

Leitfaden Band 2

Industrie 4.0: Perspektiven für die Arbeitswelt von morgen



Impressum

Herausgeber

Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Alfons Botthof
Steinplatz 1 | 10623 Berlin
alfons.botthof@vdivde-it.de

www.autonomik40.de

Texte

Dr. Steffen Wischmann und Dr. Ernst A. Hartmann
(VDI/VDE Innovation + Technik GmbH)

Gestaltung

LoeschHundLiepold
Kommunikation GmbH
Hauptstraße 28 | 10827 Berlin

Stand

September 2016

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

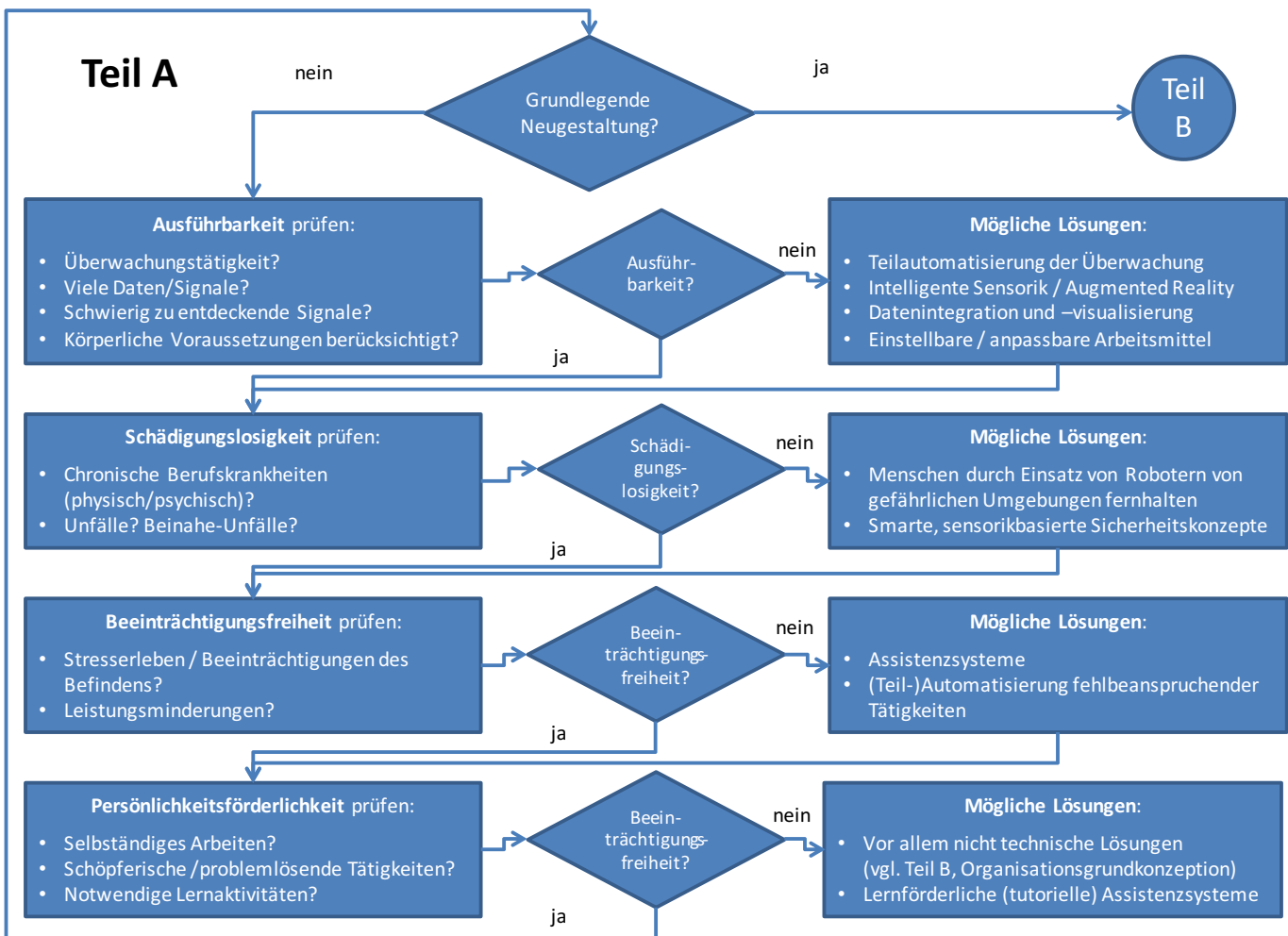
1	Einleitung	5
2	Für Anwender: Ablaufplan zur Gestaltung von Arbeitsplätzen in Industrie 4.0	6
3	Checkliste für Anwender	8
4	Wege der Arbeitsgestaltung	10
4.1	Bewertung und Verbesserung bestehender Arbeitssysteme und prozesse	10
4.2	Neugestaltung von Arbeitssystemen und -prozessen	14
4.3	Ablaufplan zum Vorgehen	16
5	Hintergrund	18
5.1	Arbeitsgestaltung und unternehmerische Innovationsfähigkeit	18
5.2	Neue Qualifikationsanforderungen	20
6.	Praxisorientierte Beispiele aus den geförderten Projekten des Technologieprogramms	
	AUTONOMIK für Industrie 4.0	23
6.1	ReApp – Wiederverwendbare Roboterapplikationen für flexible Roboteranlagen	23
6.2	MANUSERV – Betriebliche Auswirkungen industrieller Servicerobotik am Beispiel der Kleinteilemontage	23
6.3	InnoCyFer – Der Mensch in der Interaktion mit autonomen Planungs- und Steuerungssystemen für Cyber-Physische Produktionssysteme	24
6.4	InSA – Integrierte Schutz- und Sicherheitskonzepte für die Mensch-Roboter-Kollaboration in Cyber-Physischen Arbeitsumgebungen	25
6.5	motionEAP – System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion	25
6.6	APPsist – Assistenz und Wissensvermittlung am Beispiel von Montage- und Instandhaltungstätigkeiten	26
7	Anhang	28
7.1	Nationale und internationale förderpolitische Maßnahmen und Institutionen	28
7.2	Literaturverzeichnis	29

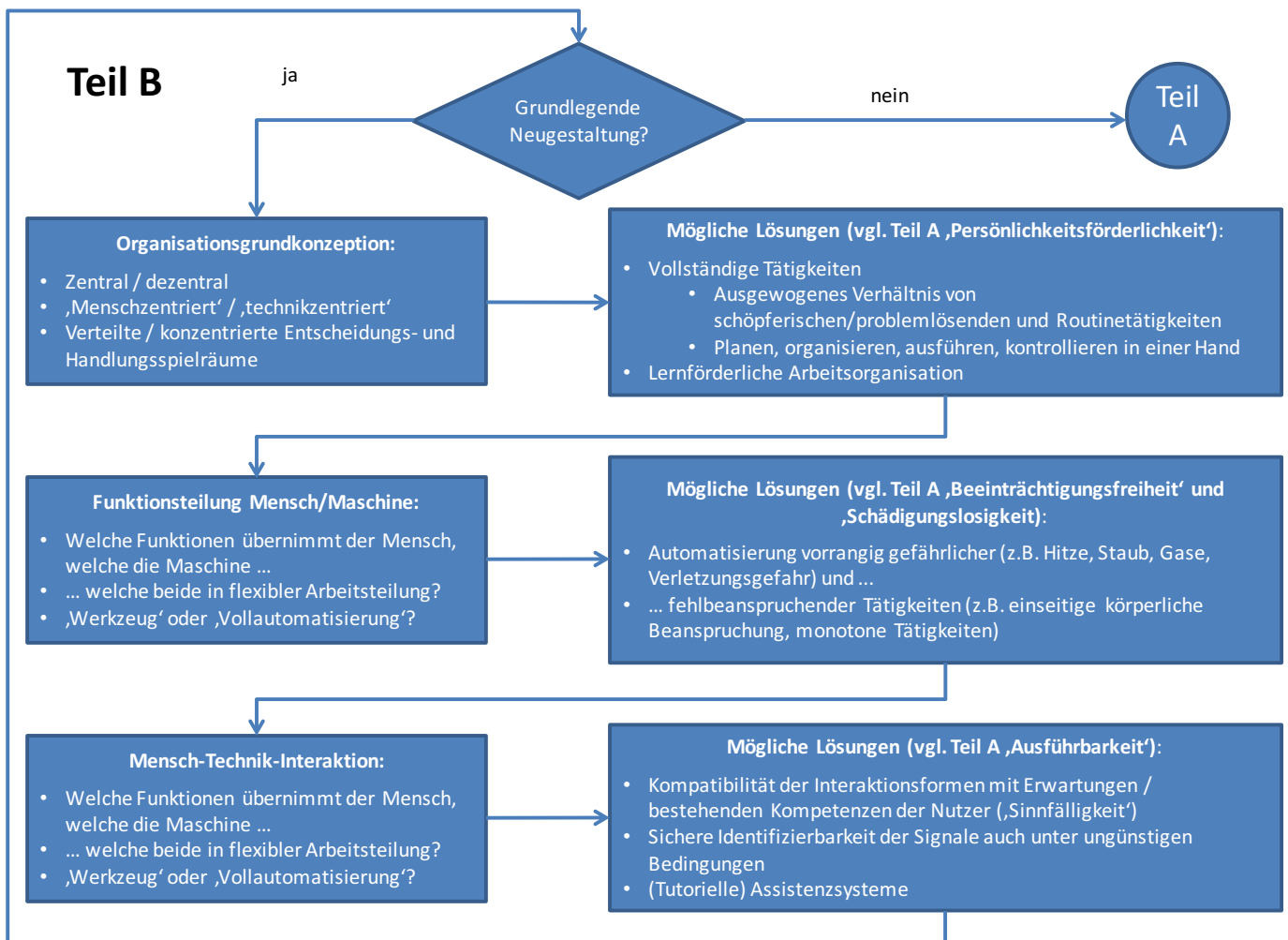
1 Einleitung

Der vorliegende Leitfaden „Industrie 4.0: Perspektiven für die Arbeitswelt von morgen“ fasst die Erkenntnisse aus den Arbeiten der Begleitforschung zum Technologieprogramm „AUTONOMIK für Industrie 4.0“ zusammen, die im Rahmen von intensiven Workshops mit den geförderten Projekten sowie der aktiven Gremienarbeit entstanden. Er setzt die technologischen Entwicklungen in Bezug zur aktuellen Diskussion um Arbeitsmarkteffekte und neue Qualifikationsanforderungen. Ebenso werden die Konsequenzen für die Innovationsfähigkeit von Unternehmen aufgezeigt, abhängig davon, in welcher arbeitsorganisatorischen Form digitale Technologien eingesetzt

werden. Die Auswirkungen auf die Arbeit der Zukunft werden anhand ausgewählter Projektbeispiele aus dem Technologieprogramm „AUTONOMIK für Industrie 4.0“ illustriert. Der Leitfaden schlägt darüber hinaus eine Vorgehensweise vor, wie Arbeitsgestaltung und der Einsatz neuer digitaler Technologien von Beginn an gemeinsam entwickelt werden kann. Diese Vorgehensweise finden Sie gleich am Anfang des Leitfadens als grafischen Ablaufplan. Inhaltliche Erläuterungen dazu folgen in Kapitel 4. Die Checkliste für Anwender bietet Ihnen eine Zusammenfassung der methodischen Schritte zur Gestaltung von Arbeit in der Industrie 4.0.

2 Für Anwender: Ablaufplan zur Gestaltung von Arbeitsplätzen in Industrie 4.0





Die Abbildungen Teil A und B fassen die einzelnen Schritte zur Gestaltung von Arbeitsplätzen in Industrie 4.0 zusammen. Umfangreiche Erklärungen zum Vorgehen finden Sie in Kapitel 4, ab Seite 16.

3 Checkliste für Anwender

Die in diesem Leitfaden – insbesondere im Kapitel 4 – dargestellten methodischen Schritte zur Gestaltung von Arbeit in der Industrie 4.0 werden in Abbildung 1 als Checkliste zusammengefasst.

