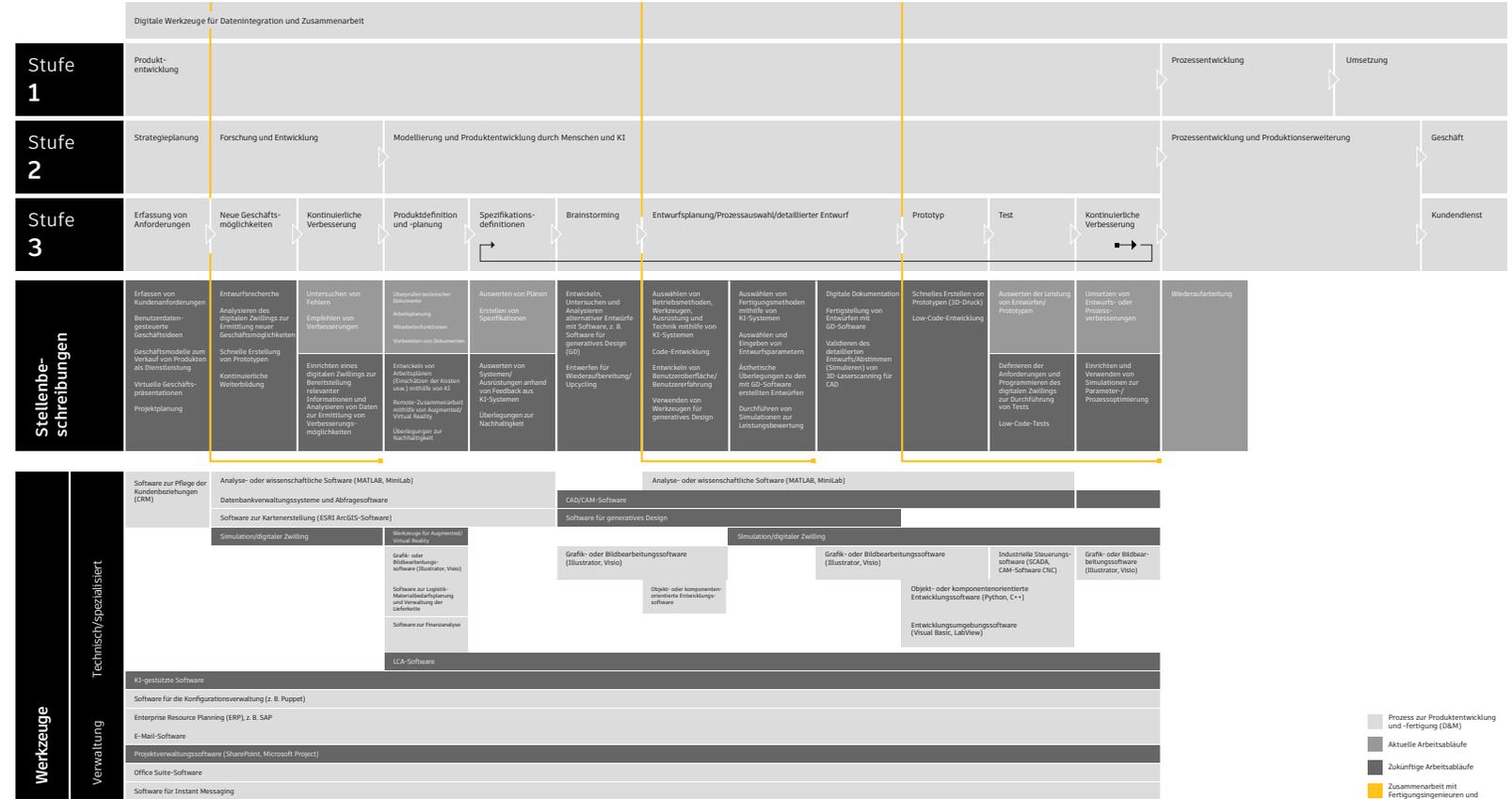
Diese Studie basiert auf veröffentlichten Berichten, halbstrukturierten Interviews und einer Befragung ausgewählter Experten. Diese Studie dient ausschließlich zu Informations- und Bildungszwecken. Autodesk, ASME und die Autoren lehnen jegliche Verantwortung oder Haftung für Verluste oder Schäden ab, die einer natürlichen oder juristischen Person entstehen, die auf der Grundlage von in dieser Publikation enthaltenen Materialien handelt oder von Handlungen absieht.

