Industrie 5.0 – Von der Vision des menschenzentrierten Ansatzes zu sozio-cyberphysischen Produktionssystemen für die Praxis

N. Günther¹, B. Prell¹, J. Reiff-Stephan¹

Zusammenfassung

Industrie 4.0 Ansätze haben sich in der fertigen Industrie vielerorts etabliert. Big Data, IIoT und Künstliche Intelligenz (KI) ermöglichen neue Geschäftsmodelle und wirken sich dadurch auch verändernd auf Produktionssysteme aus. Mit dem Begriff der Industrie 5.0 formuliert sich ein menschenzentrierter Ansatz. Die Praxisrelevanz dieser und ähnlicher Innovationen hängt maßgeblich davon ab, wie derartige Einsatzmöglichkeiten neuer, digitaler Technologien in die bestehenden Unternehmensstrukturen Einzug halten. Hierbei kommt es also auf Transfer und Akzeptanz neuer Technologien an. Digitalisierung gestaltet sich somit als sozio-technisches Problem. Dieser Beitrag gibt Einblick in aktuell verfolgte Transferansätze für Digitalisierung im Mittelstand und leistet einen Teil zu Theoriebildung, als dass er auch einen Ausblick auf weitere Aktivitäten in dem Umfeld liefert.

Stichwörter

Industrie 5.0, Transfer, Akzeptanzmodell, sozio-cyberphysische Produktionssysteme

1 Einleitung

Die wirtschaftliche Produktion von Gütern stellt Unternehmen im globalen Wettbewerb vor eine kontinuierliche Herausforderung. Der ungeheure, oft durch Digitalisierung getriebene, Fortschritt der Fertigungstechnologien zum einen, als auch das internationale Lohngefälle sind Motivation genug, die Effizienz der heimischen Wertschöpfung zu steigern. Die Technologie scheint jedoch aktuell weniger das vordrängliche Problem zu sein, als die Durchdringung und ihre Verbreitung in der Praxis. Somit wird deutlich, dass bei diesem, oft als rein technisches Problem behandelten, Komplex die sozio-technische Aspekte nicht vernachlässigbar sind.

Weiterhin deuten aktuelle Trends eher daraufhin, dass vermehrt auf bestehende oder gar neue Technologien zurückgegriffen werden muss, um den mit diesen Trends einhergehenden Herausforderungen gewachsen zu sein. Nicht umsonst wird Digitalisierung als eine der drei größten Herausforderung unserer Zeit gehandelt [1]. Sie gilt als Schlüssel zu Nachhaltigkeit, Resilienz, Flexibilität und langfristige Prosperität.

Im zweiten Abschnitt des vorliegenden Beitrags wird dieses Problemverständnis genauer herausgearbeitet und die Notwendigkeit aus aktuellem dem Stand von Umwelt, Technologie und Mensch hergeleitet. Die Vision der Industrie 5.0 wird skizziert wobei auf bisherigen Ansätzen, wie der Industrie 4.0 oder dem MTO-Konzept aufgebaut wird. Abschnitt 3 behandelt Ansätze, die dazu beitragen, dass die

¹ Technische Hochschule Wildau

Vision der Industrie 5.0 Einzug in die Praxis hält und stellt ausgewählte Methoden vor, die diesen Praxistransfer unterstützen. Schließlich wird in Abschnitt 4 ein ortsflexibler Demonstrator für verschiedenste Digitalisierungsaspekte in der Fertigung vorgestellt und dieser mit Bezug auf die Vision der Industrie 5.0 erläutert. Abschließend wird der Beitrag zusammengefasst als auch ein Ausblick auf weitere Forschungsbedarfe und -ansätze gegeben.

2 Industrie 5.0

Anschließend an die ersten vier industriellen Paradigmenwechsel, der Mechanisierung, Elektrifizierung, Automatisierung und schließlich der Digitalisierung – auch Industrie 4.0 genannt - schließt sich die Humanisierung als Industrie 5.0 an [2]. Die Europäische Kommission beschreibt die Schwerpunkte der *Industrie 5.0* ihrem Verständnis nach als die verstärkte Betrachtung von Mitarbeitenden, Nachhaltigkeit und Resilienz [3]. Dem gegenüber steht die Vision der „vollständigen Integration der Führungskraft in die kybernetische Welt“ [4]. Bisher galt das Paradigma, dass sich der Mensch im Produktionsprozess der Technik unterzuordnen hat und als (Be-)Diener der Maschinen auftrat. Durch den sich verschärfenden Fachkräftemangel und die kürzeren Entwicklungszyklen steigt die physische und psychische Belastung der Mitarbeitenden. Neben dem Fachkräftemangel spiegelt sich in vielen Belegschaften auch der demografische Wandel wider. Ein Anstieg der Arbeitsunfähigkeitstage durch Überbelastung ist oft die Folge [5]. Sind bisher Produktionsmaschinen das knappe Gut der Produktion und

