



SOFI

Soziologisches Forschungsinstitut Göttingen
an der Georg-August-Universität

Martin Kuhlmann, Ulrich Voskamp

**Digitalisierung und Arbeit im niedersächsischen
Maschinenbau**

SOFI Arbeitspapier / SOFI Working Paper
2019 – 15

Soziologisches Forschungsinstitut Göttingen (SOFI)
an der Georg-August-Universität

Sociological Research Institute Goettingen (SOFI)

Friedländer Weg 31 | 37085 Göttingen | Germany
www.sofi.uni-goettingen.de | sofi@sofi.uni-goettingen.de
Tel.: + 49 551 522 - 050 / Fax: + 49 551 522 - 0588

Zitationshinweis | Citation:

Martin Kuhlmann, Ulrich Voskamp:

**Digitalisierung und Arbeit im niedersächsischen
Maschinenbau**

SOFI Arbeitspapier / SOFI Working Paper 2019 - 15.
Göttingen: SOFI.

© SOFI | ISSN: 1864-6999

Inhalt

	Seite
I. Einleitung	1
II. Vorgehensweise – Methoden – Untersuchungsfeld und Sample	4
Vorgehensweise	4
Methoden	6
Untersuchungsfeld und Sample	8
III. Digitalisierung im niedersächsischen Maschinenbau	12
Digitalisierung ist kein neues Phänomen	13
Digitalisierung und Industrie 4.0 – pragmatische Sichtweisen sind vorherrschend	15
Dominante Techniklinien und Anwendungen	17
IV. Digitalisierung und Arbeit im niedersächsischen Maschinenbau	23
IV.1 Produktentwicklung und Konstruktion	24
Ausgangssituation: Der „digitale Urknall“ in den 1980er Jahren	24
Veränderungsimpulse: Die dritte Dimension	25
Arbeitskonzepte und Arbeitsfolgen	30
IV.2 Mechanische Fertigung (Teilefertigung)	36
Ausgangssituation: langjährige Kontinuität in den Arbeits- und Personalstrukturen	36
IV.2.1 Autonome Systeme in der Mechanischen Fertigung	40
IV.2.2 Umbruch durch Additive Fertigung (3D-Druck)?	42
Ausgangspunkt: Additive Fertigung als radikale Innovation	42
Additive Serienfertigung im Maschinenbau: Einsatzstrategie und Reichweite	44
Additive Fertigung als flexible Serienfertigung: Herausforderungen für betriebliche Personalpolitik	45
IV.3 Digitalisierung in der Montage	49
Ausgangssituation: Ganzheitliche Facharbeit in automationssperrigen Prozessen	49
Veränderungsimpulse: Segmentierung, Strukturierung, digitale Assistenzsysteme	50
Arbeitskonzepte und Arbeitsfolgen	51
V. Digitalisierung und Arbeit im niedersächsischen Maschinenbau – Fazit	56
V.1 Arbeitswirkungen der Digitalisierung	56
V.2 Arbeitspolitischer Gestaltungsbedarf	60
V.3 Arbeitspolitische Herausforderungen und Perspektiven	64
Literatur	71

I. Einleitung

Begriffe wie „Industrie 4.0“, „Arbeit 4.0“ und „Digitalisierung“ prägen seit einigen Jahren die Debatten in Wirtschaft und Gesellschaft und sorgen für vielfältige Initiativen von Verbänden und Politik – exemplarisch hierfür steht der Weißbuch-Prozess des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS 2016). Zugleich sind sie Ausgangspunkte für Forschungsaktivitäten im wissenschaftlichen Bereich, für Förderprogramme sowie für umfangreiche FuE-Aktivitäten, Investitionsanstrengungen und Innovationsprojekte im privaten und öffentlichen Sektor. Was als „Industrie 4.0“¹ auf der Hannover-Messe 2011 der Öffentlichkeit präsentiert (VDI-Nachrichten, 01.04.2011), zwei Jahre später im Schulterschluss zwischen Technikwissenschaften, Wirtschaft und Politik in Form von „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ (acatech 2013) als Programm formuliert und seither in Form von Sozialpartnerdialogen und Handlungsempfehlungen fortgeschrieben wurde (BMW 2017a, 2017b), hat unter der Überschrift „Digitalisierung“ mittlerweile nahezu alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft erfasst. Von der Industrie wurde Digitalisierung zur „Schicksalsfrage der deutschen Industrie“ (Kaeser, Siemens, 12.04.2015) erhoben, gefolgt von der Behauptung: „mit dem Sprung zur Industrie 4.0 werden die Karten neu gemischt“ (Computerwoche, 24.11.2015). Beginnend mit der These eines „Second Machine Age“ (Brynjolfsson/McAfee 2014) scheint der Strom an Veröffentlichungen, die Digitalisierung als einen grundlegenden Wandel in Wirtschaft und Gesellschaft teils anmahnen, teils diagnostizieren oder auch zum Ausgangspunkt weitreichender Thesen über eine digitale Arbeitswelt, eine digitale Gesellschaft oder gar einen digitalen Kapitalismus machen, nicht enden zu wollen (Staab 2016, Mayer-Schönberger/Ramge 2017, Zuboff 2018).

