

Florian Butollo, Ulrich Jürgens, Martin Krzywdzinski¹

Von Lean Production zur Industrie 4.0. Mehr Autonomie für die Beschäftigten?

Abstract: Der Beitrag untersucht das Verhältnis von Lean Production und Industrie 4.0 in Bezug auf die Frage der Autonomie im Arbeitsprozess. Im Unterschied zu der häufig in der Diskussion über Industrie 4.0 vorgebrachten Behauptung, dass sich die Dispositionsspielräume der Beschäftigten vergrößern würden, sehen wir in den bisherigen Umsetzungskonzeptionen eine Tendenz zur stärkeren Standardisierung und Fremdsteuerung von Arbeit. Dies steht durchaus in Kontinuität zu Konzepten der Lean Production, wohingegen die in den letzteren enthaltenen beteiligungsorientierten Elemente einer stärkeren Einbindung des Shopfloors in Entscheidungs- und Verbesserungsprozesse in Industrie-4.0-Ansätzen geringe Aufmerksamkeit erhalten. Dieses Argument wird anhand der Analyse von Praxisbeispielen aus drei relevanten Feldern (digitale Assistenzsysteme, datenbasiertes Prozessmanagement, modulare Montage) entwickelt. In den Schlussfolgerungen wird darüber hinaus auf die Frage eingegangen, inwieweit das Konzept der Autonomie angesichts der bereits heute erreichten Interdependenz in Produktionsprozessen als Kriterium für die Bewertung von Industrie-4.0-Konzepten geeignet ist bzw. weiterentwickelt werden sollte.

1 Einleitung

In den Darstellungen von Industrie 4.0 wird häufig auf die Potentiale für eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen verwiesen, die die neuen Technologien mit sich bringen. Neben ergonomischen Verbesserungen werden dabei vor allem Autonomieaspekte hervorgehoben. Beispielhaft können die „Umsetzungsempfehlungen“ von Acatech/Forschungsunion (2013), eines der Gründungsdokumente der Industrie 4.0, zitiert werden (vgl. auch Reinhart et al. 2017, S. 63):

„Mit hoher Wahrscheinlichkeit wird die Arbeit in Industrie 4.0 an alle Beschäftigten deutlich erhöhte Komplexitäts-, Abstraktions- und Problemlösungsanforderungen stellen. Darüber hinaus wird den Arbeitnehmern ein sehr hohes Maß an selbstgesteuertem Handeln, kommunikativen Kompetenzen und Fähigkeiten zur Selbstorganisation abverlangt. Kurzum: Die subjektiven Fähigkeiten und Potenziale der Beschäftigten werden noch stärker gefordert sein. Das bietet Chancen auf qualitative Anreicherung, interessante Arbeitszusammenhänge, zunehmende Eigenverantwortung und Selbstentfaltung“ (Acatech/Forschungsunion 2013, S. 57).

Doch stellt sich die Frage, wodurch dieses Technologieversprechen gerechtfertigt ist, zumal der Erwartung an eine Aufwertung der Arbeit und erhöhten Dispositionsspielräume für die Beschäftigten erste Forschungsbefunde gegenüberstehen, wonach im Zuge der Einführung von Industrie-4.0-Konzepten eher strukturkonservative Entwicklungen dominieren (vgl. Hirsch-Kreinsen 2018) und innovative arbeitsorganisatorische Ansätze bislang fehlen.

Im Folgenden wollen wir uns einer Antwort auf die Frage nach Autonomie der Arbeit in der Industrie 4.0 annähern, indem wir dieses Konzept systematisch nach

¹ Dr. Florian Butollo, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung/Weizenbaum-Institut für die vernetzte Gesellschaft. E-Mail: florian.butollo@wzb.eu. Prof. Dr. Ulrich Jürgens, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung. E-Mail: ulrich.juergens@wzb.eu. PD Dr. Martin Krzywdzinski, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung/Weizenbaum-Institut für die vernetzte Gesellschaft. E-Mail: martin.krzywdzinski@wzb.eu.

Kontinuitätslinien und Brüchen in Bezug auf das in Deutschland nach wie vor dominante Produktionssystem Lean Production befragen. Wir gehen somit nicht von den technischen Möglichkeiten an sich aus, um daraus die (möglichen) Auswirkungen auf Arbeit abzuleiten, sondern wir konzentrieren uns auf den Technologieeinsatz in existierenden Produktionssystemen und ihre – nicht nur technikbedingten – Veränderungen. Diese Vorgehensweise wird unserer Meinung nach der vorherrschenden inkrementellen Art und Weise gerecht, mit der die neuen digitalen Technologien Einzug halten. Statt in einem technikdeterministischen Kurzschluss zwischen Basistechnologie und Produktionsmodell von einer neuen Stufe industrieller Produktion auszugehen, sehen wir Industrie 4.0 als ein Technologiebündel, das selektiv und kontextabhängig in bestehende Produktionssysteme integriert wird. In dessen Folge kann es zu deutlichen Veränderungen in Bezug auf Prozess- und Arbeitsorganisation kommen, die Auswirkungen auf das Ausmaß der Autonomie im Arbeitsprozess haben. Diese sollten jedoch mit Blick auf ihre Pfadabhängigkeiten zu vorangegangenen Praktiken interpretiert werden.

Entsprechend rekapitulieren wir zunächst den Stand der Diskussion über Prozessorganisation und Autonomie der Arbeit im Rahmen von Lean Production (Abschnitt 2). Vor diesem Hintergrund diskutieren wir anschließend drei Praxisansätze, die wir als wesentliche Neuerungen in Bezug auf den digitalen Technologieeinsatz ansehen (Abschnitt 3): den Einsatz digitaler Assistenzsysteme, neue Steuerungssysteme in der Anlagenführung und der Instandhaltung, sowie (derzeit noch experimentelle) neue Konzepte der modularen Fertigung.

Die empirischen Befunde ergeben insgesamt ein Bild, welches das Technologieversprechen einer höheren Autonomie im Arbeitsprozess in Frage stellt. Der digitale Technologieeinsatz steht demnach deutlich in einer Kontinuitätslinie zu einer stärkeren Standardisierung der Arbeitsabläufe. Problematisch ist dabei, dass die komplementäre Einbeziehung des Shopfloors in Verbesserungsprozesse, die zumindest konzeptionell ein Eckpfeiler der Arbeitsorganisation in der Lean Production war, in den bisherigen Industrie-4.0-Ansätzen kaum berücksichtigt wird. In einem Ausblick (Abschnitt 4) reflektieren wir diesen Befund unter Bezugnahme auf die Thesen Adlers (2007), der die Fixierung der arbeitssoziologischen Debatte auf das Konzept der Autonomie kritisiert. Wir werfen dabei auch die Frage auf, ob neben Autonomie und Beteiligung auch weitere Kriterien der Bewertung von Industrie-4.0-Konzepten herangezogen werden sollten, etwa im Hinblick auf das Potential der Industrie-4.0-Konzepte für die Integration neuer Beschäftigtengruppen bzw. die Anpassung an sich verändernde Wünsche im Hinblick auf Arbeitszeiten und ihre Flexibilität.