Abbildung 1: Das MTO-Konzept in der Industrie 5.0-Vision

somit durch Mensch und Organisation möglichst hoch auszulasten gewesen (vgl. Abbildung 1 b)), ist hier ein Wandel hin zum Menschen als dominante Ressource zu beobachten (vgl. Abbildung 1 c)).

Die Herausbildung der Industrie 5.0 kann somit einerseits auf die Erkenntnis zurückgeführt werden, dass die fehlende digitale Durchdringung vieler Produktionsbereiche meist nicht mit technischen Problemen zu begründen ist, sondern eher mit der Suboptimalität des bisher wenig beachteten Zusammenspiels von Mensch und Maschine. Dies spiegelt das Auslegungsproblem eines sozio-technischen Systems wider[6]. Um das bisher verwendete Mensch-Technik-Organisation-(MTO)-Konzept mit gängigen Modellierungen von sozio-technischen Systemen in Einklang zu bringen, regen die Autoren folgende Interpretation an: Nach dem MTO-Konzept wird wie in Abbildung 1 a) dargestellt, klassischerweise die Aufgabe als Schnittstelle verstanden: „[Sie] verknüpft einerseits das soziale mit dem technischen Teilsystem, sie verbindet andererseits den Menschen mit den organisationalen Strukturen“ [7]. Jedoch kann beobachtet werden, dass sich viele Unternehmungen meist nicht nur auf eine Aufgabe beschränken und Schnittstellen zwischen den MTO-Dimensionen aufgabenspezifisch geknüpft werden. Der kreative Prozess des Verknüpfens stellt die inhärente menschliche Begabung dar, die trotz aller Bemühungen weiterhin nur bedingt ersetzbar ist.

Die Autoren plädieren daher dafür das MTO-Konzept dahingehend zu interpretieren, dass eine Unternehmung aus ihrem Bestand an technischen, menschlichen und organisatorischen Ressourcen besteht, die dazu geeignet sind, eine Schar an Aufgaben zu bewältigen. Eine Aufgabe stellt somit eine Instanz der MTO-Klasse dar, wie es mit Abbildung 1 b) verdeutlicht wird.

Es ist zu beachten, dass die Vision der Industrie 5.0 auf den Paradigmen der Industrie 4.0 aufsetzt. Hierbei sind insbesondere die datentechnische Anbindung der Produktionsmittel und die virtuelle Repräsentation durch Datenmodelle zu nennen die folglich in Dualität von cyber und physischen Produktionssystem, einem *cyberphysischen Produktionssystem* (CPS), einem etablierten Modell sozio-technischer Systeme mit Industrie 4.0-Hintergrund, mündet. Die Erweiterung um die hergeleitete sozio-technische Komponente führt zum sozio-cyberphysischen Produktionssystem (SCPPS), welches gute Chancen hat, sich als Standardmodell für die Industrie 5.0 durchzusetzen. Durch die Abkehr vom bestehenden objektorientierten und die Zuwendung zum subjektorientierten (menschzentrierter) Ansatz kann den Auswirkungen knapper menschlicher Ressourcen entgegengewirkt werden. Die Frage die sich nun hieraus aufdrängt lautet: Wie sind menschlich Ressourcen optimal auszulasten, so dass diese nachhaltig einen möglichst hohen Output erreichen, d.h. ohne dass Überlastung auftritt? Menschliche Bioparameter können als erweiterte Entität in bestehenden Systeme Berücksichtigung finden und aktiv zur Regulierung genutzt werden. Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt die Konstellation eines SCPPS: Während in der physischen Umwelt das sozio-kognitive System bereits über entsprechende Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMIs) mit dem physischen System und den untergeordneten Arbeitssystemen direkt interagiert, wird die Cyber-Umwelt durch die physische Umwelt mittels bereitgestellter Informationen zu Interaktionsentscheidungen unterstützt. Das Modell zeigt dabei den bisherigen Interaktionsansatz von CPPS-Systemen auf: Prozessdaten wie bspw. Betriebsdaten aus dem physischen System und Systemdaten (bspw. von verschiedenen Anlagen) werden dem Cyber-System bereitgestellt. Diese Daten werden dann in einem virtuellen System analysiert. Die Resultate werden mit dem Cyber-System geteilt und bei Bedarf an das physische System zur Anpassung weitergeleitet. Im Zuge der Erweiterung um den sozialen Raum spielt das sozio-kognitive System u.a. mit seinen kognitiven und mentalen Teilsystemen eine entscheidende Rolle. Durch die Interaktion der kognitiven Fähigkeiten des Systems und der daraus entstehenden mentalen Belastungen können Vitaldaten bspw. ECG-Werte (Elektrocardiogramm), elektrodermale Aktivitäten (EDA-Werte) oder auch erfasste Emotionen in das Cyber-System eingebettet werden. Durch die Implementierung der Daten in die bestehende Datenstrukturen, kann eine subjektorientierte Steuerung für die Engpassregulierung umgesetzt werden. Das Cyber-System kann nur indirekt auf das sozio-kognitive System einwirken, wodurch es entsprechend der Reaktionen des mentalen Systems agieren und sich somit anpassen muss.