Auch wenn es sich beim Thema Digitalisierung mitunter um diskursive und mediale Inszenierungen von Unternehmen, Verbänden und Politik handelt (Pfeiffer 2015), die nach wie vor auch durch Übertreibungen gekennzeichnet sind, wird mehr und mehr deutlich, dass

¹ Von Industrie 4.0 ist deshalb die Rede, weil die Arbeitswelt den Promotoren des Begriffs zufolge (vgl. auch Spath 2013) sich gegenwärtig in einer vierten industriellen Revolution befindet. Nach der ersten industriellen Revolution durch mechanische Produktionsanlagen (um 1800), die Industriearbeit überhaupt erst hervorgebracht hat, der zweiten industriellen Revolution, die gekennzeichnet war durch Elektrifizierung, Massenproduktion, Standardisierung und Taylorismus (um 1900) und der dritten industriellen Revolution auf der Basis von (Mikro-)Elektronik und IT (ab den 1970er Jahren), in deren Gefolge programmierbare Steuerungen, Roboter und Computer (zunehmend PCs) in Produktions- und Dienstleistungsbereichen Einzug gehalten haben, begründen vielfältige Weiterentwicklungen der Mikroelektronik (zunehmende Leistungsfähigkeit und Miniaturisierung bei sinkenden Preisen und Kosten), das Internet, mobile und funkbasierte IT-Anwendungen sowie eine Vielzahl weiterer neuartiger Technologien (insb. in den Bereichen Sensorik, Künstliche Intelligenz, Virtualisierung/Simulation oder *augmented reality*) gegenwärtig einen neuen Entwicklungsschub („vierte industrielle Revolution“) mit erheblichen wirtschaftlichen und arbeitsweltbezogenen Folgen. Die Abgrenzung und Unterscheidung zwischen einer dritten und vierten industriellen Revolution ist allerdings keineswegs trennscharf. In beiden Phasen spielen Mikroelektronik, softwaregestützte Datenverarbeitung sowie computerbasierte Informations- und Kommunikationstechnologien eine zentrale Rolle. Wie wir noch sehen werden gilt dies im Maschinenbau sogar in besonderer Weise (vgl. unten).

Digitalisierung und Industrie 4.0 ihren Weg in die Betriebe und die Arbeitswelt gefunden haben und zunehmend finden. Dass Digitalisierung und Industrie 4.0 gegenwärtig in der Arbeitswelt Einzug halten, zeigt sich nicht nur in technikwissenschaftlichen Veröffentlichungen (Bauernhansl et al. 2014, Vogel-Heuser et al. 2016), sondern wird auch in der arbeitsbezogenen Forschung zunehmend registriert (Botthoff/Hartmann 2015, Spöttl/Windelband 2017, Hirsch-Kreinsen et al. 2018). So liegen aus der arbeitssoziologischen Forschung und angrenzenden Bereichen unter den Titeln „Industrie 4.0 konkret – Ungleichzeitige Entwicklungen, arbeitspolitische Einordnungen“ (WSI-Mitteilungen 3/2018) und „Arbeit und Technik revisited“ (AIS-Studien 2/2018) aus jüngster Zeit zwei umfangreiche Schwerpunktheft mit empirischen Befunden zum Zusammenhang von Digitalisierung und Arbeit vor. Digitalisierung und Industrie 4.0 sind insofern keine neuen Themen, haben mittlerweile jedoch einen hohen Stellenwert in Großunternehmen und strahlen vermehrt auf kleine und mittlere Unternehmen aus. Auch wenn Fragebogenerhebungen nach wie vor zu dem Befund kommen, dass nur eine Minderheit der Unternehmen aktiv an der Umsetzung entsprechender Konzepte arbeitet und es nach wie vor eine relevante Zahl von Unternehmen gibt, die davon ausgehen, dass das Thema Digitalisierung vorerst keine hohe Priorität hat: Die Tatsache, dass parallel zur öffentlichen Debatte nunmehr seit Jahren erhebliche Förder- und Investitionsmittel bereitgestellt werden, hat generell die Bereitschaft erhöht, sich mit dem Thema zu befassen.

