

Integrierte Lern- und Assistenzsysteme für die Produktion von morgen

Tina Haase, Wilhelm Termath, Marco Schumann

Die Veränderung der Produktionssysteme infolge von Industrie 4.0 wird vor allem durch die technologischen Entwicklungen getrieben, hat aber auch maßgebliche Auswirkungen auf die Gestaltung von Arbeit. Der vorliegende Beitrag legt den Fokus auf die Veränderungen, die sich für die Mitarbeiter, ihre Arbeitsumgebung und die Qualifikationsbedarfe ergeben. Es wird deutlich, dass das Lernen zunehmend in den Arbeitsprozess verlagert wird und somit eine Integration von Lern- und Assistenzsystemen erforderlich ist. Der Beitrag stellt ausgewählte Lösungen vor, die in der Industrie im Einsatz sind und skizziert notwendige Bedarfe für die Gestaltung lernförderlicher und gesunder Arbeitssysteme.

1 Veränderung der Produktion durch Industrie 4.0

1.1 Industrie 4.0

Industrie 4.0, Internet der Dinge, Cyber Physical Systems, Smart Factory, Smart Products – all diese Schlagworte und noch viele mehr werden derzeit geprägt, wenn es um die Gestaltung der Produktionssysteme im Rahmen von Industrie 4.0 geht.

In zukünftigen Produktionssystemen werden Maschinen und Produkte zunehmend autonom miteinander kommunizieren, Daten und Informationen austauschen und so flexibel auf aktuelle Anforderungen reagieren. Der Mensch wird in diesem Prozess stärker als bisher mit den Maschinen kollaborieren (Mensch-Maschine-Kollaboration) und für die Steuerung und Überwachung der Systeme verantwortlich sein.

»Eines ist dabei besonders wichtig: Technik ist nicht Selbstzweck, sondern nur eine Basis für die Industrie 4.0. Künftig werden reale und virtuelle Welt miteinander verschmelzen und ganzheitlich miteinander vernetzt sein. Das ermöglicht vollkommen neue Formen der Produktion und Zusammenarbeit.« (Soder, 2015).

Bei der Gestaltung der Produktionssysteme wird es maßgeblich darauf ankommen, wie der Mensch in diesen Prozess eingebunden wird und wie

seine Rolle im Arbeitssystem definiert ist. Klar ist schon heute: auch im Rahmen von Industrie 4.0 wird der Mensch der entscheidende Faktor sein, der über den Erfolg des Produktionssystems entscheidet. »Der Trend zur zunehmenden Informatisierung der Arbeitswelt [hat] potenziell starke Auswirkungen auf die Beschäftigten und deren Situation in den Betrieben generell und spezifisch auf Formen der Arbeitsorganisation [...] Dies betrifft insbesondere die Qualität der Arbeit – einschließlich Faktoren wie Arbeitszufriedenheit und Gesundheit – sowie das allgemeine Qualifikationsniveau wie auch die spezifisch notwendigen Qualifikationen und Kompetenzentwicklungsprozesse.« (Botthof 2015, S. 5) Bei der Gestaltung der Arbeitsprozesse wird es darauf ankommen, sinnstiftende und lernförderliche Arbeitsplätze zu schaffen, die das Arbeiten unter angemessenen physischen und psychischen Belastungen ermöglichen. Dazu wird es erforderlich sein, die Aufgaben so zu gestalten, dass „geistig mehr (z. B. Problemlösen) und weniger (z. B. Routineaufgaben) anspruchsvolle Operationen in einem angemessenen Verhältnis erforderlich sind« (Botthof 2015, S. 11). Das geht zurück auf das Konzept der vollständigen Tätigkeit / Handlung nach Hacker und Volpert (Hacker 1973; Volpert 1974). Demnach sollten die Aufgaben der Beschäftigten nicht nur ausführende, sondern in gleichem Maße organisierende, planende und kontrollierende Tätigkeiten umfassen.

Im Folgenden wird näher beschrieben, wie sich die Arbeitssysteme unter dem Einfluss von Industrie 4.0 verändern werden, bevor anschließend mögliche Szenarien für die Veränderungen der Mitarbeiter gegenübergestellt werden.

1.2 Veränderung der Arbeitssysteme in der Produktion

Arbeitssysteme sind soziotechnische Handlungssysteme im Mikro- und Makrobereich von Produktion und Logistik, in denen der Mensch zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabe in einem definierten Arbeitsablauf mit Produktionsmitteln zusammenwirkt. Die Qualität des erreichbaren Ergebnisses eines intelligenten Arbeitssystems wird durch die Durchgängigkeit des Informationsaustauschs bei sich ändernden Umgebungsbedingungen und durch den Grad der Adaptivität beteiligter Sensor-Aktor-Systeme bestimmt. Die Intelligenz des Arbeitssystems besteht wesentlich darin, sich definiert, zeitnah und verlustarm auf Änderungen der Aufgabenstellung und der Umgebungsbedingungen einzustellen.

Vor allem in der Automobilindustrie findet das Lean Management eine breite Anwendung. »Erklärtes Ziel des Lean Managements ist die Steige-

rung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens durch die Verschlan-
 kung aller Geschäftsprozesse, bei deren gleichzeitiger Ausrichtung am
 Kunden.« (Maas/Weidner 2014). Kern des Lean Managements ist es, die
 in Abb. 1 dargestellten Verschwendungsarten zu vermeiden und die Pro-
 zesse so zu gestalten, dass sie einen direkten Kundennutzen stiften. Die
 sieben traditionellen Verschwendungsarten wurden um die sogenannte
 ungenutzte Kreativität der Mitarbeiter ergänzt. Diese beschreibt den Ein-
 fluss, den Mitarbeiter auf die Verbesserung nehmen können, wenn sie sich
 in das Unternehmen einbringen und gezielt an der Reduktion der anderen
 Verschwendungsarten beteiligen. (Maas/Weidner 2014) Im Rahmen von
 Industrie 4.0 wird diese Kreativität einen zunehmenden Stellenwert be-
 kommen. Es bedarf daher Methoden und Technologien, um das Wissen
 der Mitarbeiter zu erschließen und für die Optimierung der Prozesse zu
 nutzen.

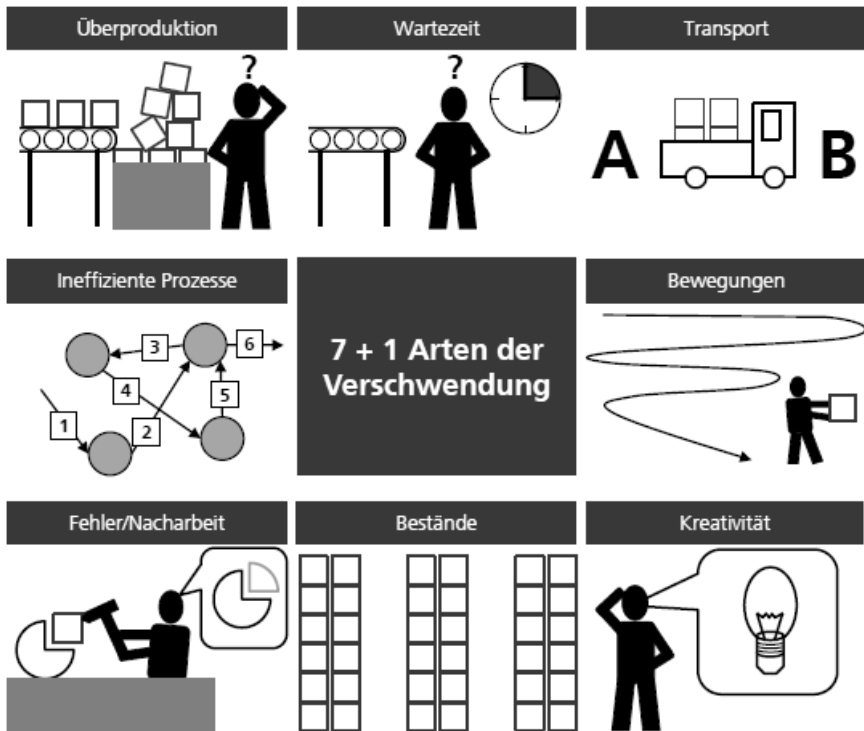


Abbildung 1: Arten der Verschwendung im Lean Management (Maas/Weidner 2014)

Das Lean Management kommt auch im Maschinen- und Anlagenbau zum Einsatz, dann unter dem Begriff Lean Production. Vor allem in KMU werden oft nur einzelne Maßnahmen aus dem Konzept zur Anwendung gebracht, z. B. Total Productive Maintenance.