Autodesk und das Autodesk-Logo sind in den USA und/oder anderen Ländern eingetragene Marken oder Marken von Autodesk, Inc. und/oder seiner Tochterunternehmen und/oder verbundenen Unternehmen. Alle anderen Marken, Produktnamen und Kennzeichen gehören ihren jeweiligen Inhabern. Autodesk behält sich vor, Produkt- und Service-Angebote sowie Spezifikationen und Preise in diesem Dokument jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern. Alle Angaben ohne Gewähr. © 2022 Autodesk, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

Anhang A

Maschinenbautechniker/-ingenieur: Vergleich der aktuellen und zukünftigen Arbeitsabläufe

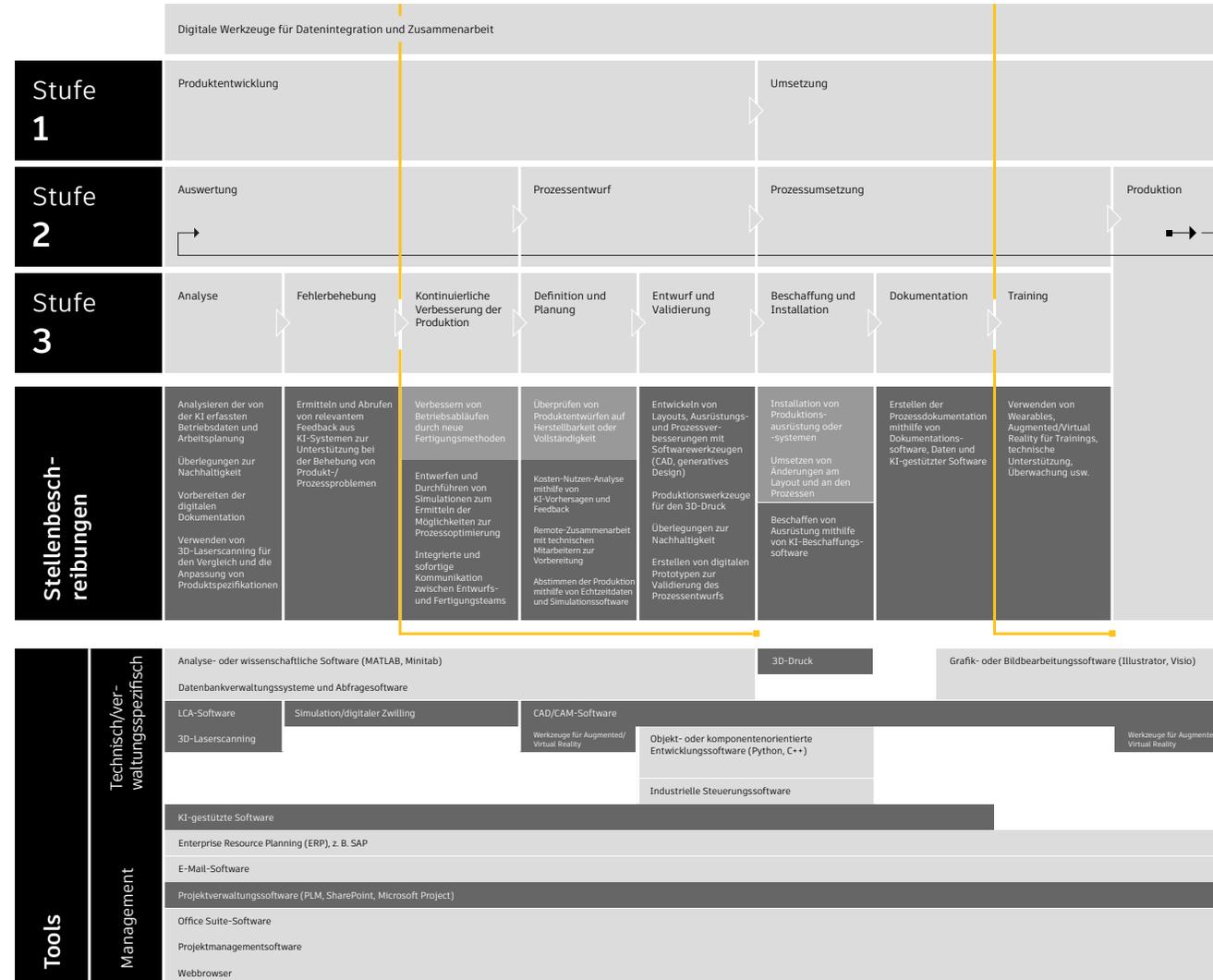
Anmerkung:
Zukünftige Arbeitsabläufe erfordern ähnliche Schritte wie aktuelle Arbeitsabläufe. Ihr Tempo wird jedoch durch konvergierte Plattformen, vernetzte Arbeitsabläufe und funktionsübergreifende Zusammenarbeit erheblich beschleunigt.



Anhang B

Fertigungstechniker/-ingenieur: Vergleich der aktuellen und zukünftigen Arbeitsabläufe

Anmerkung:
Zukünftige Arbeitsabläufe erfordern ähnliche Schritte wie aktuelle Arbeitsabläufe. Ihr Tempo wird jedoch durch konvergierte Plattformen, vernetzte Arbeitsabläufe und funktionsübergreifende Zusammenarbeit erheblich beschleunigt.