In den von uns in der vorliegenden Studie untersuchten Betrieben des niedersächsischen Maschinenbaus und benachbarten Investitionsgüterbranchen war das Thema durchweg präsent – selbst in den wenigen Betrieben, in denen aktuell keine größeren expliziten Digitalisierungsprojekte vorangetrieben wurden. Unsere Fallstudien in Niedersachsen zeichnen, was die Verbreitung von Industrie 4.0- und Digitalisierungsprojekten und die Aufmerksamkeit für das Thema anbelangt, ein recht ähnliches Bild wie andere auf Fallstudien basierende Untersuchungen, die einerseits intensive betriebliche Diskussionen und andererseits einen noch eher begrenzten und stark ausdifferenzierten Stand der Umsetzung betonen (Hirsch-Kreinsen 2018, Dispan/Schwarz-Kocher 2018).

Konzipiert wurde unsere Studie in einer Phase, in der sich in der wissenschaftlichen und politischen Diskussion über das Thema Digitalisierung stark auseinanderweisende Thesen gegenüberstanden, die entweder von dramatischen Umbrüchen in den Formen des Wirtschaftens sowie bei Arbeit und Beschäftigung ausgingen oder Industrie 4.0 und Digitalisierung schlicht zu einem vorübergehenden, durch wirtschaftliche Interessen bestimmter Technikanbieter geschürten medialen Hype erklärten. In der Debatte wurden entweder Positivszenarien der Aufwertung von Arbeit beschworen angesichts erhöhter Qualifikationsanforderungen und zunehmender Gestaltungsspielräume, wachsender Freiräume

durch neue Kommunikationstechnologien sowie aufgrund der Technisierung von unterfordernden Routinetätigkeiten und körperlich belastender Arbeit. Andererseits wurden aber auch Befürchtungen der Entwertung qualifizierter Arbeit formuliert, die Ausweitung von Kontroll- und Überwachungsinstrumenten sowie eine zunehmende Leistungsintensivierung („digitaler Stress“), Entgrenzung und marktgesteuerte Flexibilisierung kritisiert und ein massiver Beschäftigungsabbau prognostiziert. Den Utopien einer „schönen neuen Arbeitswelt“ standen Dystopien einer sich immer stärker polarisierenden Arbeitswelt mit wenigen Gewinnern und einer wachsenden Zahl von Verlierern der Digitalisierung gegenüber.

Zunächst ging es uns mit unserer Studie schlicht darum, durch Fallstudien und Experten-gespräche mit Verbandsvertretern und Branchenexperten in Erfahrung zu bringen, was sich in den Betrieben beim Thema Digitalisierung tut, wie die Betriebe selbst die an sie gestellten Anforderungen einschätzen und welche Aktivitäten sie entfalten. Im Verlauf der empirischen Arbeiten wurde aber zunehmend deutlich, dass wir hierdurch einen Beitrag zu einer aus unserer Sicht dringend notwendigen Versachlichung der wissenschaftlichen und politischen Diskussion über Digitalisierung leisten können. Die Gegenüberstellung von Utopien und Dystopien einer sich immer stärker digitalisierenden Arbeitswelt läuft nämlich nicht nur Gefahr, notwendige Differenzierungslinien und die Entwicklung prägen- de Ungleichzeitigkeiten auszublenden, sie könnte auch den Blick dafür verstellen, die mit der Digitalisierung einhergehenden Chancen, Risiken und Herausforderungen konkret zu benennen sowie Ansatzpunkte und Konzepte der Gestaltung zu erarbeiten. Die Ergebnisse unserer Studie deuten darauf hin, dass sowohl Hoffnungen als auch Befürchtungen zu relativieren sind. Zudem können unsere Fallstudienbefunde Anlass sein, genauer in den Blick zu nehmen, welche Möglichkeiten die neuen technologischen Potentiale der Digitalisierung und Industrie 4.0 bieten, welche Voraussetzungen geschaffen werden müssen, um diese zu nutzen, aber auch welche Fehler vermieden werden sollten. Insofern ist unsere Untersuchung Teil der in der Arbeitssoziologie in jüngster Zeit zu beobachtenden Bemühungen um eine empirisch fundierte und zugleich differenzierte Analyse des Zusammenhangs von Digitalisierung und Arbeit.

Auch deshalb beziehen wir uns mit unserer Maschinenbaustudie auf eine konkrete Branche und fragen in unseren Analysen nach den spezifischen Rahmenbedingungen und Gestaltungsanforderungen. Bewusst fokussieren wir dabei auf einen Wirtschaftsbereich, dem unter ökonomischen Gesichtspunkten und angesichts der Tatsache, dass er als Leitbranche der Digitalisierung gelten kann, eine erhebliche Bedeutung zukommt. Angesichts der besonderen Methodik von Fallstudien können wir zwar keine quantifizierenden Verallgemeinerungen vornehmen oder statistische Repräsentativität gewährleisten, bei der Auswahl

unserer Betriebsfälle haben wir jedoch auf eine ausreichende Bandbreite der betrieblichen Konstellationen geachtet. Unter Gesichtspunkten wie Betriebsgröße, Eigentümerkonstellation, Anbieter- oder Anwenderstatus von Industrie 4.0-Technologien oder auch schlicht mit Blick darauf, ob es sich bei den Betrieben um Vorreiter in den Bereichen Digitalisierung und Industrie 4.0 handelt oder eher um durchschnittliche Betriebe, decken unsere Fallstudien sehr unterschiedliche Konstellationen ab.

