

1.3.2 Interaktion zwischen Mensch und intelligenter Software (inkl. KI)



■ **Stichwörter:** Interaktion, technische Deutungsmuster, kulturelle Deutungsmuster, Stufen der Interaktion, Wertetypen, Mensch-Maschine/Software-Schnittstelle

> Warum ist das Thema wichtig?

Führungskräfte und Beschäftigte interagieren im Betrieb auf unterschiedlichen Ebenen mit intelligenter Software.¹ Intelligente Software von cyber-physischen Systemen (CPS)² ist eine selbstlernende und autonome Software auf Grundlage von Modellen der künstlichen

Intelligenz (KI). Sie bringt eigene „Intentionen“ (technische Deutungsmuster) in die Beziehung zwischen Mensch und Technik mit ein, die neu und ungewohnt für beteiligte Personen sein können.

Die daraus resultierenden Interaktionen zwischen Menschen und Software

in 4.0-Prozessen³ können Personen entlasten oder belasten. Die Art und Weise dieser Interaktionen können die Unternehmens-, Präventions- und Kommunikationskultur verändern.

> Worum geht es bei dem Thema?

Begriffe: Interaktion – Personen – Technik

Unter Interaktion wird in der Regel das Zusammenwirken zwischen anwesenden Personen verstanden (einfaches Sozialsystem⁴). Eine Person konnte zwar in der Vergangenheit auch mit Technik agieren, aber die Technik spielte dann dabei eine weitestgehend passive Rolle.

Konventionelle Technik war berechenbar; sie zeigte programmierte Muster und veränderte sich nicht durch Lernprozesse. Die Technik wirkte per Präsenz, indem sie einfach „da war“ und der Umgang mit ihr Auswirkungen auf das Verhalten hatte. Oder sie wirkte kausal-mechanisch wie die Ampel im Straßenverkehr: Die Technik gibt ein Signal und der Mensch verhält

sich entsprechend (triviale Form der Interaktion).

Die intelligente Software (inkl. KI) führt in allen Anwendungsbereichen⁵ eine neue Qualität in die Beziehung zwischen Mensch und Technik ein. Diese autonome und selbstlernende Software agiert aktiv, situationsbezogen und wirkt steuernd auf Personen und soziale Beziehungen.

Erstmals in der Geschichte interagiert der Mensch in 4.0-Prozessen mit Technik, die autonom und selbstlernend ist und nach eigenen Kriterien agiert und lernt. Die Technik mischt sich damit in Beziehungen ein, die bisher ausschließlich unter Menschen abgelaufen sind. Die Interaktionen zwischen Menschen folgen kulturellen Mustern der Gesellschaft, in der die Menschen leben, des Milieus, in dem sie sich bewegen und des Betriebes, in dem sie arbeiten. Die intelligente Software (inkl. KI) folgt technischen Mustern. Sie informiert, interagiert, lernt und steuert Prozesse nach eigenen (programmier-

ten) technischen Mustern. Dazu deutet sie Situationen nach eigenen Kriterien. Sie ist von Menschen (Programmierern/Auftraggebern) entwickelt worden, nach deren Konzepten und Intentionen aufgebaut und wird von Organisationen eingesetzt. Ihre technischen Deutungsmuster basieren auf den Vorstellungen von Menschen (humane Dimension) und Organisationen (sozialen Systemen/soziale Dimension/Macht).⁶ Auf dieser Basis jedoch agiert sie autonom und entwickelt sich selbstlernend weiter mit sich auch weiterentwickelnden technischen Deutungsmustern. Diese technischen Deutungsmuster ba-

sieren auf Modellen der künstlichen Intelligenz (KI) und anderen Basistechnologien wie Algorithmen, semantischen Technologien oder Ontologien. Die Besonderheit der intelligenten Software (inkl. KI) liegt darin, dass sie nicht nach einem festen Schema operiert, sondern situationsangepasste Lösungen produziert, die kaum erkennbar sind und nicht vorab in allen Details prognostiziert werden können.⁷
> *Siehe Umsetzungshilfe 1.1.2 Autonomie der Systeme.*

Intelligente Software (inkl. KI) wird somit Bestandteil von sozialen Beziehungen, ohne dass die intelligente Software

Diese Umsetzungshilfe gibt Experten und Interessierten Anregungen, wie Arbeit 4.0 zu gestalten ist. Die Empfehlungen sollten an die jeweilige konkrete betriebliche Situation angepasst werden.