In Abb. 2 ist ein Arbeitssystem nach REFA dargestellt, ergänzt um die Zuordnung der Verschwendungsarten des Lean Management.

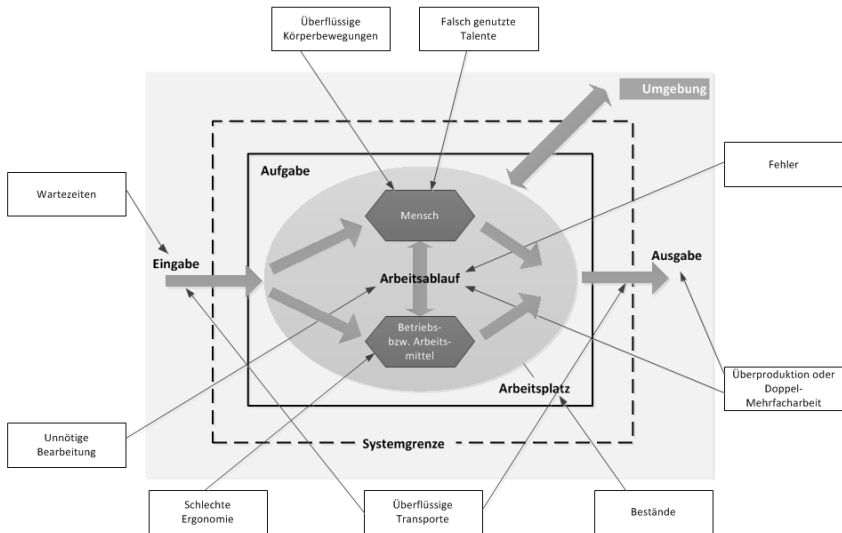


Abbildung 2: Arbeitssystem nach REFA mit Zuordnung von Verschwendungsarten (in Anlehnung an REFA2015)

Damit diese Verschwendungen in der Fabrik der Zukunft reduziert werden, muss der Mensch in die Lage versetzt werden, die zunehmend unvorhersehbaren Prozesse steuern und überwachen zu können. Dabei wird er durch Assistenzsysteme verschiedener Ausprägungen unterstützt werden. Um diese nutzen zu können, wird daher von den Mitarbeitern eine Qualifizierung für die Bedienung der informationstechnischen Systeme erforderlich sein. (Reinhart 2015)

1.3 Szenarien für die veränderten Anforderungen an die Mitarbeiter

Mit den oben beschriebenen technologiegetriebenen Entwicklungen der Produktionsprozesse verändern sich auch die Aufgaben- und Anforderungsprofile der Beschäftigten.

Während in vielen Veröffentlichungen zum Thema »Industrie 4.0« bzw. »Cyber Physical Systems« überwiegend die technologischen Potentiale der Automatisierung herausgestellt werden, werden in einer Studie des Fraunhofer-Instituts IAO unter Beteiligung von 661 befragten Unternehmen die absehbaren Veränderungen der menschlichen Aufgaben, Funktionen und Positionen in den Szenarien künftiger Produktionsprozesse analysiert. Demnach werden die Fachkräfte künftig zwar in die technischen Systeme eingebunden, ggf. unter Nutzung mobiler Endgeräte, ihre spezifischen Fähigkeiten zur Reflexion und Entscheidungsfindung bleiben als kreatives Potential in den kontinuierlichen Verbesserungsprozessen aber unverzichtbar vgl. (Ganschar et al. 2013, S. 54).

Eine ähnliche Position vertreten Gorecky u.a. wenn sie mit Bezug auf die Funktionsweisen sozio-technischer Systeme auf Aspekte der Autonomie und Entscheidungsbefugnisse verweisen (Gorecky et al. 2014, S. 526). Dabei kann der Mensch in cyber-physischen Systemen sowohl unmittelbar in physische als auch über eine Benutzerschnittstelle in virtuelle Komponenten intervenieren:

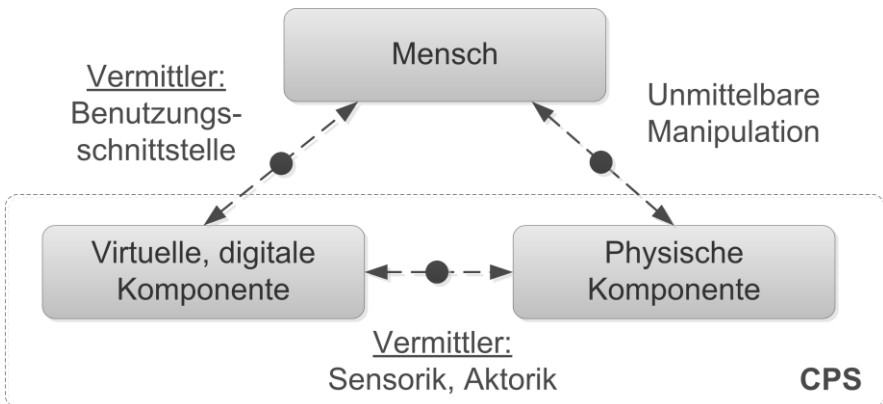


Abbildung 3: Cyber-physisches Gefüge, in Anlehnung an Zamfirescu, 2012, zitiert nach (Gorecky et al. 2014, S. 525)

Die singuläre Rolle des Menschen bzw. Beschäftigten wird von den Autoren mit Hinweis auf die erforderliche Varietät in der Kybernetik begründet. Mit steigender Handlungsvarietät kann ein Teilsystem entsprechend mehr Störungen in Steuerungsprozessen ausgleichen (vgl. ebenda). Damit wird der Mensch als flexibelstes Element des Systems und entsprechend höchster Handlungsvarietät zur »übergeordneten Steuerungsinstanz«. (Gorecky et al. 2014, S. 526)

Auf dieser allgemeinen Beschreibungsebene werden die Beschäftigten planerische, steuernde, kontrollierende und problemlösende Aufgaben wahrnehmen, vgl. Abb. 4.

