

Advanced Systems Engineering als Strategie für flexible Wertschöpfung in der Produktion

Flexible Arbeit in der zerspanenden Fertigung

J. Weber, M.-A. Weber, S. Stowasser

ZUSAMMENFASSUNG In der zerspanenden Fertigung kollidieren starre technische Prozessvorgaben zunehmend mit der notwendigen Flexibilisierung der Arbeitswelt. Anforderungen an Reaktionsfähigkeit, Arbeitgeberattraktivität und digitale Anschlussfähigkeit stellen die Präsenzgebundenheit vieler Produktionssysteme infrage, um langfristig die Anforderungen des Marktes zu erfüllen. Der Beitrag zeigt auf Basis einer Erhebung unter 189 Führungskräften, welche Faktoren zeitflexible und mobile Arbeitsmodelle begrenzen beziehungsweise ermöglichen.

STICHWÖRTER

Advanced Systems Engineering, Arbeitsorganisation, Flexible Fertigungssysteme

Flexible work in machining production

ABSTRACT In machining production, rigid technical process specifications increasingly collide with the need for greater flexibility in the world of work. To meet market demands in the long term, requirements for responsiveness, employer attractiveness, and digital connectivity are calling into question the presence-bound nature of many production systems. Based on a survey of 189 managers, this paper points out the factors that limit or enable time-flexible and mobile work models.

1 Strategische Neuausrichtung der industriellen Wertschöpfung

Die industrielle Produktion in Deutschland befindet sich in einer Phase der fundamentalen Neuausrichtung. Während technische Präzision und Prozessstabilität über Jahrzehnte die primären Wettbewerbsvorteile der nationalen Zerspanungstechnik waren, rücken nun die Flexibilität der Arbeitssysteme und die Resilienz der Wertschöpfungssysteme in den Mittelpunkt des Technologie-managements. Die flexible Arbeitsgestaltung ist in vielen Industrieunternehmen vom Randthema zur strategischen Gestaltungsaufgabe geworden.

Treiber sind zum einen der anhaltende Fachkräfte- und Qualifikationsengpass sowie der demografische Wandel, welche beide die Rekrutierung und Bindung von Beschäftigten erschweren [1]. Gleichzeitig steigen auch unter volatilen Rahmenbedingungen die Marktanforderungen an Reaktionsgeschwindigkeit, Variantenfähigkeit und Termintreue [2]. Des Weiteren wächst der Druck, digitale Anschlussfähigkeit aufzubauen, um Prozesse transparenter, planbarer und skalierbar zu machen [3]. In der Summe entsteht ein Flexibilitätsbedarf, der nicht nur Arbeitszeiten betrifft, sondern die Fähigkeit von Unternehmen beschreibt, Entscheidungen, Koordination und Störungsbearbeitung schneller und robuster zu organisieren.

In der zerspanenden Fertigung wird dieser Bedarf besonders sichtbar. Die Maschinenbedienung, Einrichtung und das Einlegen sowie viele Prüfhandlungen bleiben physisch an Anlage und Werkstück gebunden. Gleichzeitig verlagert sich ein wachsender

Anteil wertschöpfungsnaher Tätigkeiten in Rollen „um den Prozess“: NC (Numerical Control)-Programmierung, Arbeitsvorbereitung, Prozessüberwachung, Qualitätssicherung, Instandhaltung, Schicht- und Produktionssteuerung sowie Ursachenanalyse bei Abweichungen. Für diese Tätigkeiten eröffnen sich Flexibilisierungsspielräume, wenn Informationen über Zustände, Aufträge und Abweichungen digital verfügbar sind und organisatorische Regeln die Entkopplung absichern [4]. Damit wird deutlich: Präsenzgebundenheit ist nicht nur technisch bedingt, sondern häufig eine Kompensationsstrategie für fehlende Transparenz, unsichere Datenlagen und unklare Verantwortlichkeiten [5].

Die Forschung zu hybriden Arbeitsmodellen zeigt, dass KMU im Vergleich zu Großunternehmen oft weniger weit sind. Dies liegt auch an begrenzten Ressourcen, fehlenden Konzepten und kulturellen Präsenznormen [6, 7]. Für die Zerspanung bedeutet dies: Flexibilisierung kann nicht als Standardrezept „von außen“ übernommen werden, sondern muss die Produktionslogik, die Systemlandschaft und die Führungskultur berücksichtigen.