Prüfschritt	Inhalt	Mögliche Quellen
Informationen zu Arbeitssystemen/Arbeitsplätzen verfügbar?	Sind alle Informationen zur Beurteilung der bestehenden Arbeitssysteme verfügbar? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Überblick zu Überwachungstätigkeiten ▪ Überblick zu Anforderungen an Informationsaufnahme/Signalentdeckung ▪ Daten zu Unfällen/Beinah-Unfälle ▪ Daten zu Berufskrankheiten ▪ Daten zum subjektiven Empfinden der Arbeitssituation/Belastungen/Stress ▪ Daten zum Anteil schöpferischer/problem-lösender Tätigkeiten/notwendigen Lernaktivitäten 	<input type="checkbox"/> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Informelle, selbst erstellte Datenerhebungsverfahren ▪ Anwendung etablierter Verfahren (z. B. BAuA-Toolbox)
Informationen zu Möglichkeiten der Industrie-4.0-Technologien verfügbar?	Sind alle Informationen zur Beurteilung der relevanten Technologien verfügbar? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sensorik ▪ Robotik ▪ Innovative Produktionssysteme (z. B. Cyberphysische Systeme, Selbstkonfiguration, Additive Fertigung) ▪ IKT (z. B. Cyber-Security, Cloud-Computing, Big-Data, Wireless und mobile Veränderung) ▪ Logistik 	<input type="checkbox"/> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Plattform Industrie 4.0 ▪ Portal „Digitale Technologien“, besonders „AUTONOMIK für Industrie 4.0“
Ablaufplan „Arbeitssystemgestaltung“ angewandt?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schritte der kontinuierlichen Verbesserung angewandt ▪ Schritte der grundlegenden Neugestaltung angewandt ▪ Wirksamkeit und Effekte erhoben ▪ „Lessons learnt“ dokumentiert 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Abbildung 1: Checkliste zur Arbeitsgestaltung 4.0 (eigene Darstellung in Anlehnung an Schallmo 2013)

Um die einzelnen Prüfschritte bei der kontinuierlichen Verbesserung bestehender Arbeitssysteme durchführen zu können, ist eine solide Informationsbasis notwendig. Dies betrifft Fragen wie

- Gibt es in unserem Unternehmen Überwachungstätigkeiten, die große Herausforderungen bei der Dauer- aufmerksamkeit stellen? Gibt es dort oder an anderen Arbeitsplätzen Probleme mit der Informationsaufnahme, etwa dadurch, dass viele Informationen integriert werden müssen, wichtige Signale schlecht zu erkennen sind, Informationen sehr schnell verarbeitet werden müssen?
- Gibt es Unfallschwerpunkte im Unternehmen, auch hinsichtlich Beinahe-Unfällen?
- Wo treten welche Berufskrankheiten auf?
- Wie empfinden die Mitarbeiter ihre Arbeitssituation, erleben sie Stress oder andere Belastungen?
- Wie ist die Zusammenstellung von Arbeitsaufgaben an den Arbeitsplätzen in qualitativer Hinsicht; gibt es Typen von Arbeitsplätzen, an denen sehr viele oder auch wenige bis gar keine schöpferischen oder problemlösenden Aufgaben anfallen? Wo gibt es viele, wo wenige für die Arbeit und in der Arbeit notwendige Lernaktivitäten?

Solche Fragen geben Hinweise auf Probleme, die im Sinne eines produktiven Unternehmens sowie gesunder und motivierter Mitarbeiter gelöst werden sollten.

Für alle diese Informationen können betriebspezifische Datenerhebungsverfahren entwickelt werden. Es ist aber auch möglich, bestehende Verfahren anzuwenden oder

sich bei Eigenentwicklungen daran zu orientieren. Auf der Homepage der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) gibt es dazu Anregungen¹, speziell für die Erhebung psychischer Belastungen gibt es eine eigene Online-Toolbox.²

Die neuen, smarten Technologien der Industrie 4.0 stellen viele Potenziale zur Verfügung, die erheblich zur Behebung der identifizierten Probleme beitragen können. Um diese Potenziale nutzen zu können, müssen die Möglichkeiten diese neuen Technologien bekannt sein, damit sie zu den Problemstellungen in Bezug gesetzt werden können. Dies betrifft besonders folgende Technologien:

- Sensorik
- Robotik
- Innovative Produktionssysteme (z. B. Cyber-physische Systeme, Selbstkonfiguration, Additive Fertigung)
- IKT (z. B. Cyber-Security, Cloud-Computing, Big-Data, Wireless und mobile Vernetzung)
- Logistik

Neben vielen spezifischen Informationsquellen finden sich Darstellungen für den (ersten) Überblick beispielweise auf der Homepage der Plattform Industrie 4.0³ oder auf dem Portal „Digitale Technologien“, besonders im Unterbereich „AUTONOMIK für Industrie 4.0“.⁴

Auf der Grundlage dieser Informationen können die in Kapitel 4 dargestellten Schritte der Arbeitsgestaltung im Sinne eines produktiven Unternehmens sowie gesunder und motivierter Mitarbeiter effektiv und effizient umgesetzt werden.

1 <http://www.baua.de>

2 <http://www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Handlungshilfen-und-Praxisbeispiele/Toolbox/Toolbox.html>

3 <http://www.plattform-i40.de>

4 <http://www.digitale-technologien.de;>
http://www.digitale-technologien.de/DT/Navigation/DE/Foerderprogramme/Autonomik_fuer_Industrie/autonomik_fuer_industrie.html

4 Wege der Arbeitsgestaltung

Für die Bewertung und Neugestaltung von Arbeitssystemen und -prozessen stehen bewährte Vorgehensweisen zur Verfügung. Im Folgenden sollen zwei Vorgehensmodelle beschrieben werden: eines für die Bewertung und Verbesserung bestehender Arbeitssysteme und -prozesse, eines für die grundlegende Neugestaltung von Arbeitssystemen und Arbeitsprozessen.

4.1 Bewertung und Verbesserung bestehender Arbeitssysteme und prozesse

Eine bekannte und verbreitete Vorgehensweise zur Bewertung von Arbeitssystemen und Arbeitsprozessen geht auf Winfried Hacker und Peter Richter zurück (Hacker und Richter 1980).

Für jeden Prozess werden vier Bewertungsebenen unterschieden, die hierarchisch angeordnet sind (Abbildung 2). Zunächst soll immer die unterste Ebene betrachtet und, wenn nötig, bearbeitet werden, ehe die nächsthöhere Ebene herangezogen wird. In der Praxis wird und muss das nicht in jedem Fall strikt so gehandhabt werden. Die konkreten Verbesserungsmaßnahmen sind oftmals auch

so unabhängig voneinander, dass sie auch in anderer Reihenfolge begonnen werden können. Grundsätzlich geht es darum, dass grundlegende Voraussetzungen gut gestalteter Arbeit zuerst in den Blick genommen werden, ehe anspruchsvollere Fragen gestellt werden.

Die unterste Ebene thematisiert die Ausführbarkeit einer Arbeitstätigkeit. Man mag sich wundern, inwieweit es überhaupt nicht-ausführbare Tätigkeiten geben kann. Ein gutes Beispiel sind Überwachungstätigkeiten. Ein Mitarbeiter überwacht beispielsweise einen komplexen, weitgehend automatisierten Prozess in der chemischen Industrie, oder in einem Kraftwerk. In der Leitwarte stehen ihm viele Anzeigen und Kontrollinstrumente zur Verfügung. Nun ist es denkbar, dass es im Wortsinne gar nicht menschenmöglich wäre, im Falle einer Havarie alle diese Anzeigen so im Zusammenhang zu interpretieren, wie es nötig wäre, um die Situation zunächst einmal zu verstehen und dann bestmöglich unter Kontrolle zu bekommen. Es könnte auch sein, dass im Fall einer solchen Havarie Prozesse so schnell ablaufen, dass der Mitarbeiter schneller reagieren müsste, als er es psychomotorisch (Reaktionszeit, Bewegungszeit) überhaupt kann. In diesem

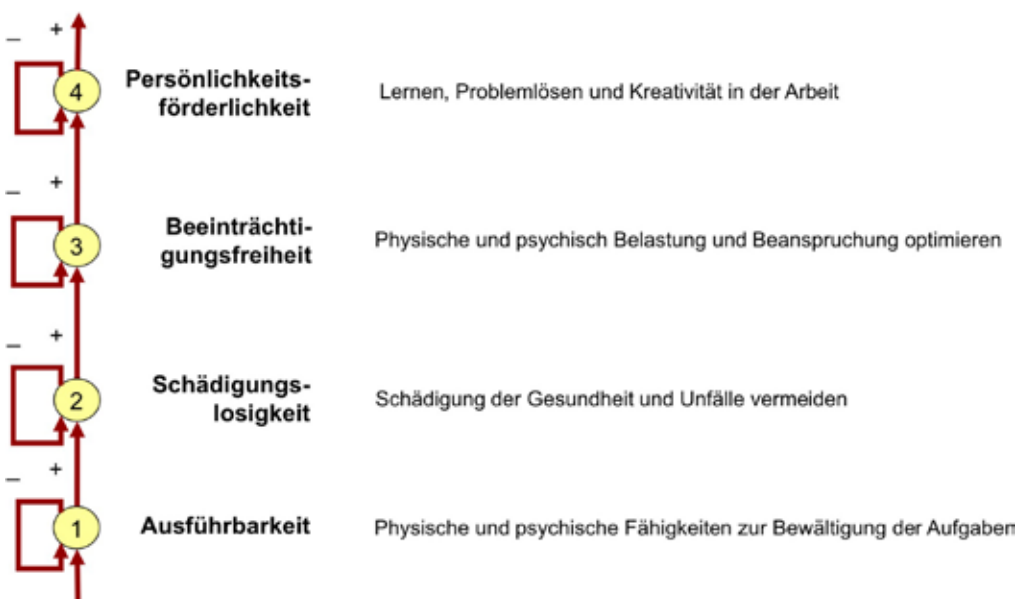


Abbildung 2: Bewertungskriterien für Arbeit (Hacker und Richter 1980).

Fall wäre die Aufgabe nicht ausführbar, was aber möglicherweise erst dann bemerkt würde, wenn die Havarie wirklich eintritt.

So dramatisch wird es in den meisten Fällen nicht sein, dennoch lohnt es sich zu fragen, ob die jeweiligen Arbeitsaufgaben auch unter ungünstigen Bedingungen sicher ausführbar wären.



Abbildung 3: Verbesserte Ausführbarkeit durch bessere sensorische Fähigkeiten, unterstützt durch Erweiterte Realität (Augmented Reality)

Zur Verbesserung der Ausführbarkeit kann grundsätzlich alles dienen, was diese grundlegenden sensorischen (Wahrnehmung), kognitiven (Denken, Gedächtnis) und motorischen (Bewegung) Fähigkeiten der Menschen verbessert.

Ein weiterer Aspekt betrifft die körperlichen Bedingungen der Menschen, z. B. Größe, Gewicht, Greifraum etc. Hier sind entsprechend anpassbare Arbeitsmittel bzw. Arbeitsplätze hilfreich.

Techniken der Industrie 4.0 können genau hier ansetzen. Erweiterte Realität (Augmented Reality) eröffnet neue Möglichkeiten der sinnlichen Wahrnehmung. Mit AR-Interfaces wird es zum Beispiel möglich, in Dinge (z. B. Maschinen) „hineinzusehen“ oder Aspekte der Welt zu sehen, die man in der Realität gar nicht sehen kann (z. B. Temperaturverläufe, vgl. Abbildung 3). Dadurch erweitert

Mit den folgenden Fragen können Sie herausfinden, ob und wie hinsichtlich der Ausführbarkeit von Tätigkeiten etwas verbessert werden kann bzw. muss:

Gibt es in Ihrem Unternehmen Überwachungstätigkeiten (z. B. Leitwarten), die eine dauerhafte Aufmerksamkeit für visuelle und/oder akustische Signale erfordern, und bei denen tatsächlich selten „etwas passiert“, also selten Signale auftauchen, die Handlungen erforderlich machen?

Gibt es Arbeitsplätze, an denen viele verschiedene Signale gleichzeitig beobachtet und integriert werden müssen, um handlungsfähig zu sein?

Gibt es Arbeitsplätze, bei denen schwache, unscharfe oder aus anderen Gründen schwierig zu entdeckende Signale vom Menschen verarbeitet werden müssen? Gibt es Arbeitsplätze, die auf die körperlichen Eigenschaften (eines Teils der) Beschäftigten nicht gut angepasst sind (z. B. Größe, Gewicht, Kraft, Greifraum, etc.)?

Mögliche Lösungsansätze sind die Folgenden:

Überwachungstätigkeiten teilautomatisieren, um Monotonie zu senken. Dabei aber darauf achten, dass sich der Nutzer ständig ein vollständiges und aktuelles Bild vom Zustand des Systems machen kann.

Die Möglichkeiten der Industrie 4.0 ausnutzen: Intelligente Sensorik, Datenanalyse, -integration und visualisierung, Augmented Reality

sich das Spektrum von Arbeitsaufgaben, die für den Menschen sicher ausführbar sind. Im Falle des oben angesprochenen Leitwarten-Mitarbeiters könnte eine solche integrierte Datenvisualisierung erheblich dazu beitragen, die Situation schnell analysieren und schnell handeln zu können.

Die nächste Bewertungsebene bezieht sich auf die Schädigungslosigkeit. Schädigungslos ist eine Arbeit dann, wenn man sie auch über lange Zeit ausüben kann, ohne mit hoher Wahrscheinlichkeit Schäden an Gesundheit und körperlicher Unversehrtheit befürchten zu müssen. Ein wichtiger Aspekt der Schädigungslosigkeit ist die Vermeidung von Unfällen, idealerweise durch inhärent – aufgrund ihrer inneren Funktionsweise – sicheren Arbeitssystemen.

