

# Soziotechnische Systeme: Der Mensch in der Industrie 4.0

Ein Vorgehensmodell zur Analyse

Sven Winkelhaus, Technische Universität Darmstadt, Anke Sutter, Eric Grosse und Stefan Morana, Universität des Saarlandes

Die Einführung neuer Technologien im Zuge von Industrie 4.0 verspricht umfangreiche Effizienz- und Qualitätssteigerungen. Jedoch verändert die Einführung neuer Technologien auch die Arbeitsumgebung für die Beschäftigten. Wird dies vernachlässigt, kann es zu nicht antizipierten negativen Auswirkungen auf das Gesamtsystem kommen. Eine ganzheitliche Sicht auf das soziotechnische System ist notwendig, um diese Effekte bereits bei der Planung zu erkennen und negativen Effekten vorzubeugen. Hierzu wird in diesem Beitrag ein Vorgehensmodell zur Analyse der sich bei der Einführung einer neuen Technologie ergebenden Effekte vorgestellt. Mit der dargestellten Vorgehensweise ist es möglich, strukturiert den Analyseprozess zu durchlaufen und individuell Maßnahmen abzuleiten, um das soziotechnische Gesamtsystem aktiv zu gestalten.

Die Entwicklung zur Industrie 4.0 ist ein Transformationsprozess von einem umfassenden Ausmaß, welcher sich mit der Entwicklung der Massenproduktion oder der Einführung von Fließbandarbeit vergleichen lässt. Insbesondere durch den Einsatz und die sinnvolle Verbindung von verschiedenen Schlüsseltechnologien, bspw. künstlicher Intelligenz, dem Internet der Dinge und Cyber-Physischen Systemen, wird die Produktion in der Industrie 4.0 maßgeblich verändert [1]. Die positiven Effekte durch die Industrie 4.0 spiegeln jedoch auch zurück in die Gesellschaft und führen – ebenso wie bei der Einführung der Fließbandarbeit vor über 100 Jahren – zu enormen Veränderungen der menschlichen Arbeit. Obwohl die ursprüngliche Idee einer Industrie 4.0 den Menschen mit einbezogen [2], hat sich in Forschung und Praxis jedoch eine starke Fokussierung auf Technologien herausgestellt. Eine Untersuchung aller Arbeiten, die „Industry 4.0“ im Titel führen, hat gezeigt, dass nur ein geringer Anteil an Forschungsarbeiten tiefergehenden Bezug auf den Menschen nimmt und wesentliche menschliche Faktoren (z. B. psychosoziale Faktoren) nicht oder kaum untersucht werden [3]. Zwar identifizieren einige Forschungsarbeiten verschiedene neue Rollen für den Menschen in einer digitalisierten Arbeitswelt (bspw. „Operator 4.0“ [4]), jedoch zumeist ohne konkreten arbeitswissenschaftlichen Bezug: So kommen Begriffe wie „Human Factors“ oder „Ergonomics“ weniger als 1 % so häufig vor wie

die Begriffe „Industry 4.0“ oder „Internet of Things“ [3]. Diese einseitige Ausrichtung auf Technologien hat dazu geführt, dass Mitarbeitende der voranschreitenden Digitalisierung zunehmend mit Sorgen und Ängsten begegnen, bspw. dem Verlust von Arbeitsplätzen [5, 6]. Gleichzeitig hat sich gezeigt, dass in vielen Branchen die alleinige Einführung neuer Technologien ohne tiefergehende Analysen darüber, wie die Technologie die Arbeitsumgebung und den Arbeitsprozess sowie menschliche Faktoren konkret beeinflusst, den versprochenen Effizienzgewinn nicht erreicht hat [7]. Die Zentralität des Menschen wird jedoch in der kürzlich von der Europäischen Kommission veröffentlichten Vision einer Industrie 5.0 explizit hervorgehoben. Industrie 4.0 soll demnach gezielt weiterentwickelt werden, um Wirtschaftswachstum, Wohlstand, Nachhaltigkeit und Mitarbeiterwohlbefinden zu vereinen [8].