Beantworten wollen wir mit unserer Studie insbesondere drei Fragen. Erstens: Welche arbeitsbezogenen Herausforderungen werden bezogen auf die Themen Digitalisierung und Industrie 4.0 von den Betrieben gesehen, und vor welchen Anforderungen stehen sie beim Thema Digitalisierung und Arbeit? Zweitens: Welche Entwicklungslinien und Perspektiven sind im Bereich Arbeit und Organisation absehbar? Drittens: Lassen sich verallgemeinerbare Gestaltungshinweise formulieren? Im Fazit unseres Berichtes werden unsere Befunde unter den Aspekten Arbeitsfolgen, Herausforderungen und Gestaltungsperspektiven gebündelt.

II. Vorgehensweise – Methoden – Untersuchungsfeld und Sample

Vorgehensweise

Mit dem Projekt Digitalisierung und Arbeit im niedersächsischen Maschinenbau soll eine Brücke geschlagen werden zwischen großflächig angelegten Fragebogenerhebungen, in denen jeweils nur wenige Daten aus der Sicht eines Informanten oder Experten erhoben werden und einzelfallbezogenen, qualitativ angelegten Intensivfallstudien, in denen betriebliche Realitäten, Erfahrungen, Sichtweisen und Bewertungen detailliert aus Sicht der verschiedenen Akteure bis auf die Arbeitsebene hinunter sowie die im Hintergrund wirkenden Kontextbedingungen detailliert erhoben und analysiert werden können. In Intensivfallstudien gelingt es zwar, sowohl betriebliche Dynamiken von Digitalisierungsprozessen als auch die Arbeitswirkungen konkreter Digitalisierungskonzepte detailliert zu erfassen und hierbei das produktive oder blockierende Ineinandergreifen von Orientierungen und Handlungsstrategien der verschiedenen Akteure nachzuzeichnen. Verallgemeinernd lassen sich auf der Basis von Intensivfallstudien auch Belege für die große Bedeutung von arbeitspolitischen Leitbildern sowie die ermöglichende oder auch hemmende Wirkung von betrieblichen Arbeitsbeziehungen liefern – und auch die exemplarische Darstellung von *Good Practice*-Konzepten ist möglich. Die in der vorliegenden Studie angestrebte Analyse typischer Merkmale, Tendenzen und Herausforderungen beim Thema Digitalisierung und Arbeit bezogen auf eine spezifische Branche ist auf der Basis einzelner Intensivstudien allein jedoch nicht leistbar.

Ein komplementäres Problem stellt sich, wenn bei der Beantwortung dieser Fragen allein auf **Unternehmensbefragungen** bzw. Expertenbefragungen zurückgegriffen wird, die zu den Themen Industrie 4.0 und Digitalisierung seit einigen Jahren von Unternehmensberatungen und Verbänden sowie von wissenschaftlichen Einrichtungen oder im Auftrag von Ministerien durchgeführt werden (vgl. um nur einige zu nennen: Spath 2013, Lichtblau et al./VDMA 2015, IW Consult 2016, BMWi 2015ff, WEF 2016, Arntz et al. 2016, Lerch et al. 2017, Bertelsmann 2018, Lins et al. 2018). Auf Basis dieser Fragebogenerhebungen, mit denen Daten und Einschätzungen für jeweils eine größere Zahl von Fällen – in der Regel ein paar Hundert Unternehmen oder Betriebe – erhoben werden, ist ein Überblick über die Häufigkeit bestimmter Sachverhalte und Einschätzungen möglich. Vertiefende Auswertungen erlauben zudem Aussagen über Unterschiede zwischen z. B. Branchen oder Betriebsgrößen sowie Einschätzungen zur relativen Bedeutung und zur Gewichtung von Sachverhalten. Wiederkehrende Ergebnisse dieser Studien sind, dass erst ein kleinerer Teil der Unternehmen aktiv an der Realisierung von Industrie 4.0-Konzepten oder neuen Formen der Digitalisierung arbeitet, eine sogar noch etwas größere Gruppe sich bislang gar nicht aktiv mit diesen Themen befasst, während für eine besonders große Mittelgruppe Fragen der Digitalisierung bereits auf der betrieblichen Agenda stehen, diese Betriebe sich aber noch in einer Phase der Sondierung und der Konzeptentwicklung befinden. Der Maschinenbau gehört diesen Befragungen zufolge neben der Automobilindustrie, aber deutlich hinter dem IKT-Sektor, zu den Branchen, die sich besonders intensiv mit Digitalisierung und Industrie 4.0 befassen. Zudem ist das Gefälle zwischen großen und kleinen Unternehmen groß: Während Digitalisierung für Großunternehmen mittlerweile Thema von Stabsstellen geworden ist und damit Teil eines professionalisierten, funktional ausdifferenzierten und über strategische Ressourcen verfügenden Managements, was sich nicht zuletzt in der Entstehung von neuen Topmanagementfunktionen wie CDO (Chief Digital Officer) niederschlägt, fehlen vielen kleineren Unternehmen nicht nur Ressourcen für die Marktsichtung, Strategiebildung und Konzeptentwicklung, die dort ohnehin eher Teil des Tagesgeschäfts ist und weniger ausdifferenziert erfolgt. Für viele kleinere Unternehmen ist zudem der Nutzen von Digitalisierung noch nicht klar. Veränderungen werden in diesen Betrieben typischerweise sehr viel pragmatischer, inkrementeller und nebenher im Tagesgeschäft vorangetrieben.