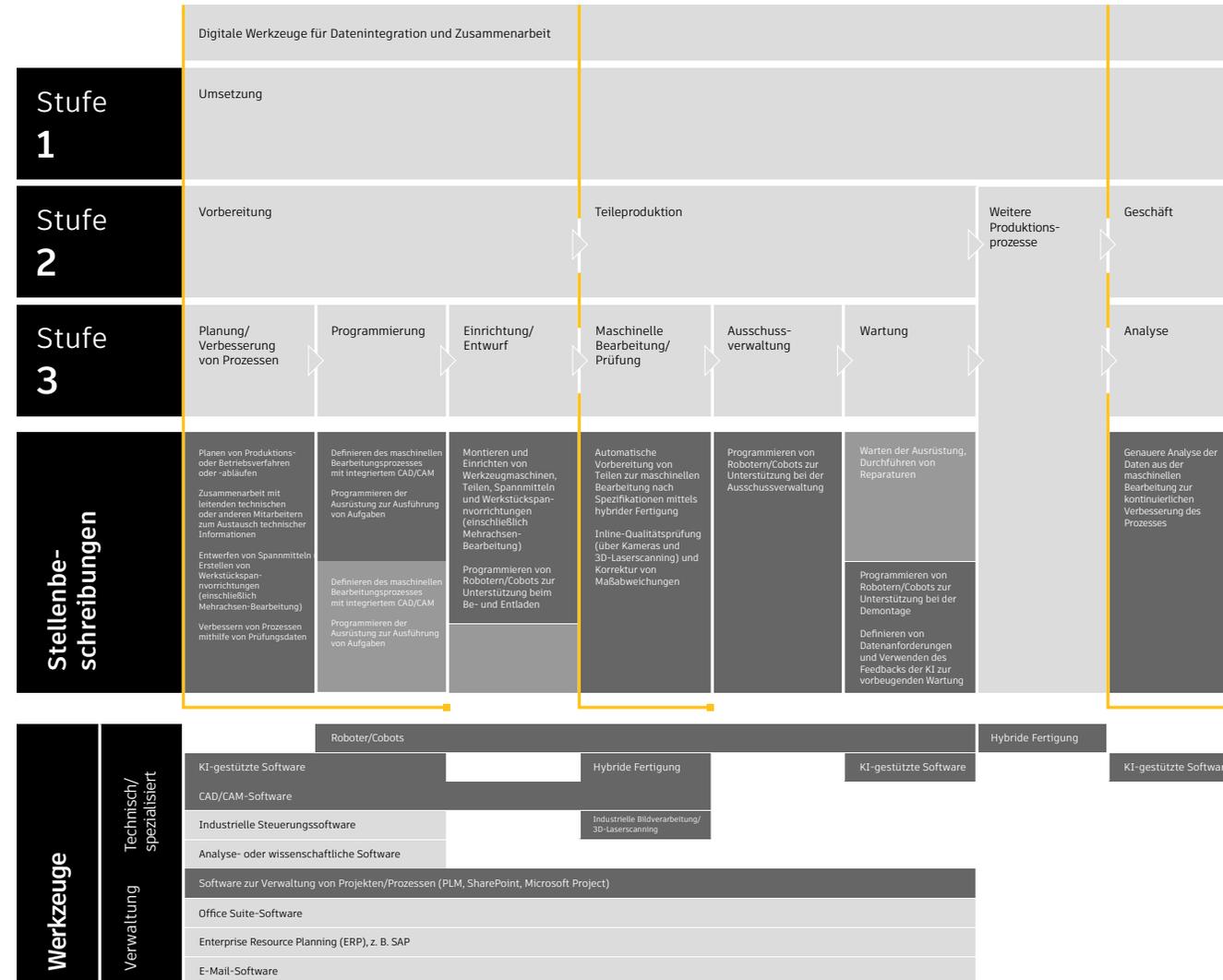


- Prozess zur Produktentwicklung und -fertigung (D&M)
- Aktuelle Arbeitsabläufe
- Zukünftige Arbeitsabläufe
- Zusammenarbeit mit Maschinenbauingenieuren und Maschinenbedienern

Anhang C

Maschinenbediener:
Vergleich der aktuellen
und zukünftigen
Arbeitsabläufe

Anmerkung:
Zukünftige Arbeitsabläufe
erfordern ähnliche Schritte wie
aktuelle Arbeitsabläufe. Ihr
Tempo wird jedoch durch
konvergierte Plattformen,
vernetzte Arbeitsabläufe und
funktionsübergreifende
Zusammenarbeit erheblich
beschleunigt.



- Prozess zur Produktentwicklung und -fertigung (D&M)
- Aktuelle Arbeitsabläufe
- Zukünftige Arbeitsabläufe
- Zusammenarbeit mit Maschinenbau- und Fertigungsingenieuren



AUTODESK™



ASME
SETTING THE STANDARD