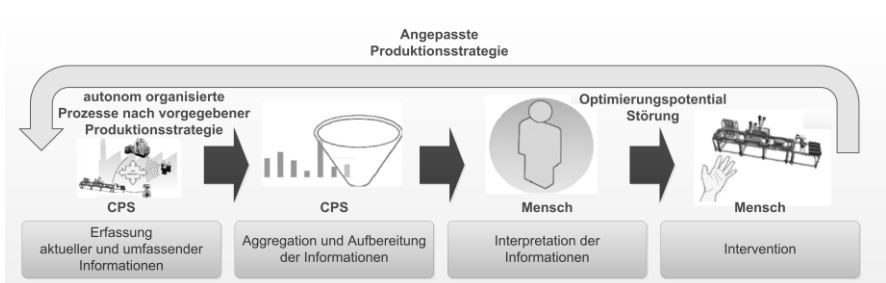


Abbildung 4: Der Mensch als Überwacher der Produktionsstrategie und letzte Instanz im Entscheidungsprozess (in Anlehnung an Gorecky et al. 2014, S. 526)

Eine vom Institut für Innovation und Technik (iit) des VDI/VDE Innovation und Technik GmbH herausgegebene Studie skizziert den aktuellen Stand der Diskussion um Chancen und Risiken dieser Entwicklung (Botthoff und Hartmann 2015a). Die Herausgeber beschreiben zusammenfassend die Punkte, zu denen überwiegend ein Konsens festzustellen ist. (vgl. Botthoff und Hartmann 2015b). Sie erwarten, dass die unter dem Stichwort »Industrie 4.0« adressierten technologischen Innovationen die Arbeitssysteme der Zukunft über den industriellen Sektor hinaus wesentlich beeinflussen. Die Arbeitssysteme der Zukunft sind »...gestaltbar und gestaltungsbedürftig ... paradigmatisch am Konzept des soziotechnischen Systems mit den Dimensionen »Mensch«, »Organisation« und »Technik« ...« (Botthoff und Hartmann 2015b, S. 161). Die Dimension der »Organisation« wird dabei als der zentrale Ansatzpunkt verstanden, über die Ausgestaltung von Strukturen und Prozessen - sowie daraus folgend der Arbeitsteilung - die Qualität der Arbeit für die Fachkräfte hinsichtlich Persönlichkeits- und Lernförderlichkeit zu beeinflussen. Die Technikgestaltung soll sich demnach an den aufeinander bezogenen Zieldimensionen

der »organisationalen Strukturen« sowie der »Qualität der Arbeit für den Menschen« orientieren (vgl. ebenda S. 161).

Hinsichtlich der Bedeutung des demografischen Wandels betonen die Autoren einen Konsens zu zwei Anforderungen an die Arbeitsgestaltung. Das ist zum einen die Entlastung der Beschäftigten von physischen und psychischen Fehlbeanspruchungen sowie zum anderen die lernförderliche Gestaltung der Arbeitsprozesse (vgl. ebenda S.162).

Mit Bezug auf die technologischen Potentiale wird herausgestellt, dass die »...mit Begriffen wie Virtualisierung und Augmentierung bezeichnete Verschränkung und Integration natürlicher und virtueller Realitäten« (Botthoff und Hartmann 2015b, S. 162) neue Konzepte der Beschreibung und Gestaltung der Mensch-Technik-Organisation erfordern.

Auf Grundlage dieser Einschätzungen werden in der Studie u.a. die folgenden offenen Fragen für weitere Forschung gestellt:

»... Inwieweit und wie können Assistenzsysteme bei anspruchsvollen Tätigkeiten menschliche Experten in ihrer Expertise – und der weiteren Entwicklung ihrer Expertise – unterstützen? ...«

»Wie genau soll die Qualifikations- und Kompetenzentwicklung in der und für die Arbeit umgesetzt werden? In welchem Verhältnis stehen dabei Modelle des Lernens in der Arbeit unmittelbar – lernförderliche Arbeitsorganisation – und arbeitsnahe Formen des Lernens, wie etwa Lernfabriken? « (ebenda S.163)

2 Lernen und Assistenz

In der Fabrik der Zukunft wird der Grad an Automatisierung zunehmen, gleichzeitig werden die Produktionsprozesse komplexer. Die menschenleere Fabrik, wie sie lange im Rahmen des Computer Integrated Manufacturing (CIM) proklamiert wurde, ist auch im Rahmen von Industrie 4.0 nicht zu erwarten, da der Mensch Kompetenzen und Eigenschaften besitzt, die nicht auf Maschinen übertragbar sind, indem er z. B. auf unvorhersehbare Ereignisse reagieren, Erfahrungswissen generieren und mit seiner Umwelt kommunizieren kann.

Zur Rolle des Menschen in den sich verändernden Prozessen sagt Professor Kagermann: »Es wird immer mehr Bereiche geben, die so hoch automatisiert sind, dass sie weitestgehend ohne menschliche Interaktion ablaufen. Natürlich führen Mitarbeiter auch weiterhin physische Tätigkeiten

aus. Sie werden aber noch mehr unterstützt durch physische Assistenzsysteme, die als Fähigkeitsverstärker dienen. Das verschafft erweiterte Entscheidungs- und Beteiligungsspielräume. Neue IKT-Technologien werden enorm zur Entscheidungsunterstützung beitragen, zum Beispiel durch maschinelle Extraktionen von Informationen aus unstrukturierten Daten, explorative Suche in riesigen Datenmengen oder Fusionen von Sensordaten. Die letzte Entscheidung wird aber nach wie vor der Mensch treffen. « (Ganschar 2013)

Lernen und Assistenz werden dabei ineinander übergehen, was sich z. B. am Grad der Assistenz spiegeln wird, der sich an die Kompetenz, Erfahrung und kognitiven Fähigkeiten des Bedieners anpassen wird.

Im Folgenden sollen Formen der Assistenz vorgestellt werden, die den Mitarbeiter in der Fabrik zum einen entlasten werden, insbesondere bei physisch anspruchsvollen Tätigkeiten, und seine Fähigkeiten zum anderen stärken, z. B. bei Entscheidungsfindungen und beim Problemlösen.

2.1 Assistenz- und Serviceroboter

Insbesondere für die physische Unterstützung kommen Assistenzroboter zum Einsatz, die im Arbeitsraum des Menschen agieren und mit ihm zusammenarbeiten. Dabei steht unter anderem die Erfüllung der Sicherheitsanforderungen im Vordergrund. Eine Verletzung des Menschen muss in jedem Fall ausgeschlossen werden. Assistenzroboter zeichnen sich zudem dadurch aus, dass sie mit Hilfe von Sensoren und intelligenten Algorithmen in der Lage sind, ihre Umwelt sowie Personen wahrzunehmen, mit Menschen multimodal zu kommunizieren, gegebenenfalls autonom zu navigieren und selbstständig Entscheidungen zu treffen. Deshalb stehen neben der Sicherheit Themen wie Navigation, Kognition und multimodale Interaktion im Fokus aktueller Entwicklungen.

2.2 Assistierende Mess- und Prüfsysteme

Im Rahmen der Qualitätssicherung werden assistierende Mess- und Prüfsysteme benötigt. Während in der Serienfertigung zu großen Teilen automatisierte Lösungen zum Einsatz kommen, macht die zunehmende Individualisierung von Produkten mit hoher Bauteilvarianz und kleinen Losgrößen Assistenzsysteme erforderlich, bei denen Mensch und Maschine Hand in Hand arbeiten. Typischerweise werden diese Mess- und Prüfsysteme in der Montage eingesetzt.

Die optische Montageprüfung bildet hier eine Kernfunktion. »Sie umfasst die Überprüfung verschiedener Montagezustände eines einzelnen Bauteils in Bezug auf eine komplette Montagebaugruppe. Typische zu überprüfende Montagezustände sind Anwesenheit, Richtigkeit und Lage. Der Soll-Montagezustand wird durch ein 3D-CAD-Modell definiert, der Ist-Montagezustand mit optischer Sensorik erfasst. Dazu kommen dreidimensional messende Verfahren, wie die Stereo-Bildverarbeitung, das Lichtschnittverfahren oder die Streifenprojektion zum Einsatz. Die resultierende 3D-Punktwolke kann mit dem 3D-CAD-Modell verglichen werden und gibt Aufschluss über den jeweiligen Montagezustand. Da üblicherweise Kameras in diesen optischen Sensorsystemen zum Einsatz kommen, stehen ebenfalls orientierte Bildinformationen für einen Soll-Ist-Vergleich zur Verfügung. Die dazu erforderlichen Soll-Informationen werden auf der Grundlage von Modellinformationen über das Bauteil und über die Messfunktionalität des Prüfsystems durch die Berechnung synthetischer Prüfdaten berechnet.« (Berndt et al. 2014).