¹ Intelligente Software steuert cyber-physische Systeme (CPS) und andere autonome technische Systeme (wie Messenger-Programme). Intelligente Software nutzt Modelle künstlicher Intelligenz zusammen mit anderen Basistechnologien wie zum Beispiel Algorithmen, semantischen Technologien, Data-Mining. Intelligente Software ist autonom und selbstlernend.

² Cyber-physische Systeme (CPS) verbinden und steuern als autonome technische Systeme Arbeitsmittel, Produkte, Räume, Prozesse und Menschen beinahe in Echtzeit. Die komplette oder teilweise Steuerung übernimmt intelligente Software auf Grundlage von Modellen der künstlichen Intelligenz. Genutzt werden dazu unter anderem auch Sensoren/Aktoren, Verwaltungsschalen, Plattformen/Clouds.

³ Unter 4.0-Prozessen werden hier alle Arbeitsprozesse verstanden, in denen cyber-physische Systeme (CPS) oder andere autonome technische Systeme (wie Plattformen, Messenger-Programme) beteiligt sind. 4.0-Prozesse sind in den Arbeitsprozessen bisher selten vollständig, aber in Ansätzen in allen Betrieben umgesetzt.

⁴ Luhmann 1994, S. 263, 560ff.

⁵ Anwendungsbereiche von CPS können sein: **Insellösungen**, Teilkomponenten und Teilprozesse (zum Beispiel einzelne Arbeitsplätze, Arbeitsmittel, Teile von Anlagen, Räume, Produkte, Assistenzsysteme) sowie **verkettete Prozesse** und Gesamtsystemlösungen (zum Beispiel verkettete Arbeitsmittel, Wertschöpfungskette). Außerdem **geschlossene Betriebsanwendungen** (autark – zum Beispiel Edge Computing, betriebliche Cloud), **offene Anwendungen** (zum Beispiel Public Clouds, Hersteller-Plattformen).

⁶ vgl. Bender 2007, S. 46; Ropohl 1979, S. 32ff.

⁷ Weyer 2006, S. 18

(inkl. KI) sozial wäre. Sie wird Bestandteil kultureller Zusammenhänge, obwohl sie nicht kulturell ist. In die menschlichen Beziehungen ziehen mit der intelligenten Software (inkl. KI) technische Deutungsmuster ein.⁸ Viele Menschen sind auf diesen Wandel nicht vorbereitet.

Um die Akzeptanz im Umgang mit der intelligenten Software (inkl. KI) zu erhöhen, ist diese teilweise so gestaltet, dass sie zwischenmenschliche Interaktion simuliert.⁹ Dadurch „verkleidet“ die intelligente Software (inkl. KI) ihre technischen Deutungsmuster in scheinbar menschliche beziehungsweise kulturelle Erscheinungsformen.

Diese technischen Deutungsmuster können Effekte erzielen, die eine Person, die mit der intelligenten Software (inkl. KI) interagiert, häufig nicht mehr von den Effekten menschlichen Handelns unterscheiden kann.¹⁰

Das menschliche Verständnis von Interaktion ist auf Interaktion mit anderen Menschen ausgelegt. Intelligente Software (inkl. KI) mischt sich nun in menschliche Beziehungen ein, es kommt zu hybriden Konstellationen.¹¹

Der Einzug der intelligenten Software (inkl. KI) in die Interaktionen im Betrieb funktioniert schleichend und die Personen werden sich darauf einstellen und sich daran gewöhnen (wie an den Umgang mit dem Smartphone). Dieser Prozess wird die Art der Zusammenarbeit im Betrieb und damit auch die Unternehmens- sowie Präventionskultur im Betrieb verändern. Diese Entwicklung kann bei Führungskräften und Beschäftigten Unsicherheiten hervorrufen, das Gefühl der Fremdbestimmtheit fördern und somit die Arbeitszufriedenheit sowie die Produktivität negativ beeinflussen. Andere Führungskräfte und Beschäftigte werden

diese neuen Interaktionsformen faszinierend und interessant finden und sich zusätzlich engagieren. Die Integration der intelligenten Software (inkl. KI) in die Interaktionen im Betrieb kann die Führungskräfte und Beschäftigten entlasten oder zu neuen Belastungen führen. Um sich von diesem Prozess nicht treiben zu lassen, hilft es Betrieben, die Arten der Interaktion der intelligenten Software (inkl. KI) zu kennen und diese mit diesem Wissen gezielt zu nutzen und einzusetzen.