2 Standardisierung und Partizipation in der Lean Production

Spätestens seit den 1990er Jahren ist Lean Production international das dominante Referenzmodell für die Gestaltung industrieller Produktionssysteme. Systematisch umgesetzt und in seinen Implikationen entwickelt wurde dieses System über einen langen Zeitraum ab Mitte der 1940er Jahre bis in die 1970er bei Toyota (Fujimoto 1999; Holweg 2007; Shimokawa/Fujimoto 2009; Jürgens 2017).

Der ursprüngliche Kern ist das Just-in-time-Prinzip, das im Grunde nur eine andere Formulierung für das Fließprinzip darstellt, dem Henry Ford mit seiner Produktionsorganisation für das Modell T zum Durchbruch verhalf (Krafcik 1988, S. 43). Just-in-time ist nur scheinbar ein einfaches System und es ist umso schwieriger umzusetzen, je komplexer die Prozessketten werden und je stärker sie sich organisatorisch ausdifferenzieren. Es erfordert von jeder elementaren Komponente des zu erstellenden Produkts an jeder Stelle der Wertschöpfungskette genau die Menge herzustellen, die für den nächsten Bearbeitungsschritt benötigt wird. Dies impliziert wiederum eine hohe Interdependenz aller Akteure und Prozesse und erfordert eine präzise zeitliche und sachliche Abstimmung. Lean Production ist insofern ein extrem interdependentes, störanfälliges und „nervöses“ System (ebd.).

Es gehört zum Selbstverständnis und zum Erfolgsrezept der Lean Production, dass für die Beherrschung dieser extremen Interdependenz robuste Organisationsroutinen notwendig sind: flache Hierarchien, sofortige Behebung von Fehlern, Stärkung der Problemlösungskompetenz vor Ort und vor allem das so genannte Kanban-System, mittels dessen die Materialzufuhr bedarfsgerecht geregelt wird (vgl. zur Bedeutung des Kanban-Systems Shimokawa/Fujimoto 2009, S. 16).

Aus dem Just-in-time-Prinzip resultierte zugleich eine Zurückhaltung und Vorsicht gegenüber Maßnahmen der Automatisierung, da dies – so die Annahme – im Angesicht schwankender Nachfrage und zugleich der Notwendigkeit, bestehende Anlagen aus Kostengründen auszulasten, nahezu unvermeidlich zu Verschwendung in Form von Überproduktion und damit Zwischenlagern im Produktionsablauf führt. Gleichwohl wurden im Verlauf der Implementierung schlanker Produktionssysteme digitale Techniken eingesetzt und entwickelt, insbesondere Enterprise Resource Planning (ERP) und Manufacturing Execution Systems (MES) (vgl. Mormann 2016; Pfeiffer 2003).

Die dargestellten Charakteristika der Lean Production haben ambivalente Folgen für die Arbeit auf dem Shopfloor. Auf der einen Seite erfordert Lean Production die strikte Befolgung vorgegebener Arbeitsstandards und steht damit in der Tradition des Taylorismus (vgl. Dohse et al. 1984). Erst auf Grundlage strikter Einhaltung der Standards lässt sich die Synchronisierung der vielfältigen Prozesse realisieren. Standardisierte Arbeit gilt auch als Voraussetzung für die Optimierung der Arbeitsprozesse und die Fehleranalyse. Nur in standardisierten Abläufen könnten Fehlerursachen identifiziert werden, weshalb optimierte Lösungen stets als neuer Standard gesetzt werden müssten (Liker/Hoseus 2008; Springer 1999).

Die hohe Interdependenz und Störempfindlichkeit des Systems erfordert auf der anderen Seite permanente Optimierungs- und Problemlösungsprozesse unter Einbeziehung des Wissens und der Erfahrung aller Shopfloor-Akteure. Die Beteiligung an kontinuierlichen Verbesserungsaktivitäten ist daher ein funktionales Erfordernis und keine arbeitspolitische Konzession (Jürgens/Krzywdzinski 2016; Liker/Hoseus 2008). Hier geht Lean Production über den klassischen Taylorismus hinaus und relativiert die Trennung von Planung und Ausführung, die für ihn kennzeichnend ist. Diesen

Punkt hat Adler (2007) hervorgehoben, um die Fixierung der Kritik an der Lean Produktion auf den Autonomiebegriff in Frage zu stellen. Er argumentierte, dass angesichts der hohen Interdependenz der Akteure in der Wertschöpfungskette in der modernen Industrie die individuelle Autonomie im Arbeitsprozess kaum zu realisieren sei. Das relevantere Kriterium der Bewertung von Arbeitsqualität sei deshalb der Umfang der Beteiligungsmöglichkeiten der Beschäftigten bis hin zu Fragen der Kontrolle und der Governance des gesamten Unternehmens. Nun ist anzumerken, dass die Realität der Lean-Production-Systeme – auch in Japan und bei Toyota – nur teilweise der Modellbeschreibung entspricht. Insbesondere die Beteiligungsmöglichkeiten der Beschäftigten sind oftmals eingeschränkt (Fucini/Fucini 1990; Graham 1995; Ihara 2007; Stewart et al. 2009; Jürgens/Krzywdzinski 2016). In vielen Unternehmen sind die kontinuierlichen Verbesserungsprozesse (KVP) zudem häufig ritualhaft erstarrt und dem Beitrag der Beschäftigten wird wenig Beachtung geschenkt. Dennoch bleibt das Spannungsverhältnis zwischen Standardisierung der Arbeit und der Beteiligung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an dieser Standardisierung ein Knackpunkt bei der Arbeitsgestaltung im Rahmen der Lean Production. In wie weit verschiebt sich dieses Verhältnis nun mit der Weiterentwicklung solcher Produktionssysteme im Zuge des Einsatzes von Industrie-4.0-Technologien?

3 Industrie 4.0 und Autonomie: Kontinuität oder Bruch mit Lean Production?

Jenseits aller Revolutionsmetaphorik besteht die Besonderheit der Industrie 4.0 vor allem in der Einführung und Diffusion des Internets der Dinge, wodurch eine Vernetzung der Einbauteile, Transportträger, Maschinen und Messvorrichtungen vorangetrieben wird. Auf dieser Grundlage werden neue Formen der digitalen Prozessanalyse, -steuerung und -optimierung mittels Informationsaustausch in Echtzeit, Big Data und maschinellem Lernen ermöglicht, genauso wie der Einsatz von Assistenzsystemen, die situationsgerecht und echtzeitnah Informationen im Arbeitsprozess bereitstellen sollen (Kagermann 2014).

Wie bereits erwähnt findet der Einsatz dieser Technologien selektiv und inkrementell statt, wobei eine Reihe von Faktoren eine Rolle spielt – von den Leitbildern der Akteure über die Ressourcen und Zielsetzungen der jeweiligen Unternehmen bis hin zu den jeweils praktizierten Formen der Prozess- und Arbeitsorganisation, die entsprechend unterschiedliche Ansatzpunkte für die digital vermittelte Optimierung bieten (vgl. Hirsch-Kreinsen 2018). Industrie 4.0 erscheint dabei eher als ein Bündel von Technologien für unterschiedliche Anwendungsbereiche, denn als ein eigenes neuartiges Produktionssystem.