2.3 Kognitive Assistenz

Im Unterschied zu Maschinen und Anlagen verfügt der Mensch über kognitive Fähigkeiten. Dazu zählen z. B. das Problemlösen, die Kreativität und das Lernen. Im Rahmen der kognitiven Assistenz soll der Mitarbeiter in der Produktion bei diesen Fähigkeiten unterstützt werden. So werden die zunehmend unvorhersehbaren Prozesse es dem Bediener erschweren die richtige Entscheidung zu treffen. Es werden daher Assistenzsysteme benötigt, die die Vielzahl der Daten aus den Produktionsanlagen auswerten und dem Bediener in aufbereiteter Form bereitstellen, damit dieser daraus die korrekten Schlüsse ziehen kann.

Die Aufbereitung erfolgt in vielen Fällen visuell, z. B. über virtuelle 3D-Modelle oder mit Hilfe der Augmented Reality. Dabei werden dem Nutzer die erforderlichen Informationen in seiner Arbeitsumgebung bereitgestellt. Dies erfolgt auf Bildschirmen, die an der Linie montiert sind und zunehmend auch über mobile Geräte und sogenannte Wearables. Unter Wearables versteht man Computersysteme, die während der Anwendung am Nutzer befestigt sind und ihn bei der Durchführung realer Tätigkeiten unterstützen. Am bekanntesten sind hier die Datenbrillen (z. B. Google Glass) und die Armbanduhren (z. B. iWatch). Der Entwicklung dieser Geräte ist jedoch noch nicht so weit fortgeschritten, dass sie in der Produktion zum Einsatz kämen. Hinsichtlich der Ergonomie und Sicherheit beim Ein-

satz im Arbeitsprozess besteht hier weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Neben der Auswertung von Big Data werden dem Bediener Informationen übermittelt, die nur schwer formalisierbar sind wie z. B. das Erfahrungswissen. Es existieren bereits heute Tele-Maintenance-Lösungen, die es dem Experten ermöglichen, die Handgriffe des Kollegen über ein Kamerasystem zu verfolgen und ihn bei der Durchführung seiner Tätigkeit zu unterstützen. Für zukünftige Systeme ist es denkbar, dass dieses Expertenwissen dokumentiert und aufbereitet wird und dann unabhängig von der Verfügbarkeit des Experten genutzt werden kann.

2.4 Virtuell Interaktive Lernsysteme

Lernsysteme werden bisher vorwiegend begleitend zum Produktionsprozess eingesetzt. Die Gründe dafür liegen vor allem in der mangelnden Verfügbarkeit der Anlage bzw. deren Stillstand bei der Nutzung für Qualifizierungsmaßnahmen. Zudem sind die zu lernenden Prozesse aufgrund der zunehmend autonomen Prozesse der Anlagen schwer vorhersehbar, vielfältig und damit nur bedingt steuerbar.

Die erforderlichen Daten für die Gestaltung von Lernsystemen liegen in der digitalen Fabrik bereits vor. Deren durchgängige Nutzung entlang des Produktlebenszyklus, wie es durch die Methoden des Digital Engineering realisiert wird, und die damit ermöglichte frühzeitige Verfügbarkeit der Daten für die Entwicklung der Qualifizierungslösungen erlaubt es, die Mitarbeiter bereits in einer frühen Phase des Produktlebenszyklus zu qualifizieren (siehe Abb. 5) und so die Inbetriebnahmezeiten der Anlage zu verkürzen.

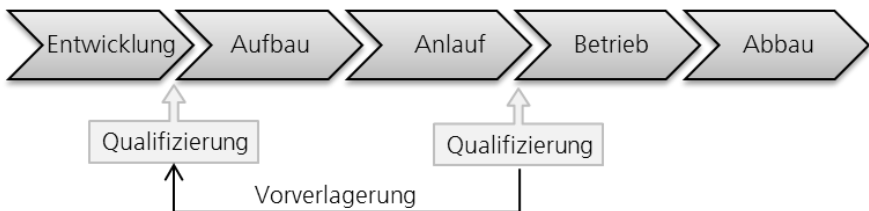


Abbildung 5: Vorverlagerung der Qualifizierung im Produktlebenszyklus durch Methoden des Digital Engineering (Quelle: Fraunhofer IFF)

Bei der Gestaltung der virtuell interaktiven Qualifizierungslösungen steht der Aspekt der Handlungsorientierung im Vordergrund. Da die Lernumge-

bung neben der Vermittlung von Faktenwissen und prozeduralem Wissen vor allem dem Kompetenzerwerb dient, ist es erforderlich komplexe Arbeits- und Lernsituationen erlebbar zu machen. In virtuellen Lernumgebungen kann dieser Erfahrungsraum geschaffen werden, indem der Lerner mit seiner Arbeitsumgebung interagiert. Dabei basiert ein wesentlicher Bestandteil der Lerninhalte auf dem Erfahrungswissen der Experten. Dieses Wissens ist zu großen Teilen implizit, d.h. der Träger ist sich dessen nicht bewußt und kann es nur schwer verbalisieren. Es bedarf daher Methoden und Technologien, wie dieses Wissen transferiert werden kann. Die wissenschaftliche Community vertritt unterschiedliche Meinungen über die Explizierbarkeit impliziten Wissens. Während (Nonaka et al. 2012) mit ihrem Prinzip der Wissensspirale eine Explikation für möglich halten, vertritt (Fischer 2007) die Meinung, dass implizites Wissen nicht explizierbar ist und sagt: „Wenn sich implizites Wissen nicht explizieren lässt, so müssen Rahmenbedingungen geschaffen werden, unter denen es sich erfahren lässt.“ Virtuelle Lernwelten können diese Rahmenbedingungen des gemeinsamen Arbeitens und Lernens und damit des Wissenstransfers bieten. (Haase et al. 2013) (Haase et al. 2014)

Dafür werden die Lernumgebungen nach dem Prinzip der vollständigen Handlung gestaltet und ermöglichen dem Lerner so die Bearbeitung des vollständigen Prozesses von der Planung, über die Durchführung bis zur Bewertung. Der Lernprozess wird außerdem durch den Aspekt der Immersion unterstützt. Verschiedene Lernumgebungen können beim Lerner der Gefühl des „integriert-seins“ in die Arbeitsumgebung unterstützen. So z.B. das Lernen in einem 360° Grad Projektionssystem wie dem ElbeDom. (Schenk / Schumann 2008) Abb. 6 zeigt den Aufbau eines Planspiels, das die verschiedenen Lernwelten (analog, mobil und immersiv) und ihre individuellen Vorteile integriert.