Während in der Arbeitswelt 3.0 die Software keine aktive Unterstützung anbietet, ist die intelligente Software (inkl. KI) in der Lage, autonom zu handeln. Dabei sind verschiedene Stufen der Interaktion möglich:¹²

1. Die intelligente Software (inkl. KI) bietet eine vollständige Menge von Handlungsalternativen an und der Mensch entscheidet sich für eine.

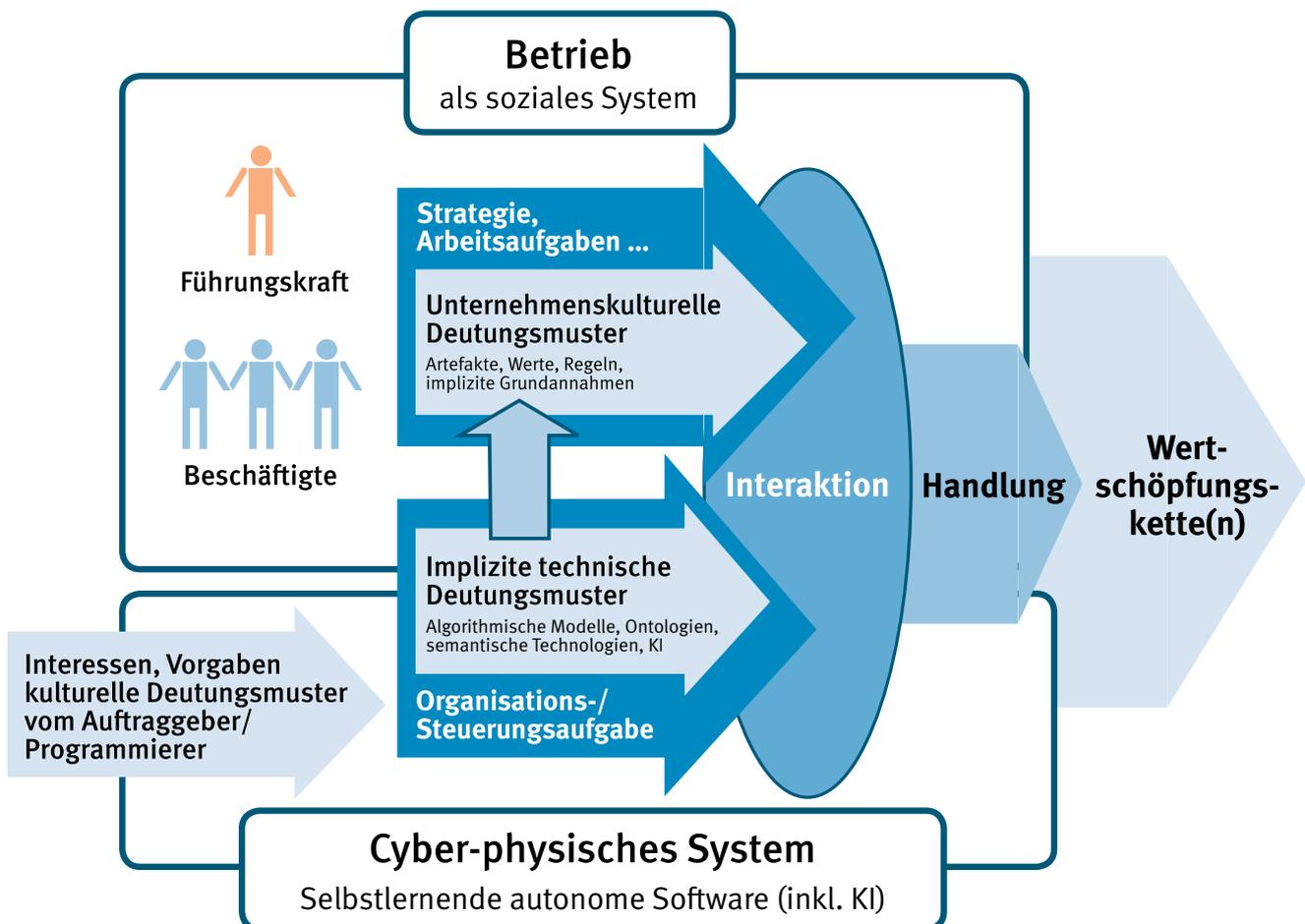


Abbildung 1: Kulturelle und technische Deutungsmuster (nach Cernavin & Diehl 2018, S. 202)

⁸ Knorr-Cetina 2007

⁹ Schulz-Schaeffer 2008, S. 12

¹⁰ Weyer 2006, S. 6

¹¹ vgl. Rammert und Schulz-Schaeffer 2002, S. 13; Cramer & Weyer 2007, S. 268

¹² vgl. Cernavin & Diehl 2018, S. 202ff.; Timpe & Kolrep 2002, S. 47; Weyer 2006, S. 5

2. Die intelligente Software (inkl. KI) führt den Vorschlag aus, wenn der Mensch es bestätigt.
3. Die intelligente Software (inkl. KI) erlaubt dem Menschen ein Veto einzulegen, um eine automatische Ausführung zu verhindern.
4. Die intelligente Software (inkl. KI) informiert den Menschen über die Ausführung nur, wenn er anfragt.
5. Die intelligente Software (inkl. KI) handelt autonom und ignoriert den Menschen beziehungsweise gibt ihm Anweisungen.

Die fünf Stufen der Interaktion und die Merkmale der intelligenten Software (inkl. KI) verdeutlichen: Intelligente Software (inkl. KI) entlastet in vielen Bereichen die Menschen, indem sie Handlungsalternativen anbietet, den Menschen Entscheidungen abnimmt oder Gefährdungen und Belastungen frühzeitig erkennt und Handlungsmaßnahmen vorschlägt oder durchführt. Diese Unterstützung wirkt vor allem in den ersten drei Stufen, da hier die Menschen die Strategien des Handelns festlegen, entscheiden und intervenieren können. Die ersten drei Stufen der Interaktion sind mit den herkömmlichen Verhaltensweisen (kulturellen Deutungsmustern) weitestgehend zu verarbeiten und zu bewältigen. In den ersten drei Stufen kann intelligente Software (inkl. KI) Bindung und Sinnstiftung in Prozessen und somit eine Kultur intensiven Miteinanders unterstützen. Kulturell wird durch diese Softwareunterstützung wohl eher ein Annäherungsverhalten an