Ein Teil der Forschungsdiskussion – insbesondere in den Ingenieurwissenschaften – sieht im Unterschied zur medial verbreiteten Revolutionsmetapher keinen Gegensatz zwischen Lean Production und Industrie 4.0. Die meisten Beiträge betonen vielmehr die Kompatibilität beider Ansätze und Lean Production wird sogar als Voraussetzung für eine erfolgreiche Einführung von Industrie 4.0 gesehen (vgl. Dombrowski et al. 2017, Schlick et al. 2014; Rüttimann/Stöckli 2016; Meier 2017; Buer et al. 2018). Schlick et al. (2014, S. 76) stellen bei ihrem Vergleich von Lean Production und Industrie 4.0 fest,

„dass sich im Umfeld von Industrie 4.0 weder das Optimierungsziel, noch die zu optimierenden Bereiche verändern.“

Rüttimann und Stöckli (2016, S. 499) empfehlen Produktionsmanagern, Lean zu implementieren statt auf das gelobte Land „Industrie 4.0“ zu warten. Letzteres sei

„the topping on that cake. It makes Lean Production more flexible; whether it makes it faster, smoother, and more stable and more accurate has to be proven“ (ebd., S. 500).

In Bezug auf Arbeit lässt sich das Verhältnis zwischen Lean Production und Industrie 4.0 allerdings auch anders fassen. So formulieren die Vertreterinnen und Vertreter der Industrie 4.0 das Versprechen, dass datenbasierte Analyse und Optimierung der Schlüssel dafür sei, steigende Anforderungen an Qualität, Time-to-market und Interdependenzen in den Lieferketten zu bewältigen. Hier scheint sich eine Abkehr von der in der Lean Production verankerten Betonung des auf dem Shopfloor verankerten Erfahrungswissens zu vollziehen, das gegenüber datengestützter Optimierung in den Hintergrund tritt. Zugleich soll der Ausbau digitaler Wissensmanagement- und Assistenzsysteme die Integration unterschiedlicher Beschäftigtengruppen und insbesondere angelernter Arbeitskräfte in die Arbeitsprozesse unterstützen. Im Folgenden diskutieren wir diese Punkte am Beispiel von drei Einsatzfeldern, in denen Industrie 4.0 Technologien genutzt werden: der Anwendung digitaler Assistenzsysteme in der Logistik und Montage, der datenoptimierten Steuerung und Assistenz im Bereich der Anlagenführung und Instandhaltung und der Veränderung der Fließbandarbeit im Rahmen neuer modularer Fertigungskonzepte.

3.1 Nutzung von Assistenzsystemen in der Logistik und Montage

Ein zentrales Element des Industrie-4.0-Technikbündels sind digitale Assistenzsysteme. Wir diskutieren im Folgenden ihren Einsatz vor allem in den Bereichen der Logistik- und Montagearbeit. Auch wenn diese Bereiche oftmals als Einfacharbeit charakterisiert werden, so spielt in Lean-Production-Systemen die Mobilisierung des informellen Erfahrungswissens der Beschäftigten eine wichtige Rolle. Aufgrund steigender Qualitätsansprüche, die mit kürzeren Zeitvorgaben und zunehmend komplexeren Prozessketten verbunden werden, stehen die Logistik- und Montagebereiche unter steigendem Druck, Fehler in der Kommissionierung und bei der Montage von Komponenten zu verhindern.

Assistenzsysteme sollen nun dabei helfen, diese Problematik in den Griff zu bekommen. Ein zentraler Einsatzbereich ist die innerbetriebliche Logistik. So genannte Pick-by-light- und Pick-by-voice-Assistenzsysteme werden hier bereits seit längerer Zeit genutzt. Sie zeigen den in der Kommissionierung Beschäftigten die zu wählenden Artikel per Lichtsignal oder per computergenerierter Stimme an. Beispiele für die Weiterentwicklung solcher Ansätze sind durch Datenbrillen unterstützte Pick-by-vision-Systeme. Als Hauptziel bei der Einführung dieser Pick-by-vision-Techniken gilt in der Ingenieursliteratur neben der Identifizierung von Kommissionierfehlern die Reduktion von Kommissionierzeiten (Günthner et al. 2009; Baumann 2013).

Die Datenbrillen sind (zumeist per WLAN) mit dem Auftragsmanagementsystem verbunden. Dieses liefert die Informationen darüber, welche Produkte benötigt wer-

den, wo sie sich im Lager befinden und in welcher Reihenfolge sie geholt werden müssen. Alle Angaben und Anweisungen werden Schritt für Schritt auf der Datenbrille angezeigt. Die in der Datenbrille eingebaute Kamera bzw. die am Körper getragenen RFID-Chips² bestätigen, dass die richtigen Produkte aufgenommen wurden. Es ist zudem (zumindest theoretisch) eine genaue Lokalisierung der Beschäftigten möglich. Berichte über den Einsatz von Datenbrillen bei Tesco und Amazon zeigen, dass Produktivitätsdaten, Bewegungsabläufe und Interaktionen der Beschäftigten erfasst, ausgewertet und zur Leistungskontrolle eingesetzt werden (Wilson 2013; Rawlinson 2013; Moore/Robinson 2015; Nachtwey/Staab 2016), wobei vergleichende Überwachungstechniken in der Automobilindustrie bislang nicht üblich zu sein scheinen.

Ein weiteres Beispiel für die Nutzung von Assistenzsystemen in der Montage ist ein Pilotprojekt einer Multiprodukt-Montagelinie bei einem Automobilzulieferer. Hierbei handelt es sich um eine U-förmige Montagestruktur mit neun Arbeitsstationen. In der ersten Arbeitsstation wird das Werkstück in einen mit einem RFID-Chip versehenen Werkstückträger gesteckt, wodurch eine zuverlässige Positionierung sichergestellt wird. Das Greifen der Teile wird über Lichtsignale gesteuert. Wird ein falsches Teil gegriffen, so wird der anschließende Prozess auch an den folgenden Arbeitsstationen blockiert. Die Beschäftigten melden sich mit einem Bluetooth-Gerät am Arbeitsplatz an, auf dem Informationen über Körpergröße, physische Besonderheiten und das spezifische Vorwissen der jeweiligen Personen gespeichert sind. Diese Informationen dienen der Anpassung der Arbeitsplätze an die individuellen Voraussetzungen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Die Handgriffe der Beschäftigten werden von Kameras verfolgt, die auf einer Projektionsfläche abbilden, ob diese korrekt ausgeführt werden. Die Vorgabezeiten für die einzelnen Tätigkeiten werden vom Industrial Engineering geliefert. Das System zielt darauf ab, dass die Tätigkeiten bis ins kleinste Detail (z. B. auf welche Weise Einbauteile gegriffen und angebracht werden) entsprechend den vordefinierten Standards verrichtet werden. Standardisiertes Arbeiten wird so de facto erzwungen.

Natürlich sind diese Beispiele nicht hinreichend, um verallgemeinern zu können. Deutlich wird aber dennoch, dass es bei der Einführung der Assistenzsysteme nicht um eine Erhöhung von Autonomie, Eigenverantwortung und Selbstentfaltung im Sinne des eingangs zitierten Technologieversprechens geht. Eingeschrieben in die Assistenzsysteme ist vielmehr eine Logik, die auf die Einhaltung planerisch optimierter Handlungsabläufe zielt und durch die richtige Handgriffe instruiert sowie falsche verhindert werden.