Abbildung 2: Modell für sozio-cyberphysische Produktionssysteme

3 Kompatibilität, Change und Akzeptanz

Die Durchsetzungsfähigkeit von Technologien der Industrie 5.0 kann ebenfalls mit Hilfe der Dimensionen Mensch, Technik und Organisation analysiert werden: So kann sie sich technisch nur durchsetzen, was einen Beitrag im Sinne einer Verbesserung der Produktionsfunktion (d.h. in Bezug auf Zeit, Kosten oder Qualität) bewirkt. Weiterhin muss Technologie organisatorisch eingebunden werden und schließlich von den Bedienern, also Menschen, akzeptiert werden. Für jede der genannten Dimensionen wird im Folgenden ein ausgewählter etablierter Ansatz vorgestellt, wobei die Neuerung in der systematischen Kombination dieser dimensionsspezifischen Ansätze liegt. Entgegen der bisher gewählten Reihenfolgen, wird im Folgenden zunächst die Dimension Technik, dann die Organisation und schließlich die Dimension Mensch betrachtet, da dies der Argumentation dient.

Technik: Die Einführung von Technologien im betrieblichen Kontext sollte immer dann angestrebt werden, wenn sie sich positiv auf die Kriterien Kosten, Zeit oder Qualität auswirkt. D.h. wenn sich aus der Einführung eine Kostenreduktion, Qualitätssteigerung oder -stabilisierung erzielen lässt oder wenn sich Fertigungs- bzw. Durchlaufzeiten dadurch verkürzen. Dies entspricht dem Verständnis des Terms *Produktionstechnologie*, wie er in der Produktionswirtschaft, als Teil der Betriebswirtschaftslehre genutzt wird und eine funktionale Beziehung zwischen Input und Output herstellt [8]. Eine isolierte Abwägung ob dieses Kriterium erfüllt wird ist allerdings nicht zielführend. Vielmehr bedarf es einer integrierten Betrachtung, die bestehenden Systeme und die Kompatibilität, Weiterentwicklungspotentiale, Beherrschbarkeit und auch die Implementierungsgeschwindigkeit berücksichtigt. Die Technologie-Portfolio-Analyse (TPA) kann eine solche integrierte Betrachtung unterstützen. Ursprünglich zielt die TPA darauf ab, als Entscheidungshilfe für Entwicklungsinvestitionen für Technologien zu dienen – sprich die Frage zu beantworten: *In die Entwicklung welcher Produkt- oder Prozesstechnologien sollte investiert werden?*

Die Autoren teilen aber die Auffassung von Voigt, dass die TPA auch bei Investitionsentscheidungen, welche vorrangig durch Kauf- als durch Entwicklungsaspekte gekennzeichnet sind, hilfreich sein kann

[9]. Im Zuge der TPA sind, wie in Abbildung 3 verdeutlicht, die Indikatoren der Technologieattraktivität als auch der Ressourcenstärke zu bewerten. Technologieattraktivität wird dabei zumeist mit den Unterindikatoren Weiterentwicklungspotential (Leistungssteigerung oder Kostenreduktion), Anwendungsbreite (Übertragbarkeit auf andere Anwendungsbereiche) und Kompatibilität untersetzt. Ressourcenstärke mit technisch-qualitativem Beherrschungsgrad (Know-How), Potentiale (finanzielle, personelle und sachliche Ressourcen zur Potentialausschöpfung) und (Re-)Aktionsgeschwindigkeit (Zeit bis zum Ausschöpfen des Potentials) [10]. Die qualitativ-grafische Analyse mittels Aufteilung des Zeichenbereichs ermöglicht eine managementgerechte Visualisierung wobei der Zielbereich erwartungsgemäß oben rechts verortet ist.