Hier setzt das Leitbild des Advanced Systems Engineering (ASE) an. Es versteht die Produktion nicht mehr als rein technische Aufgabe, sondern als Gestaltung eines hochkomplexen sozio-technischen Systems, in dem Mensch, Technik und Organisation aufeinander abgestimmt zusammenwirken.

ASE bietet den methodischen Rahmen, um diese Komplexität zu beherrschen und intelligente, vernetzte Produktionssysteme zu gestalten. Im Kontext moderner Produktionssysteme bedeutet Flexibilität nicht nur anpassbare Arbeitszeiten, sondern die Fähigkeit des Wertschöpfungssystems, trotz hoher Variantenvielfalt,

Störungen und kurzfristiger Änderungen stabil zu liefern. Flexible Arbeit wird so zum Baustein eines reaktionsfähigen Produktionssystems, vergleichbar mit Standardisierung, visueller Steuerung und kurzen Eskalationswegen im Lean Management.

2 Flexible Arbeit als Systemeigenschaft moderner Produktionssysteme

Advanced Systems Engineering (ASE) adressiert die Frage, wie komplexe, dynamisch vernetzte soziotechnische Systeme über ihren Lebenszyklus hinweg gestaltet und beherrscht werden können [3]. Es bündelt dabei drei Perspektiven: Advanced Systems (intelligente, cyberphysische und vernetzte Systeme), Systems Engineering (interdisziplinäres Komplexitätsmanagement, unter anderem über modellbasierte Ansätze) und Advanced Engineering (neue Entwicklungs- und Arbeitsweisen) [8].

Für Flexibilisierungsvorhaben in der Produktion ist ASE besonders relevant, da hier die Technologie nicht isoliert betrachtet wird: Datenflüsse, Rollen, Richtlinien, Schnittstellen und Zusammenarbeit sind Teil des Systems und damit Teil der Gestaltung. ASE wird im Beitrag als konzeptioneller Rahmen genutzt, um flexible Arbeit als Ergebnis einer geeigneten Systemarchitektur zu beschreiben: Erst wenn Datenflüsse, Systemgrenzen und Verantwortlichkeiten so gestaltet sind, dass Zustände in Echtzeit sichtbar sind und Entscheidungen robust getroffen werden können, entsteht Entkopplungspotenzial und damit flexible Arbeit als Systemeigenschaft.

Arbeitswissenschaftlich lässt sich diese Systemlogik über soziotechnische Modelle fundieren. Das MTO-Verständnis (Mensch–Technik–Organisation) als soziotechnischer Ansatz betont, dass soziale und technische Teilsysteme nach dem Primat der Aufgabe gemeinsam optimiert werden [5]. Für die Flexibilisierung im Produktionsumfeld zeigt die Praxis jedoch, dass Umsetzungen häufig an kulturellen und führungsbezogenen Faktoren scheitern: Präsenznormen, Misstrauen gegenüber dezentraler Arbeit, geringe Beteiligung sowie eine fehlende Lern- und Fehlerkultur wirken dabei hemmend [9]. Deshalb wird das Modell im Kontext der erfolgreichen Einführung von mobiler Arbeit um die Dimension Kultur erweitert (MTOK) [10]. Kultur wird nicht als weicher „Zusatz“ verstanden, sondern als zentrale Umsetzungsbedingung, die darüber entscheidet, ob digitale Möglichkeiten tatsächlich genutzt und neue Routinen stabilisiert werden.

Eine zentrale Brücke zwischen ASE und MTOK bilden digitale Repräsentationen, etwa digitale Schatten oder digitale Zwillinge. Sie erhöhen Transparenz über Zustände, Prozesse und Abweichungen und schaffen damit Voraussetzungen, Entscheidungen und Unterstützungsleistungen teilweise räumlich und zeitlich zu entkoppeln, ohne jedoch Prozesssicherheit zu verlieren [4]. In der Zerspanung sind diese Transparenz- und Rückverfolgbarkeitsanforderungen besonders relevant, weil Prozessstabilität, Qualität und Termintreue eng mit Datenverfügbarkeit, Kontextwissen und schneller Reaktion verbunden sind [11].