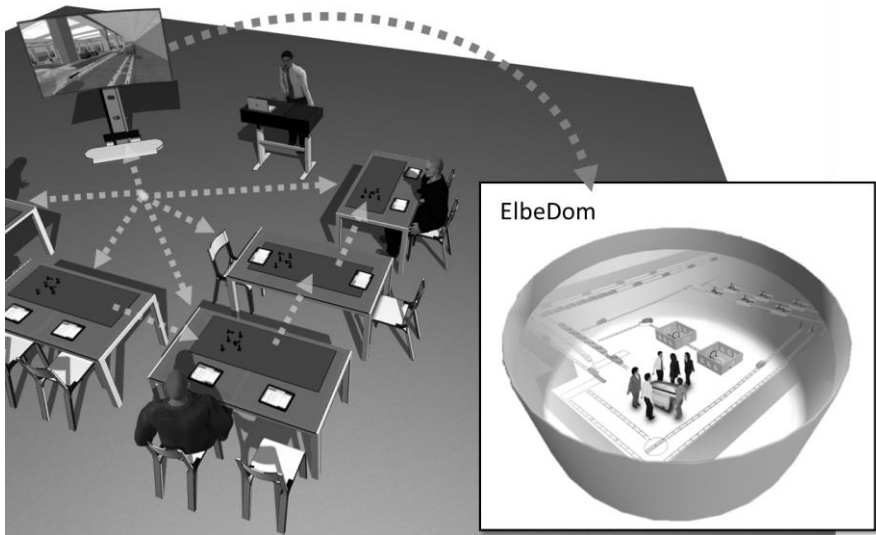


Abbildung 6: Planspiele als Integration analoger und digitaler Lernwelten (Quelle: Fraunhofer IFF)

Der Transfer dieser Lösungen in die Industrie und die Schaffung von Weiterbildungsinhalten im Bereich Industrie 4.0 ist die Kompetenz des cedemo EDUCATION. (cedemo 2015)

Die beschriebenen Veränderungen in der Produktion durch Technologien der Industrie 4.0 bieten weitreichende Potentiale für die Weiterentwicklung des Lernens als einen die Produktion begleitenden Prozess, der in den Arbeitsprozess integriert ist.

2.5 Integration von Lernen und Assistenz am Arbeitsplatz

Die im vorhergehenden Absatz beschriebenen Technologien der Virtual Reality als Lernsysteme im Rahmen von simulierten Arbeitssystemen können durch die Datenintegration in CPS-Umgebungen erhebliche Entwicklungspotentiale erschließen.

Neben der Gestaltung von expliziten Qualifizierungsszenarien gewinnen aber insbesondere das Lernen im Prozess der Arbeit und damit die lernförderliche Gestaltung der Arbeit an Bedeutung.

Der Einsatz von CPS wird sich auf die Tätigkeitsprofile der in der Produktion Beschäftigten unterschiedlich auswirken. Das gilt einerseits für die planerischen Tätigkeiten bei Konzipierung, Entwurf und Entwicklung von Maschinen und Anlagen. Absehbar werden aber auch die technisch-gewerblichen Fachkräfte in der Produktion zunehmend regulierende und steuernde Aufgaben wahrnehmen. Damit kommen sie zunehmend in die Rolle von Entscheidern mit gesteigerten Anforderungen an Problemlösungskompetenz, Selbstorganisation und Kommunikation (Ganschar et al. 2013, S. 53 ff.).

Neben der Entlastung von physischen Belastungen durch die Assistenzsysteme steigen mit diesen Anforderungen tendenziell die psychischen Belastungen der Beschäftigten. Es wird zunehmend schwerer, die komplexen autonomen Systeme aus der Distanz von Steuerungseinheiten oder Leitwarten zu verstehen, Störungen zu analysieren oder zu beheben und insgesamt die Verantwortung für einen reibungslosen Systembetrieb zu übernehmen.

Aus dieser zentralen Rolle des Menschen in cyber-physischen Systemen als „übergeordnete Steuerungsinstanz“ können Anforderungen an die Ausgestaltung von Assistenzsystemen als lernförderliche Systeme abgeleitet werden. Dabei sind grundsätzlich die Erkenntnisse der Arbeitspsychologie und Arbeitswissenschaft hinsichtlich der Gestaltung von soziotechnischen Arbeitssystemen oder der Bedeutung vollständiger Handlungsstrukturen als Basis einer lernförderlichen Arbeitsorganisation weiterhin zu berücksichtigen.

Allerdings ändern sich die Bedingungsfaktoren für die Arbeitsgestaltung unter den Vorzeichen von Industrie 4.0. Während bisherige Automatisierungsmuster überwiegend sequentielle Funktionen und ex ante optimierte Abläufe adressierten, sollen künftig intelligente, dezentrale Systemkomponenten Funktionen auch autonomer Optimierung und Selbstanpassung übernehmen können (Hirsch-Kreinsen 2014, S. 6).

Die lernförderliche Arbeitsgestaltung mit einer angemessenen Berücksichtigung auch des Erfahrungswissens der betrieblichen Experten aus dem Anlagenbetrieb und insbesondere des Störungsmanagements ist also der zentrale Ansatz für die Integration von Assistenz und Lernen. Die hohe technologiegetriebene Entwicklungsdynamik fordert jedoch eine entsprechende Bearbeitung des Paradoxons zwischen der Notwendigkeit, Erfahrungswissen und entsprechende Handlungs- und Reflexionsmuster zu

bewahren, andererseits diese aber auch bewusst zu überwinden, um sich neue Denkmuster aneignen zu können.

Für eine Orientierung auf bestimmte Muster der Gestaltung lernförderlicher Assistenzsysteme kann die oben genannte zusammenfassende Analyse von Forschungsergebnissen zu aktuellen Entwicklungstendenzen der Produktionsarbeit von Hirsch-Kreinsen herangezogen werden. Dort wird zwischen zwei idealtypischen Polen der Arbeitsorganisation unterschieden (vgl. ebenda S. 23 ff.).

Bei dem als „polarisierte Organisation“ bezeichneten Muster wird zwischen einer dispositiven Handlungsebene mit hochqualifizierten Akteuren mit hohem Handlungsspielraum sowie einer operativen Ebene mit einfachen Tätigkeiten und eher gering qualifizierten Beschäftigten mit einfachen Überwachungstätigkeiten und geringem Handlungsspielraum unterschieden.

Der als „Schwarm-Organisation“ bezeichnete andere Pol strebt die Zusammenfassung der dispositiven und operativen Ebenen als eine vernetzte Organisation hoch qualifizierter und annähernd gleichberechtigt handelnden Beschäftigten an. Einfache Tätigkeiten werden bei diesem Modell möglichst weitgehend von automatisierten Systemkomponenten übernommen.

Die skizzierten Szenarien sind einerseits als „Pole“ divergierender Entwicklungsrichtungen zu betrachten, andererseits wird es vielfältige Ausprägungen der Arbeitsorganisation geben, die zwischen diesen Extremen zugeordnet werden können.

Die hier adressierten Beispiele orientieren sich an kooperativen, Aufgaben- und Kompetenzprofile integrierenden Ansätzen der Arbeitsgestaltung. Die physischen Belastungen der Beschäftigten sollen durch technische Assistenz reduziert werden. Eine psychische Fehlbeanspruchung der Beschäftigten soll durch adaptive Anforderungsprofile vermieden werden, die die Mitarbeiter zum Weiterlernen anregt und dauerhafte Überforderung vermeidet.

3 Ausgewählte Lern- und Assistenzsysteme

Im Folgenden werden ausgewählte Referenzprojekte vorgestellt, in denen Lern- und Assistenzfunktionen in unterschiedlichem Maße ausgeprägt sind.

3.1 STROBAS – Das stationäre Roboter-Assistenzsystem

Ein Fokus physischer Assistenzsysteme liegt in der Entlastung des Menschen bei gefährlichen, körperlich anspruchsvollen und unergonomischen Arbeiten.

Im Projekt STROBAS (Schäfer 2014) wurde ein handgeführter Roboter entwickelt, der den Bediener beim Zusammenfügen von Druckgussformen unterstützt.

Bisher wurde diese Tätigkeit manuell durchgeführt und war für den Bediener sehr beanspruchend, weil die Formteile viele Male aufeinandergedrückt werden mussten. Aufgrund des Gewichts der Druckgussformen stellte dies eine erhebliche Belastung für den Bediener dar.