Industrie 4.0 – Heterogene Veränderungen organisieren

Vor diesem Hintergrund steigt die Bedeutung des Zusammenspiels zwischen Mensch und Technik. Der Mensch ist ein wichtiger Bestandteil von jedem technischen System, etwa als Konstrukteur\*in, Manager\*in, Instandhalter\*in oder Bediener\*in [3]. Ein soziotechnisches Sys-

## Humans in Industry 4.0 – A Process Model for a Practice-Oriented Analysis

The development of Industry 4.0 changes the role of humans in operations systems. In sociotechnical systems, there is ongoing interaction between humans and technology, impacting human life and work. However, human factors are broadly ignored in research on Industry 4.0 technologies and implementation. In this work, a process model is described that supports the evaluation of the impact of a technology implementation on human factors and performance indicators. This can avoid negative consequences for employees as well as phantom profits and can contribute to a successful digital transformation.

### Keywords:

sociotechnical systems, industry 4.0, human factors, cognitive ergonomics, digital transformation

Sven Winkelhaus, M. Sc. ist externer Doktorand am Fachgebiet Produktion und Supply Chain Management an der Technischen Universität Darmstadt.

Anke Sutter studiert Betriebswirtschaftslehre an der Universität des Saarlandes.

Jun.-Prof. Dr. Eric Grosse ist Juniorprofessor für BWL, insbesondere Digitale Transformation im Operations Management, an der Universität des Saarlandes.

Jun.-Prof. Dr. Stefan Morana ist Juniorprofessor für BWL, insbesondere Digitale Transformation und Wirtschaftsinformatik, an der Universität des Saarlandes.

eric.grosse@uni-saarland.de  
www.uni-saarland.de/  
lehrstuhl/grosse

tem bestehend aus den beiden Teilen Mensch und Technik kann nur im Zusammenspiel beider Teilsysteme betrieben und optimiert werden; daher ist es wichtig, die Rückwirkung neuer Technologien auf den Menschen im jeweiligen Kontext zu untersuchen. Die Gestaltung dieses Zusammenspiels der beiden Teilsysteme hat einen Einfluss auf die Produktivität und Effizienz des Gesamtsystems [7], sowie die Gesundheit, Motivation und Zufriedenheit der Mitarbeiter\*innen [7, 9, 10] und beeinflusst die Entwicklung in der Zukunft. In vergangenen industriellen Revolutionen gelang es jedoch nur zum Teil dieses Zusammenspiel erfolgreich zu gestalten: Der „one best way“ einer tayloristischen Arbeitsgestaltung sollte bspw. der Konfliktbewältigung zwischen Arbeiter\*innen und Management dienen – zwar kam es zur Effizienzsteigerung durch strukturierte Arbeitsabläufe, jedoch war die Arbeit monoton, was neben Motivationsdefiziten auch die Gesundheit der Beschäftigten beeinträchtigte [11]. Im Gegensatz hierzu führt die Industrie 4.0 zu einem diverseren Einfluss auf die Mitarbeiter\*innen in Unternehmen. Während ein Teil der Aufgaben vereinfacht oder – durch intelligentere, adaptivere Systeme – automatisiert wird, entstehen neue Aufgaben, die sowohl auf einem vergleichbaren, aber auch auf höheren Anforderungsniveaus liegen können [12]. Entsprechend sind in der Vergangenheit verschiedene Konzepte und Vorgehensmodelle entwickelt und im Zusammenhang mit Industrie 4.0 diskutiert worden, die insbesondere auf die Interaktion zwischen Menschen und Technik fokussieren, bspw. in der Bildung von Mensch-Maschine-Teams [13], der menschenzentrierten Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion [14], oder im Bereich der Kompetenzbildung [15]. Die heterogenen Entwicklungen während eines Transformationsprozesses vollumfänglich zu analysieren ist jedoch komplex. Um dennoch ein Scheitern des Transformationsprozesses zu verhindern, ist es notwendig, das soziotechnische System im Vorfeld zu analysieren und während der Planung (bspw. bei der Einführung einer neuen Technologie) mögliche negative Effekte zu antizipieren.

### Die Theorie soziotechnischer Systeme

Jedes Arbeitssystem kann als Zusammenspiel von Menschen mit ihrer technischen Umwelt verstanden werden. Beide Teilsysteme (Mensch und Technik) sind mit bestimmten Eigenschaften und Fähigkeiten verbunden, die nur bedingt anpassungsfähig sind. Um ein performantes Gesamtsystem zu gestalten ist es notwendig, beide Teilsysteme und ihre jeweiligen Stärken und

Schwächen sowie die jeweiligen Notwendigkeiten aufeinander abzustimmen [16]. Der Mensch ist in Abhängigkeit seiner technischen Umwelt z. B. durch die jeweilige physische und kognitive Leistung, die Wahrnehmung, vorhandenes Wissen und den Umgang oder fehlenden Umgang mit Kolleg\*innen, verschiedenen Belastungen ausgesetzt. Überfordert oder unterfordert das Arbeitssystem den Menschen kann die Folge sein, dass das Gesamtsystem geringere Leistung erbringt [3].