3 Empirische Befunde: Einflussfaktoren und Typologien betrieblicher Flexibilisierung

Zur Analyse betrieblicher Voraussetzungen flexibler Arbeitsmodelle in der zerspanenden Fertigung wurde im Frühjahr 2025 eine standardisierte Online-Erhebung unter 189 Führungskräften und Planungsverantwortlichen durchgeführt. Die Stichprobe um-

fasste vor allem Geschäftsführungen (49 %) sowie Produktions- und Fertigungsleitungen (29 %). Erhoben wurden strukturelle Produktionsmerkmale (unter anderem Losgrößen, Bearbeitungszeiten, Automatisierungsgrad), der Digitalisierungsgrad sowie Einschätzungen zur Umsetzbarkeit und Möglichkeiten mobiler und zeitflexibler Arbeitsmodelle.

Die Auswertung erfolgte zweistufig. Erstens wurde analysiert, welche Faktoren die flexible Arbeitsgestaltung beeinflussen. Die Einflussfaktorenanalyse wurde als binär-logistische Regressionsanalyse ausgeführt, die auf sieben unabhängigen strukturellen Variablen basiert. Zweitens wurde eine Clusteranalyse durchgeführt, um typische Konstellationen betrieblicher Voraussetzungen und Haltungen zu verdichten. Für die Clusterbildung wurden elf Variablen berücksichtigt, die strukturelle Merkmale (zum Beispiel Automatisierungsgrad, Losgröße, Digitalisierungsgrad) sowie wahrnehmungsbezogene Merkmale (Akzeptanz, Nutzen, erwarteter Aufwand) abbilden. Alle Variablen wurden z-standardisiert, um Skalenunterschiede auszugleichen.

3.1 Einflussfaktoren der betrieblichen Flexibilisierung

Die Einflussfaktorenanalyse schafft ein präzises Bild über die tatsächlichen Treiber der Flexibilisierung. Dabei wurde zwischen zeitlicher Flexibilität (zum Beispiel Gleitzeit) und örtlicher Flexibilität (mobiles Arbeiten) unterschieden.

Für zeitflexible Arbeitsgestaltung zeigt sich ein signifikanter positiver Zusammenhang mit dem Digitalisierungsgrad. Zeitliche Flexibilität ist damit nicht primär eine Frage des Willens, sondern hängt an Transparenz, Planbarkeit und der Verfügbarkeit prozessrelevanter Informationen. Gleichzeitig wirken operative Parameter begrenzend: Große Losgrößen und lange Bearbeitungszeiten reduzieren die Möglichkeit, Arbeitszeiten flexibel zu verschieben, ohne das Gesamtsystem zu beeinträchtigen. In solchen Umfeldern werden Flexibilitätsskorridore durch Takt- und Übergabelogiken, Rüststrategien sowie Qualitätssicherung schnell eingeengt.

Bemerkenswert ist, dass der Automatisierungsgrad in der Analyse nicht als signifikanter Treiber hervortrat. Das deutet darauf hin, dass Automatisierung allein keine Flexibilität erzeugt, wenn sie nicht durch digitale Transparenz und geeignete Organisationsmodelle flankiert wird. Automatisierte Technik kann Laufzeiten verlängern. Flexible Arbeit entsteht jedoch erst, wenn Überwachung, Koordination und Entscheidungsprozesse systemisch abgesichert werden.

Für mobile Arbeit schärft sich das Bild: Hier erwies sich der Digitalisierungsgrad als einziger signifikanter Treiber, während klassische operative Parameter an Erklärungskraft verlieren. Praktisch bedeutet das: Mobile Arbeit in der Produktion wird weniger durch den Zerspanungsprozess „verhindert“ als durch fehlende Voraussetzungen in der digitalen Systemlandschaft. Dazu zählen unzureichender Remote-Zugriff auf Prozess- und Qualitätsdaten oder geringe Integration zwischen Maschinenebene, MES (Manufacturing Execution System) / ERP (Enterprise Resource Planning) und Instandhaltungsinformationen. Wo Daten fehlen oder nicht vertrauenswürdig sind, wird Präsenz zur Kompensation. Dies erfolgt zumeist nicht aus Prinzip, sondern als Risikopuffer.