Ein besonders prägnantes Beispiel für hohe Anforderungen an die Unfallverhütung sind kollaborative Mensch-Roboter-Systeme. Während früher und meistens auch noch heute Menschen und Roboter durch Schutzzäune voneinander getrennt sind (Abbildung 4), werden in Zukunft Menschen und Roboter zunehmend nebeneinander und zusammen arbeiten.

Abbildung 4 zeigt das im Projekt InSA erarbeitete Konzept für sichere Mensch-Roboter-Kollaboration. Um den Menschen herum wird eine virtuelle Schutzzone gebildet. Durch Sensoren in der Kleidung des Mitarbeiters kann das Robotersystem diese Schutzzone anhand der gemessenen Position und Bewegung des Menschen ständig



Abbildung 4: Mensch-Roboter-Kooperation mit dem INSA-Sicherheitskonzept (Quelle: www.insa-projekt.de)

aktualisieren und diesen auch dann nicht gefährden, wenn er den Sicherheitskäfig betritt. Besonders sinnvoll ist hierbei, dass der Mensch durch die Sicherheitstechnik in keiner Weise in seiner Handlungs- und Bewegungsfreiheit eingeschränkt wird. Dies wird die Akzeptanz der Sicherheitstechnik unterstützen und wenig Anlass geben, die Sicherheitsvorkehrungen zu manipulieren oder zu umgehen.

Mit den folgenden Fragen können Sie herausfinden, ob und wie hinsichtlich der Schädigungslosigkeit von Tätigkeiten etwas verbessert werden kann bzw. muss:

Gibt es in Ihrem Unternehmen Arbeitsplätze, an denen gehäuft Unfälle oder Beinahe-Unfälle auftreten? Gibt es Arbeitsplätze, an denen sich chronische Erkrankungen häufen?

Mögliche Lösungsansätze können sein:

Alle Tätigkeiten automatisieren, die schädliche Faktoren mit sich bringen, z. B. Arbeitsumweltfaktoren wie Staub, extreme Temperaturen, Gase, Strahlung etc.

Die Möglichkeiten von Industrie 4.0 ausnutzen durch intelligente, sensorbasierte Sicherheitskonzepte (wie im Beispiel InSA).

Das nächsthöhere Bewertungskriterium ist die Beeinträchtigungsfreiheit. Beeinträchtigungsfreie Arbeitstätigkeiten führen – auch über längere Zeit – nicht zu physischen oder psychischen Fehlbeanspruchungen. Fehlbeanspruchungen können sowohl durch Überbeanspruchung (z. B. zu starke Beanspruchung der Rückenmuskulatur) wie durch Unterbeanspruchung (z. B. Monotonie und Langeweile) entstehen.

Auch in der Vergangenheit bestanden positive Auswirkungen der Automatisierung oftmals darin, körperlich anstrengende Tätigkeiten zu ersetzen oder zu erleichtern.

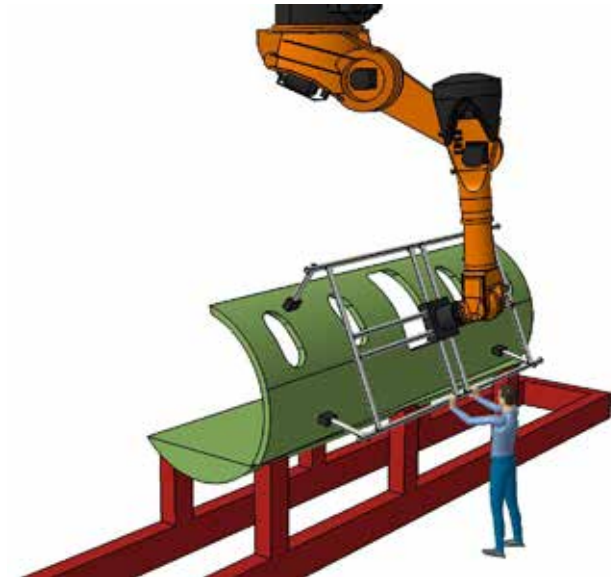


Abbildung 5: Konzept eines kraftgesteuerten Montageroboters aus dem Projekt Jilas (<http://www.echord.info/wikis/website/jilas>)

Ein im Hinblick auf die Beeinträchtigungsfreiheit besonders interessantes Automatisierungskonzept zeigt Abbildung 5. In der Montage eines Flugzeugs wird der Montagewerker durch einen kraftgesteuerten Roboter unterstützt. Der Roboter kann automatisch die Bauteile positionieren, er kann aber durch den Menschen so gesteuert werden, dass der Mensch das Bauteil greift und eine Kraft darauf ausübt; diese Kraft wird vom Roboter proportional verstärkt. Der Montagewerker kann also, wenn nötig oder gewünscht, selbst ‚Hand anlegen‘, ohne dabei eine Überbeanspruchung befürchten zu müssen.

Das letzte und hierarchisch „höchste“ Bewertungskriterium ist die Persönlichkeitsförderlichkeit. Hier geht es um Möglichkeiten der Entwicklung von Kenntnissen und Fähigkeiten, aber auch Haltungen und Wertmaßstäben, um Lernen und Kreativität. Die Persönlichkeitsförderlichkeit einer Arbeit wird im Wesentlichen nicht technisch geprägt, sondern durch die Arbeitsorganisation, die Verteilung und Kombination von Aufgaben (vgl. dazu auch 6.2, S. 14). Nichtsdestoweniger können technische Innovationen Möglichkeiten eröffnen für neue Formen der Arbeitsorganisation, und damit auch neue Voraussetzungen für Persönlichkeitsförderlichkeit von Arbeitstätigkeiten.

In diesem Zusammenhang wären tutorielle Assistenzsysteme abzugrenzen von teilautomatischen Assistenzsystemen: Tutorielle Assistenzsysteme helfen den Menschen zu lernen, ihre Arbeit besser zu machen. Teilautomatische Assistenzsysteme hingegen sorgen dafür, dass der Mensch bestimmte Dinge nicht (mehr) können muss.

Mit den folgenden Fragen können Sie herausfinden, ob und wie hinsichtlich der Beeinträchtigungsfreiheit von Tätigkeiten etwas verbessert werden kann bzw. muss:

Gibt es in Ihrem Unternehmen Arbeitsplätze, an denen Mitarbeiter häufig über Fehlbeanspruchung oder Beeinträchtigungen ihrer körperlichen und/oder psychischen Wohlbefindens klagen?

Gibt es Arbeitsplätze, an denen Mitarbeiter häufig vorübergehende Leistungsminderungen erfahren, z. B. durch vorübergehende Erschöpfung?

Mögliche Lösungsansätze können sein:

Assistenzsysteme einsetzen, die die körperlichen oder psychischen Fehlbeanspruchungen ausgleichen.

(Teil-)Automatisierung der fehlbeanspruchenden Tätigkeiten. Ein Beispiel dafür ist Mensch-Roboter-Kooperation, bei der der Roboter die körperlich übermäßig anstrengenden Tätigkeiten übernimmt.

Mit den folgenden Fragen können Sie herausfinden, ob und wie hinsichtlich der Persönlichkeitsförderlichkeit von Tätigkeiten etwas verbessert werden kann bzw. muss:

Gibt es in Ihrem Unternehmen Arbeitsplätze, an denen selbstständiges, problemlösendes und schöpferisches Arbeiten (praktisch) gar nicht vorkommt?

Gibt es Arbeitsplätze, an denen (praktisch) keine Lernaktivitäten notwendig sind?

Mögliche Lösungsansätze können sein:

Die Lösungen zur Förderung von Persönlichkeitsförderlichkeit sind ganz wesentlich nicht-technischer Natur: Im Mittelpunkt stehen hier arbeitsorganisatorische Fragen, wie etwa die Einführung lernförderlicher Organisationsformen mit vollständigen Tätigkeiten (vgl. Kapitel 4.2)

Ergänzend zu solchen lernförderlichen Organisationsformen können tutorielle Assistenzsysteme eingesetzt werden, die das Lernen im Prozess der Arbeit unterstützen (z. B. durch ergänzende Informationen oder Rückmeldungen).

Mit dieser Diskussion der Persönlichkeitsförderlichkeit ist die Diskussion über Kriterien der Arbeitsgestaltung abgeschlossen. Im folgenden Kapitel wird es um Prinzipien der Neugestaltung von Arbeitssystemen und -prozessen gehen.

4.2 Neugestaltung von Arbeitssystemen und -prozessen

Im vorigen Kapitel wurden Kriterien vorgestellt, nach denen Arbeitsprozesse und -systeme bewertet werden

können. Aus dieser Bewertung ergibt sich oftmals auch Verbesserungsbedarf; es wurden in diesem Sinne auch Möglichkeiten der Techniken der Industrie 4.0 dargestellt, die zu solchen Verbesserungen beitragen.

Wenn nun allerdings Arbeitssysteme völlig neu gestaltet werden sollen, bietet sich ein anderes Vorgehen an (Hacker 1987, Abbildung 6). Während die Bewertung und schrittweise Verbesserung „von unten nach oben“ fortschreitet, ist für Neugestaltungen die umgekehrte Vorgehensweise „von oben nach unten“ angemessener.

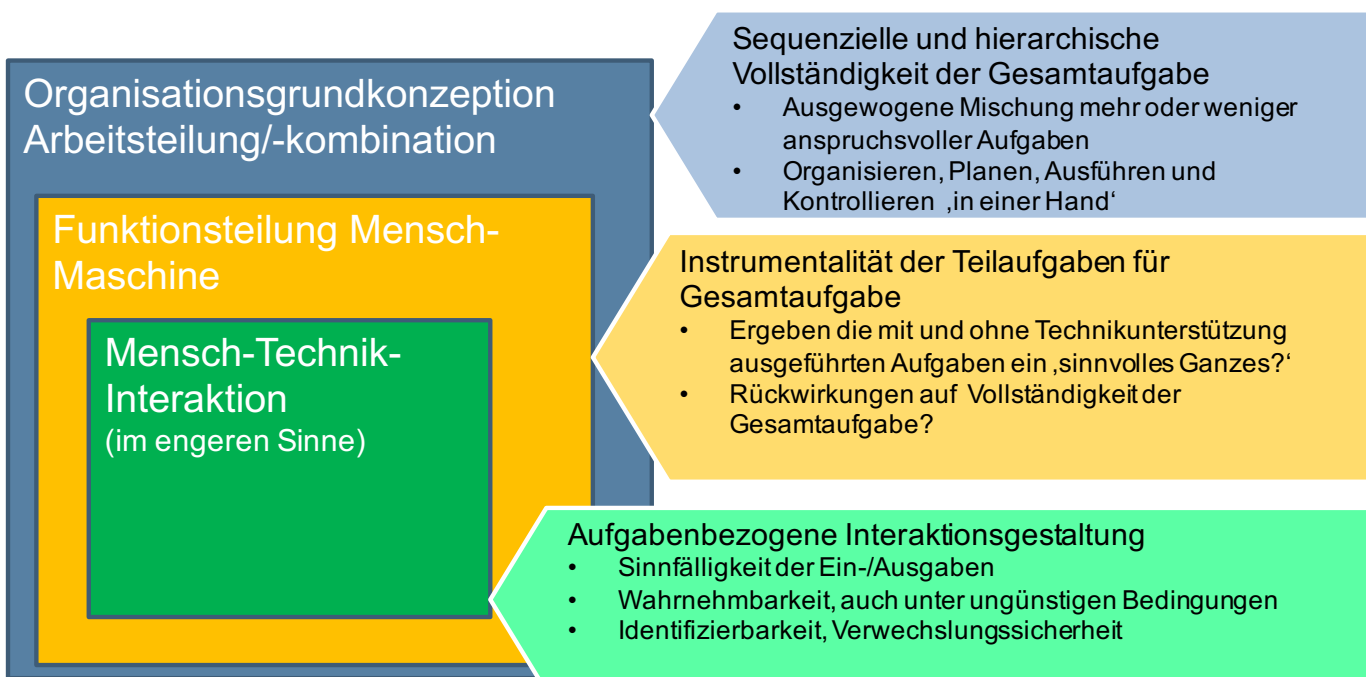


Abbildung 6: Hierarchie der Gestaltungsebenen (nach Hacker, 1987).

Hier stehen also Fragen der Arbeitsorganisation in Bezug auf die Persönlichkeitsförderlichkeit ganz am Anfang, die im Verlauf „von unten nach oben“ erst ganz am Schluss betrachtet werden. Dies begründet sich durch zwei Überlegungen:

- Entscheidungen auf hierarchisch höherer Ebene im Sinne von Abbildung 6 – insbesondere arbeitsorganisatorische Entscheidungen – haben einen höheren Einfluss auf die Qualität der Arbeit als Entscheidungen auf hierarchisch niedrigerer Ebene – z. B. hinsichtlich der Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion. Eine inhaltlich monotone und anregungsarme Arbeitssituation kann nicht durch eine hervorragende Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion kompensiert werden.
- Entscheidungen auf hierarchisch höherer Ebene bestimmen über die Wirksamkeit von Entscheidungen auf hierarchisch tieferer Ebene. So wird etwa eine adaptierbare Mensch-Technik-Schnittstelle nur dann eine positive Wirkung haben, wenn solche Anpassungen an unterschiedliche Personen oder Aufgaben überhaupt notwendig sind angesichts der Komplexität der Aufgaben, bzw. des Mangels daran.