Abbildung 3: Technologie-Portfolio-Analyse nach [10]

Organisation: Wurde eine Technologie identifiziert, die sich bei erfolgreicher Implementierung als technisch vorteilhaft erweist, ist ebendieser Aspekt der erfolgreichen Implementierung zu betrachten. Im Bereich der Geschäftsmodellinnovation wird für die wirksame Änderungsmotivation auf das Ähnlichkeits- oder der Konfrontationsprinzip oder gar eine Kombination beider zurückgegriffen [11]. Die Entlehnung aus dem Bereich der Geschäftsmodelle erscheint umso sinnvoller, wenn Geschäftsmodelle als die Organisation der Wertschöpfung über Stakeholder hinweg verstanden wird. Beim Ähnlichkeitsprinzip werden analoge Branchen oder gar Technologieführer der eigenen Branche betrachtet, und ausgehend von der eigenen Organisation überlegt, wie dort erfolgreiche Innovationen – hier: Technologien der Industrie 5.0 – übertragen werden können. Verschiedene Umfragen insb. im Bereich der Mittelständler und des Handwerks zeigen, dass der Anwendererfahrung aus einer ähnlichen oder gar der gleichen Branche oder einer ähnlichen Unternehmensgröße viel Bedeutung beigemessen wird [[12], [13]].

Radikalere organisatorische Veränderungen bedürfen meist dem Konfrontationsprinzip, wobei ein möglichst unbequemer Konkurrent zu konstruieren ist, der dafür bekannt ist, Innovationen konsequent zu seinem Wettbewerbsvorteil zu implementieren. Die typische Konstruktionsfrage für diese Überlegung lautet: „Wie würde XY unser Geschäft führen?“ [11] Die Auslassung XY ist dann wahlweise mit McDonalds, Dell, Aldi, Apple, Swatch, Ryanair, Nespresso, o.ä. zu füllen. Im Falle der Implementierung von Technologien der Industrie 5.0 kann die Konstruktionsfrage abgewandelt werden zu: „Welchen Produktionsprozess hätte XY an unserer Stelle?“ Da beide Prinzipien nicht dazu beitragen, Technologien zu identifizieren, erscheint es sinnvoll diesen Schritt nachgelagert nach der TPA auszuführen. Die Szenarien dienen der organisatorischen Integration und somit zum Erfolg der Implementierung vorausgewählter Technologien.

Mensch: Die tatsächliche Nutzung technischer Systeme hängt jedoch nicht allein vom technisch-wirtschaftlichen Mehrwert oder der organisatorischen Implementierung dieser ab, sondern auch davon, ob diese von den Bedienern wahr- und angenommen werden. Ursprünglich für die Bewertung von informationstechnischen Systemen entstanden, hat sich das Technologie-Akzeptanzmodell (TAM) bei der Anwendung in vielen anderen Bereichen als geeignet erwiesen, diese zu modellieren. So kann es auch einen Beitrag dazu leisten, das tatsächliche Nutzungsverhalten für Lösungen der Industrie 5.0 abzubilden und zur Auslegung dieser beitragen. Abbildung 4 zeigt eine Erweiterung, die allgemein als TAM2 bekannt ist, das Grundmodell TAM jedoch, wie markiert, weiterhin enthält [14]. Das Grundmodell besagt, dass das Nutzungsverhalten hauptsächlich von der Nutzungsabsicht abhängt. Diese Nutzungsabsicht wiederum ist ein Vorsatz, der sich aus der *wahrgenommenen Nützlichkeit* als auch der *wahrgenommenen Einfachheit der Nutzung* zusammensetzt [15]. Diese latenten (nicht direkt messbaren) Variablen sind mit messbaren Indikatoren zu untersetzen, um eine valide Modellbildung sicherzustellen. Hierbei ist die Indikatorengruppe der sozialen und die der kognitiv-instrumentellen Prozessvariablen zu unterscheiden. Erstere umfasst Freiwilligkeit, Image und subjektive Normen, d.h., wie die Erwartungen der jeweiligen Peergroup die Verhaltensvorsätze beeinflussen. Es konnte nachgewiesen werden, dass dieser Einfluss mit steigender Nutzungserfahrung des technischen Systems sinkt [16].