Die empirischen Befunde lassen sich als Beitrag zur Gestaltung flexibler Wertschöpfungssysteme interpretieren: Der Digitalisierungsgrad bildet die Grundlage für Transparenz und Integrations-

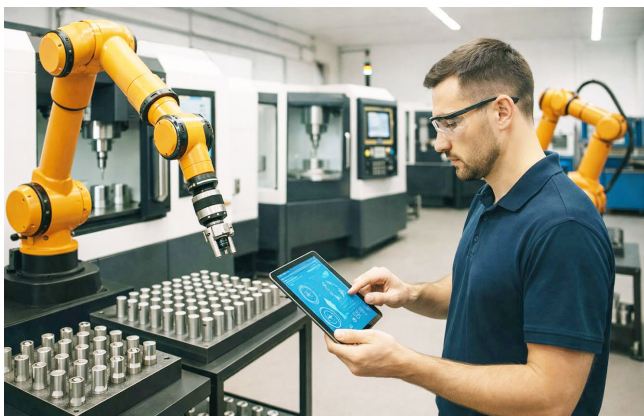


Bild 1 Typologie flexibler Arbeit in der zerspanenden Fertigung (vier Clusterprofile). Fotos: eigene Darstellung

fähigkeit und damit für Reaktionsfähigkeit im Produktionssystem. Mobile Arbeit wird möglich, wenn Prozesszustände, Qualität und Abweichungen digital verfügbar sind und Remote-Analyse sowie koordinierte Maßnahmen organisatorisch abgesichert werden. Zeitflexibilität bleibt dagegen stärker an die Prozesslogik gebunden, insbesondere an die Möglichkeit, Übergaben und Taktung ohne Leistungseinbußen zu organisieren.

3.2 Typologie betrieblicher Flexibilisierungspotenziale und Cluster-Strategien

Zur Bestimmung der optimalen Clusteranzahl wurde die sogenannte Sprungmethode herangezogen. Dabei werden markante Anstiege der Fusionskoeffizienten identifiziert, die darauf hindeuten, dass bei weiteren Zusammenschlüssen zunehmend heterogene Cluster miteinander verbunden würden. Auf dieser Grundlage konnten im Rahmen der hierarchischen Clusteranalyse vier charakteristische Unternehmenstypen abgegrenzt werden, die sich durch jeweils spezifische Ausprägungsmuster in den betrachteten Variablen kennzeichnen lassen.

Die Typologie ist für die Praxis besonders hilfreich, da sie die Logik eines einheitlichen Standardprogramms ersetzt: Nicht jedes Unternehmen sollte die gleichen Maßnahmen priorisieren. Entscheidend ist vielmehr, welche Hebel in der jeweiligen Ausgangslage den größten Effekt entfalten. Die Cluster lassen sich zudem als unterschiedliche Ausprägungen von Transparenz-, Integrations- und Reaktionsfähigkeit im Produktionssystem interpretieren.

Bild 1 stellt die vier Cluster als kompaktes Profilbild dar.

Cluster 1 – Traditionell und reaktiv (27 %, oben links):

Unternehmen dieses Clusters sind durch geringe digitale Reife, geringe Offenheit für neue Arbeitsformen und häufig veraltete oder punktuelle IT-Systeme gekennzeichnet. Flexible Arbeit ist kaum etabliert und wird teils skeptisch bewertet. Führung und Steuerung erfolgen eher reaktiv, Veränderungsprozesse werden selten proaktiv initiiert. Die Flexibilisierung eines solchen reaktiven Systems erfordert Vorarbeiten in Technik, Struktur und Kultur. Insbesondere, um eine belastbare Datengrundlage und organisatorische Anschlussfähigkeit herzustellen, sind entsprechende Vorarbeiten erforderlich.

Cluster 2 – Produktionsstark, aber flexibilitätsfern (29 %, oben rechts):

Diese Unternehmen verfügen oft über moderne Technik und stabile Prozesse, zeigen jedoch geringe Bereitschaft, mobile oder zeitflexible Modelle zuzulassen. Flexibilität scheitert hier weniger an Technik als an Kultur und Organisation: Präsenz wird als Leistungs- und Kontrollprinzip interpretiert, Verantwortlichkeiten sind stark an physische Anwesenheit gekoppelt. Für die Praxis bedeutet das: Technisch wäre Flexibilität teilweise möglich, sie wird jedoch nicht realisiert, weil Regeln, Vertrauen und Führung die Entkopplung nicht tragen.