Auffällig ist außerdem, dass in den verschiedenen Befragungen eine recht ähnliche Stufung zunehmender Intensität bei der Beschäftigung mit dem Thema Digitalisierung zu beobachten ist: Während der Anteil der informierten und aktiven in Unternehmen bis 100 und bis 200 Beschäftigte sehr gering ist, steigt er in Unternehmen mit mehreren Hundert Beschäftigten (insb. > 500) bereits deutlich an. Unter den Großunternehmen mit mehreren Tausend Beschäftigten ist der Informationsstand hingegen durchweg hoch. Auch in dieser

Gruppe der besonders informierten und konzeptionell aktiven Unternehmen, ist jedoch der Anteil derer, die echte Industrie 4.0-Lösungen oder fortgeschrittene Formen der Digitalisierung bereits realisiert haben, noch überaus gering.

Aussagen über Gründe und Begründungen für die zu beobachtenden Häufigkeitsverteilungen sind auf Basis der vorliegenden Fragebogenerhebungen jedoch kaum möglich. So unterscheiden sich die in einigen Erhebungen erfragten Aussagen zum Nutzen von Digitalisierung oder zu Hemmnissen vergleichsweise wenig entlang von Betriebsgrößen und Branchen. Mit der Digitalisierung werden positive wirtschaftliche Erwartungen verknüpft, die sich v. a. auf Aspekte der Produktivität, der Flexibilität und der Prozesssicherheit beziehen, grundlegend neue Geschäftsmodelle, Produkte und Dienstleistungen spielen demgegenüber bislang eine geringere Rolle. Und bei den Hemmnissen, tauchen Infrastruktur- und Finanzierungsprobleme zwar auf, an erster Stelle stehen jedoch Fragen der IT- und Rechtssicherheit sowie mitarbeiterbezogene Themen wie Fachkräfteversorgung, fehlendes Fachwissen oder Beharrungskräfte (Veränderungsbereitschaft, Skepsis). Inwieweit sich eine Branche wie der Maschinenbau hierbei in einer besonderen Situation befindet, worin die spezifischen Herausforderungen liegen und wie in den Betrieben mit ihnen umgegangen wird, lässt sich auf Basis von standardisierten Unternehmensbefragungen, in denen die Sichtweisen unterschiedlicher Akteursgruppen in der Regel nicht sichtbar werden, nicht herausarbeiten. Hierfür sind **Betriebsfallstudien** erforderlich.

Auch die Frage, wie sich der Zusammenhang von Digitalisierung und Arbeit darstellt, welche Entwicklungstendenzen absehbar sind und welche Perspektiven sich möglicherweise abzeichnen sowie welche Einflussfaktoren und Kontextbedingungen hierfür relevant sind, ist nur dann analysierbar, wenn die jeweils relevanten Akteure mit ihrer eigenen Sprache zu Wort kommen und die Gelegenheit haben, ihre jeweiligen Sichtweisen differenziert darzustellen. Nur auf der Basis qualitativer Interviews gelingt es, das Geflecht aus grundlegenden Haltungen und Orientierungen sowie bisher gemachten Erfahrungen samt deren Verarbeitung analytisch zu verbinden mit den von den Akteuren für die Gegenwart formulierten Anforderungen an wirtschaftliches Handeln einerseits und den auf die Zukunft ausgerichteten Annahmen über Wirkungszusammenhänge, Herausforderungen und Möglichkeiten andererseits. Grundlage für die Formulierung von verallgemeinerbaren Aussagen sind bei der von uns gewählten Vorgehensweise, die zwischen Intensivfallstudien und standardisierten Befragungen angesiedelt ist, in erster Linie nicht die numerische Häufigkeit von Aussagen. Analytisch bedeutsam sind vielmehr bei unterschiedlichen Akteuren sowie in unterschiedlichen Zusammenhängen wiederkehrende Aussagen und Begründungszusammenhänge, die sich zudem auf konkrete, spezifische und zugleich charakteristische Merkmale und Dynamiken zurückbeziehen lassen. In unseren Fallstudien haben wir in den von

uns geführten Interviews sowie bei den Betriebsbegehungen auf in diesem Sinne typische Entwicklungen, Wirkungszusammenhänge und Herausforderungen geachtet und sie zum Gegenstand unserer Analysen gemacht.