Assistenzsysteme können auch so gestaltet werden, dass sie sich flexibel dem Kenntnisstand und Unterstützungsbedarf der Beschäftigten anpassen, etwa wenn Informationen je nach Erfahrungsstand der Mitarbeiter übermittelt werden. Ob sie so eingesetzt werden, hängt von den arbeitspolitischen Leitbildern im jeweiligen Betrieb ab (vgl. Kuhlmann et al. 2018). Allerdings ist fraglich, ob damit ein nachhaltiger Aufbau von Erfahrungswissen einhergeht. Von uns durchgeführte Interviews über den

² Radio Frequency Identification (RFID) ist ein zentrales technologisches Element, das die Koordination der Logistik erleichtert. RFID ermöglicht die kontaktlose und eindeutige Identifikation von Gegenständen und ist somit ein grundlegendes Element der industriellen Anwendung des Internets der Dinge bzw. der Industrie 4.0.

Einsatz von Assistenzsystemen in Anlernprozessen zeigen, dass die Lerneffekte teilweise schwächer sind als erwartet, weil sich die Beschäftigten von der Technik einfach leiten lassen ohne die einzelnen Arbeitsschritte aktiv zu verarbeiten – der bekannte „Navi-Effekt“.³ Zudem stellt sich durch den Einsatz von Assistenzsystemen noch stärker die Frage, welche Art von Erfahrungen und Ideen die Beschäftigten in Verbesserungsprozesse einbringen sollen. Es ist wahrscheinlich, dass sich diese dann vor allem mit der Funktionsweise der Assistenzsysteme selbst beschäftigen und damit Problemlösungsaktivitäten auf Sekundärprobleme und Umwege gelenkt werden.

Obwohl die gegenwärtige Motivation im Einsatz der Assistenzsysteme somit auf eine stärkere Standardisierung und Kontrolle von Arbeit abzielt, ist die Akzeptanz unter den Beschäftigten in den meisten von uns untersuchten Fällen relativ hoch. Zwar gibt es durchaus Probleme in Bezug auf den Tragekomfort (z. B. zu schwere Brillen), das eingeschränkte Sichtfeld, die begrenzten Akkulaufzeiten o. ä., doch äußern Beschäftigte selten Kritik an der Fremdsteuerung durch die technischen Systeme an sich. Offenbar bieten die Systeme auch Vorteile wie z. B. eine Entlastung von Stress durch den wachsenden Druck der Fehlervermeidung in einem zunehmend komplexen Arbeitsumfeld.

3.2 Datenbasiertes Prozessmanagement und Handlungsspielräume für Facharbeit

Durch die Integration aller Ebenen der betrieblichen Informationssysteme (vgl. Gronau 2014, S. 7) von der Maschinensteuerung über die Manufacturing Execution Systems (MES) bis zu den Enterprise-Resource-Planning (ERP) Systemen soll eine umfassende Prozesstransparenz geschaffen werden. Wie Nyhuis et al. (2017; vgl. auch Schlick et al. 2014; Meyer et al. 2018) in ihrem Beitrag über den Wandel der Produktionsplanung betonen, ergeben sich neue Optimierungspotentiale beispielsweise in (a) der Produktionsprogrammplanung durch die Nutzung von Big-Data-Auswertungen zur Prognose zukünftiger Nachfrage, (b) dem Auftragsmanagement durch Echtzeitinformationen über den Stand der jeweiligen Auftragsabarbeitung und (c) der Fertigungssteuerung durch mehr und genauere Daten über Maschinenauslastung, Auftragsstand und Störungen.

Daraus ergeben sich auch Auswirkungen für Arbeitsbereiche, die klassischerweise durch Facharbeit geprägt werden. So ist zu erwarten, dass die neuen Verfahren der Datenanalyse und datenbasierter Prozessoptimierung zu einer Abnahme von Reparatur- und Wartungstätigkeiten führen werden, in denen gegenwärtig der flexible Arbeitseinsatz und das Fachwissen von umfassend qualifizierten und erfahrenen Beschäftigtengruppen erforderlich ist.

³ Damit ist der Effekt gemeint, der sich bei der Anwendung von Navigationsgeräten im Straßenverkehr einstellt. Nutzerinnen und Nutzer werden dadurch relativ verlässlich an das gewählte Ziel geführt und verfügen somit über eine technisch vermittelte Aufwertung ihrer Fähigkeiten zur Navigation. Das blinde Vertrauen in die Technik kann aber zu einem Verlust der eigenständigen Orientierungsfähigkeit führen, wenn den Instruktionen des Navigationsgeräts blind gefolgt wird, ohne eigene Anstrengungen zur Orientierung bzw. zur Kontextualisierung der Informationen zu unternehmen.

Dies betrifft auch den Tätigkeitsbereich der Anlagenführung. Hier wurde in einem von uns untersuchten Fall eines Automobilzulieferers ein neues Auftrags- und Fertigungssteuerungskonzept eingesetzt, das sich auf die Arbeitsorganisation in der Anlagenführung ausgewirkt hat. Spezialisierte Teams kümmern sich nun um die Bereiche Überwachung/Problemlösung, Wartung und Materialversorgung. Sie werden vom Auftrags- und Fertigungssteuerungssystem rascher (idealerweise: in „Echtzeit“) informiert, wenn etwa ein Problem im Fertigungsprozess oder in der Lieferkette auftritt. Dabei soll das System automatisch erkennen, welche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verfügbar und für die Aufgabe qualifiziert sind. Angestrebt sind eine höhere Flexibilität und auch eine bessere Ausnutzung der Arbeitszeit in der Anlagenführung. Zugleich kann eine Polarisierung der Qualifikationsanforderungen in diesem Tätigkeitsbereich resultieren, denn Aufgaben der Materialversorgung und auch Überwachung könnten nun beispielsweise auch auf angelernte Arbeitskräfte verteilt werden, während im Bereich der Problemlösung und Wartung zumindest ein Teil der Facharbeiterinnen und -arbeiter eine Vielzahl von Anlagen kennen muss, was mit steigenden Anforderungen einher geht.

Auch im Bereich der Instandhaltung sind tiefgreifende Veränderungen bereits in Ansätzen sichtbar. Selbstdiagnosesysteme an Maschinen und Anlagen sind bereits weit entwickelt. Mit Industrie 4.0-Konzepten gewinnen sogenannte IoT-Gateways (Internet-der-Dinge-Schnittstellen) an Bedeutung, d. h. Softwaresysteme, die Sensordaten von Anlagen in Echtzeit zusammenbringen und darstellen. Auf diese Weise kann sofort reagiert oder es können präventive Maßnahmen geplant werden. In übergreifenden Prozessmanagement- und Unterstützungssystemen werden Daten vieler Anlagen zusammengeführt, die auch für neuartige Möglichkeiten der Prozessoptimierung (etwa durch Data Mining) zur Verfügung stehen.