Bild 2 Ganzheitliches Vorgehensmodell zur Einführung flexibler Arbeitsmodelle. Grafik: eigene Darstellung

Cluster 3 – Digital-affin und flexibilisierungsbereit (11 %, unten links):

Diese Unternehmen weisen eine hohe digitale Reife, Offenheit und häufig bereits vorhandene flexible Arbeitspraktiken auf. Führung agiert dialogorientierter; Beteiligung und Lernkultur sind stärker ausgeprägt. Diese Unternehmen können flexible Arbeit nicht nur einführen, sondern skalieren und institutionalisieren. Dies gelingt beispielsweise durch standardisierte Daten- und Übergaberoutinen, Remote-Support-Prozesse sowie klare Richtlinien für Zugriffe und Verantwortlichkeiten.

Cluster 4 – Technisch solide, aber prozessual träge (33 %, unten rechts):

Unternehmen dieses Clusters besitzen eine solide technische Basis, werden aber durch Komplexität, lange Durchlaufzeiten und geringe Umsetzungsgeschwindigkeit gehemmt. Akzeptanz ist nicht grundsätzlich gering, doch es fehlen klare Strategien, vereinfachte Prozesslogik und konsequente Umsetzung. Flexibilität ist hier weniger eine Frage zusätzlicher Technik als eine Frage der Prozessgestaltung: Vereinfachung, klare Verantwortungslogiken und beschleunigte Entscheidungswege sind zentrale Hebel, um diese komplexitätsgebremsten Systeme zu flexibilisieren.

4 Modell zur Systematisierung flexibler Arbeit

Aus den Befunden lässt sich arbeitswissenschaftlich ableiten: Der Kernauftrag ist die Gestaltung eines Produktionssystems, das

Maschinenproduktivität und schnelle, robuste Entscheidungen zusammenbringt. Hierzu gehören standardisierte Informationsflüsse, klare Eskalationslogiken und Rollenmodelle für Remote-Analyse und -Unterstützung. Der MTOK-Ansatz strukturiert diese Voraussetzungen in vier Dimensionen: Mensch (Kompetenzen, Selbstorganisation, Belastung), Technik (Datenverfügbarkeit, Integration, Remote-Zugriff), Organisation (Schnittstellen, Übergaben, Richtlinien) und Kultur (Führung, Vertrauen, Präsenznormen).

Für die praktische Umsetzung bietet sich ein phasenlogisches Vorgehen in sechs Schritten an: (1) Kontext- und Zielklärung, (2) Standortbestimmung entlang MTOK und Typenzuordnung, (3) Handlungspriorisierung und Maßnahmenplanung, (4) Pilotierung im geschützten Rahmen, (5) Evaluation und Anpassung, (6) Rollout und Verstetigung. **Bild 2** visualisiert die ganzheitliche Anwendung des Modells.

Entscheidend ist, dass digitale Transparenz, Datenintegration und Remote-Prozessüberwachung keine Erweiterungen, sondern Voraussetzungen für flexible Produktionssysteme sind: Sie ermöglichen, Abweichungen früh zu erkennen, Ursachen schneller zu klären und Maßnahmen zu koordinieren, ohne dass alle Fachkräfte permanent vor Ort sein müssen. Darüber hinaus muss die Einführung an Standortbestimmung und Maßnahmenableitung gekoppelt bleiben: Ein Cluster-1-Unternehmen benötigt andere erste Schritte als ein Cluster-3-Unternehmen, sonst werden Ressourcen ineffektiv eingesetzt oder Widerstände verstärkt. Daraus lassen sich konkrete Entwicklungspfade je Cluster ableiten:

In Cluster 1 steht der Aufbau digitaler Mindestvoraussetzungen an erster Stelle, weil Präsenz häufig fehlende Transparenz kompensiert. Niedrigschwellige Schritte sind etwa standardisierte

Kennzahlen, digitale Erfassung zentraler Störgründe und transparente Übergaben zwischen Rollen. Parallel müssen Qualifizierung und Kommunikation die kulturelle Anschlussfähigkeit erhöhen: Flexibilisierung wird sonst als Kontrollverlust oder Belastungssteigerung wahrgenommen. Erst wenn Techniktransparenz und Kulturanschluss zusammenkommen, werden erste Flexibilitätskorridore in produktionsnahen Rollen praktikabel.