Methoden

Im Zentrum der empirischen Arbeiten des Projektes standen 15 Betriebsfallstudien mit jeweils mehreren Expertengesprächen, die einerseits einen akteursorientierten Einblick in die Betriebe gewährleistete, deren Anzahl es andererseits aber auch ermöglichte, eine gewisse Bandbreite und damit Vielfalt von Betriebskonstellationen abzudecken. Gerade weil wir uns mit dem Maschinenbau in einem durch einen bestimmten Betriebstyp gekennzeichneten Feld bewegen, erschien es sinnvoll, durch eine erhöhte Fallzahl an Betrieben genügend potentielle Varianz zu erzeugen. Verstärkt wurde dies durch die frühzeitig getroffene Entscheidung, sich nicht auf den klassischen Maschinenbau im engeren Sinne zu beschränken, sondern zusätzlich Betriebe aus ähnlich strukturierten angrenzenden Teilbranchen in das Sample einzubeziehen. Da der klassische Maschinenbau in der Fläche in Niedersachsen eine eher geringe Rolle spielt, konnten wir hierdurch nicht nur die Aussagekraft bezogen auf die Branchenstruktur in Niedersachsen verbessern, sondern auch die regionale Verteilung unserer Betriebsfälle erweitern.

Gesprächspartner der von uns in den Betrieben durchgeführten **Expertengespräche** waren sowohl das Management als auch – soweit vorhanden – die betriebliche Interessenvertretung. Unsere wichtigsten Interviewpartner im Management waren die jeweiligen Bereichsverantwortlichen aus den Funktionsbereichen Produktion und Entwicklung, die Personalleitungen sowie ggf. vorhandene Digitalisierungsbeauftragte oder speziell geschaffene Projektleitungsfunktionen. In einer Reihe von Betrieben wurden zudem Gespräche auf Geschäftsleitungsebene geführt. In einzelnen Fällen waren zudem Gespräche auf der Meisterebene möglich – teilweise ergaben sich diese auch im Zuge von Begehungen. Letztlich ist es uns hierdurch gelungen, nicht nur verschiedene fachlich-funktionale Sichtweisen auf das Thema Digitalisierung und Arbeit kennenzulernen, sondern in die Analyse auch unterschiedliche Hierarchieebenen einzubeziehen. Ergänzt wurden die betrieblichen Expertengespräche durch eine Handvoll Interviews mit Verbandsvertretern und Branchenexperten (NiedersachsenMetall, IG Metall), in denen es nicht nur um die Verortung unserer Eindrücke aus den Betriebsfallstudien ging, sondern auch um die Sichtweisen der jeweiligen institutionellen Akteure.

Da es sich bei unseren Gesprächspartnern – von wenigen Ausnahmen abgesehen – um Männer handelte, verweist das von uns in der Darstellung verwendete generische Maskulinum auf die nach wie vor männerdominierten Personalstrukturen unserer Untersuchungs-

branche. In gehobenen Managementpositionen und in der Betriebsratsspitze sind Frauen nach wie vor fast gar nicht vertreten. Auch in den facharbeiterdominierten Produktionsbereichen sowie im Kundenservice gelten sie immer noch eher als Exotinnen; etwas größere Anteile finden sich allenfalls in den kaufmännisch-administrativen Bereichen. Auch hier sind Frauen aber dennoch klar in der Minderheit: Der niedersächsische Maschinenbau liegt im Jahre 2016 mit einem Frauenanteil von 14,2 Prozent der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten sogar noch unter den gut 15 Prozent in den Maschinenbauländern Nordrhein-Westfalen und Bayern. Und selbst die Spitzenreiter Baden-Württemberg und Berlin kommen lediglich auf 18,4 bzw. 18,6 Prozent (CIMA 2017).