In Abhängigkeit der jeweiligen Veränderung, die durch eine neue Technologie im bestehenden Arbeitssystem ausgelöst wird, verändert sich auch die Arbeit und ggf. auch die Rolle des Menschen. Dies ist auch im, ebenfalls auf der Theorie soziotechnischer Systeme basierenden, Mensch-Technik-Organisation (MTO)-Konzept beschrieben [17]. In diesem Ansatz verbindet die Arbeitsaufgabe den Menschen mit dem technischen Teilsystem und ebenso mit der organisationalen Struktur [18]. Jedoch ist die darauf basierende MTO-Analyse sehr tiefgreifend und daher möglicherweise ungeeignet, um in komplexen Interaktionen eine praxisrelevante Folgenabschätzung zu treffen. Dabei ist es jedoch wichtig, die Veränderungen des „sozialen“ Teils des soziotechnischen Systems (bspw. die Nutzerinteraktion mit und -akzeptanz von neuen Technologien) bereits vor der Implementierung ganzheitlich zu analysieren, da sich eine potenziell vielversprechende Technologie andernfalls als unternehmerischer Fallstrick herausstellen kann. In diesem Zusammenhang wird oftmals auch von „Phantom-Gewinnen“ gesprochen – Erträge, die sich bspw. durch Einführung einer neuen Technologie ergeben könnten, da Menschen dadurch bei der Arbeit unterstützt werden und diese Arbeit schneller und weniger fehleranfällig ausführen können. Wird jedoch nicht berücksichtigt, dass es Interaktionseffekte zwischen Mensch und Technik gibt, die die Nutzung der neuen Technologie behindern können (wie bspw. Ermüdung, Schmerzen, Demotivation oder fehlende Akzeptanz), kann es sein, dass die erwarteten Erträge niemals realisiert werden [19].

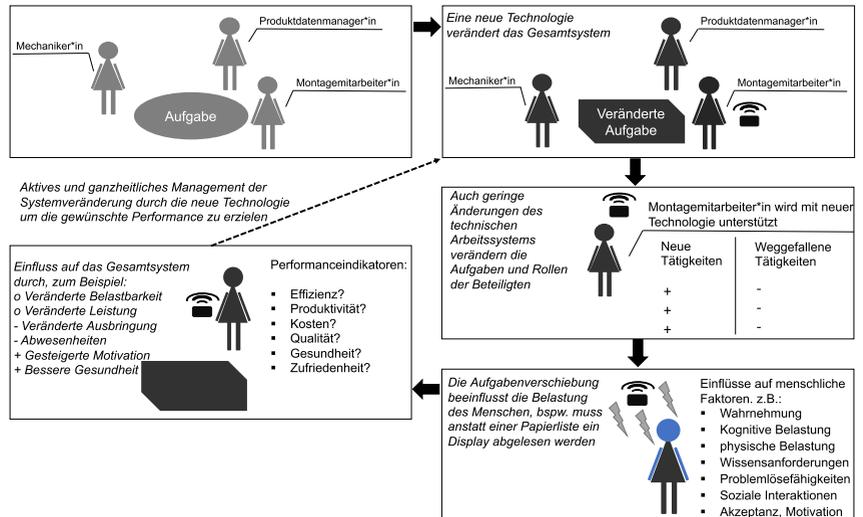
### Vorgehensmodell zur Analyse

Um ein praxisnahes Vorgehensmodell zur Analyse der Auswirkungen von neuen Technologien auf soziotechnische Systeme abzubilden und dabei nicht nur technische, sondern vor allem soziale und organisationale Aspekte mit zu berücksichtigen [17], werden vier aufeinanderfolgende Schritte vorgeschlagen (Bild 1), die nachfolgend anhand eines Beispiels erläutert werden [3].