In Cluster 2 liegt der Hebel weniger in neuer Technik als in Führungs- und Organisationsdesign. Ein wirksamer Einstieg sind klar begrenzte Anwendungsszenarien, die Prozesssicherheit erhöhen statt verringern: digitale, asynchrone Schichtübergaben; geregelte Remote-Bereitschaften für Störungsanalyse; dokumentierte Entscheidungsrechte; transparente Leistungsindikatoren, die nicht Präsenz, sondern Ergebnis und Prozessqualität abbilden. So wird Flexibilisierung als Beitrag zur Wertschöpfung gerahmt und nicht als Ausnahme.

Cluster 3 steht vor der Aufgabe, Pilotlösungen in Richtlinien, Standards und Qualifizierung zu überführen. Dazu gehören Rollenmodelle, Regeln für IT-Sicherheit und Datenzugriff sowie die Verankerung in Zielsystemen und Führung. Perspektivisch können digitale Zwillinge und KI (künstliche Intelligenz)-Assistenz zusätzliche Entkopplungspotenziale erschließen, vorausgesetzt, Transparenz und Kontrollierbarkeit bleiben gewährleistet.

In Cluster 4 ist Prozessvereinfachung zentral, weil hohe Komplexität und lange Durchlaufzeiten Flexibilisierung praktisch ausbremsen. Hebel sind Varianten- und Komplexitätsreduktion, klarere Schnittstellen zwischen AV, QS, Instandhaltung und Fertigung sowie beschleunigte Entscheidungswege. Flexible Arbeit wird hier weniger „eingeführt“ als „ermöglicht“, indem Planbarkeit und Umsetzungsgeschwindigkeit steigen.

Technologisch sind digitale Transparenz, Datenintegration und Remote-Prozessüberwachung zentrale Voraussetzungen, um flexible Produktionssysteme aufzubauen. Organisation und Kultur bestimmen, ob diese Voraussetzungen in robuste Routinen übersetzt werden, etwa über Rollen, Entscheidungsrechte und klare Eskalationswege. Flexible Arbeit wird damit vom „Arbeitszeit-Thema“ zur systematischen Eigenschaft moderner Produktions- und Wertschöpfungssysteme.

5 Fazit und Ausblick: Resilienz durch soziotechnische Integration

Für die zerspannende Fertigung ist Flexibilität zunehmend als Eigenschaft des Produktions- und Wertschöpfungssystems zu verstehen. Moderne Produktionssysteme sind dadurch gekennzeichnet, dass sie auch unter Bedingungen hoher Variantenvielfalt, bei Störungen und kurzfristigen Änderungen zuverlässig und termintreu liefern können. Flexible Arbeit entsteht dabei nicht primär durch arbeitsorganisatorische Regelungen, sondern durch transparente Prozesse, integrierte Datenflüsse sowie klare Entscheidungs- und Eskalationslogiken. Sie wird so zu einem systematisch gestaltbaren Element des Produktionssystems, vergleichbar mit Standardisierung, visueller Steuerung und klar definierten Verantwortlichkeiten. Der zentrale Mehrwert der Verknüpfung von ASE

und MTOK besteht darin, Flexibilisierung als systemische Eigenschaft von Wertschöpfungssystemen zu begreifen und damit gezielt plan- und gestaltbar zu machen.

Abschließend lassen sich drei zentrale Erkenntnisse für die industrielle Praxis ableiten:

1. Digitalisierung ist das Fundament: Ohne eine hohe digitale Reife und durchgängige Datenflüsse bleibt Flexibilität in der Produktion ein theoretisches Konstrukt.
2. Kultur schlägt Technik: In vielen Betrieben verhindern nicht technische Defizite, sondern traditionelle Führungskulturen und starre Organisationsstrukturen den Fortschritt.
3. MTOK als Navigationshilfe: Das soziotechnische Gestaltungsmodell ermöglicht eine evidenzbasierte Standortbestimmung und zeigt clusterspezifische Transformationswege auf.