Im Rahmen eines von der Investitionsbank Sachsen-Anhalt geförderten Forschungsprojektes entwickelte das Fraunhofer IFF für die Metall- und Formenbau-GmbH Sachsen-Anhalt ein Roboter-Assistenzsystem zur Unterstützung des Menschen bei dieser Tätigkeit.

Das stationäre Roboter-Assistenzsystem umfasst einen Industrieroboter mit 45 kg Traglast, in dessen »Handgelenk« ein Kraft-Moment-Sensor montiert ist, der die auf den Greifer einwirkenden Kräfte erkennt. Als Eingabegerät dient ein Lenkrad, das zwischen Sensor und Greifer montiert ist. Über dieser Anordnung ist das vom Fraunhofer IFF entwickelte Projektionssystem installiert, das zur optischen Arbeitsraumabsicherung genutzt wird.

»Die Bedienung des Systems ist denkbar einfach. Der Werker setzt die Unterseite der Druckgussform in einen Halter auf der Werkbank. Dann legt er die Oberseite – die er normalerweise viele Male per Hand auf die Unterseite drücken müsste – irgendwo auf der Werkbank ab. Per Tastendruck erkennt der Roboter mithilfe der Kameras das Bauteil, hebt es vollautomatisch auf und reicht es dem Werker an. Nun kann der Bediener die schwere Druckgussform bearbeiten und sie bei Bedarf mithilfe des Lenkrads in eine beliebige, für ihn ergonomisch günstige Position bewegen. Da der Roboter die vom Bediener auf das Lenkrad ausgeübte Kraft mit sei-

nem Kraft-Moment-Sensor misst und seine Bewegungen entsprechend regelt, fühlt sich die Druckgussform wie schwerelos an: Der Bediener kann das schwere Bauteil ohne jede Anstrengung bewegen. Hat der Bediener die Bearbeitung des Werkstücks abgeschlossen, muss die gegriffene Formhälfte zum Überprüfen der Dichtheit auf die Gegenform aufgelegt werden. Hierfür drückt er eine Taste auf dem Bedientablet, worauf der Roboter die Oberseite der Form vollautomatisch mit definierter Kraft auf die Unterseite drückt. « (Schäfer 2014)

Um neben der physischen Entlastung auch die Sicherheit des Bedieners zu unterstützen, wurde das Lenkrad mit der am Fraunhofer IFF entwickelten Taktile sensorik überzogen. Diese erkennt, ob der Bediener das Lenkrad mit beiden Händen greift. Ist das nicht der Fall, hält der Roboter an und verhindert so, dass der Mensch die Hand in die Roboterkinematik führt und sich dabei verletzt. (Schäfer 2014) Abb. 7 zeigt die Handhabung des Roboters.



(a)



(b)

Abbildung 7a: Das Lenkrad erkennt beide Hände des Werkers und gibt den Roboter zur Führung frei.

Abbildung 7b: Der Werker überschreitet den Schutzbereich des Projektionssystems. Der Roboter hält an.

(Fotos: Fraunhofer IFF)

3.2 Assistierende Mess- und Prüfsysteme im Flugzeugbau

Ähnlich wie in der Automobilindustrie ist auch der Flugzeugbau von einer zunehmenden Individualisierung geprägt. Die Vielzahl an Varianten ergibt sich z. B. durch die Anordnung der Sitzreihen und die individuelle Anordnung von Monitoren, Gepäckfächern und Lüftungsanlagen im Flugzeug. »All diese Wünsche führen zu einer individualisierten Produktion mit Tausenden Klein- und Kleinstelementen, die an den jeweiligen Großbauteilen stets aufs Neue positioniert und montiert werden müssen.« (Berndt et al. 2014)

Diese Individualität erschwert sowohl die Montage als auch die Qualitätskontrolle. Bisher dienen dazu weiterhin Papierunterlagen, aus denen die Vorgaben entnommen werden und die am Flugzeug mit dem IST-Zustand abgeglichen werden. Dieser Aufwand ist beträchtlich; am A380 sind bis zu 40.000 Nieten an jeder der zwanzig Rumpfschalen zu prüfen. Zusätzlich müssen etwa 2.500 Anbauteile auf richtige Montage und korrekte Lage geprüft werden. Das bedeutet einen hohen manuellen Aufwand und enorme Kosten im Falle einer nachträglichen Korrektur.

Um hier eine höhere Flexibilität zu erreichen und die Kosten langfristig zu reduzieren, wurde ein Mess- und Prüfsystem auf der Basis eines modellbasierten Ansatzes entwickelt. Dieses nutzt die digitalen Geometriemodelle und die physikalischen Funktionsmodelle der interagierenden Komponenten und Funktionsmodule. »So kann ein Funktionsmodul zur Prüfung zum Beispiel die digitalen 3D-CAD-Modelle des zu prüfenden Bauteils und des Prüfkopfes selbst sowie ein physikalisches Funktionsmodell des Prüfkopfes nutzen, um die Prüfung zu simulieren. Auf dieser Grundlage sind dann Arbeitsschritte wie die Prüfplanung und die Bereitstellung von Soll-Zuständen vollautomatisch und damit effizient durchführbar, auch für eine Stückzahl von Eins. Klassische Prüfsysteme – basierend auf Golden-Sample- oder lernbasierten Ansätzen – sind hierfür meist nicht effizient einsetzbar. Durch die kontinuierliche Veränderung der Prüfaufgabe wäre ein stetiges manuelles Einlernen der zugrunde liegenden Sollvorgaben mit extrem hohem Aufwand verbunden.« (Berndt et al. 2014)



Abbildung 8: Prüfaufbau an einer Flugzeugrumpfschale (Foto: Fraunhofer IFF)

Im praktischen Einsatz hat sich gezeigt, dass durch den modellbasierten Prüfansatz die Qualität der Prüfung verbessert werden konnte. Die Prüfergebnisse sind sehr zuverlässig und reproduzierbar, die Fehlerrate liegt jetzt bei $<1\%$. Falsch montierte Bauteile werden frühzeitig erkannt. Es konnte so erreicht werden, dass bei der Endmontage die Fehlerrate falsch vormontierter Teile auf null reduziert wurde. Die Prüfdauer kann durch den Einsatz des Assistenzsystems derzeit nicht verbessert werden. Die Ursachen hierfür liegen z.B. in der schlechten Erreichbarkeit vieler Bauteile, was dann wiederum eine manuelle Prüfung erforderlich macht. Hier besteht weiterer Entwicklungsbedarf. Die Auslieferqualität konnte durch den Einsatz modellbasierter Prüfverfahren aber nachweislich verbessert werden.

3.3 Assistenzsystem zum Monitoring und zur Bewertung von Sensordaten an Logistikknoten

Logistikknoten werden in der Regel durch Sensorinfrastrukturen, bestehend aus Kamerasystemen und funkbasierten Ortungssystemen, überwacht. Die sensorische Erfassung von Bewegungen von Personen und Objekten sowie der Performanz dieser Infrastrukturen in Echtzeit schaffen die Voraussetzungen für die Gestaltung intelligenter Logistikräume mit einer verhaltensbasierten Analyse und Steuerung von Prozessen. (Schenk

et al. 2012) Die Informationen, die über diese Sensoren geliefert werden, sind für den Menschen aufgrund ihrer Vielzahl, Dynamik und Anordnung schwer zu erfassen und in einen räumlichen Kontext zu setzen.