### Literatur

- [1] Lu, Y., Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. In: Journal of Industrial Information Integration 6 (2017), S. 1-10.
- [2] Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J.: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0, Securing the future of German manufacturing industry, Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Berlin 2013.
- [3] Neumann, W. P. u. a.: Industry 4.0 and the human factor – A systems framework and analysis methodology for successful development. In: International Journal of Production Economics 233 (2021), 107992.
- [4] Romero, D. u. a.: Towards an Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies. In: Proceedings of the International Conference on Computers and Industrial Engineering. Tianjin, China 2016.
- [5] Rohleder, B.: Digitalisierung der Logistik. Berlin 2019.
- [6] Brynjolfsson, E.; McAfee, A.: The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. New York 2014.
- [7] Rose, L. M.; Orrenius, U. E.; Neumann, W. P.: Work environment and the bottom line: Survey of tools relating work environment to business results. In: Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries 23 (2013) 5, S. 368-381.

1. Zunächst ist es notwendig, die Veränderung, die sich durch die Einführung einer neuen Technologie ergibt, möglichst genau zu benennen. Zudem müssen alle am betroffenen Prozess beteiligten Stellen identifiziert werden, wobei es wichtig ist, dies nicht zu eng zu fassen, da sonst die Gefahr besteht, ein lückenhaftes Bild zu generieren. Wer arbeitet bspw. direkt mit der neuen Technologie, wer ggf. nur sporadisch? Was verändert sich im Management, der operativen Steuerung, der Wartung oder der IT durch die neue Technologie?
2. Anschließend müssen die Aufgaben der einzelnen Beteiligten analysiert werden. Welche Aufgaben fallen weg? Welche neuen Tätigkeiten gibt es? Welche Arbeitsrollen ändern sich? Wer springt ein, wenn die Technologie versagt?
3. Jede Veränderung hat auch Auswirkungen auf die beteiligten Personen, die es im dritten Schritt zu beschreiben gilt. Wesentliche Einflüsse, die beachtet werden sollten, beziehen sich auf die durch die Technologie bedingten Veränderungen in der Wahrnehmung, der physischen und kognitiven Leistung die erbracht werden muss, neuen Wissensanforderungen und dem psychosozialen Umfeld. Gibt es z. B. eine physische Entlastung oder werden Abläufe zwar einfacher, aber häufiger? Müssen künftig Bildschirme anstatt gedruckter Anweisungen gelesen werden? Gibt es negative Nebeneffekte bei der Nutzung der Technologie, wie bspw. Augenbelastung oder Kopfschmerzen? Werden die Arbeitsmotivation und -zufriedenheit beeinflusst? Gibt es Ängste und Sorgen bei den Nutzer\*innen (bspw. Verlust von Arbeitsautonomie oder Sorge vor schwierigeren Aufgaben, da die Interaktion mit der Technologie komplexer erscheint)?
4. Als abschließenden Schritt ist es nötig, die Auswirkungen auf das soziotechnische Gesamtsystem und die verbundenen Performanceindikatoren zumindest qualitativ zu beschreiben. Führen die Veränderungen bspw. lediglich zu positiven Effekten (wie verringerter Durchlaufzeit), oder können auch negative Auswirkungen identifiziert werden? Welches sind die Folgen hiervon, bspw. ein vergrößertes Risiko für krankheitsbedingte Fehlzeiten oder eine verminderte Produktionsmenge? Treten die Effekte vorübergehend auf, oder sind sie permanent zu erwarten?



**Bild 1: Vorgehensmodell zur Analyse der Veränderungen bei der Einführung einer neuen Technologie in einem soziotechnischen System.**

zu verhindern, sollten basierend auf dieser Analyse, konkrete Maßnahmen definiert werden, welche die negativen Folgen abschwächen, die Mitarbeiter\*innen auf Veränderungen vorbereiten und, durch eine kooperative Planung der Arbeitsplätze, die Einführung der neuen Technologie positiv begleiten. Die Maßnahmen sollten sich, ebenso wie das Vorgehensmodell selbst, nicht nur auf technische Anpassungen beziehen, sondern entsprechend des MTO-Konzeptes auch gezielt organisationale und mitarbeiterbezogene Maßnahmen einbeziehen.