Entscheidend für Leistungs- und Entwicklungsfähigkeit, Wohlbefinden und Gesundheit arbeitender Menschen sind vorrangig die Aufgabenstrukturen, also die Arbeitsinhalte und deren Verteilung und Kombination zwischen Arbeitsplätzen bzw. Menschen. Dies betrifft im Kern Fragen der Arbeitsorganisation, der Arbeitsteilung Mensch-Mensch. Günstig gestaltete Aufgabenstrukturen zeichnen sich u. a. dadurch aus, dass planende, organisierende, durchführende und kontrollierende Tätigkeiten an einem Arbeitsplatz integriert sind, und dass ein angemessenes Verhältnis zwischen anspruchsarmen Routineaufgaben und anspruchsvolleren, z. B. problemlösenden Aufgaben besteht (vollständige Tätigkeiten). Vollständige Tätigkeiten erfüllen das oben besprochene Kriterium der Persönlichkeitsförderlichkeit. Diese Aspekte der Arbeitsorganisation sind nicht völlig unabhängig von technischen Konzepten zu betrachten. So werden bestimmte organisatorische Lösungen durch technische Voraussetzungen mehr oder

weniger ermöglicht. Beispielsweise ist ein arbeitsorganisatorisches Konzept hochintegrierter Fertigungszellen in der mechanischen Fertigung nur dann in vollem Umfang umsetzbar, wenn kompakte Härteöfen für die dezentrale Nutzung zur Verfügung stehen und es so möglich machen, mechanische Bearbeitungsschritte vor und nach dem Härten in einer Zelle zu integrieren.

Ein logisch folgender Gestaltungsaspekt betrifft die Arbeitsteilung Mensch-Maschine. Ein typischer Fehler der Gestaltung automatisierter Systeme besteht darin, zunächst alle Arbeitsschritte zu automatisieren, bei denen dies technisch und wirtschaftlich als machbar erscheint. Die verbleibenden „Automatisierungslücken“ definieren dann die menschlichen Aufgaben. Eine solche Aufgabenstruktur wird aber in der Regel nicht den oben genannten Kriterien einer vollständigen Tätigkeit entsprechen.

Schließlich stellen sich Fragen der Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion im engeren Sinne: Welche Interaktionsformen gibt es (z. B. menügesteuert über Tastatur, direkte Manipulation auf Touchscreen, gestenbasiert, natürliche Sprache.)? Wie stehen diese Interaktionsformen in Beziehungen zu Erwartungen und Vorstellungen der Nutzer? Wie können die Nutzer die Interaktionsformen ihren Vorlieben oder auch den Anforderungen unterschiedlicher Aufgaben anpassen? Hierzu bestehen Regelwerke, wie etwa die DIN EN ISO 9241-110.

Abbildung 6 fasst diese Überlegungen als Hierarchie dreier Gestaltungsgegenstände – Organisation, Mensch-Maschine-Funktionsteilung und Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion im engeren Sinne – zusammen.

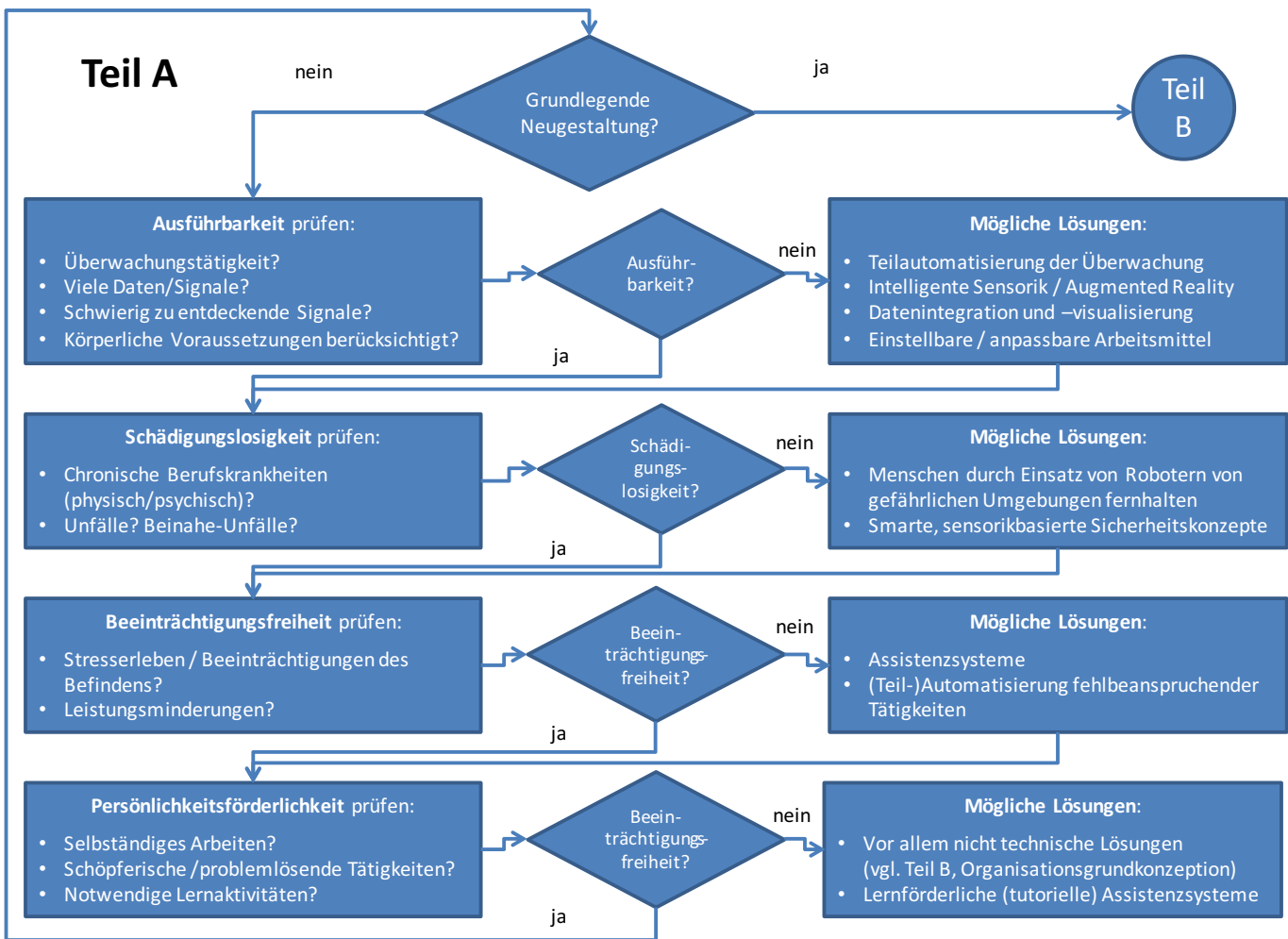


Abbildung 7: Ablaufplan zur Arbeitsgestaltung Teil A (kontinuierliche Verbesserung bestehender Arbeitssysteme).

4.3 Ablaufplan zum Vorgehen

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 7, Abbildung 8) fassen die einzelnen Schritte zur Gestaltung von Arbeitsplätzen in Industrie 4.0 zusammen.

Dabei zeigt Abbildung 7 zunächst das Vorgehen für die kontinuierliche Verbesserung bestehender Arbeitssysteme (vgl. Kapitel 4.1, S. 10). Für die Prüfung der einzelnen Kriterien (Ausführbarkeit bis Persönlichkeitsförderlichkeit) sind unterschiedliche Informationen erforderlich (linke

Seite von Abbildung 7). Einige dieser Informationen müssen aufgrund gesetzlicher Vorschriften ohnehin gemeldet werden (z. B. gravierende Arbeitsunfälle, Berufskrankheiten). Andere Informationen werden nur vorliegen, wenn sie einigermaßen systematisch erhoben werden (z. B. Beinahe-Unfälle, Daten zur Arbeitszufriedenheit/zur subjektiven Wahrnehmung der Arbeitssituation). Je nach betrieblicher Situation muss hier ein Kompromiss zwischen Breite, Genauigkeit und Aktualität der Informationen einerseits und dem dafür notwendigen Aufwand andererseits gefunden werden.⁵

⁵ Eine systematische Behandlung aller relevanten Informationen und Methoden ihrer Erhebung würde den Rahmen dieses Leitfadens sprengen. Eine Übersicht über relevante Faktoren findet sich z. B. hier: <http://www.gefahrdungsbeurteilung.de/de> bzw. hier: http://www.baua.de/de/ Publikationen/ Fachbuchreihe/ Gefaehrdungsbeurteilung.pdf?__blob=publicationFile&v=37

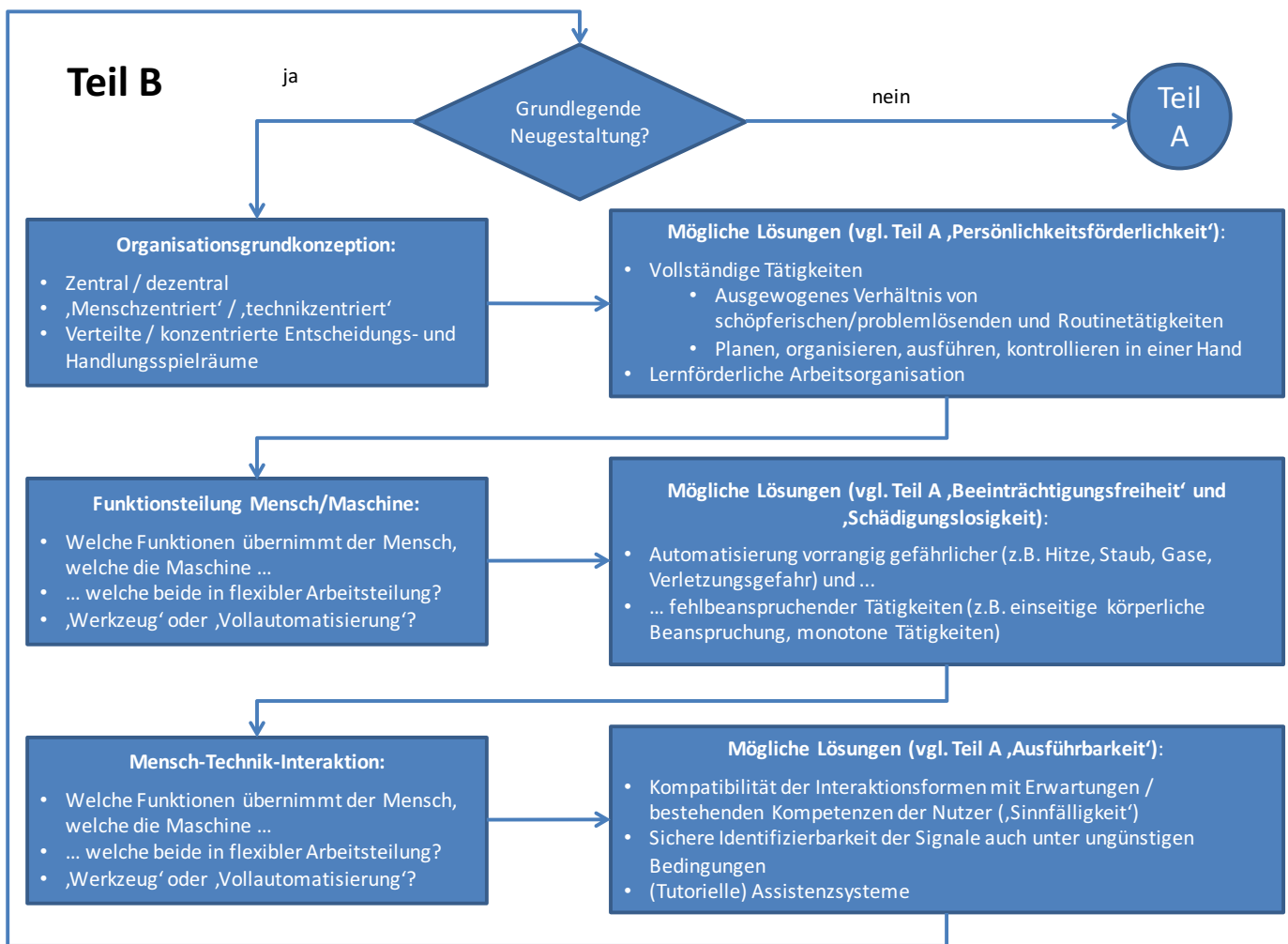


Abbildung 8: Ablaufplan zur Arbeitsgestaltung Teil B (grundlegende Neugestaltung von Arbeitssystemen)

Abbildung 8 zeigt die Schritte bei einer grundlegenden Neugestaltung von Arbeitssystemen (vgl. Kapitel 4.2, S. 14). Es wird deutlich, dass ganz ähnliche Aspekte auftauchen (rechter Teil von Abbildung 8) wie bei der kontinuierlichen Verbesserung bestehender Arbeitssysteme, allerdings in umgekehrter Reihenfolge (von der Persönlichkeitsförderlichkeit zur statt von der Ausführbarkeit zur Persönlichkeitsförderlichkeit).