Aus den realen Videodaten kann eine sogenannte virtuelle Draufsicht generiert werden. Dazu werden die Einzelansichten entzerrt und in einer Gesamtansicht zusammengefügt und ermöglichen so die räumliche und zeitliche Bewertung der Daten in einer Art Birdview in Echtzeit. (Borstell et al. 2012)

Integriert man diese Daten in ein echtzeitfähiges 3D-Modell des Logistikknötens, wird das räumliche Zusammenwirken der Sensorinformationen für den Betrachter transparent und nachvollziehbar. Zudem kann in diesem Modell interaktiv navigiert werden und eine visuelle Überprüfung durch den Menschen erfolgen.

Diese Form der Datenaufbereitung kann auch in der Produktion zur Anwendung kommen und dort z. B. zur Überwachung von logistischen Prozessen oder der Freiheit von Flucht- und Lieferwegen genutzt werden. Die Nutzung der realen Videobilder, die aus datenschutzrechtlichen Gründen oft nicht möglich ist, wird so umgangen. Objekte, wie z. B. Betriebsmittel, die mittels Analyse der Videodaten erkannt werden, werden im virtuellen Modell visualisiert. Bei Bedarf kann aus dem virtuellen Modell auf die virtuelle Draufsicht und folgend auf die realen Einzelansichten und die zugehörigen Sensoren geschlossen werden.

Das beschriebene Assistenzsystem steigert die Awareness der Mitarbeiter für die Einhaltung und Überprüfung relevanter Qualitätskriterien. Damit werden die Prozessqualität und -sicherheit langfristig gesichert.

3.4 Virtual Reality-basiertes Lernsystem in der Prozessindustrie

Die Firma Fangmann Energy Services GmbH & Co. KG aus Salzwedel hat eine mobile Freiförderanlage für Erdgasbohrungen entwickelt, die bei der Unterstützung der Produktion bei der Erdgasförderung eingesetzt wird. Für die Gewährleistung des sicheren Anlagenbetriebes ist die Qualifizierung der Bediener von besonderer Bedeutung. Diese umfasst drei wesentliche Anforderungen: (vgl. Edeling et al. 2013)

1. Prozess- und Anlagenverständnis der Freiförderanlage
2. Vermittlung von Kenntnissen zur Bedienung der Freiförderanlage
3. Sammlung von Erfahrungen zur Bedienung der Freiförderanlage bereits vor der Fertigstellung

Die Vermittlung dieser Lerninhalte kann nur sehr eingeschränkt im praktischen Betrieb erfolgen. Bereits während der Entwicklung sollten die zukünftigen Bediener qualifiziert werden und darüber hinaus ihre Erfahrungen in die Entwicklung mit einbringen.

Dazu wurde ein Lernsystem entwickelt, das auf der Basis der aktuellen Konstruktionsdaten die Handlungsanweisungen für die Montage, Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung der Anlage vermittelt und bedarfsgerecht zur Verfügung stellt.

Die Nutzung des Lernsystems sollte vor Ort im Arbeitsprozess erfolgen. Dazu wurde die Anwendung im Leitstand verfügbar gemacht und mit dem Prozessleitsystem gekoppelt (siehe Abb. 9)

Die Entwicklungszeit der Anlage konnte durch die Unterstützung des VR-gestützten Design-Reviews, u.a. mit den verantwortlichen Behörden, und der Möglichkeit der frühzeitigen begleitenden Mitarbeiterqualifizierung um ca. 25 % verkürzt werden. So waren die Mitarbeiter bei der Inbetriebnahme bereits qualifiziert, was zu einer Verkürzung der Inbetriebnahmephase um ca. 20 % führte.



Abbildung 9: Lernsystem im Leitstand (Foto: Fraunhofer IFF / Dirk Mahler)

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurden die Veränderungen der Produktionssysteme im Rahmen der Entwicklungen der Industrie 4.0-Initiative betrachtet. Dabei liegt der Fokus des Beitrags auf der Betrachtung des Menschen und seinen Anforderungen an lernförderliche und gesunde Arbeit.

Anhand ausgewählter Beispiele werden Lösungen für Lern- und Assistenzsysteme vorgestellt, die in der Industrie bereits im Einsatz sind.

Ziel ist es, diese vorhandenen Ansätze in einem ganzheitlichen Lern- und Assistenzsystem zu integrieren.

Dazu wird in dem vom BMBF geförderten Forschungsprojekt ProcessAssist (BMBF 2015) ein CPPS-basiertes Assistenzsystem für die Prozessindustrie entwickelt werden, dessen Ergebnisse dann auch auf Produktionsanlagen übertragbar sind.

Ziel des Projektes ist es, die Auslastung bestehender prozesstechnischer Anlagen zu erhöhen und die Zeiten für Wartung und Instandsetzung zu reduzieren, um dadurch eine verbesserte Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu erzielen. Im Rahmen von ProcessAssist werden Sensordaten der Anlage erfasst und auf ein einheitliches Datenmodell übertragen, das die Grundlage für die zu implementierenden (mobilen) Assistenzfunktionen bietet (siehe Abb. 10).

Die vier Anwendungsszenarien von CPPS in KMU aus dem Bereich der Prozessindustrie sind die Chemie, Erdgasförderung, Energie und Raffinerie. ProcessAssist soll den Anwendern (Anlagenbetreibern) folgende Mehrwerte schaffen:

- Reduzierung ungeplanter technisch bedingter Stillstandzeiten im Betrieb befindlicher prozesstechnischer Anlagen. Dies führt unter anderem zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz, der Anlagenverfügbarkeit sowie der Anlageneffektivität
- Automatische Dokumentation von Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten (Compliance).

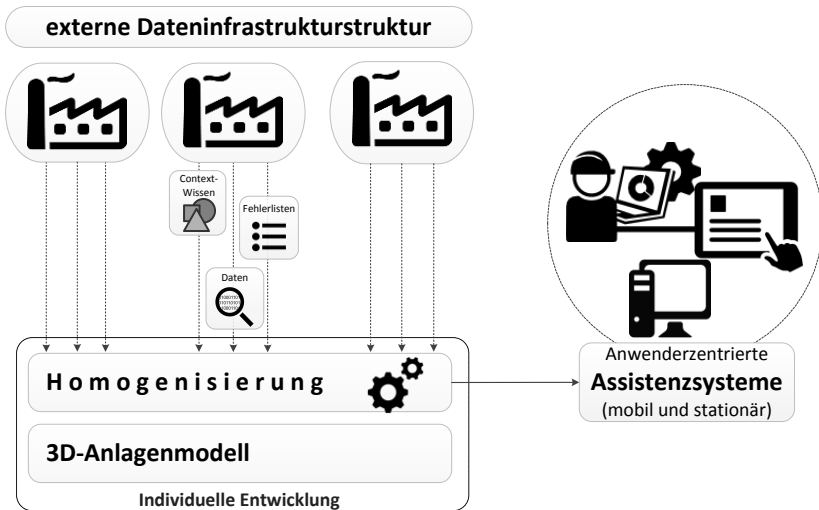


Abbildung 10: Prinzipskizze eines anwenderzentrierten Assistenzsystems in ProcessAssist (Quelle: Fraunhofer IFF)

Literatur

Berndt, Dirk; Sauer, Steffen; Trostmann, Erik (2014): Baugruppen im Montageprozess prüfen. In IT&PRODUCTION 12/2014. Abgerufen am 10.5.2015 von http://www.it-production.com/index.php?seite=einzel_artikel_ansicht&id=61877&page=1

BMBF, Pressemitteilung (2015): Abgerufen am 12.5.2015 von <http://www.bmbf.de/press/3772.php>

Bodenbender, Heinz (2015). : Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik in der Ingenieurarbeit. Unter Mitarbeit von et al. Hg. v. VDI-Gesellschaft Produkt und Prozessgestaltung. Online verfügbar unter <http://www.vdi.de/technik/artikel/einsatz-von-informations-und-kommunikationstechnik-in-der-ingenieurarbeit-1/>, zuletzt geprüft am 11.05.2015.