Die im Kontext von Industrie 4.0 diskutierten Ansätze der „Smart Maintenance“ führen diesen Ansatz weiter (Acatech 2015; Günther et al. 2015). Günther et al. (2015, S. 20) betonen, dass sich der Instandhaltungsberuf weg vom Bild des „Maschinenflüsterers“ und zur Fokussierung auf Datenanalytik hinbewegt. Das von der Acatech formulierte Konzept der „Smart Maintenance“ betont die Möglichkeit der Zentralisierung von Anlagenüberwachungs- und Problemlösungsprozessen, die sich aus der neuen Qualität der Datenverfügbarkeit und den Möglichkeiten der Datenanalyse in Echtzeit ergeben. In einer solchen Instandhaltungszentrale arbeiten akademisch ausgebildete Anlagenspezialistinnen und -spezialisten mit Datenanalytikerinnen und -analysten zusammen. Die Beschäftigten der Instandhaltung selbst werden die Anweisungen dieser Zentrale ausführen und dementsprechend weniger Erfahrung und auch Anlagenkenntnis aufweisen müssen:

„Von dieser Zentrale aus werden die operativen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, welche eine grundlegende Qualifikation zur Generalistin beziehungsweise zum Generalisten in der Instandhaltung absolviert haben, individuell in ihrem Arbeitseinsatz begleitet. In Verbindung mit der Nutzung geeigneter Assistenzsysteme kompensiert dieses Vorgehen mangelndes Erfahrungswissen oder fehlende Qualifikationen von Mitarbeitenden und befähigt diese zu einem flächendeckenden Einsatz im Feld.“ (Acatech 2015, S. 24)

Wenngleich diese Ansätze noch am Anfang stehen, lassen sich Anzeichen für eine derartige Standardisierung der Tätigkeiten finden. Die Ersetzung mechanischer Sicherheitssysteme in der Aufzugsbranche durch elektronische Lösungen führt beispielsweise dazu, dass die Aufzugsüberwachung und Planung von zentralen Überwachungszentren übernommen wird. Störfälle werden durch „predictive maintenance“ weitgehend vermieden. Die heutigen Aufzugsmonteuren und -monteure fungieren mehr und mehr als „Teiletaucher“.

Nun steht die Rationalisierung der Instandhaltung wie auch der Anlagenführung in starker Kontinuität zu Konzepten der Lean-Production. Systematische Prozessbeobachtung und statistische Prozesskontrolle gehörten zu den Kernideen, die von japanischen Unternehmen aufgegriffen und bis hin zu TPM-Konzepten (total productive maintenance) weiterentwickelt wurden. Entsprechend wurden seit den 1990er Jahren in vielen Unternehmen „predictive maintenance“-Systeme etabliert, bei denen basierend auf Daten über Materialbelastungen, Verschleißdauern etc. Prognosen über mögliche Anlagenausfälle entwickelt wurden. Dadurch können Instandhaltungsarbeiten so geplant werden, dass betroffene Teile und Komponenten noch vor dem Anlagenausfall ersetzt werden (Wireman 1991). Auch die Aufgabe fester Leitstände und der flexible Einsatz von Beschäftigten in der Anlagenführung sind bereits in früheren Beiträgen als ein wichtiges Element der Toyota-Ansätze im Bereich Automatisierung hervorgehoben worden (Sugimori et al. 1977, S. 558).

Die TPM-Literatur betont den Bedarf an cross-funktionalen und cross-hierarchischen Verbesserungsprozessen, in die auch die Shopfloor-Teams einzubeziehen seien (Shirose 1996; Japan Institute of Plant Maintenance 1997). Unter dem Stichwort „autonomous maintenance“ übernehmen die Shopfloor-Teams Aufgaben der Beobachtung von Anlagen, Registrierung von Fehlern und Problemen, der Analyse und der Wartung. Um die Realisierung dieser Aktivitäten sicherzustellen, führen die Team-Activity-Boards auch die täglich durchzuführenden TPM-Aktivitäten auf (Japan Institute of Plant Maintenance 1997). Die Teamaktivitäten sind dabei Bestandteil übergreifender Optimierungsaktivitäten, die auch die Instandhaltungsabteilung sowie mehrere Hierarchieebenen einschließen.

Während also die Tradition der Lean Production die Verbindung von datenbasierter Analyse mit Kompetenzentwicklung, fachlichem Wissen und Erfahrung des Shopfloors betont, legt die „Smart Maintenance“-Konzeption der Industrie 4.0 nahe, solche Investitionen in Shopfloor-Wissen durch Technologie überflüssig zu machen.

Ob dieser technologiefixierte Ansatz jedoch funktional ist, kann bezweifelt werden. Zumindest legen die Erfahrungen mit bisherigen Automatisierungsprozessen nahe, dass die Eliminierung von Erfahrungs- und Lernmöglichkeiten durch datenbasierte Prozesssteuerung, -überwachung und -optimierung dazu führen kann, dass bei unerwarteten Ausfällen des Systems die menschliche Problemlösungskompetenz fehlt (Bainbridge 1983; Weyer 1997 und 2007). Auch aus diesem Grund sollten Betriebsräte aber auch Forscherinnen und Forscher die Bedeutung des Erfahrungswissens auf dem Shopfloor gegen kopflastige IT-Expertise stärken und die Bedeutung von

Facharbeit in der Erprobung und Anpassung der Industrie-4.0-Lösungen an veränderte Umstände und Anforderungen verteidigen.

3.3 Neue Ansätze der Gestaltung von Fließbandarbeit

Unternehmen unterschiedlicher Branchen arbeiten an Ansätzen einer modularisierten Fertigung mittels cyber-physischer Systeme in der Montage und Logistik.⁴ Diese werden explizit im Sinne von Spielräumen für eine innovativere Arbeitsgestaltung diskutiert, da sie vermeintlich die Abkehr vom Korsett einer engen Taktung der Abläufe in der Fließbandarbeit darstellen. Die Spielräume und Grenzen dieser Ansätze lassen sich an den Überlegungen bei Audi illustrieren (Audi 2018). Nach diesem Entwurf werden die Fahrzeuge auf selbstfahrende Transportsysteme gesetzt und mit Informationen über die mögliche Reihenfolge der Montageschritte versehen. Auf Basis dieser Informationen sollen die Fahrzeuge dann selbst darüber entscheiden, welche Montagestation sie jeweils als nächstes anfahren, und dabei die Auslastung der Station, die „Verkehrssituation“ und weitere relevante Faktoren in Betracht ziehen. Dadurch würde ein selbstregulierendes System entstehen.

Effizienzgewinne werden dadurch erwartet, dass jedes Fahrzeug seinen optimalen Weg durch die Produktion sucht, wodurch unnötige Schritte übersprungen werden können, etwa wenn ein Teil für ein bestimmtes Modell nicht benötigt wird. Die Montagestationen könnten so optimal ausgelastet werden. Unterbrechungen an einzelnen Stationen im Störfall müssen sich außerdem nicht unbedingt auf den gesamten Produktionsfluss auswirken.⁵

Ein explizites Ziel des Projekts ist, so die Darstellung des Unternehmens, die Erhöhung der Autonomie der Beschäftigten in der Montage. Die zukünftigen Montageinseln sollen jeweils einen kompletten Arbeitsschritt übernehmen (etwa den Verbau des Cockpits). Dazu soll die einheitliche Taktzeit aufgegeben werden. Die Dauer der Arbeitsschritte soll sich vielmehr nach der Menge und dem Inhalt der Aufgaben richten und zwischen ein und vier Minuten liegen. Das soll gegenüber der stark durchrationalisierten Fließbandarbeit die Möglichkeit bieten, die Arbeitsinhalte anzureichern. Zugleich sollen Spielräume für die Regulierung von Belastungen entstehen und auch die Einsatzmöglichkeiten von „leistungsgeminderten“ Mitarbeitern verbessert werden. Die Flexibilität des Systems soll auch Stresspotentiale reduzieren, etwa wenn Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter fehlen und die Arbeit dadurch an einzelnen Stationen länger dauert oder wenn ein Fehler behoben werden muss. Die angestrebte Flexibili-

⁴ Als cyber-physische Systeme werden Netzwerke von Maschinen, Lagersystemen und Betriebsmitteln bezeichnet, in denen die Komponenten „eigenständig Informationen austauschen, Aktionen auslösen und sich gegenseitig selbstständig steuern“ (Acatech/Forschungsunion 2013, S. 5). Daimler betreibt gemeinsam mit einer Reihe von Partnern wie der Fraunhofer-Gesellschaft, der Universität Stuttgart und weiteren Unternehmen die Forschungsfabrik Arena2036, in der neue modulare Montagekonzepte auf der Basis cyber-physischer Systeme erprobt werden (Steegmüller/Zürn 2017; Daimler 2018). Audi hat zwar bei der R8-Montage im Werk Neckersulm den Transport von Fahrzeugen zwischen einzelnen Montagestationen bereits auf fahrerlose Transportsysteme umgestellt, wodurch das Montagelayout nun viel flexibler verändert werden kann, aber ansonsten scheint die dortige Montage noch traditionellen Fluss- und Pull-Konzepten zu folgen (Plattform Industrie 4.0 2018).