### Anwendungsbeispiel Qualitätskontrolle

Als Anwendungsbeispiel betrachten wir einen Arbeitsplatz der Qualitätskontrolle am Fließband. In vielen Branchen und Unternehmen finden sich diese oder ähnliche Arbeitsplätze, in denen Mitarbeiter\*innen an bestimmten Stellen an einem Fließband arbeiten und die geförderten Waren einer qualitativen Sichtkontrolle unterziehen. Die Gründe für den Aufbau dieser Stellen können vielfältig sein – bspw. die Sicherstellung der Handhabbarkeit für nachfolgende Anlagen, die Qualitätskontrolle für den Endverbraucher, oder die Identifikation von notwendigen Nacharbeiten, um nur einige zu nennen; die ausgeführte Tätigkeit ist branchenübergreifend jedoch meist vergleichbar.

1. Im betrachteten Prozess sind mehrere Mitarbeiter\*innen verantwortlich für die Sichtkontrolle der Produkte an verschiedenen Fließbändern und prüfen diese fortlaufend auf ein bestimmtes Merkmal. In unregelmäßigen Abständen können defekte (n. i. O.) Teile identifiziert und aussortiert werden, die meiste Zeit über ist an jeder einzelnen Linie jedoch kein Ausschuss zu erwarten. Mittels einer optischen Bilderkennung und

Die neue Arbeitsumgebung führt zu einer Veränderung des Systemverhaltens und möglicherweise zu ungewollten Anpassungen der Mitarbeiter\*innen an das neue System. Um dies

- [8] Breque, M.; De Nul, L.; Petridis, A.: Industry 5.0 - Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry, European Union. Bruxelles 2021.
- [9] Neumann, W. P.; Dul, J.: Human Factors: Spanning the Gap between OM & HRM. In: International Journal of Operations & Production Management 30 (2010) 9, S. 923-950.
- [10] Shipton, H. J. u. a.: When promoting positive feelings pays: Aggregate job satisfaction, work design features, and innovation in manufacturing organizations. In: European Journal of Work and Organizational Psychology 15 (2006) 4, S. 404-430.
- [11] Russell-Walling, E.: Scientific Management, in 50 Schlüsselideen Management. Heidelberg 2011.
- [12] Waschull, S. u. a.: Work design in future industrial production: Transforming towards cyber-physical systems. In: Computers & Industrial Engineering 139 (2020), 105679.
- [13] Lüdtko, A.: Wege aus der Ironie in Richtung ernsthafter Automatisierung, In: Botthof, A.; Hartmann, E. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Heidelberg 2015, S. 125-146.
- [14] Peissner, M.; Hipp, C.: Potenziale der Mensch-Technik-Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen. Stuttgart 2013.
- [15] Wieland, R.: Digitalisierung und der Mensch. In: Forschungsmagazin der bergischen Universität Wuppertal BUW.OUTPUT 21 (2019), S. 6-11.
- [16] Dregger, J. u. a.: Challenges for the future of industrial labor in manufacturing and logistics using the example of order picking systems. In: Procedia CIRP 67 (2018), S. 140-143.
- [17] Reiman, A. u. a.: Human factors and ergonomics in manufacturing in the industry 4.0 context – A scoping review. In: Technology in Society, 65 (2021), 101572.
- [18] Ulich, E.: Arbeitspsychologie. 7. Auflage, Stuttgart 2011.
- [19] Sgarbossa, F. u. a.: Human factors in production and logistics systems of the future. In: Annual Reviews in Control 49 (2020), S. 295-305.
- [20] Kadir, B. A.; Broberg, O.; Conceição, C. S. d.: Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0. In: Computers & Industrial Engineering 137 (2019), S. 1-12.

Algorithmen zur Identifikation von n. i. O.-Teilen soll der Prozess fortan technisch unterstützt werden. Neben den Mitarbeiter\*innen, die direkt betroffen sind, sind auch die IT- und Entwicklungsabteilung betroffen, da diese die neuen Systeme bspw. (mit-) entwickeln, installieren, weiterentwickeln, warten und instand halten müssen. Auch die Qualitätssicherung wird in dem neuen Prozess andere Aufgaben erwarten. Zudem verändert sich der Produktionsprozess vor- und nachgelagerter Schritte – möglicherweise entstehen neue Aufgaben, da mehr Produkte hergestellt werden können.