die Organisation gefördert und die Menschen werden eher motiviert und produktiv arbeiten.

Gleichzeitig wird aber auch deutlich: Mit zunehmender Autonomie der intelligenten Software (inkl. KI) verändert sich der Status des Menschen in der Interaktion. Die Undurchschaubarkeit der Abläufe und die Ungewissheit nehmen zu. Der Mensch kann zum passiven Beobachter eines Systems werden, das er eventuell immer weniger versteht.¹³ Da die intelligente Software (inkl. KI) in den Stufen 4 und 5 steuert und für die Person entscheidet, kann dies zunehmend passives, reaktives und angepasstes Verhalten erzeugen.

Aus der Perspektive der Unternehmensführung und des Handelns im Betrieb können sich aus den oben genannten Stufen folgende Schlussfolgerungen ergeben:

- Neben der bestehenden Unternehmens- und Präventionskultur eines Betriebes wirken nun auch zusätzlich technische Deutungsmuster. Diese impliziten technischen Deutungsmuster wirken in der Organisation und in der Interaktion mit Menschen in der Regel zunächst, ohne dass sie in Form von Regeln und Vereinbarungen festgehalten sind.¹⁴ Die intelligente Software (inkl. KI) lernt beispielsweise, nach welchen Algorithmen die Raumtemperatur auf welche Beschäftigte optimal einzustellen ist, und nutzt dabei Daten aus den Wearables der Beschäftigten (Datenschutz vorausgesetzt), aus dem Raum selbst und aus den Vorgaben

der Energieeffizienz. Wie diese von der intelligenten Software (inkl. KI) selbst weiterentwickelten Algorithmen und Deutungsmuster aussehen, ist implizites Wissen der intelligenten Software (inkl. KI). Auch die Funktionslogik der verwendeten algorithmischen Modelle dürfte kaum einem der Beteiligten im Betrieb explizit bekannt sein.