Während bei der Freiwilligkeit bisher das Primat der Technik galt und der Mensch deren Bedienung zu erlernen hatte, ist aufgrund des in Absatz 2 dargestellten Paradigmenwechsels nun darauf zu achten, dass der Mensch Technik ohne große Anlernzeit intuitiv und intrinsisch motiviert bedient. Größere Unternehmen weisen meist eine Funktionstrennung zwischen den Beschäftigten auf, die Produktionssystemkomponenten auslegen, integrieren, beschaffen und somit um die Vorteile wissen und solchen die sie dann nutzen bzw. bedienen müssen, auch wenn sich ihnen der Nutzen nicht direkt erschließt. Dadurch sind vor allem größere Produktionsbetriebe darin geübt, Nutzungsobligationen, die über die Freiwilligkeit hinausgehen, durchzusetzen. Im Gegensatz dazu ist bspw. in Kleinstbetrieben, wie dem Handwerk die große Bedeutung der Freiwilligkeit augenfällig. Wer soll der Inhaberin und Meisterin eines Handwerksbetriebs eine Lösung überhelfen? Vielmehr kann hier eine starke Imagefokussierung beobachtet werden, wie sie die Werkzeughersteller, neben den Einschränkungen im Ökosystem (Kompatibilität bzgl. Akku-, Schienen-, Adapter-, Verstaussysteme) mit ihren Marken pflegen. Eine gelungene Strategie der Akzeptanzbildung kann hierbei bspw. in der Spielzeugserie Bosch der Theo Klein GmbH gefunden werden [17].

Abbildung 4: Technologieakzeptanzmodell – vgl. [14]

Die drei vorgestellten Modelle bzw. Methoden geben einen guten Überblick darüber, wie die MTO-Dimensionen im Sinne der Industrie 5.0 adressiert werden können. Gleichzeitig bildet die Reihenfolge auch ein methodisches Vorgehen ab, dass die Bewertung, Implementierung und Akzeptanz von einzuführenden Technologien umfasst. Die Validierung steht jedoch aus. Im folgenden Abschnitt wird ein Ansatz für die Akquise der, zur Validierung notwendige, Datengrundlage vorgestellt.

4 Praxisansätze

Einen Ansatz zum Wissens- und Technologietransfer stellt die *Prescriptive Education* dar [2]. Dieser ist nicht nur auf die Lehre, sondern auch für das lebenslange Lernen in betrieblichen Projekten adaptierbar. Für die Empfehlungen durch den Lernpartner kann der Modellansatz der Prescriptive Education durch den Einsatz des Berliner Intelligenzstrukturmodells von Jäger zur Prüfung der normativen Wissensbestände als auch der bestehenden Kompetenzfelder herangezogen werden [18]. Der so erfasste Wissensstand hilft dem Lernpartner bei der Auswahl des jeweiligen Lehrpfades. Durch das *Elaboration Likelihood Modell* kann zudem auf den Aspekt der stärkeren Belastung des Arbeitsgedächtnis eingegangen werden [19]. So lässt sich nach Jipp und Steil festhalten, dass Menschen mit einer geringeren Arbeitsgedächtniskapazität kognitive Anstrengungen meiden und dabei eine höhere Fehlerwahrscheinlichkeiten durch Heuristiken akzeptieren [20]. Dahingegen bauen sich Menschen mit einer höheren Arbeitsgedächtniskapazität sowie einer höheren Informationsverarbeitungskapazität mentale Modelle auf, wodurch diese eine geringere Fehlerwahrscheinlichkeit erreichen.

So muss im Ansatz der Prescriptive Education wie auch für zukünftiger SCPPS-Modelle eine Flexibilität des Lern-, Arbeits- und Belastungsumfangs bedacht werden, welcher sich individuell auf die kognitiven Fähigkeiten der sozio-kognitiven Systeme anpasst. Rein adaptierbare oder adaptive Systeme werden nur schwer die benötigte Akzeptanz für das benötigte lebenslange Lernen bieten. Es ist damit zu rechnen, dass die kognitiven Fähigkeiten sogar abnehmen werden. Lernende Systeme könnten das benötigte Potenzial besitzen, verlangen jedoch nach Alternativen, um sich an die Fähigkeiten und die Vitaldaten der sozio-kognitiven Systeme anpassen zu können. Ein Ansatz ist hier neben den Einsatz verschiedener Technologien auch die Stressbelastung zu beachten. Ein Beispiel für die Implementierung verschiedener Technologien bietet die Roadshow als mobile Demonstrationsplattform, wodurch Technologien erprobt und Ängste gegenüber neuen Kollaborationsmöglichkeiten abgebaut werden.