5 Hintergrund

5.1 Arbeitsgestaltung und unternehmerische Innovationsfähigkeit

Im Zuge der Digitalisierung lassen sich aktuell zwei technologische Trends erkennen. Algorithmen, Maschinen, Roboter, IT-Systeme werden einerseits immer intelligenter und universeller einsetzbar. Andererseits lassen sich viele hochkomplexe technische Systeme immer leichter bedienen. Aus diesen beiden Entwicklungen ergibt sich das bisher nie dagewesene Potenzial, Arbeit völlig neu zu gestalten.

Prinzipiell lässt sich das Gestaltungsspektrum digitaler Arbeit anhand von zwei Extremszenarien umreißen. Im sogenannten Werkzeugszenario initiieren und liefern digitale Technologien bzw. vernetzte Objekte Informationen für Entscheidungen, die von den Beschäftigten oder in Gruppen getroffen werden. Damit werden digitale Technologien entscheidungsfördernd, also als Werkzeuge genutzt. Elementare Grundlage für koordinative Entscheidungen ist die Erfahrung der Beschäftigten. Hingegen ist das Automatisierungsszenario dadurch gekennzeichnet, dass Kontroll- und Steuerungsaufgaben von der Technik übernommen werden. Die Beschäftigten werden dabei durch die Technik „gelenkt“ und sind vorrangig für ausführende Tätigkeiten und die Fehlerbehebung zuständig. Die Technik entscheidet also weitestgehend selbstständig. Das vorhandene Erfahrungswissen der Beschäftigten wird in Wissensmanagementsysteme überführt, damit zwar systematisiert und zentral abrufbar, auf operativer Ebene jedoch zunehmend unwichtiger (Hirsch-Kreinsen 2015).

Die tatsächliche Arbeitsgestaltung bewegt sich zumeist zwischen diesen beiden Polen. So lassen sich viele Mischformen der beiden Szenarien finden: Eine Technologie, wie beispielsweise die Datenbrille, kann sowohl dazu dienen, den Menschen in seinen Entscheidungen durch das Aufbereiten notwendiger Informationen zu unterstützen (Werkzeugszenario) als ihn auch mit detaillierten Ausführungsbefehlen zu lenken (Automatisierungsszenario).

Die Verortung innerhalb dieses Spektrums hat Konsequenzen sowohl für die Wettbewerbs- als auch die Innovationsfähigkeit.

Unternehmen können ihre Wettbewerbsfähigkeit prinzipiell auf zwei Wegen erhöhen: durch eine Reduzierung der Arbeitskosten im Vergleich zur Wertschöpfung oder durch innovative Lösungen und Produkte, die sich durch ein hohes Alleinstellungsmerkmal auszeichnen und um Markt erfolgreich sind. Ersteres kann entweder durch geringere Lohnkosten oder durch eine stärkere Automatisierung erreicht werden. Der Erfolg der deutschen Wirtschaft beruht allerdings insbesondere auf der Innovationsfähigkeit der Unternehmen.

Für die Innovationsfähigkeit sind Humankapital, Beziehungskapital und Strukturkapital von Bedeutung (Hartmann 2015). Humankapital bezieht sich dabei auf Wissen und Erfahrung der Beschäftigten, Beziehungskapital auf Wissensaustausch und -erzeugung in Kooperationsnetzwerken zwischen Unternehmen, Bildungs- und Forschungseinrichtungen, Intermediären und weiteren Partnern und Strukturkapital auf lern- und innovationsförderliche Unternehmensstrukturen.

Beim Strukturkapital, und speziell für die Lernförderlichkeit⁶ von Arbeitsplätzen, sind zwei wichtige Aspekte zu unterscheiden. In der Aufgabenkomplexität spiegelt sich wider, inwieweit unterschiedliche und anspruchsvolle Kompetenzen in der Arbeit einerseits erforderlich sind und andererseits dadurch immer wieder Notwendigkeiten und Chancen des Lernens entstehen. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Lernförderlichkeit neben der Aufgabenkomplexität ist die Möglichkeit der Partizipation, also der Mitwirkung an der Gestaltung der eigenen Arbeit, und damit zusammenhängend die Handlungsspielräume in

⁶ Unter Lernförderlichkeit wird verstanden, dass der zur Beherrschung einer Aufgabe oder technischen Komponente benötigte Lernaufwand vom Benutzer bewältigt werden kann und einmal gelernte Bedienungsstrategien nicht wieder schnell aus dem Gedächtnis verschwinden.

Unterteilung der Hauptsäule "Strukturkapital": Vergleich Deutschland und EU-Durchschnitt

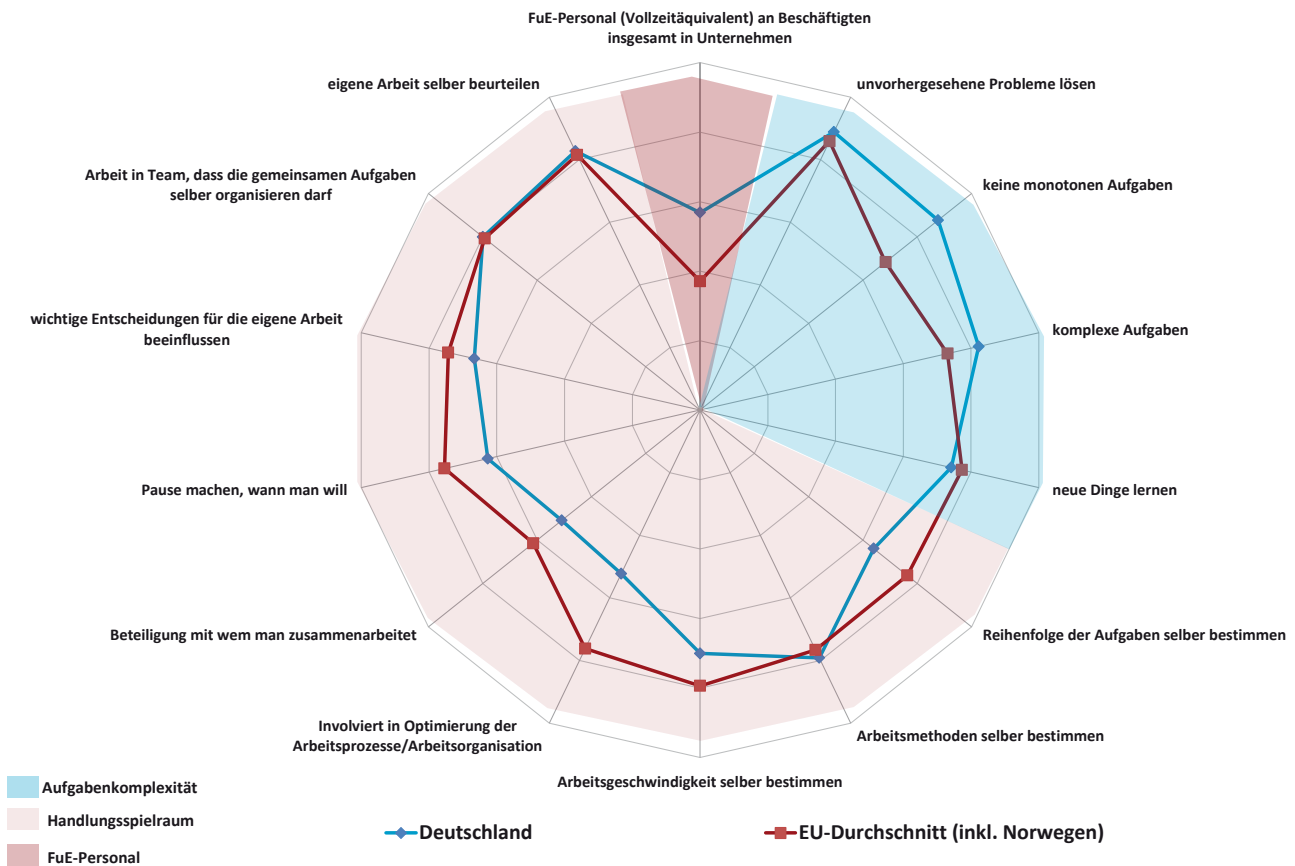


Abbildung 9: Aufgabenkomplexität und Handlungsspielräume als Merkmale des Strukturkapitals anhand des iit-Innovationsfähigkeitsindikators. Bei einer umfassenden Ausprägung der Einzelmerkmale sind sowohl die Bedingungen für „Gute Arbeit“ wie auch für Lernförderlichkeit und Innovationsfähigkeit erfüllt.

der Arbeit. Abbildung 9 stellt die Einzelkomponenten dar, mit denen sowohl die Aufgabenkomplexität als auch die Mitwirkung an der Gestaltung der Arbeit ermittelt werden kann.

Partizipationsmöglichkeiten und Handlungsspielräume sind in Deutschland vergleichsweise unterdurchschnittlich entwickelt. Die Aufgabenkomplexität ist allerdings dagegen stark ausgeprägt. Dafür lassen sich mehrere Ursachen finden. Zunächst erfordern Entwicklung, Herstellung, Vertrieb und Wartung hochspezialisierter und komplexer Industrieprodukte (z. B. Maschinen und Anlagen) auch entsprechend komplexe Aufgabenstrukturen. Weiterhin trägt auch das im internationalen Vergleich hohe Niveau der beruflichen Bildung dazu bei, dass solche anspruchsvollen Aufgabenstrukturen möglich sind und entsprechend realisiert werden. Dies ist eine Stärke der deutschen Wirtschafts- und Bildungsstrukturen, insbesondere in der Industrie.

Die hohe Aufgabenkomplexität trägt damit direkt zur Innovationsfähigkeit der deutschen Wirtschaft bei

(CEDEFOP, 2012). Werden digitale Technologien zukünftig verstärkt im Sinne des Automatisierungsszenarios eingesetzt, droht eine Verringerung der Aufgabenkomplexität, da dies vom Strukturkapital, also den Menschen, in die Technik abwandert. Dem kann durch den Einsatz neuer digitaler Assistenzsysteme mit tutoriellen Funktionen im Sinne des Werkzeugszenarios entgegengewirkt werden, welche dazu beitragen, Arbeits- und Lernprozesse miteinander zu verschmelzen (BMAS 2016). Damit kann die Aufgabenkomplexität auf einem hohem Niveau gehalten werden. Zugleich könnte sich dadurch ein gleichmäßiger, egalitärer Zugang zu Wissen etablieren – eine „Demokratisierung des Wissens“. Damit können also auch größere Entscheidungs- und Handlungsspielräume als bisher erreicht werden.

Ein Einsatz digitaler Technologien im Sinne des Automatisierungsszenarios birgt zwar ein hohes Potenzial für eine Produktivitätserhöhung, wird dabei jedoch nicht der für Deutschland prägenden hohen ökonomischen Komplexität (Hausmann 2013) und den damit verbundenen Produkten gerecht. Die Erzeugung komplexer und

systemischer Produkte erfordert eine andere Produktionsgestaltung als die Herstellung einfacher Produkte oder Halbzeuge. Neue digitalisierte Arbeits- und Aufgabenstrukturen haben das Potenzial, den Erhalt der Aufgabenkomplexität zu sichern und den Ausbau partizipativer Arbeitselemente zu fördern und somit die Innovationsfähigkeit der Unternehmen auszubauen (BMAS 2016).

Handlungsempfehlungen

- Sorgen Sie dafür, dass Strukturen und Prozesse im Unternehmen Voraussetzungen für ein innovationsfreundliches Klima erfüllen. Das sogenannte Strukturkapital ist die Grundlage für ihre Mitarbeiter, produktiv und selbst innovativ zu sein.
- Geben Sie Ihren Mitarbeitern Handlungsspielräume und Partizipationsmöglichkeiten.
- Strukturkapital wird maßgeblich von der betrieblichen Arbeitsorganisation bestimmt und von der Komplexität der Aufgaben beeinflusst. Steigern Sie die Handlungsspielräume und Partizipationsmöglichkeiten Ihrer Mitarbeiter, indem Sie digitale Technologien als Werkzeuge einsetzen. Dies bietet sich vor allem bei hoher Aufgabenkomplexität an und steigert die unternehmerische Innovationsfähigkeit.
- Bedenken Sie beim Einsatz digitaler Technologien im Sinne des Automatisierungsszenarios, dass dies die Produktivität zwar erhöhen, das Strukturkapital allerdings schwächen sowie die Aufgabenkomplexität und die Handlungsspielräume einschränken kann. Schaffen Sie in Ihrem Unternehmen ein Bewusstsein dafür, in welchen Bereichen und aus welchen Gründen digitale Technologien im Sinne eines Werkzeugs- oder im Sinne eines Automatisierungsszenarios eingesetzt werden sollen.