- Die autonome und selbstlernende Software (inkl. KI) beeinflusst zunehmend die Werte, Überzeugungen und Regeln einer Organisation. Ob dies verstärkend wirkt („Wir sind modern und hip“) und Annäherung oder aber Vermeidungsverhalten gegenüber der Organisation fördert („Wir sind fremdgesteuert durch Software“), hängt von der jeweils konkreten Situation im Betrieb und von der Einschätzung der Führungskräfte und Beschäftigten ab, also zum Beispiel von Faktoren wie
 - › der bisherigen Kultur im Unternehmen,
 - › der Art der Interaktion zwischen Personen und intelligenter Software (inkl. KI),
 - › der Rolle der Personen in diesem Prozess (auch ihrer Position/Rolle im Machtgefüge),
 - › dem Bindungsgrad der Personen an den Betrieb oder
 - › der Partizipation und Beteiligung.

Es ist anzunehmen, dass sich in den Betrieben die Interaktionen sowie die Unternehmens- und Präventionskultur durch die neue Rolle der intelligenten Software (inkl. KI) verändern werden.

› Welche Chancen und Gefahren gibt es?

Die Interaktion der intelligenten Software (inkl. KI) mit Führungskräften und Beschäftigten kann diese unterstützen und aktivieren oder verunsichern und deaktivieren. Welche Chancen und Gefahren eintreten, hängt unter anderem von folgenden Aspekten ab:

- Art der Gestaltung der Interaktion im Betrieb (Unternehmenskultur)
- Informationen, die die beteiligten Personen über die Art der Interaktion besitzen (Information und Transparenz)

- Kompetenzen und Persönlichkeiten der Beteiligten

Folgende **Chancen** können sich unter anderem aus der Interaktion zwischen Mensch und intelligenter Software (inkl. KI) ergeben:

- Fehlerquote sinkt
- Optimierung des Wertschöpfungsprozesses
- Optimierung der Reaktionszeit des Beschäftigten

- Reduzierung von physischen Gefährdungen und psychischen Fehlbelastungen
- Verbesserung der Leistungsfähigkeit

Folgende **Gefahren** können sich unter anderem aus der Interaktion zwischen Mensch und intelligenter Software (inkl. KI) ergeben:

- Unsicherheit der Beschäftigten, Gefühl der Fremdsteuerung

¹³ Cramer & Weyer 2007, S. 279; Weyer & Grote 2012, S. 189ff.

¹⁴ vgl. Rammert 2007, S. 162

- Motivationsverlust, Konzentrationschwäche und Kompetenzverlust durch monotones Arbeiten
 - Fehlende Akzeptanz der 4.0-Technologien, fehlendes Vertrauen in 4.0-Technologien
 - Fehlende Transparenz der Entscheidungen durch die 4.0-Technologien für die Beschäftigten und Führungskräfte
 - Fehlender Handlungsspielraum der Beschäftigten
 - Nichtnachvollziehbarkeit von Handlungen der 4.0-Technologien
 - Zu hohe Erwartungen in Technikverlässlichkeit und nicht rechtzeitiges Erkennen von Fehlhandlungen
- Die Interaktion der intelligenten Software (inkl. KI) beeinflusst auch die Unternehmens- und Präventionskultur, da sie sich nach eigenen technischen Deutungsmustern in das Miteinander der Personen im Betrieb einschaltet. Ob diese Interaktion die Art des Umgangs untereinander und des Arbeitens im Betrieb positiv oder negativ beeinflusst, hängt ebenfalls davon ab, wie aktiv und systematisch der Betrieb diese Interaktionen erkennt, gestaltet und damit auch beeinflusst.