4.1 Demonstrationszentrum “Roadshow”

Zur Steigerung der Akzeptanz von bestehenden und neuen Technologien wurde im Rahmen der Mittelstand-Digital Initiative des BMWi eine Roadshow am Standort Wildau aufgebaut. Die Roadshow bildet über zehn vernetzte Stationen hinweg eine innerbetriebliche Wertschöpfungskette ab. Am Fallbeispiels eines Knobelspiels bzw. eines 3D-Puzzels, dem Teufelsknoten (s. Abbildung 6), wird der typische Weg durch ein Produktionssystem mit den entsprechenden Schnittstellen dargestellt und vielseitige Möglichkeiten zur Digitalisierung aufgezeigt. Die Roadshow umfasst zwei s.g. Wechselkoffer (s. Abbildung 5 a)) und kann mit nur einem Zugfahrzeug Transferideen dorthin bringen, wo sie benötigt werden. Bei einem Durchgang lernen die Teilnehmenden verschiedene Möglichkeiten der Rückverfolgbarkeit mittels NFC, QR- oder Barcode kennen; welche Möglichkeiten der 3D-Druck neben der klassischen Zerspannung bietet; wie mittels Cloud-Lösung und Robotic-Process-Automation (RPA) Daten transportiert werden können; wie verschiedene Assistenzsysteme Unternehmensprozesse, Montageprozess oder die Kommissionierung unterstützen können; wofür AR / VR / IIoT bei der Instandhaltung und Maschinenüberwachung eingesetzt werden können; oder wie KI und Robotik in der Qualitätssicherung sowie im Sortierprozess unterstützen kann. Der geneigte Leser kann sich gern selbst ein Bild von der Roadshow machen: Aktuelle Termine und Veranstaltungsorte sind unter

www.kompetenzzentrum-cottbus.digital/Veranstaltungen zu finden. Im Rahmen dieses Beitrags soll lediglich die Montagestation detaillierter im nächsten Unterabschnitt dargestellt werden. Mit der ortsunabhängigen, praxisnahen und pragmatischen Demonstration kann der Transfer durch gesteigerte Bekanntheit und ein besseres Bewusstsein für derartige Technologien gestärkt werden. Zusätzlich wird die Innovationsstärke gefördert, indem Anstöße zur Weiterentwicklung für die eigene Nutzung gegeben werden und das Team des Kompetenzzentrum in s.g. Umsetzungsprojekten bei den ersten Schritten mit Expertise zur Seite steht.

a)

b)

Abbildung 5: Die Roadshow - Digitalisierung on Tour

4.2 Montageanleitung

Im Rahmen der zehn Stationen befindet sich an der neunten Station ein Montageplatz. Am Beispiel dieser Montagestation werden, entsprechend der Abbildung 6, Systeme der klassischen schriftlichen Unterweisung mit Systemansätzen wie der Mixed und Augmented Reality (AR) oder Sprachsteuerung mit interaktiver Projektion gegenübergestellt. Weitere Szenarien und Anwendungsszenarien befinden sich in der Entwicklung. Am Beispiel der Station können neben der Erprobung der Technologien auch Untersuchungen zur Akzeptanzbildung, der Stressbelastungen sowie die daraus resultierenden Lernerfolge durchgeführt werden.

Abbildung 6: Montageanleitung 5.0

Um den Ansatz der Stressregulierung Rechnung zu tragen, wurde eine Proof-of-Concept Studie mittels Biosignalen zur Analyse der Stressbelastungen zwischen der klassischen schriftlichen Arbeitsanweisung und einer Mixed Reality Technologien durchgeführt. Ähnlich dem Ansatz des Elaboration Likelihood Modells konnten die Probanden zwischen den beiden Technologien wählen, dabei war es egal welchen Ausbildungsstand und welche kognitiven Fähigkeiten sie im Vorfeld aufwiesen. Mittels eines dreiphasigen Ansatzes konnten die Herangehensweisen zwischen den Probandengruppen untersucht und analysiert werden. So konnte wiederholt in der Studie der heuristische Ansatz zur Montage der Baugruppe bei der schriftlichen Arbeitsanweisung beobachtet werden, bevor eine strukturierte Montage unter Zuhilfenahme der Vorlage erfolgte. Durch das starre System von digitalen Technologien und den darin vordefinierten Arbeitsanweisungen konnten die Probanden nur eine einzige strukturierte Montage vornehmen. Dies gilt Einerseits für die Montage wie auch für die Demontage zur Wiederholung der Schritte und zum Aufbau der mentalen Prozessmodelle.