5.2 Neue Qualifikationsanforderungen

Es ist unstrittig, dass sich im Zuge der Digitalisierung sowohl die Aufgaben- und Anforderungsprofile als auch die Qualifikationsanforderungen vieler Berufe signifikant ändern werden. Unklar ist nur, wie diese Veränderungen genau aussehen werden (Ahrens und Spöttl 2015). Sie hängen von den Organisationsszenarien, den technologischen Möglichkeiten und einzelnen betrieblichen Entwicklungspfaden ab. Erste Versuche der Einordnung und Definition kommen zu den Erkenntnissen Erkenntnissen (Weiland 2013) Neu hinzukommen werden:

- Ein generelles Verständnis für Maschineninteraktionen.
- Allgemeine interdisziplinäre Methodenkenntnisse.
- Grundlegende statistische Kenntnisse insbesondere für die Datenanalyse und -interpretation.

Der aktuelle Stand der Literatur lässt sich damit zusammenfassen, dass es derzeit keinen einfachen Weg gibt, um neue Qualifikationserfordernisse abzuleiten, insbesondere nicht für ein so dynamisches Feld wie Industrie 4.0 oder die Digitalisierung der Wirtschaft.

Betrachtet man nun die Perspektiven zur Qualifikationsentwicklung, unabhängig von den Technologieentwicklungen, erst einmal vor dem Hintergrund möglicher Szenarien der Arbeitsorganisation, dann kristallisieren sich unterschiedliche Pfade heraus, die von zwei gegensätzlichen Extremen begrenzt werden (Abbildung 10, unten) (Lüdtke 2015; Hirsch-Kreinsen et al. 2015):

- Auf der einen Seite kann mit einer Aufwertung von Qualifikationen gerechnet werden. „Diese Entwicklungsperspektive entspricht ein arbeitsorganisatorisches Muster, das sich durch ein hohes Maß an struktureller Offenheit, eine sehr begrenzte Arbeitsteilung und hohe Flexibilität auszeichnet. [...] Dieses Organisationsmuster ist durch eine lockere Vernetzung qualifizierter und gleichberechtigt agierender Beschäftigter gekennzeichnet“ (Hirsch-Kreinsen et al. 2015). In der Regel wird in einem solchem Szenario jedoch verstärkt ein theoretisches Prozessverständnis gefordert sein, ebenso wie die

Fähigkeit, vorhandene Informationen richtig zu nutzen (Lüdtke 2015). Es wäre also zu diskutieren, bis zu welchem existierenden Qualifikationsniveau eine Gleichberechtigung der Beschäftigten realisierbar ist. Sicher ist, dass dabei eine weitestgehend Substituierung von Einfacharbeit stattfinden muss und wird.

- Auf der anderen Seite steht ein Organisationsszenario, das mit einer Polarisierung von Qualifikationen einhergehen würde. „Damit entsteht auf betrieblicher Ebene tendenziell eine ausdifferenzierte Tätigkeitsstruktur zwischen verbliebenen und nicht automatisierbaren einfachen Tätigkeiten [...] und anspruchsvollen, qualifizierten Tätigkeiten“ (Hirsch-Kreinsen et al. 2015). Die Hauptgefahr dieses Extremes besteht in der Erosion mittlerer Qualifikationsebenen und damit einer Dequalifizierung von Facharbeit (Kinkel et al. 2008). Es ist derzeit nicht abschätzbar, inwieweit eine solche Erosion die zukünftige Innovationsfähigkeit von Unternehmen in bestimmten Bereichen reduziert.

Die tatsächliche Entwicklung wird sich zwischen diesen beiden Polen abspielen. So kann es nicht nur zwischen Branchen oder Unternehmen verschiedene Ausprägungen geben, selbst innerhalb eines Unternehmens können in den verschiedenen Betriebsbereichen ganz unterschiedliche Modelle dieses Spektrums implementiert werden.

Konkrete, zuverlässige Prognosen zur Ausformung zukünftiger Produktionsarbeit lassen sich aktuell nicht finden. Einstimmigkeit herrscht lediglich hinsichtlich zweier zu erwartender Trends. Der industriellen Einfacharbeit (etwa durch Angelernte) werden schlechte Entwicklungschancen zugerechnet. Ihre Rolle wird voraussichtlich in der Besetzung von Rationalisierungsnischen bestehen. Für Hochqualifizierte mit akademischen Abschlüssen bieten sich, unabhängig von den sich zukünftig entfalteten Organisationsszenarien, durchweg sehr gute Entwicklungsperspektiven. Gefordert sind dabei allerdings erhebliche Anstrengungen, um den neuen

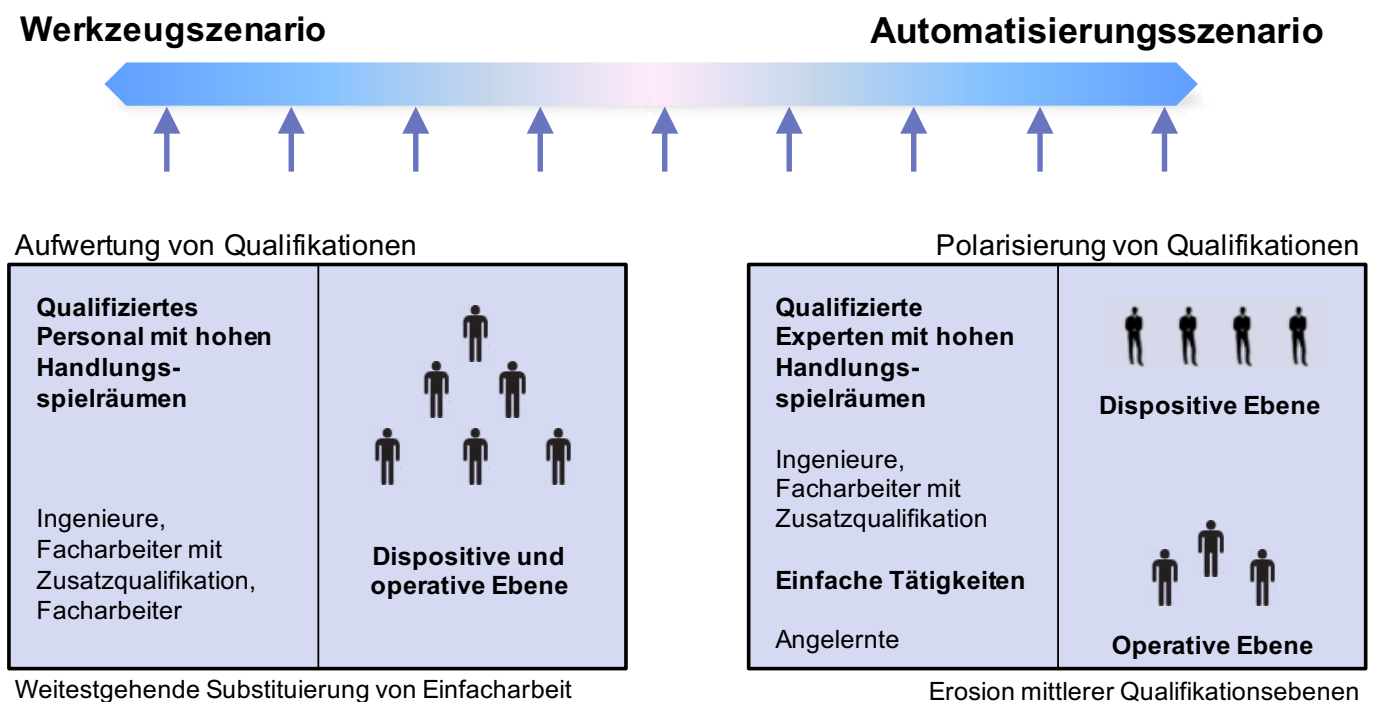


Abbildung 10: Zusammenspiel von Organisations- und Qualifikationsszenarien (Quelle: eigene Darstellung, teilweise modifiziert aus (Hirsch-Kreinsen 2015).

Qualifikationsanforderungen und gesteigerten Flexibilitätsansprüchen gerecht zu werden (Ittermann und Niehaus 2015).

Insbesondere in hochtechnisierten Betrieben (bspw. Automobilbau) findet sich schon heute eine klare Qualifikationspolarisierung. Diese könnte sich mittelfristig weiter verstärken. Denn viele Betriebe vermeiden „neben den ohnehin aufwendigen technologischen Innovationen der Digitalisierung in diesem Fall risikoreiche und mit Ungewissheit behaftete organisatorische Innovationen“ (Hirsch-Kreinsen et al. 2015).

Angesichts der oben angerissenen Diskussion lässt sich die These ableiten, dass die Organisationsszenarien durchaus mit den Qualifikationsszenarien gekoppelt sind (Abbildung 10). Es ist davon auszugehen, dass das eine Ende des Spektrums, nämlich der Einsatz von neuen Technologien als Werkzeuge, eine Aufwertung von Qualifikationen fördert, während das andere Ende, die Erreichung eines möglichst hohen Automatisierungsgrades, eine Polarisierung von Qualifikationen verstärkt.

Die skizzierten Zusammenhänge erlauben auf der aktuellen Wissensbasis keine eindeutige Abschätzung über die Folgen der Digitalisierung für die Arbeit. Welche Arbeitsorganisationsformen sich durchsetzen werden, wird sehr stark von unternehmerischen Entscheidungsprozessen abhängen (Kärcher 2015). Diese Wahlfreiheit ermöglicht große Gestaltungsfreiräume. Es sollte jedoch bedacht werden, dass der Einsatz digitaler Technologien entweder als unterstützendes Werkzeug oder als reine Automatisierungsmöglichkeit, diese Wahlfreiheit unter Umständen von vorneherein einschränken kann. Für die einzelnen Unternehmen kann es also sinnvoll sein, sich zuerst auf die gewünschten arbeitsorganisatorischen Gestaltungsziele und Qualifikationsentwicklungen zu konzentrieren und erst in einem nächsten Schritt die entsprechenden Technologien auszuwählen und zum Einsatz zu bringen.

Handlungsempfehlungen

- Nehmen Sie sich vor der Entscheidung für zukünftige Qualifikationsanforderungen und Qualifizierungsmaßnahmen Ihrer Mitarbeiter Zeit für eine Bestandsaufnahme. Erstellen Sie Fallbeispiele aus der betrieblichen Praxis, um sich die Ist-Situation vor Augen zu führen. Bevor Schlussfolgerungen über ganz konkrete zukünftige Qualifizierungsmaßnahmen abgeleitet werden können, muss eine sehr spezielle Betrachtung vorgenommen werden, idealerweise begleitet von der Erstellung von Fallbeispielen aus der betrieblichen Praxis.
- Nutzen Sie digitale Technologien in Ihrem Unternehmen im Sinne eines unterstützenden Werkzeugs, um die Qualifikationen Ihrer Mitarbeiter aufzuwerten. Insbesondere vor dem Hintergrund immer schnellerer technologischer Veränderungen bietet dies für Unternehmen eine gute Möglichkeit, schnell auf neue Mitarbeiteranforderungen zu reagieren.

6 Praxisorientierte Beispiele aus den geförderten Projekten des Technologieprogramms AUTONOMIK für Industrie 4.0

6.1 ReApp – Wiederverwendbare Roboterapplikationen für flexible Roboteranlagen

Ziel des Projekts ReApp war es, den Entwicklungsprozess von Roboteranlagen durch die Nutzung von wiederverwendbaren Softwarebausteinen deutlich effizienter zu machen. ReApp entwickelte Werkzeuge und Modelle für die Erstellung wiederverwendbarer Softwarebausteine – beispielsweise Roboter-Appse für die Erkennung und das Greifen von Werkstücken bis hin zur automatisierten Ausführung von kompletten Prozessabläufen.

Mit ReApp wurde die Programmierung und Einrichtung von roboterbasierte Automatisierungslösungen deutlich vereinfacht und kann in Zukunft zunehmend vom Endanwender direkt durchgeführt werden. Diese Automatisierungssysteme werden Auswirkungen auf die Personalstruktur in Anwenderunternehmen haben. ReAPP zeigt zwei Richtungen auf: Den zusätzlichen Bedarf an speziell qualifizierten Fachkräften insbesondere für die Roboterprogrammierung. Zum anderen – am Beispiel einer roboterbasierten Lötstation - den Ersatz von hochqualifizierten Fachkräften durch gering qualifizierte „Roboterbediener“

Bezüge zur Innovationsfähigkeit und den Qualifikationsanforderungen (Kapitel 5)

Der potenziellen Tendenz zur Qualifikationspolarisierung (Programmierer, Roboterbediener), kann dadurch entgegenwirkt werden, dass die Roboterprogrammierung soweit vereinfacht wird, dass auch geringqualifizierte in der Lage sind, individuelle Anpassungen des Roboterhaltens bei wechselnden Aufgaben vornehmen zu können. Damit lässt sich einerseits die Aufgabenkomplexität und gleichzeitig auch die Handlungsspielräume der einzelnen Mitarbeiter erhöhen. Dies liefert einen positiven Beitrag zur Innovationsfähigkeit des jeweiligen Unternehmens.