› Welche Maßnahmen sind zu empfehlen?

Bei der Interaktion mit intelligenter Software (inkl. KI) sind unter anderem folgende organisatorische Maßnahmen zu empfehlen:

- Allen Führungskräften und Beschäftigten sollte bekannt sein, nach welchen grundlegenden Kriterien die intelligente Software (inkl. KI) eingesetzt wird und wie sie mit den Menschen interagiert – zum Beispiel in Infoblättern, Leitlinien, Betriebsvereinbarungen. › *Siehe Umsetzungshilfen 1.1.3 Unternehmensethik und intelligente Software (inkl. KI); 1.1.4 Ethische Werte für die intelligente Software (inkl. KI).*
- Die betrieblichen Aktivitäten zwischen den Führungskräften und Beschäftigten sowie der intelligenten Software (inkl. KI) sollten unter Berücksichtigung der sicheren und gesundheitsgerechten Arbeitsgestaltung bewusst verteilt sein. Neben der technischen Selbststeuerung sollten menschliche Einsichts- und Eingriffsmöglichkeiten realisiert werden.
- Die Unternehmensführung sollte mit den Beschäftigten vereinbaren, wie die Art der Interaktion zwischen intelligenter Software (inkl. KI) sowie Führungskräften und Beschäftigten gestaltet wird. Dies sollten Unternehmer und Führungskräfte festlegen und bekannt geben. Zu empfehlen ist es, dabei die Erfahrung und das Wissen der Beschäftigten einzubeziehen. › *Siehe Umsetzungshilfe 1.5.1 Unternehmenskultur in 4.0-Prozessen.*
- Eine kritische Diskussion zu diesem Thema sollte kontinuierlich Bestandteil von Besprechungen sein (im Sinne des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses), um die Sensibilität gegenüber dem Thema Schnittstelle zwischen Software und Mensch zu entwickeln und lebendig zu halten.
- Führungskräfte sollten reflektieren, inwieweit Standardisierungen durch intelligente Software (inkl. KI) die Prozesssicherheit gewährleisten sollen. Dabei ist zu bedenken, dass Beschäftigte Standardisierung als Einschränkungen ihres Handelns wahrnehmen könnten.¹⁵ Dieses Problem sollte gemeinsam mit den Beschäftigten besprochen werden, um wirkungsvolle Lösungen zu finden.
- Im Betrieb sollten die Vorteile und die Entlastung, die die intelligente Software (inkl. KI) den Führungskräften und Beschäftigten durch die Interaktion bietet, herausgearbeitet und beschrieben werden – wie zum Beispiel
 - › die physische und psychische Entlastung,
 - › die Assistenzfunktion im Arbeitsprozess,
 - › die Beteiligung und die Verbesserungsprozesse beinahe in Echtzeit,
 - › die individualisierte, sichere und gesundheitsgerechte Arbeitsgestaltung.
- Auch die kritischen Aspekte der Interaktion sollten thematisiert werden, etwa die Frage des Umgangs mit personenbezogenen Daten, die Anweisungsbefugnisse von intelligenter Software (inkl. KI) gegenüber Führungskräften und Beschäftigten, die Aspekte der Kontrolle und Überwachung oder die Frage der Interventionsmöglichkeiten und der Entscheidungsfreiheit für Führungskräfte und Beschäftigte.

Quellen und weitere Informationsmöglichkeiten:

- Bender, G. (2007). Wechselwirkung zwischen Technik und institutionellen Strukturen versus Technologieentwicklung als Institutionalisierungsprozess. In U. Dolata & R. Werle (Hrsg.), *Gesellschaft und Macht der Technik* (S. 45–62). Frankfurt am Main, New York: Campus Verlag.
- Cernavin, O., & Diehl, S. (2018). Arbeit 4.0 und Unternehmenskultur. In O. Cernavin, W. Schröter, & S. Stowasser (Hrsg.), *Prävention 4.0* (S. 189–229). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Cramer, S., & Weyer, J. (2007). Interaktion, Risiko und Governance in hybriden Systemen. In U. Dolata & R. Werle (Hrsg.), *Gesellschaft und Macht der Technik* (S. 267–285). Frankfurt am Main, New York: Campus Verlag.
- Knorr-Cetina, K. (2007). Umriss einer Soziologie des Postsozialen. In L. Meyer, & H. Pahl (Hrsg.), *Kognitiver Kapitalismus* (S. 25–41). Marburg: Metropolis-Verlag.
- Luhmann, N. (1994). *Soziale Systeme*. (5. Aufl.) (1984). Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag.
- Pfeiffer, S. (2012). Arbeit in Bewegung – Innovation stillgestellt? Standardisierung 2.0 in der Innovationsarbeit des Maschinenbaus. In C. Schilcher, & M. Will-Zocholl (Hrsg.), *Arbeitswelten in Bewegung* (S. 59–82). Wiesbaden: Springer Verlag.
- Rammert, W., & Schulz-Schaeffer, I. (2002). *Technik und Handeln – wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Artefakte verteilt*. Technische Universität Berlin, Fak. VI Planen, Bauen, Umwelt, Institut für Soziologie Fachgebiet Techniksoziologie (Hrsg.). <https://www.uni-due.de/imperia/md/content/soziologie/technikundhandeln.pdf>. Zugegriffen: 23.07.2018.

¹⁵ Pfeiffer 2012

Rammert, W. (2007). *Technik – Handeln – Wissen*. Wiesbaden: VS-Verlag für Sozialwissenschaften.

Ropohl, G. (1979). *Eine Systemtheorie der Technik*. München, Wien: Carl Hanser Verlag.

Schulz-Schaeffer, I. (2008). *Technik als Gegenstand der Soziologie*. The Technical University Technology Studies, Working Papers TUTS-WP-3-2008. https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/1231/ssoar-2008-schulz-schaeffer-technik_als_gegenstand_der_sociologie.pdf?sequence=1. Zugegriffen: 23.07.2018.

Timpe, K.-P., & Kolrep, H. (Hrsg.). (2002). *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation*. Düsseldorf: Symposion.

Weyer, J. (2006). *Die Kooperation menschlicher Akteure und nicht-menschlicher Agenten*. Bielefeld: transcript-Verlag.

Ansatzpunkte einer Soziologie hybrider Systeme. Soziologisches Arbeitspapier Nr. 16 (August 2006). Dortmund: Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät Universität Dortmund.

Weyer, J., & Gote, G. (2012). Grenzen technischer Sicherheit. In F. Böhle & S. Busch (Hrsg.), *Management von Ungewissheit*, (S. 189–212). Bielefeld: transcript-Verlag.

Zu diesem Thema könnten Sie auch folgende weitere Umsetzungshilfen interessieren:

- 1.1.2 Autonomie der Systeme
- 1.1.3 Unternehmensethik und intelligente Software (inkl. KI)
- 1.1.4 Ethische Werte für die intelligente Software (inkl. KI)
- 1.3.3 Handlungsträgerschaft im Verhältnis Mensch und intelligente Software (inkl. KI)
- 1.5.1 Unternehmenskultur in 4.0-Prozessen
- 1.5.2 Diversity in 4.0-Prozessen



**OFFENSIVE
MITTELSTAND**
GUT FÜR DEUTSCHLAND

Herausgeber: „Offensive Mittelstand – Gut für Deutschland“ – Stiftung „Mittelstand – Gesellschaft – Verantwortung“ Kurfürsten-Anlage 62, 69115 Heidelberg, E-Mail: info@offensive-mittelstand.de; Heidelberg 2019

© Stiftung „Mittelstand – Gesellschaft – Verantwortung“, 2019 Heidelberg. Gemeinsam erstellt von Verbundprojekt Prävention 4.0 durch BC GmbH Forschung, Institut für Betriebliche Gesundheitsförderung BGF GmbH, Forum Soziale Technikgestaltung, Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. – ifaa, Institut für Mittelstandsforschung Bonn – IfM Bonn, itb – Institut für Technik der Betriebsführung im Deutschen Handwerksinstitut e. V., Sozialforschungsstelle Dortmund – sfs Technische Universität Dortmund, VDSI – Verband für Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz bei der Arbeit e. V. – gefördert vom BMBF – Projektträger Karlsruhe