⁵ Zugleich erhöhen sich aber die Komplexität des Montagesystems und die Schwierigkeiten bei der Synchronisierung der Materialströme. Um nur ein Beispiel zu nennen: Wenn die Montagestationen in immer wieder neuer Reihenfolge angefahren werden können, wie werden dann die Logistikprozesse organisiert und die JIT-Teilezufuhr gewährleistet? Die Überlegenheit der Experimente modularer Fertigung muss sich insofern noch in der Praxis zeigen.

sierung der Taktung der einzelnen Montagestationen auf bis zu vier Minuten geht nur leicht über die Gestaltungsspielräume der heutigen Fließbandarbeit in der Montage hinaus, potentiell könnten aber durch eine modulare Montageorganisation noch deutlich größere Abweichungen vom Prinzip der einheitlichen Taktung und dadurch noch größere Handlungsspielräume für die Beschäftigten entstehen. Solche Aussagen rufen schwedischen Ansätze zur mitarbeitergerechten Umgestaltung der Arbeitsorganisation in den 1980er und 1990er Jahren in Erinnerung (Sandberg 1995).

Es ist zutreffend, dass in der hier beschriebenen Variante der Inselfertigung die Rigidität der Abläufe am Fließband aufgelockert wird, doch ist es irreführend, dies als eine Abkehr von der Fließfertigung zu interpretieren. Die Reorganisation der Montage könnte sogar Spielräume für eine Arbeitsintensivierung eröffnen. Schließlich kann die Austaktung der Abläufe nun viel flexibler gestaltet bzw. können die Tätigkeiten an den einzelnen Stationen so gebündelt werden, dass die sogenannten Leerzeiten, in denen Beschäftigte auf die nächste Aufgabe warten, reduziert und Arbeit damit verdichtet wird. Die neuen Montageansätze könnten theoretisch aber auch die Möglichkeit für eine Ausdehnung der Arbeitsinhalte sowie für eine Anreicherung der Arbeitsaufgaben an den Stationen durch nicht direkt taktgebundene Tätigkeiten bieten. Da aber auch dieses Modell unter einem hohen Rentabilitätsdruck steht, ist es zumindest offen, in wie weit sich die Autonomieversprechen dieses sozio-technischen Pfades tatsächlich realisieren lassen.

4 Schlussfolgerungen

Die Diskussion erster Anwendungsbeispiele von Industrie 4.0-Technologien lässt die Behauptung, dass diese mit höheren Anforderungen an die Autonomie der Beschäftigten einhergehen, als zweifelhaft erscheinen. Zwar erlauben die bisherigen empirischen Erkenntnisse noch kein genaues Bild, geschweige denn ein abschließendes Urteil, doch drängt sich der Eindruck auf, dass die in Lean Production angelegten Tendenzen der Standardisierung und Kontrolle von Arbeit in Folge des digitalen Technologieeinsatzes intensiviert werden. Die Möglichkeiten der neuen digitalen Assistenzsysteme gehen insofern noch über die traditionellen Lean-Production-Techniken hinaus, als dass sie eine Kontrolle der Arbeitsabläufe in Echtzeit und eine individualisierte Anleitung der Beschäftigten ermöglichen.

Wie ist dieser Befund einzuschätzen? Obwohl sich darin problematische Tendenzen widerspiegeln, halten wir es für verfehlt, die arbeitspolitische Bewertung der emergenten Produktionssysteme ausschließlich an der Frage der „Autonomie“ im Arbeitsprozess festzumachen. Schon mit dem Blick auf die Debatten um Lean Production kritisierte Adler (2007) das in der Arbeitssoziologie vorherrschende Autonomieverständnis als rückwärtsgewandt, denn es orientiere sich am Modell eines isolierten Handwerkers, das schon lange nicht mehr mit den Bedingungen der modernen Produktion vereinbar sei. Adler betont mit Rückgriff auf die Marx'sche Argumentation über die Dialektik zwischen Produktivkräften und den Produktionsverhältnissen, dass zunehmender Technologieeinsatz langfristig zwangsläufig die Interdependenz auf verschiedenen Ebenen stärken. Hochwertigere Produkte gingen mit

enger gekoppelten Wertschöpfungsketten und Industriestrukturen einher. Komplexe Technologien setzen zudem eine stärkere Verschränkung unterschiedlicher Funktionen wie Entwicklung, Planung, Fertigung etc. voraus. All dies verstärkte die Interdependenz im Arbeitsprozess.

Die entscheidende Frage sei also nicht, ob die Arbeitsorganisation individuelle Autonomie ermögliche – denn das sei unter den Bedingungen der modernen Produktion illusorisch (vgl. auch Adler/Cole 1993) –, sondern ob die Regeln der Interdependenz und Zusammenarbeit in einem beteiligungsorientierten und kooperativen Prozess anstatt top-down definiert würden. Der Bezugspunkt für emanzipatorische Ansprüche an Arbeit sollte eher eine beteiligungsorientierte Interdependenz (Adler spricht von „collaborative interdependence“) sein, als individuelle Autonomie.

Inwieweit ermöglicht der Einsatz von Industrie 4.0-Technologien nun eine Stärkung der kollaborativen Interdependenz im Sinne Adlers? In Konzepten der Lean Production wurde stets die teamförmige Beteiligung der Shopfloor-Mitarbeiter an Verbesserungs- und Problemlösungsprozessen betont. Dieser Aspekt spielt in der Industrie 4.0-Diskussion hingegen keine Rolle, die vielmehr von Ansätzen dominiert wird, nach denen die zunehmende Bedeutung datenbasierter Prozesssteuerung die Rolle des Erfahrungswissens und die Kompetenzen der Shopfloor-Beschäftigten in den Hintergrund drängt. Eine wichtige Herausforderung für die Arbeitsgestaltung liegt daher darin, neue Formen einer Beteiligung der Beschäftigten zu entwerfen, zumal die bisherigen Ansätze unzureichend sind. Zwar werden die Beschäftigten in den von uns untersuchten Unternehmen der Automobilbranche bei der Einführung digitaler Assistenzsysteme informiert und konsultiert, allerdings handelt es sich dabei um einmalige Aktivitäten, die sich zumeist auf Fragen der Ergonomie und Handhabung beschränken (vgl. Evers et al. 2018). Es fehlen bislang Studien darüber, wie sich die Nutzung der digitalen Assistenzsysteme auf Teamarbeit und Problemlösungsaktivitäten auf dem Shopfloor auswirkt. Erste Studien im Logistikbereich kommen zum Schluss, dass gerade im Bereich der Einfach Tätigkeiten die Digitalisierung zur Reduktion des „Bedarfs an eigenständiger Lösungsfindung auf dem Shopfloor führt“ (Mättig et al. 2018, S. 70).