Die Expertengespräche wurden in der Form themenzentrierter Interviews geführt, in denen Fragen zum Stand und zum Stellenwert der Digitalisierung, zu den bisherigen Erfahrungen und zu den Planungen für die Zukunft gestellt wurden. Durchweg enthielten die Interviews außerdem narrative Passagen, in denen die Gesprächspartner aufgefordert wurden, ihre Sichtweisen und Erfahrungen sowie die bisherigen Entwicklungen im Betrieb erzählend zu entfalten. Und schließlich hatten die Gespräche in einigen Passagen Diskussionscharakter – etwa dann, wenn es um die Vor- und Nachteile der Digitalisierung oder bestimmter Entscheidungsalternativen ging, wenn mögliche Arbeitsfolgen abgewogen oder wenn zukünftige Entwicklungen zum Thema wurden. Zur Sprache kamen so nicht nur „Verlautbarungen“, sondern auch konkrete Pläne und interpretierte Erfahrungen sowie Begründungen für Handlungsweisen und die in sie eingehenden Annahmen. Bei der Bewertung der bislang gemachten Erfahrungen und der Einschätzung von Erfolgen und Schwierigkeiten von Projekten ging es uns zudem um das Zusammenspiel der verschiedenen Akteursgruppen: der Managementebenen und Funktionsbereiche, die Rolle der betrieblichen Interessenvertretung sowie die Sichtweisen von verschiedenen Beschäftigtengruppen. In Summe wurden, verteilt auf die 15 Betriebe, 64 betriebliche Expertengespräche sowie fünf Gespräche mit Branchenexperten auf Verbandsebene geführt.

Ergänzt wurden die Interviews durch ausführliche, oft ein- bis zweistündige Begehungen der Produktionsbereiche. Mit dem Instrument der **Betriebsrundgänge** lassen sich, einschlägiges Vorwissen und Vergleichsmöglichkeiten der Forschenden vorausgesetzt, nicht nur recht schnell und anschaulich Einblicke in die Arbeitsstrukturen sowie die technologische Ausstattung und damit Hinweise auf den Stand der Digitalisierung gewinnen. Auch produktionsstrukturelle Merkmale wie Werkstatt- oder Fließfertigung werden deutlich und angesichts der auch im Maschinenbau seit einigen Jahren forcierten Bemühungen der Einführung von *Lean*-Prinzipien sowie von Formen eines visuellen Managements bieten Begehungen auch Anhaltspunkte für eine arbeitspolitische Verortung der Betriebe. Im Rahmen unserer Studie waren die Begehungen vor allem insofern wichtig, weil sie Gelegen-

heiten boten, arbeitspolitische Optionen sowie Arbeitswirkungen an konkreten Beispielen zu diskutieren. Im Anschluss an vertiefende Nachfragen werden nicht nur Sichtweisen und der Umgang mit bestimmten Problemlagen deutlich; da vor Ort häufig weitere Personen wie etwa die jeweils zuständigen Meister hinzugezogen werden, kommen außerdem zusätzliche Perspektiven ins Spiel.

Untersuchungsfeld und Sample

Das von uns letztlich realisierte **Sample** besteht aus 15 Betrieben (vgl. Tabelle 1: Übersicht der Untersuchungsbetriebe). Es umfasst nicht nur Fälle aus dem klassischen Maschinenbau im engeren Sinne, sondern auch Betriebe aus benachbarten Teilbranchen, die strukturell aber durch recht ähnliche, maschinenbautypische Voraussetzungen, Rahmenbedingungen und wirtschaftliche Anforderungen geprägt sind. Vier Betriebsfälle (C, M, N, O), von denen sich drei als Digitalisierungs- bzw. Industrie-4.0-Vorreiter charakterisieren lassen, liegen nicht in Niedersachsen, sondern wurden als ergänzende Vergleichsfälle herangezogen. Hinweise darauf, dass die niedersächsischen Maschinenbaubetriebe sich bezogen auf das Thema Digitalisierung und Arbeit von den übrigen Betrieben unterscheiden, haben wir nicht gefunden. Grundsätzlich gilt, dass wir die allgemein als Charakteristika für den deutschen Maschinenbau hervorzuhebenden Merkmale auch in den niedersächsischen Betrieben angetroffen haben. Im vorliegenden Bericht sprechen wir daher häufig generell vom Maschinenbau. Die niedersächsischen Betriebe verteilen sich fast über das gesamte Bundesland, lediglich der Nordosten, in dem Maschinenbaubetriebe generell eine sehr geringe Rolle spielen (CIMA 2017), ist mit keinem Betriebsfall vertreten. Tabelle 1 ist zu entnehmen, dass in unserem Sample ein breites Spektrum von Produktarten vertreten ist.

Tabelle 1: Übersicht der Untersuchungsbetriebe

Betrieb	Produkte	Beschäftigte
Fall A	Spezialmaschinen	> 1.000
Fall B	Spezialmaschinen/Anlagenbau	200-500
Fall C	Spezialmaschinen/Anlagenbau	500-1.000
Fall D	Baumaschinen	500-1.000
Fall E	Fördertechnik	< 100
Fall F	Messtechnik	500-1.000
Fall G	Automatisierungstechnik	> 1.000
Fall H	Zerspanungsspezialist	> 1.000
Fall I	Elektronik	> 1.000
Fall J	Spezialmaschinen	100-200
Fall K	Baumaschinen	500-1.000
Fall L	Batteriesysteme	> 1.000
Fall M	Automatisierungstechnik	> 1.000
Fall N	Anlagenbau	100-200
Fall O	Antriebssysteme	> 1.000