Die vier Cluster liefern eine praxistaugliche Landkarte, um Maßnahmen passgenau zu priorisieren: Mindeststrukturen und Kulturanschluss (Cluster 1), Regeln und Führung statt Präsenzkultur (Cluster 2), Skalierung und Institutionalisierung (Cluster 3) sowie Prozessvereinfachung zur Beschleunigung (Cluster 4). Damit wird flexible Arbeit in der Zerspanung nicht zum Risiko, sondern zum Beitrag für Robustheit, Attraktivität und Anpassungsfähigkeit in einem zunehmend anspruchsvollen Marktumfeld.

Zukünftig wird die Integration von KI und immersiven Technologien die Grenzen zwischen physischer Präsenz und wertschöpfender Tätigkeit weiter verschwimmen lassen. Unternehmen, die heute den Schritt zum Advanced Systems Engineering vollziehen, sichern sich den entscheidenden Vorsprung im Wettbewerb um die Fachkräfte und die Märkte von morgen. Die Zukunft der Wertschöpfung entscheidet sich nicht allein an der Maschine, sondern in der Art, wie wir Technik, Organisation und den Menschen als integriertes System zusammendenken und durch die Kultur beeinflussen.

Literatur

- [1] Peichl, A.; Sauer, S.; Wohlrabe, K.: Arbeits- und Fachkräftemangel – aktuelle Lage und Projektionen im europäischen Vergleich. ifo Schnelldienst 78 (2025) 3, S. 51–57
- [2] Nitsch, V.: Wertschöpfung neu denken für eine zukunftsfähige Industrie. wt Werkstattstechnik online 114 (2024) Editorial, S. 371
- [3] acatech et al. (Hrsg.): Strategie. Advanced Systems Engineering – Leitinitiative zur Zukunft des Engineering und Innovationsstandorts Deutschland. Stand: 2022. Internet: www.advanced-systems-engineering.de/wp-content/uploads/ASE_Strategie.pdf. Zugriff am 22.04.2026
- [4] Werner, A.; Schuseil, P.; Zimmermann, M. et al.: Nachhaltige Geschäftsmodelle durch modulare Digitale Zwillinge mit digitalem Produktpass. wt Werkstattstechnik online 114 (2024) 6, S. 276–284. Düsseldorf: VDI Fachmedien, doi.org/10.37544/1436-4980-2024-06-28
- [5] Ulich, E.: Arbeitssysteme als soziotechnische Systeme – eine Erinnerung. Zürich: Institut für Arbeitsforschung und Organisationsberatung 2013
- [6] Lindner, D.: Hybride Arbeitswelt: Empfehlungen für die Arbeit zwischen Home und Office. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2022
- [7] Bath, J.; Rieger, K.; Kolodziej, V.: Herausforderungen hybrider Arbeitsmodelle in KMU im Vergleich zu Großunternehmen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 77 (2023) 4, S. 593–608

- [8] Dumitrescu, R.; Albers, A.; Riedel, O. et al. (Hrsg.): Engineering in Deutschland – Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft. Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering. Stand: 2021. Internet: www.acea.de/publikation/engineering-in-deutschland/download-pdf?lang=de. Zugriff am 20.04.2026
- [9] Bendel, A.; Latniak, E.: Weiter so mit MTO? Entwicklungslinien sozio-technischer Ansätze. Gruppe. Interaktion. Organisation 54 (2023), 9–26, doi.org/10.1007/s11612-023-00669-6, S. 23–45
- [10] Schuh, G.; Herkenrath, C.; Boos, W.; Hoeborn, G.; Böning, J.: How to establish a lasting remote work concept in organizations: A classification for the operational design of remote work. Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) 2024, pp. 767–776
- [11] Sanders, P. M.; Müller, S.; Koch, T.: Echtzeit-Kompensation thermischer Fehler von Maschinen mittels OPC UA. wt Werkstattstechnik online 115 (2025) 11–12, S.908–916, Düsseldorf: VDI Fachmedien, doi.org/10.37544/1436-4980-2025-11-12-54

Jakob Weber, M.A. 
jakob.weber@kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe
www.kit.edu

**Prof. Dr. rer. pol. et Ing. habil.
 Marc-André Weber**

Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Kiel
 Sokratesplatz 2, 24149 Kiel
www.haw-kiel.de

Prof. Dr. Ing. habil. Sascha Stowasser

Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. (ifaa)
 Uerdinger Str. 56, 40474 Düsseldorf
www.arbeitswissenschaft.net

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
 Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)