Die vorherrschende Form des digitalen Technologieeinsatzes hat also eine Schlagseite: Sie verstärkt die in der Lean Production angelegten Tendenzen einer stärkeren Standardisierung und Kontrolle der Arbeit, während die Einbindung der Belegschaften in die Prozessoptimierung unterminiert oder zumindest nicht ausgebaut wird.

Das arbeitspolitische Gestaltungspotenzial würde jedoch unterschätzt, würde man bei diesem Befund stehenbleiben, denn dieses beschränkt sich eben nicht nur auf die Frage der Autonomie im Arbeitsprozess. Fasst man den Autonomiebegriff breiter und bezieht auch die Thematik der Arbeitszeitgestaltung mit ein, dann offenbart sich ein bedeutendes Feld der Arbeitspolitik, in dem die Anwendungsformen digitaler Technologien verhandelt werden.

Zu beobachten ist eine verstärkte Nachfrage seitens der Beschäftigten nach flexiblen und kürzeren Arbeitszeiten sowie nach Wechseln zwischen Teil- und Vollzeit

und Freistellungen während Erziehungs- und Pflegezeiten. Die Realisierung dieser Wünsche bedeutet für den Shopfloor häufigere Wechsel von Beschäftigten auf Arbeitsplätzen und damit stärkere Probleme der Koordination und auch der Sicherstellung der benötigten Qualifikationen. Digitale Systeme zur Anleitung von Arbeitsabläufen und der Zuweisung von Arbeitsaufgaben können dabei helfen, diese personalpolitischen Probleme in den Griff zu bekommen. Auch im Hinblick auf die Unterstützung stärkerer Aufgabenrotation und der Integration neuer, industrieunerfahrener Gruppen in die Produktion können die neuen Technologien positive Effekte haben. Industrie-4.0-Technologien finden unter den Rahmenbedingungen von demographischen Veränderungen ihren Einsatz, die sich in wachsenden Rekrutierungsproblemen und hohen Fluktuationsraten der Beschäftigten äußern. In vielen Unternehmen der verarbeitenden Industrie kündigt sich ein Generationsbruch an und es ist nicht absehbar, dass diese im gleichen Maß auf umfassend ausgebildete Arbeitskräfte zurückgreifen können, wie bisher.

Inwieweit die Möglichkeiten der Industrie 4.0 dazu genutzt werden, um neue Gestaltungsspielräume bei der Arbeitszeitgestaltung und Arbeitsorganisation zu erschließen, hängt nicht von der Technologie ab, sondern von dem Ausgang arbeitspolitischer Auseinandersetzungen. Die technikfixierte Diskussion um „Industrie 4.0“ kann insofern als Anstoß genutzt werden, die Konditionen der Beschäftigung im Kontext des demographischen Wandels in umfassenden Sinn zu thematisieren – und damit entsprechende arbeitspolitische Forderungen zu platzieren.

Dabei müssen die Auswirkungen auf die industriellen Beziehungen und Machtkonstellationen in den Betrieben im Auge behalten werden. Der Einsatz digitaler Prozesssteuerung und Assistenzsysteme kann die Einarbeitung neuer Beschäftigter erleichtern und sie somit bei der Aneignung neuer Kompetenzen unterstützen, die im Laufe der Betriebszugehörigkeit akkumuliert werden. Sie kann aber auch eingesetzt werden, um sich vom Erfahrungswissen der Beschäftigten unabhängiger und diese austauschbar zu machen. In letzterem Fall würde die Primärmacht der Beschäftigten unterminiert, was es wiederum erschweren würde, bessere Konditionen in Bezug auf die allgemeinen Konditionen ihrer Beschäftigung auszuhandeln. Umso mehr gewinnt die gewerkschaftliche Organisationsmacht und die Gestaltungsfähigkeit in Institutionen der Mitbestimmung an Bedeutung.

Literatur

Acatech 2015: Smart Maintenance für Smart Factories. München/Berlin.

Acatech/Forschungsunion 2013: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Berlin.

Adler, Paul S. 2007: The Future of Critical Management Studies: A Paleo-Marxist Critique of Labour Process Theory. In: Organization Studies 28 (9), S. 1313-1345.

Adler, Paul S./Cole, Robert 1993: Designed for Learning: A Tale of Two Auto Plants. In: Sloan Management Review 3, S. 85-94.

- Audi 2018: Fertigungsinseln statt Fließband. Internet: <https://blog.audi.de/modulare-montage-bei-audi/> [zuletzt aufgesucht am 5.6.2018].
- Bainbridge, Lisanne 1983: "Ironies of automation." *Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems*. In: *Automatica*, 19 (6), S. 775-779.
- Baumann, Hannes 2013: *Order Picking Supported by Mobile Computing* (Dissertation). Bremen.
- Buer, Sven-Vegard/Strandhagen, Jan Ola/Chan, Felix T. S. 2018: The Link between Industry 4.0 and Lean Manufacturing: Mapping Current Research and Establishing a Research Agenda. In: *International Journal of Production Research* 56 (8), S. 1-17.
- Daimler 2018: Arena2036. Internet: <https://www.arena2036.de/de/> [zuletzt aufgesucht am 5.6.2018].
- Dohse, Knuth/Jürgens, Ulrich/Malsch, Thomas 1984: Vom „Fordismus“ zum „Toyotismus“? Die Organisation der industriellen Arbeit in der japanischen Automobilindustrie. In: *Leviathan*, 12 (4), S. 448-477.
- Dombrowski, Uwe/Richter, Thomas/Krenkel, Philipp 2017: Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis. In: *Procedia-Manufacturing* 11, S. 1061-1068.
- Evers, Maren/Krzywdzinski, Martin/Pfeiffer, Sabine 2018: *Wearable Computing im Betrieb gestalten: Rolle und Perspektiven der Lösungsentwickler im Prozess der Arbeitsgestaltung*. Im Erscheinen.
- Fucini, Joseph/Fucini, Suzy 1990: *Working for the Japanese: Inside Mazda's American Auto Plant*. New York.
- Fujimoto, Takahiro 1999: *The evolution of a Manufacturing System at Toyota*. New York.
- Graham, Laurie 1995: Subaru-Isuzu: Worker Response in a Nonunion Japanese Transplant. In: Babson, Steve (Hg.) 1995: *Lean Work. Empowerment and Exploitation in the Global Auto Industry*. Detroit, S. 199-206.
- Gronau, Norbert 2014: *Enterprise Resource Planning*, München. Oldenbourg.
- Günthner, Willibald/Blomeyer, Niels/Reif, Rupert/Schedlbauer, Michael 2009: *Pick-by-vision: Augmented Reality unterstützte Kommissionierung*. Garching.
- Günther, Georg/Benisch, Michael/Dankl, Andreas/Isopp, Jutta 2015: *Roadmap der Instandhaltung 4.0*. Salzburg.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut 2018: *Arbeit 4.0: Pfadabhängigkeit statt Disruption (= Soziologisches Arbeitspapier 52/2018)*. Dortmund.
- Holweg, Matthias 2007: The genealogy of lean production. In: *Journal of Operations Management* 25, S. 420-437.
- Ihara, Ryoji 2007: *Toyota's Assembly Line: A View From the Factory Floor*. Melbourne.
- Japan Institute of Plant Maintenance 1997: *Autonomous Maintenance for Operators*. Portland.
- Jürgens, Ulrich 2017: *Lean Production/Toyotismus*. In: Hartmut Hirsch-Kreinsen/Heiner Minssen (Hg.) 2017: *Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie*. Baden-Baden, S. 204-207.