Es zeigte sich, dass die subjektiven Einschätzungen im Studienverlauf nicht mit den erfassten Biosignalen übereinstimmen. Wodurch eine Erfassung u.a. von Vitalwerten für ein SCPPS-System relevant erscheint. Hierbei ist neben der Erfassung von Alter und Geschlecht, Qualifizierung wie auch des Arbeitsumfelds von entscheidender Bedeutung. Auch müssen die Parameter, von der individuellen Norm abweichend sind, im System erfasst werden. Das Arbeitsumfeld bestimmt dabei die Definition und Erfassung der entsprechenden Biosignale. Sitzende Aktivitäten lassen den Einsatz einzelner Vitalwerte relativ einfach zu. Dahingegen sind Aktivitäten im Bewegungsbereich, welche ein sozio-cyberphysisches Produktionssystem beinhaltet mit gekoppelten Systemansätzen notwendig, um entstehende Fragmente bei der Erfassung und Auswertung evaluieren und interpretieren zu können.

In den ersten Untersuchungen mittels ECG-Messungen konnte während der Montage bei den Probanden mit technischem Grundwissen eine leicht erhöhte Stressbelastung beim Einsatz analoger Hilfsmittel beobachtet werden. Bei den Probanden ohne technisches Grundwissen fiel die Analyse im Gegensatz dazu konträr aus, hier konnte ein Delta von 14% zwischen digitalem und analogem Hilfsmittel ermittelt werden. Durch die strukturierte Montage mittels digitaler Hilfsmittel ist jedoch die Stressbelastung im Nachgang durchschnittlich um 11% geringer ausgefallen. Zudem konnte die Montagezeit für den korrekten Zusammenbau durch den Einsatz digitaler Hilfsmittel gesenkt werden. Der Einsatz

digitaler Hilfsmittel unterstreicht zwar eine temporäre Belastung im Lernprozess, jedoch erfolgt die Ausübung der Tätigkeit in der dritten Phase belastungsfreier, wie die Vitalwerte zeigten. Hierbei ist auch zu beachten, dass Emotionen in der Proof-of-Concept Studie nicht mit eingegangen sind, jedoch dessen Auslösung bspw. durch das versehentliche Fallenlassen oder eines fehlerhaften Montageschritts sich in den Vitalwerten widerspiegeln. Der Ausschnitt in Abbildung 7 zeigt den abnehmenden Belastungsfaktor über die Peak-Intervalle (RR-Intervalle) zwischen der ersten und dritten Phase beim Zusammenbau der Montagegruppe. Wodurch die Proof-of-Concept erbracht scheint.

Abbildung 7: Ausschnitt einer ECG Messung im Rahmen der Proof-of-Concept-Studie

5 Diskussion und Ausblick

Zur Umsetzung einer menschenzentrierten Industrie 5.0 bedarf es neben Nachhaltigkeitsaspekten auch ein Umdenken von bestehenden Ansätzen für zukünftige Produktionssysteme. Der Beitrag zeigt dabei auf, wie zukünftige Produktionssysteme durch die Menschzentrierung für eine Industrie 5.0 umgesetzt werden können. Die drei Dimensionen Mensch, Technik, Organisation werden in ein dreiphasiges Vorgehen zur Unterstützung bei der Auswahl, organisatorischen Einbindung und Akzeptanzbildung aufgegriffen. Die Entwicklung der Ansätze für soziotechnische Systeme beschreibt einen Ansatz der Implementierung, der entsprechend der Proof-of-Concept Studie verschiedene Stellhebel auf, welche in nachfolgenden Untersuchungen näher betrachtet werden sollten. Gerade der dynamische Ansatz erfordert zusätzliche Anforderungen an die Systeme und die spätere Datenanalyse und steckt hierfür ein breites Forschungsgebiet für die Thematik ab. Bevor es jedoch langfristig in die Umsetzung von sozio-cyberphysischen Produktionssystemen geht, muss neben dem Ansatz der Prescriptive Education auch die Akzeptanz für zukünftige Technologien gesteigert werden. Das TAM bietet hierfür einen Ansatz, welcher für diesen Anwendungsfall näher betrachtet und verfeinert werden sollte. Gerade für kleinere Unternehmen bedeutet der Einsatz neuer Technologien hohe Investitionen, welche nur durch die Mitnahme der Mitarbeiter ihr volles Potential entfalten können. So sind die Anwendung und Validierung des Technologieakzeptanzmodells vor allem für mittlere und kleine Unternehmen bisher kaum bis gar nicht überliefert und bietet einen Ansatzpunkt für weitere Forschung in dem Umfeld.