2. Betrachten wir im Beispiel lediglich die Mitarbeiter\*innen am Fließband weiter: Ihre eigentliche Aufgabe fällt im Wesentlichen weg, da diese nun technisch ausgeführt wird. Jedoch wird das optische System nicht alle Entscheidungen selbstständig korrekt treffen. So ist zu erwarten, dass die Mitarbeiter\*innen – neben anderen Aufgaben, die sie nun übernehmen können – auch die Aufgabe übernehmen, das System in unklaren Fällen zu unterstützen. In Grenzfällen könnten die Bilder angezeigt und die Entscheidung über i. O. oder n. i. O. am Bildschirm getroffen werden. Für diese Aufgabe sind die Mitarbeiter\*innen am besten geschult und können am sichersten eine schnelle Entscheidungsunterstützung liefern. Zudem fallen neue Aufgaben an, etwa wenn das optische System eine Störung aufweist.
3. Dies bedeutet zunächst eine Erleichterung, da die ständige Konzentration am Fließband mit der anstrengenden Wahrnehmung wegfällt und dafür nur konkrete Fälle auf einem Bildschirm angezeigt werden. Außerdem könnte das monotone Stehen und möglicherweise Vorbeugen über das Fließband ersetzt werden, durch vielfältigere Bewegungsabläufe bei neuen Aufgaben und Büroarbeit-ähnlichen Unterstützungstätigkeiten für das neue System. Letztere Tätigkeit wird jedoch möglicherweise allein ausgeführt und nicht mehr im Team, sodass sich das soziale Umfeld ändert. Auch Ängste vor Stellenabbau sind zu befürchten und sollten berücksichtigt werden.
4. Mögliche Maßnahmen, die basierend auf dieser Veränderung ergriffen werden könnten, sind vielfältig. Bei erhöhter Leistung des Gesamtsystems werden vermutlich andere Aufgaben verstärkt anfallen, die möglicherweise unterstützt werden müssen. Hierfür könnten bereits vorab mit den Beteiligten neue Aufgabenfelder entwickelt und Schulungen durchgeführt werden, um Ängste vor einem Arbeitsplatzverlust zu nehmen. Zudem müssen

die Mitarbeiter\*innen in dem neuen System geschult werden, das sie fortan unterstützen sollen. Durch Arbeitsplatzrotation kann das soziale Miteinander und die Aufgabenvielfalt verbessert werden. Ängste und Absichten den Arbeitgeber zu wechseln, können durch einen vorausschauenden, transparenten und integrativen Einführungs-Prozess genommen werden. Dies ist nicht zuletzt auch unerlässlich, da nur so das Wissen der Mitarbeiter\*innen auch für die Zukunft nutzbar ist und andernfalls das neue System langfristig nicht zu einer gleichbleibenden Qualität beitragen wird.

Das dargestellte Beispiel zeigt nur exemplarisch das Vorgehen auf, um die Entwicklung zu antizipieren. Es empfiehlt sich jedoch eine möglichst vollständige Betrachtung, die im Team mit operativen Mitarbeiter\*innen, Teamleiter\*innen und dem Management erstellt wird, um die Effekte möglichst ganzheitlich aufzunehmen und auch die unterschiedliche Beurteilung von Veränderungen zu verstehen.

### Industrie 4.0 als soziales Projekt

In der wissenschaftlichen, aber auch betrieblichen Praxis ist Industrie 4.0 zuvorderst ein technisches Projekt [3, 20], in dem neue Technologien nutzbar gemacht werden, um Wettbewerbsvorteile zu generieren und den langfristigen Unternehmenserfolg zu sichern. Die Möglichkeiten, komplexe Strukturen zu organisieren, individualisierte Produkte herzustellen und so effizient zu arbeiten, wie nie zuvor, sind vielversprechend. Allerdings kann es ein unternehmerisches Risiko darstellen Industrie 4.0 nur auf diesen technischen Aspekt zu reduzieren. Da immer weniger Menschen an der Erstellung eines Produkts beteiligt sind, ist ihr Einfluss umso größer – Mitarbeiter-Zufriedenheit und Motivation, Förderung von Kreativität und Eigeninteresse an der Weiterentwicklung des Unternehmens und die Entwicklung und Bewahrung von Wissen werden mitentscheidend für den nachhaltigen Unternehmenserfolg sein. Der Weg hin zur Industrie 4.0 sollte daher in einem kooperativen Miteinander zwischen Unternehmen und Belegschaft entwickelt werden. Die Transformation auch als ein soziales Projekt durchzuführen, steht den technischen Entwicklungen daher nicht entgegen, sondern ist mit Voraussetzung für deren Erfolg – und Grundbaustein der Vision einer Industrie 5.0 [8].

Schlüsselwörter:

Soziotechnische Systeme, Vorgehensmodell, Industrie 4.0, Menschliche Faktoren