Borstell, H.; Plate, C.; Richter, K. (2012): Virtuelle Draufsicht für die bildbasierte Situationsanalyse. In: Ki-Dietrich Wolf, editor, Innosecure, Kongress mit Ausstellung für Innovationen in den Sicherheitstechnologien, 23. und 24.05.2012, Tagungsband, pages 63-70, Velbert, Heiligenhaus, May 2013. VDE Verlag Berlin Offenbach.

Botthof, Alfons; Hartmann, Ernst Andreas (Hg.) (2015). : Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0: Springer Berlin Heidelberg.

- cedemo (2015):. Center for Digital Engineering, Management and Operation. Abgerufen am 17.5.2015 unter: <http://www.cedemo.de>
- Deutsches Institut für Normung (2007):. Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen (ISO 6385:2004). Mai 2004 ; Dt. Fassung. Berlin: Beuth (Deutsche Norm, DIN EN ISO 6385).
- Edeling, F.; Gerdes, St.; Haase, T.; Franke, R. (2013). : Einsatz der Virtual Reality (VR) Technologie in Qualifizierung und Training für den sicheren und effizienten Betrieb einer mobilen Erdgas-Freiförderanlage. In: DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung des Fachbereiches Aufsuchung und Gewinnung am 18. und 19. April 2013 in Celle. Autorenmanuskripte. Hamburg: DGMK (Tagungsbericht, 2013,1).
- Fischer, Petra M. (2007): Berufserfahrung älterer Führungskräfte als Ressource. 1. Aufl.: Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. (Wirtschaftswissenschaft).
- Frey, C. B.; Osborne, M. A., 2013. : The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? In: Retrieved September 7, S. 2013.
- Ganschar, Oliver; Gerlach, Stefan; Hämmerle, Moritz; Krause, Tobias; Schlund, Sebastian (2013):. Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. 1. Aufl. Hg. v. Dieter Spath. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Stuttgart. Online verfügbar unter http://www-produktionsarbeit.de/content/dam/produktionsarbeit/de/documents/Fraunhofer-IAO-Studie-Produktionsarbeit_der_Zukunft_-_Industrie_4.0.pdf, zuletzt geprüft am 13.12.2013
- Gorecky, Dominic; Schmitt, Mathias; Loskyll, Matthias (2014):. Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung - Technologien - Migration. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, S. 525–542.
- Haase, Tina; Termath, Wilhelm; Martsch, Martsch (2013). : How to Save Expert Knowledge for the Organization: Methods for Collecting and Documenting Expert Knowledge Using Virtual Reality based Learning Environments. In: Procedia Computer Science 25 (0), S. 236–246. DOI: 10.1016/j.procs.2013.11.029.
- Haase, Tina; Weisenburger, Nathalie; Termath, Wilhelm; Frosch, Ulrike; Bergmann, Dana; Dick, Michael (2014). : The Didactical Design of Virtual Reality Based Learning Environments for Maintenance Technicians. In: Virtual, Augmented and Mixed Reality. Applications of Virtual and Augmented Reality: Springer, S. 27–38.
- Hacker, Winfried (1973):. Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie. Psychische Struktur und Regulation von Arbeitstätigkeiten. Berlin: Dt. Verl. der Wiss.

- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2014): Wandel von Produktionsarbeit - Industrie 4.0. 1. Aufl. Unter Mitarbeit von Peter Ittermann. Hg. v. Hartmut Hirsch-Kreinsen und Johannes Weyer. Technische Universität Dortmund, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät. Dortmund (Soziologische Arbeitspapiere, 38/2014). Online verfügbar unter http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/is/de/forschung/soz_arbeitspapiere/Arbeitspapier_Industrie_4_0.pdf, zuletzt geprüft am 24.03.2015.
- Kowalewski, Stefan; Greiner, Thomas; Dernehl, Christian; Koziolk, Heiko; Niggemann, Oliver; Gatica, Carlos Pais; Reißig, Gunther (2014). : Industrie 4.0 - CPS-basierte Automation. Forschungsbedarf anhand konkreter Fallbeispiele. Hg. v. VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. Düsseldorf (Statusreport). Online verfügbar unter <http://www.vdi.de/technik/fachthemen/mess-und-automatisierungstechnik/industrie-40/>, zuletzt geprüft am 11.05.2015.
- Maas, Steffen; Weidner, Jörg (2014):. Lean Management - Worthülse oder Erfolgskonzept? Eine Studienreihe des Fraunhofer IIS und der Fraunhofer-Arbeitsgruppe SCS. Stuttgart: Fraunhofer Verl.
- Nonaka, Ikujiro; Takeuchi, Hirotaka (2012). : Die Organisation des Wissens. Wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen. 2., um ein Vorw. erw. Aufl. Frankfurt am Main: Campus-Verl (Management).
- REFA (2015):. Die LEAN-Philosophie seit 90 Jahren. Abgerufen am 4.5.2015 von <http://www.refa-nordwest.de/regionen-und-bezirke/nordrhein-westfalen/rv-ostwestfalen-lippe/aktuelle-seminare-owl/administration-office-spezial/die-lean-philosophie-seit-90-jahren.html>
- Reinhart, Gunther (2015):. Der Mensch im Mittelpunkt der Forschung Industrie 4.0. Interview des VDMA, abgerufen am 10.5.2015 von <http://www.vdma.org/video-item-display/-/videodetail/7521451>.
- Schäfer, A. (2014):. STROBAS - Das stationäre Roboter-Assistenzsystem. In: Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -Automatisierung. Leistungen und Ergebnisse. Jahresbericht 2014: Fraunhofer IFF, Magdeburg.
- Schenk, M. (2014):. Industrie 4.0-Wege und Lösungsbeispiele. In: Wolfgang Kersten (Hg.): Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern. Berlin: Gito (Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB)).
- Schenk, M.; Poenicke, O.; Richter, K. (2012):. Smart Standardized Logistics Zones. In: Coordinated Autonomous Systems, 6th International Scientific Symposium on Logistics. BVL-Schriftenreihe Wirtschaft und Logistik. Hamburg, S. 76–84.
- Schenk, M.; Schumann, M. (2008): Interoperable Testumgebung für verteilte domänenübergreifende Anwendungen. In: Bernd Scholz-Reiter (Hg.): Technologiegetriebene Veränderungen der Arbeitswelt. Berlin: Gito-Verl (Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V.), S. 155.

- Schlick, Christopher; Moser, Klaus; Schenk, Michael (2014): Flexible Produktionskapazität innovativ managen. Handlungsempfehlungen für die flexible Gestaltung von Produktionssystemen in kleinen und mittleren Unternehmen. Online-Ausg. Dordrecht: Springer (EBL-Schweitzer).
- Soder, Johann (2015): Lean Industrie 4.0: Erfolgreich mit Werten und Menschen im Mittelpunkt. In: Huffington Post Deutschland, abgerufen am 9.5.2015 von http://www.huffingtonpost.de/johann-soder/lean-industrie-40-mensch-im-mittelpunkt_b_7230102.html
- Volpert, Walter (1974): Handlungsstrukturanalyse als Beitrag zur Qualifikationsforschung. Köln: Pahl-Rugenstein (Sport, Arbeit, Gesellschaft, 5).
- Wölfle, M., 2014.: Kontextsensitive Arbeitsassistenzsysteme zur Informationsbereitstellung in der Intralogistik. Dissertation. TU München, Fakultät für Maschinenwesen. 2014.