Bezüge zur Arbeitsgestaltung (Kapitel 4)

Beeinträchtigungsfreiheit: Roboter werden breiter

einsetzbar, dadurch bieten sich mehr Möglichkeiten der körperlichen Entlastung durch Roboter.

Arbeitsteilung Mensch-Maschine: Die Arbeitsteilung Mensch-Maschine kann grundsätzlich flexibler gehandhabt werden.

6.2 MANUSERV – Betriebliche Auswirkungen industrieller Servicerobotik am Beispiel der Kleinteilemontage

Im Projekt MANUSERV wurde eine webbasierte Planungsumgebung entwickelt, mit deren Hilfe dem industriellen Anwender für bestehende Arbeitssysteme konkret implementierbare, (teil-)automatisierte Gestaltungslösungen zum Einsatz von Servicerobotern sowie die entsprechenden Ablauffolgen vorgeschlagen werden. Zur Sicherstellung einer möglichst breiten industriellen Anwendbarkeit wurden das Konzept und dessen softwaretechnische Implementierung anhand von drei realen, manuellen Arbeitsprozessen aus unterschiedlichen Anwendungsgebieten validiert (Installations-/Systemtechnik, Maschinenbau, Landwirtschaft).

Für einen manuellen Montageprozess im Kontext der Elektro-Installationstechnik wurden mögliche Auswirkungen eines solchen hybriden Systems auf betriebliche Rollen untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die Implementierung des Serviceroboters sowohl im produktiven Bereich, insbesondere für Monteure, Meister und Instandhalter, als auch für Planer und Konstrukteure mit deutlichen Auswirkungen die Arbeitsinhalte verbunden sein kann.

Bezüge zur Innovationsfähigkeit und den Qualifikationsanforderungen (Kapitel 5)

Die im Projekt demonstrierte Kooperation eines Serviceroboters kann der Anteil monotoner Aufgaben reduzieren und gleichzeitig eine flexiblere Arbeitsstrukturierung ermöglichen. So ist denkbar, dass der Mitarbeiter sich

manuell auszuführende Arbeitstätigkeiten aktiv aussucht und die übrigen Schritte an das Robotersystem delegiert.

Durch eine breitere Anwendung von Robotern steigen auch die Qualifikationsanforderungen an Meister und Instandhalter, aber auch für Planer und Konstrukteure, was den Einsatz, die Programmierung und Gestaltung der Robotersysteme betrifft. Individuelle Assistenzsysteme, wie sie bspw. im Projekt AppSist entwickelt wurden (s.u.), die an die jeweiligen Bedürfnisse und die individuelle Leistungsdisposition einzelner Mitarbeiter angepasst werden können, können bei der Weiterentwicklung der Fähigkeiten der einzelnen Mitarbeiter unterstützen und damit deren Qualifikationen aufwerten. Dadurch stiegen auch die Aufgabenkomplexität sowie die Handlungsspielräume der Mitarbeiter und würde so einen positiven Beitrag zur Innovationsfähigkeit des jeweiligen Unternehmens liefern.

Bezüge zur Arbeitsgestaltung (Kapitel 4)

Beeinträchtigungsfreiheit: Durch verbesserte Planung wird Servicerobotik besser anpassbar an die Eigenschaften und Belange der Mitarbeiter.

Arbeitsteilung Mensch-Maschine: Die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Roboter wird besser planbar.

6.3 InnoCyFer – Der Mensch in der Interaktion mit autonomen Planungs- und Steuerungssystemen für Cyber-Physische Produktionssysteme

Im Projekt InnoCyFer wurde eine webbasierte Open-Innovation-Plattform entwickelt, auf der Kunden selbständig und ohne spezifische Vorkenntnisse mit Hilfe eines Toolkits Produkte innerhalb der produktionstechnischen Möglichkeiten individuell gestalten können. Highlight des Projekts ist die Planung und Steuerung für eine autonome Fertigung und Montage. Ein dem Verhalten von Ameisen nachempfundener Optimierungsalgorithmus (Scheduler) ermöglicht die autonome Durchführung der Maschinenbelegung der eingehenden Aufträge. Der menschliche Produktionsplaner – nach wie vor Teil der Produktion – interagiert mit dem Scheduler, indem er über die

Planungsvorschläge oder Steuerungsentscheidungen informiert wird und bei Bedarf eingreifen kann. Für Produktionsplaner oder Meister ergeben sich im Gegensatz zur heutigen Produktion starke Veränderungen in ihrer Arbeitsweise.

Einerseits werden sie durch zunehmend selbstständige Systeme in gewissen Tätigkeitsbereichen entlastet, wie z. B. der monotonen, täglich durchzuführenden Einplanung von Aufträgen. Andererseits erhöht sich die Anzahl an komplexen Aufgaben. Dadurch wächst der Bedarf an Lernbereitschaft über Assistenzsysteme oder Weiterbildungsangebote, um mit diesen Anforderungen mithalten zu können. Dazu gehört ein System zur frühzeitigen Ableitung von Qualifikationsmaßnahmen für Mitarbeiter und der mitarbeiterindividuellen Anpassung von Assistenzsystemen und auch ein Ansatz zum Umgang und zur Nutzung großer Datenmengen. Alle der am Produktionsprozess beteiligten Mitarbeiter werden verstärkt interdisziplinär arbeiten müssen, da besonders mit der IT eine enge Zusammenarbeit notwendig ist. Außerdem ist davon auszugehen, dass sich der Bedarf an Meistern zugunsten von IT-Spezialisten verändern wird.

Bezüge zur Innovationsfähigkeit und den Qualifikationsanforderungen (Kapitel 5)

Analog zum Projekt Manuserv ist mit einer zunehmenden Aufgabenkomplexität zu rechnen, hier jedoch insbesondere in den indirekten Tätigkeiten, wie der Produktionsplanung und –steuerung. Diese kann durch eine Qualifikationsaufwertung der einzelnen Mitarbeiter erreicht werden. Im Sinne eines positiven Beitrags für die Innovationsfähigkeit ist auch hier der Einsatz individueller Assistenzsysteme, die sich an die jeweiligen vorhandenen Qualifikationen der Mitarbeiter anpassen, empfehlenswert.

Bezüge zur Arbeitsgestaltung (Kapitel 4)

Persönlichkeitsförderlichkeit: Eine größere Produktvielfalt bedingt mehr Lernerfordernisse.

Arbeitsorganisation: Die Aufgaben der Mitarbeiter werden durch die größere Produktvielfalt deutlich komplexer.

Arbeitsteilung Mensch-Maschine: Die Arbeitsteilung Mensch-Maschine im Bereich der Planung ändert sich hin zu einer stärkeren Mensch-Technik-Kooperation.

6.4 InSA – Integrierte Schutz- und Sicherheitskonzepte für die Mensch-Roboter-Kollaboration in Cyber-Physischen Arbeitsumgebungen

Im Rahmen des Projekts InSA wurde ein umfassendes Schutzmodell erarbeitet, das den Benutzer eines Roboters und dessen Kontext, seine Umgebung, seine Tätigkeiten und seine Interaktion einschließt. Das System registriert aktuelle Tätigkeiten und beurteilt anhand des Kontextes und der jeweiligen Situation das Gefährdungspotenzial, das z. B. für Mitarbeiter durch die Bewegungen eines Roboters entstehen kann. Durch die Integration vernetzter Sensoren in typische Arbeitskleidung lassen sich die Positionen einzelner Körperteile des Werkers bestimmen und mit Sicherheitstechnik zu einem robusten System kombinieren. Für ein Montageszenario der Automobilindustrie wurde das System entwickelt und getestet.

Bei der Analyse der Auswirkungen des Mensch-Roboter-Kollaborations-Prozesses (MRK) auf die betrieblichen Funktionen Konstruktion, Montage, Programmierung und Instandhaltung konnte ermittelt werden, dass die Auswirkungen auf den Werker in dem Montageprozess relativ gering sind, während größere Auswirkungen auf Konstrukteure, Wartungstechniker und Programmierer von CPS-basierten MRK Systemen zu erwarten sind. Insbesondere während der Entwicklung des MRK-Systems und der Instandhaltung während der Nutzung sind Auswirkungen auf den Arbeitsprozess nicht ausgeschlossen. Konstrukteure von Anlagen für MRK-Systeme werden demnach die größten Veränderungen in der Kommunikation, Kooperation, Interdisziplinarität und im Wissenserwerb haben. Dies hat vor allem damit zu tun, dass die Entwicklung von MRK-Systemen aufgrund der Einbindung und Sicherstellung der Interoperabilität von „unsicheren“ CPS-Komponenten eine sehr komplexe Aufgabe darstellt. Im Gegensatz zu konventionellen Anlagen auf Basis

ausschließlich sicherer Komponenten, liegt eine wesentliche Herausforderung in der Umsetzung eines sicheren Systems zur Mensch-Roboter-Kollaboration mit der funktionsicheren Gestaltung der CPS-Schutzkomponenten und der Erfüllung der prozessspezifischen Echtzeitanforderungen. Hierzu ist besonderes Fachwissen bezüglich der Sicherheitsnormen und der Besonderheiten der CPS erforderlich. Dieses hat eine unmittelbare Auswirkung auf die Einbindung und Kooperation mit interdisziplinären Entwicklungsteams, aber auch auf den Ausbau von IT-Kenntnissen.

Bezüge zur Innovationsfähigkeit und den Qualifikationsanforderungen (Kapitel 5)

Im Zusammenhang mit geeigneten individuellen digitalen Assistenzsystemen (siehe Projektbeispiele motionEPA und APPsist) können die notwendigen Qualifikation insbesondere der indirekten Tätigkeiten aufgewertet werden. Damit würde sich dort die Aufgabenkomplexität weiter erhöhen und damit einen positiven Beitrag zur Innovationsfähigkeit leisten.

Bezüge zur Arbeitsgestaltung (Kapitel 4)

Schädigungslosigkeit: Es werden Schutzkonzepte geboten, die Handlungs- und Bewegungsfreiheit erhalten.

Beeinträchtigungsfreiheit: Mitarbeiter werden durch enge Mensch-Roboter-Kollaboration entlastet.

Mensch-Maschine-Interaktion: Es findet eine sehr enge Mensch-Roboter-Kollaboration statt, bei der Sicherheitskonzepte ohne explizite Interaktionsnotwendigkeit angewendet werden.

6.5 motionEAP – System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion

Im Projekt motionEAP wurden anwender- und prozessorientierte Assistenzsysteme für Montage- und Kommissionierprozesse entwickelt, prototypisch umgesetzt und evaluiert. Der nutzerorientierte Entwicklungsprozess kombiniert dabei sowohl die Anforderungen der

Industrieunternehmen als auch die der leistungsgeminderten Anwender miteinander. Mit den Assistenzsystemen reduziert sich die Komplexität und der Aufwand bei der Einarbeitung von Mitarbeitern mit unterschiedlichem Leistungsniveau und fachlichem Hintergrund in neue Tätigkeitsgebiete.

Der Einsatz von motionEAP betrifft vor allem Mitarbeiter im direkten Montage- und Kommissionierumfeld. Erste Erfahrungen und Ergebnisse zeigten, dass durch den Einsatz des Assistenzsystems der Inhalt der Arbeitsaufgaben bzw. die Anzahl der Arbeitstätigkeiten pro Arbeitsaufgabe und damit der Leistungsgrad bei leistungsgeminderten Mitarbeitern erhöht werden kann. Diese Veränderung geschieht ohne Steigerung der kognitiven Beanspruchung. Nicht nur die zeitliche Abfolge der Arbeitstätigkeiten, sondern auch die räumliche Abfolge z. B. durch Beidhandarbeit und Mehrfachentnahme von Kleinteilen kann variabel bzw. flexibel verändert werden. Durch den geringen zeitlichen und inhaltlichen Aufwand für das Einrichten eines neuen Montageprozesses kann die räumliche Gestaltung des Arbeitsraumes und die Anordnung der Arbeitsmittel jederzeit verändert werden. Der bisher übliche Einlernprozess durch ein zeitaufwändiges Unterweisen, Vormachen und Begleiten kann durch das Assistenzsystem stark reduziert und teilweise sogar ersetzt werden. Das System kann autark und ohne menschliche Unterstützung die Unterweisung eines unerfahrenen normal leistungsfähigen Mitarbeiters übernehmen. Zusätzlich bietet das System Vorarbeitern eine hohe Flexibilität in ihrem zusätzlichen Aufgabenfeld der Steuerung und Planung von Montageaufträgen. Durch die Unterstützung des Assistenzsystems können Mitarbeiter mit unterschiedlichen Leistungsgraden dazu befähigt werden, komplexe Tätigkeiten mit einer hohen Anzahl an Arbeitsschritten und gleichbleibend hoher Qualität auszuführen.