6 Literatur

- [1] A. Merkel, "Rede der Bundeskanzlerin zum großen Zapfenstreich," 2.12.2021. Berlin, Accessed: Dec. 5, 2021. [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/bulletin/rede-von-bundeskanzlerin-dr-angela-merkel-1987488>.
- [2] N. Günther and J. Reiff-Stephan, "Prescriptive Education im Zuge der Industrie 5.0," in *AALE*, no. March, J. Jäkel and R. Thiel, Eds. Leipzig: VDE Verlag, 2020, pp. 315–320.
- [3] The European Commission, *Industry 5.0 - Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. 2021.
- [4] A. Albrecht, "Ausblick: Leadership 4.0," in *Zukunftsgerecht führen*, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021, pp. 225–233.

- [5] T. Krankenkasse, “Gesundheitsreport Arbeitsunfähigkeit,” 2019.
- [6] N. Günther and J. Reiff-Stephan, “Future Skills für die Produktion von Morgen,” in *AALE 2019*, 2019, no. February.
- [7] E. Ulich and M. Wülser, *Gesundheitsmanagement in Unternehmen*. Wiesbaden: Springer, 2012.
- [8] G. Fandel, *Produktion I*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.
- [9] K.-I. Voigt, *Industrielles Management*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [10] W. Pfeiffer and R. Dögl, “Das Technologie-Portfolio-Konzept zur Beherrschung der Schnittstelle Technik und Unternehmensstrategie,” in *Strategische Unternehmungsplanung / Strategische Unternehmungsführung*, Physica-Verlag HD, 1990, pp. 254–282.
- [11] O. Gassmann and M. Csik, “Change a Running System,” in *Die Kunst der Innovation*, P. Granig and E. Hartlieb, Eds. Wiesbaden: Springer, 2012, pp. 41–49.
- [12] A. Owen, W. Plöger, G. Hiltner, and A. Reith, “Digitalisierungsbarometer für das Bau-und Ausbauhandwerk Kurzfassung Eine empirische 360° Analyse,” 2020. [Online]. Available: www.wirsindhandwerk.de.
- [13] N. Veltkamp and K.-S. Schulte, “Digitalisierung des Handwerks,” 2020. [Online]. Available: https://www.zdh.de/fileadmin/user_upload/presse/Pressemeldungen/2020/200304_Praesentation_Digitale_sHandwerk_V5.pdf.
- [14] V. Venkatesh and F. D. Davis, “Theoretical extension of the Technology Acceptance Model: Four longitudinal field studies,” *Manage. Sci.*, vol. 46, no. 2, pp. 186–204, 2000, doi: 10.1287/mnsc.46.2.186.11926.
- [15] F. D. Davis, “A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems,” Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1986.
- [16] M. Jockisch, “Das Technologieakzeptanzmodell,” *„Das ist gar kein Modell!“*. Gabler, pp. 233–254, 2010, doi: 10.1007/978-3-8349-8484-5_11.
- [17] “Bosch Werkzeug - Klein Toys Shop.” <https://www.klein-toys-shop.de/Produktgruppen/Werkzeug-oxid-1/Bosch-Werkzeug/> (accessed Dec. 7, 2021).
- [18] A. O. Jäger, “Intelligenzstrukturforschung: Konkurrierende Modelle, neue Entwicklungen, Perspektiven. [Structural research on intelligence: Competing models, new developments, perspectives.],” *Psychol. Rundschau*, vol. 35, no. 1, pp. 21–35, 1984.
- [19] R. E. Petty and J. T. Cacioppo, “The Elaboration Likelihood Model of Persuasion,” 1986, pp. 123–205.
- [20] M. Jipp and J. Steil, “Steuern wir oder werden wir gesteuert? Chancen und Risiken von Mensch-Technik-Interaktion,” in *Zusammenwirken von natürlicher und künstlicher Intelligenz*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021, pp. 17–34.