- Jürgens, Ulrich/Krzywdzinski, Martin 2016: *New Worlds of Work. Varieties of Work in Car Factories in the BRIC Countries*. Oxford.
- Kagermann, Henning 2014: Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl, Thomas/ten Hompel, Michael/Vogel-Heuser, Birgit (Hg.) 2014: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden, S. 603-614.
- Krafcik, John 1988: Triumph of the Lean Production System. In: *Sloan Management Review*, 30 (1), S. 43.
- Kuhlmann, Martin/Splett, Barbara/Wiegrefe, Sascha 2018: Montagearbeit 4.0? Eine Fallstudie zu Arbeitswirkungen und Gestaltungsperspektiven digitaler Werkerführung. In: *WSI-Mitteilungen*, (3), S. 182-188.
- Liker, Jeffrey K./Hoseus, Michael 2008: *Toyota Culture: The Heart and Soul of the Toyota Way*. New York.
- Mättig, Benedikt/Jost, Jana/Kirks, Thomas 2018: Erweiterte Horizonte – Ein technischer Blick in die Zukunft der Arbeit. In: Wischmann, Steffen/Hartmann, Ernst Andreas (Hg.) 2018: *Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung*. Berlin, S. 63-72.
- Meier, Klaus-Jürgen 2017: Lean QRM 4.0 – Das Beste aus Lean Production, QRM und Industrie 4.0 vereint in einem gemeinsamen Managementansatz. In: Koether, Reinhard/Meier, Klaus-Jürgen (Hg.) 2017: *Lean Production für die variantenreiche Einzelfertigung*. Wiesbaden, S. 119-135.
- Meyer, Anne/Zander, Stefan/Knapper, Rico/Setzer, Thomas 2018: Decision Support Pipelines – Durchgängige Datenverarbeitungsinfrastrukturen für die Entscheidungen von morgen. In: Wischmann, Steffen/Hartmann, Ernst Andreas (Hg.) 2018: *Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung*. Berlin, S. 207-219.
- Moore, Phoebe/Robinson, Andrew 2015: The Quantified Self: What Counts in the Neoliberal Workplace. In: *New Media & Society* 18 (11), S. 2774-2788.
- Mormann, Hannah 2016: *Das Projekt SAP: Zur Organisationssoziologie betriebswirtschaftlicher Standardsoftware*. 1. Auflage, Bielefeld.
- Nachtwey, Oliver/Staab, Philipp 2016: Die Avantgarde des digitalen Kapitalismus. In: *Mittelweg* 36, 24 (6), S. 59-84.
- Nyhuis, Peter/Hübner, Marco/Quirico, Melissa/Schäfers, Philipp/Schmidt, Matthias 2017: Veränderung in der Produktionsplanung und -steuerung. In: Reinhart, Gunther (Hg.) 2017: *Handbuch Industrie 4.0*. München, S. 31-50.
- Pfeiffer, Sabine 2003: SAP R/3 & Co. Integrierte Betriebswirtschaftliche Systeme als stille Helferlein des Lego-Kapitalismus. In: *FIfF-Kommunikation, Mitteilungsblatt des Forum InformatikerInnen für Frieden und gesellschaftliche Verantwortung (FIfF) e.V.*, 20 (3), S. 9-13.
- Plattform Industrie 4.0 2018: Flexible Montage in der Fahrzeugproduktion. Internet: <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/137-wandelbare-r8-manufaktur/beitrag-wandelbare-r8-manufaktur.html> [zuletzt aufgesucht am 5.6.2018].
- Rawlinson, Kevin 2013: "Tesco accused of using electronic armbands to monitor its staff". In: *The Independent* [online], 13. Februar 2013. Internet: <http://www.inde->

- pendent.co.uk/news/business/news/tesco-accused-of-using-electronic-armsbands-to-monitor-its-staff-8493952.html [zuletzt aufgesucht am 12.7.2018].
- Reinhart, Gunther/Bengler, Klaus/Dollinger, Christiane/Intra, Carsten/Lock, Christopher/Popova-Dlogosch, Severina/Rimpau, Christoph/Schmidtler, Jonas/Tauber, Severin/Vernim, Susanne 2017: Der Mensch in der Produktion von Morgen. In: Reinhart, Gunther (Hg.) 2017: Handbuch Industrie 4.0. München, S. 51-88.
- Rüttimann, Bruno/Stöckli, Martin 2016: Lean and Industry 4.0 – Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems, S. 485-500.
- Sandberg, Ake (Hrsg.) 1995: Enriching Production: Perspectives on Volvo's Uddevalla Plant as an Alternative to Lean Production. Aldershot.
- Schlick, Jochen/Stephan, Peter/Loskyll, Matthias/Lappe, Dennis 2014: Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. In: Bauernhansl, Thomas/ten Hompel, Michael/Vogel-Heuser, Birgit (Hg.) 2014: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden, S. 57-84.
- Shimokawa, Koichi/Fujimoto, Takahiro 2009: The birth of lean: conversations with Taiichi Ohno, Eiji Toyoda, and other figures who shaped Toyota management. Cambridge.
- Shirose, Kunio 1996: TPM – Total Productive Maintenance: New Implementation Program in Fabrication and Assembly Industries. Tokio.
- Springer, Roland 1999: Rückkehr zum Taylorismus? Arbeitspolitik in der Automobilindustrie am Scheideweg. Frankfurt/Main.
- Stegmüller, Dieter/Zürn, Michael 2017: Wandlungsfähige Produktionssysteme für den Automobilbau der Zukunft. In: Reinhart, Gunther (Hg.) 2017: Handbuch Industrie 4.0. München, S. 27-44.
- Stewart, Paul/Richardson, Mike/Danford, Andy/Murphy, Ken/Richardson, Tony/Wass, Vicky 2009: We Sell Our Time No More: Workers' Struggles against Lean Production in the British Car Industry. London.
- Sugimori, Y/Kusunoki, K/Cho, F./Uchikawa, S. 1977: Toyota Production System and Kanban System, Materialisation of Just-in-time and Respect-for-human System. In: International Journal of Production Research 15, S. 553-564.
- Weyer, Johannes 2007: Autonomie und Kontrolle. Arbeit in hybriden Systemen am Beispiel der Luftfahrt. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 16 (2), S. 35-42.
- Weyer, Johannes 1997: Die Risiken der Automationsarbeit. In: Zeitschrift für Soziologie 26 (4), S. 239-257.
- Wilson, H. James 2013: Wearables in the Workplace. In: Harvard Business Review [online], September 2013. Internet: <https://hbr.org/2013/09/wearables-in-the-workplace> [zuletzt aufgesucht am 12.7.2018].
- Wireman, Terry 1991: Total Productive Maintenance – An American Approach. New York.