Bezüge zur Innovationsfähigkeit und den Qualifikationsanforderungen (Kapitel 5)

Das Projekt motionEAP verdeutlicht sehr klar, wie mit Hilfe digitaler Assistenzsysteme sowohl die

Aufgabenkomplexität und die Handlungsspielräume auch für Geringqualifizierte deutlich erhöht werden können. Es ist empfehlenswert analoge Ansätze zu verfolgen, um dies auch für höherqualifizierte Mitarbeiter zu erreichen (siehe Projektbeispiele ReApp, ManuServ, InnoCyFer). Der positive Einfluss auf die Innovationsfähigkeit wird dabei deutlich stärker sein, als bei den Anwendungsfällen im Projekt motionEAP, bei dem insbesondere die Produktivität sowie die Zufriedenheit der einzelnen Mitarbeiter deutlich gesteigert werden konnten.

Bezüge zur Arbeitsgestaltung (Kapitel 4)

Ausführbarkeit: Aufgaben werden für zusätzliche Zielgruppen ausführbar (behinderte Menschen).

Persönlichkeitsförderlichkeit: Assistenzsysteme haben das Potenzial, als tutorielle Systeme Lernprozesse zu unterstützen.

Arbeitsorganisation: Lernen und Arbeiten werden stärker ineinander integriert. Mitarbeiter unterschiedlicher Leistungsgrade können für ein breiteres Aufgabenspektrum eingesetzt werden.

Mensch-Maschine-Interaktion: Es findet eine tutorielle Interaktion mit dem System in der Arbeit statt wobei der Unterstützungsgrad wählbar ist.

6.6 APPsist – Assistenz und Wissensvermittlung am Beispiel von Montage- und Instandhaltungstätigkeiten

Das Ziel des Projektes APPsist war die Entwicklung einer neuen Generation mobiler, kontextsensitiver und intelligent-adaptiver Assistenzsysteme zur Wissens- und Handlungsunterstützung für die Industrie 4.0. Die KI-basierten Wissens- und Assistenzsysteme unterstützen die Mitarbeiter beim Wissens- und Kompetenzerwerb in der Interaktion mit Maschinen auf dem Shopfloor. Konkret ruft ein Mitarbeiter das APPsist-System auf einem mobilen Endgerät auf, lässt das System individuell ausgewählte Inhalte und Tätigkeiten vorschlagen und erhält dadurch Unterstützung beim Wissenserwerb und der Durchführung bisher nicht oder wenig beherrschter Tätigkeiten. Dies

ermöglicht die Gewinnung von Erfahrungswissen und das Schließen von Wissenslücken.

Die Verwendung des APPsist Systems erfordert am Layout der Arbeitsplätze nur geringfügige Änderungen, da es sich nicht um ein stationäres, sondern um ein mobiles Endgerät handelt. Veränderungen müssen insofern erfolgen, als dass ein geeigneter Ort für die Bearbeitung von Lerneinheiten außerhalb der eng geführten Assistenzschritte insbesondere für die Nebentätigkeit Lernzeit gefunden werden muss. Die Arbeitsorganisation muss so angepasst werden, dass Lernzeiten planbar zur Verfügung stehen. Führungsstrukturen ändern sich nicht, wohl aber die Anforderungen an unmittelbare Vorgesetzte in Bezug auf die systematische Gestaltung von Qualifizierungsgesprächen und Zielvereinbarungen.

Die technische Bereitstellung der Unterstützungsdienste allein bringt dabei noch keine eindeutigen Auswirkungen auf die Arbeitsprozesse hervor. Für die konkrete Ausprägung ist das Zusammenspiel zwischen technischer und organisatorischer Implementierung entscheidend. Daher wurden in APPsist auch Leitfäden für die Systemausgestaltung und -implementierung sowie Bausteine für Musterbetriebsvereinbarungen entwickelt, die eine qualifikationsfördernde und Handlungsspielräume erweiternde betriebliche Realisierung ermöglichen.

Bezüge zur Innovationsfähigkeit und den Qualifikationsanforderungen (Kapitel 5)

Analog zu den digitalen Assistenzsystemen aus dem Projekt motionEAP (s.o.), zeigt APPsist das Potenzial solcher Systeme, um die vorhandenen Qualifikationen der Mitarbeiter aufzuwerten. Da es neben der Unterstützung auch als aktives Lernelement genutzt werden kann, lassen sich so neue Fähigkeiten ohne eine formelle Weiterbildung erlernen. Ein solches System im Zusammenspiel mit neuen Produktions- und Fertigungstechnologien (siehe Beispiele ReApp, ManuServ, InnoCyfer, InSA) ermöglicht es erst die Aufgabenkomplexität und die Handlungsspielräume zu erweitern und so einen positiven Beitrag zur Innovationsfähigkeit zu leisten.

Bezüge zur Arbeitsgestaltung (Kapitel 4)

Ausführbarkeit: Assistenzsysteme machen Aufgaben für zusätzliche Zielgruppen ausführbar.

Persönlichkeitsförderlichkeit: Assistenzsysteme haben das Potenzial, Lernprozesse zu unterstützen. Dabei muss das Risiko einer zu starken Führung durch das Assistenzsystem bedacht werden.

Arbeitsorganisation: Lernen und Arbeiten werden stärker ineinander integriert. Dabei muss das Risiko des Komplexitätsverlustes der Aufgabe durch das Assistenzsystem bedacht werden.

Mensch-Maschine-Interaktion: Es findet eine tutorielle Interaktion mit dem System in der Arbeit statt, wobei der Unterstützungsgrad wählbar ist.

7 Anhang

7.1 Nationale und internationale förderpolitische Maßnahmen und Institutionen

Arbeitsforschung und -gestaltung haben in Deutschland eine lange Tradition. Das aktuelle Forschungs- und Entwicklungsprogramm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) steht in einer ununterbrochenen Traditionslinie, die 1974 mit dem Programm „Humanisierung des Arbeitslebens“ begonnen wurde. Hier werden grundlegende Fragen der Arbeit und ihrer Gestaltung erforscht, immer auch mit dem Blick auf breite Anwendung und Transfer. In Programmen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) werden Fragen der Zukunft der Arbeit als Querschnittsthemen in Technologieförderprogrammen behandelt, so etwa im Technologieprogramm „AUTONOMIK für Industrie 4.0“; aus diesem Kontext stammt auch dieser Leitfaden.

Daneben bieten sich für Unternehmen konkret folgende weitere Möglichkeiten, von nationalen und internationalen Maßnahmen zu profitieren:

- Die „Initiative Neue Qualität der Arbeit“ (INQA) wurde 2002 vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales ins Leben gerufen und bietet Arbeitgebern und Beschäftigten Wissen und Unterstützung für die Gestaltung der Arbeitswelt.
- Eine zentrale öffentliche Einrichtung ist die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), eine Ressortforschungseinrichtung im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS). Die BAuA stellt vielfältige Informationen für die betriebliche Praxis der Arbeitsgestaltung zur Verfügung. Ein besonders interessantes Hilfsmittel ist die Online-Toolbox zu Instrumenten zur Erfassung psychischer Belastungen⁷
- Auf europäischer Ebene ist die European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions (Eurofound) eine wichtige Institution. Sie wird paritätisch von den Mitgliedsstaaten und den Sozialpartnern getragen. Insbesondere das Arbeitswelt-Observatorium „EurWORK: the European Observatory of Working Life“ stellt vielfältige Informationen zur Situation in der Arbeitswelt der europäischen Länder zur Verfügung.
- Die Internationale Arbeitsorganisation (IAO, auch ILO; International Labour Organization) ist eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen und damit beauftragt, internationale Arbeitsstandards zu dokumentieren und zu entwickeln. Auch in ihren Leitungsgremien sitzen Vertreter der Staaten ebenso wie der Sozialpartner. Die ILO stellt auch Statistiken und Datenbanken zur Verfügung, insbesondere auch zu den rechtlichen Grundlagen der Arbeitsbedingungen weltweit.

⁷ <http://www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Handlungshilfen-und-Praxisbeispiele/Toolbox/Einfuehrung.html>

7.2 Literaturverzeichnis

Ahrens, Daniela; Spöttl, Georg (2015): Industrie 4.0 und Herausforderungen für die Qualifizierung von Fachkräften. In: Digitalisierung industrieller Arbeit : die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos, S. 185–203.

Autor, David H. (2014): Polanyi's paradox and the shape of employment growth. Cambridge, Mass.: National Bureau of Economic Research.

Autor, David H. (2015): Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. In: Journal of Economic Perspectives 29 (3), S. 3–30.

Autor, David H.; Levy, Frank; Murnane, Richard J. (2001): The skill content of recent technological change. An empirical exploration. Cambridge, MA.: National Bureau of Economic Research.

BMAS (Hg.) (2016): Foresight-Studie „Digitale Arbeitswelt“.

Bonin, Holger; Gregory, Terry; Zierahn, Ulrich (2015): Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. Hg. v. ZEW.

Boston Consulting Group (Hg.) (2015): Deutscher Arbeitsmarkt profitiert von positiven Effekten durch Industrie 4.0.

CEDEFOP (2012): Learning and innovation in enterprises. Research Paper No. 27. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Deloitte (Hg.) (2014): Technology and people: The great job-creating machine.

Frey, Carl Benedikt; Osborne, Michael A. (2013): The future of employment. How susceptible are jobs to computerisation? Oxford: Oxford Martin School, Univ. of Oxford.

Graetz, Georg; Michaels, Guy (2015): Robots at work. London: Centre for Economic Policy Research.

Hacker, Winfried (1987): Software-Gestaltung als Arbeitsgestaltung. In: Klaus-Peter Fähnrich (Hg.): Software-Ergonomie. State of the Art, No. 5. München: Oldenburg.

Hacker, Winfried; Richter, Peter (1980): Psychologische Bewertung von Arbeitsgestaltungsmaßnahmen. Ziele und Bewertungsmaßstäbe. In: Winfried Hacker (Hg.): Spezielle Arbeits- und Ingenieurspsychologie in Einzeldarstellungen. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.

Hartmann, Ernst (2015): Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen. In: Alfons Botthof und Ernst Andreas Hartmann (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 9–20.

Hartmann, Ernst; Bovenschulte, Marc (2013): Skills Needs Analysis for "Industry 4.0" based on Roadmaps for Smart Systems. In: SKOLKOVO Moscow School of Management & International Labour Organization (Hg.): Using Technology Foresights for Identifying Future Skills Needs. Global Workshop Proceedings.

Hausmann, Ricardo (2013): The atlas of economic complexity. Mapping paths to prosperity. Cambridge Mass. u. a.: MIT Press.

Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2015): Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: Alfons Botthof und Ernst Andreas Hartmann (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 89–98.

Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hg.) (2015): Digitalisierung industrieller Arbeit. 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos.

IFR (2013): World Robotics - Industrial Robots. Hg. v. IFR Statistical Department.

Institut zur Zukunft der Arbeit (Hg.) (2015): Wandel der Beschäftigung – Polarisierungstendenzen am deutschen Arbeitsmarkt.

Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (2015): Industrie 4.0 und Wandel von Industriearbeit Überblick über Forschungsstand und Trendbestimmungen. In: Hartmut Hirsch-Kreinsen, Peter Ittermann und Jonathan Niehaus (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit: Nomos, S. 32–53.

Kärcher, Bernd (2015): Alternative Wege in die Industrie 4.0 – Möglichkeiten und Grenzen. In: Alfons Botthof und Ernst Andreas Hartmann (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 47–58.

Kinkel, Steffen; Friedewald, Michael; Hüsing, Bärbel; Lay, Gunter; Lindner, Ralf (2008): Arbeiten in der Zukunft. Strukturen und Trends der Industriearbeit. 1. Aufl. Berlin: Ed. Sigma.

Lüdtke, Andreas (2015): Wege aus der Ironie in Richtung ernsthafter Automatisierung. In: Alfons Botthof und Ernst Andreas Hartmann (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 125–146.

Mokyr, Joel; Vickers, Chris; Ziebarth, Nicolas L. (2015): The History of Technological Anxiety and the Future of Economic Growth. Is This Time Different? In: Journal of Economic Perspectives 29 (3), S. 31–50.

Spitz-Oener, Alexandra (2006): Technical Change, Job Tasks, and Rising Educational Demands. Looking outside the Wage Structure. In: Journal of Labor Economics 24 (2), S. 235–270.

Weiland, Tim (2013): Arbeitsorganisation und Qualifikation in der Industrie 4.0. Ermittlung der Anforderungen an Management, Mitarbeiter und Arbeitsumfeld in der Produktion ; Masterthesis. [München]: GRIN-Verl.