Neben einigen ausgesprochenen Ausrüstern im Bereich Digitalisierung bzw. Industrie 4.0 wie den Fällen C, G, J, M und teilweise F handelt es sich beim Gros unserer Betriebe eher um Anwender der Digitalisierung. Hinsichtlich der Betriebsgrößen deckt unser Sample, von sehr kleinen Maschinenbaubetrieben (unter 50 Beschäftigten) abgesehen, zwar ebenfalls eine erhebliche Bandbreite ab, kleine Betriebe (unter 500 Beschäftigte) sind mit lediglich vier Fällen jedoch nur schwach vertreten. Mit sieben Betrieben gehören fast die Hälfte unserer Untersuchungsfälle in die Kategorie der Großbetriebe (über 1.000 Beschäftigte); einige dieser Fälle sind zudem Teil größerer Unternehmensstrukturen². Dies gilt es bei der Generalisierung unserer Untersuchungsbefunde im Auge zu behalten, ist jedoch Ausdruck der Tatsache, dass auch im Maschinenbau größere Betriebe beim Thema Digitalisierung häufig aktiver und weiter vorangeschritten sind. Unser Sample ist auch insofern typisch für unser Untersuchungsfeld. Mit dem Fall J haben wir andererseits aber auch ein eher kleines Unternehmen im Sample, das als ausgesprochener Vorreiter der Digitalisierung gelten kann.

² Hinsichtlich der Eigentümerstruktur handelt es sich bei den Untersuchungsfällen A, C, E, I, M und N um typische Familienunternehmen, obwohl nicht alle durch die jeweiligen Inhaber geführt werden.

Aus der Branchenexpertise des CIMA Institut für Regionalwirtschaft (CIMA 2017) geht hervor, dass der niedersächsische Maschinenbau mit fast 65.000 sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten (2016) zwar deutlich hinter Baden-Württemberg (275.000), Bayern und Nordrhein-Westfalen (jeweils deutlich über 200.000) rangiert, in der Rangfolge der Bundesländer aber dennoch auf dem vierten Platz liegt. Auch wenn der Spezialisierungsgrad der niedersächsischen Wirtschaft und der Anteil der Beschäftigten vor allem im Fahrzeugbau hoch, im Maschinenbau hingegen leicht unterproportional ausfällt, ist der Maschinenbau in Niedersachsen dennoch ein bedeutender Wirtschaftszweig, der in den letzten Jahren im Vergleich zu den anderen großen Maschinenbauregionen zudem durch ein überproportionales Wachstum gekennzeichnet ist. In Summe zeichnen sich unsere Untersuchungsbetriebe durch die für den niedersächsischen und deutschen Maschinenbau insgesamt³ charakteristischen Merkmale aus. Es handelt sich vielfach um mittlere Betriebs- und Unternehmensgrößen – die wenigen sehr Großen der Branche sind nicht in Niedersachsen angesiedelt. Unterstrichen wird der ausgesprochen **mittelständische Charakter** des Maschinenbaus durch den hohen Anteil von Familienunternehmen und häufig auch noch familiengeführter Betriebe. In unserem Sample befinden sich neben den klassischen Mittelständlern auch einige konzernabhängige Betriebe, neben den Baumaschinenherstellern D und K gilt dies auch für die Fälle B, H und O, die sich in ihren Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie hinsichtlich der betrieblichen Bedingungen jedoch nicht abhoben von den übrigen zumeist mittelständischen Familienunternehmen.

Das **Produktspektrum** ist fast durchweg – Ausnahme ist hier der Fall E – durch technologieintensive Qualitätsprodukte und sehr hohe Exportquoten von über 75 Prozent (VDMA 2018) gekennzeichnet und die Unternehmen sind dadurch geprägt, dass bestehende Produkte kontinuierlich weiterentwickelt und neue Produkte eingeführt werden müssen. Hierbei handelt es im Maschinenbau jedoch selten um Sprunginnovationen, d. h. gänzlich neue Verfahren oder Produktarten, sondern eher um inkrementelle Innovationen. Für inkrementelle Innovationen ist nicht nur produktions- und entwicklungsseitig eine breite Qualifikationsbasis wichtig, in den Maschinenbaubetrieben und den von uns einbezogenen angrenzenden Branchen findet sich zudem eine starke Kunden- und Anwen-

³ Wie es zu interpretieren ist, dass der niedersächsische Maschinenbau durch geringfügig niedrigere Spezialisten- und Expertenanteile sowie eine leicht geringere Helferquote geprägt ist, dafür jedoch einen höheren Fachkraftanteil ausweist (CIMA 2017), lässt sich nicht mit Bestimmtheit sagen. Unseren Fallstudienbefunden und Branchenkenntnissen zufolge dürften hierbei mehrere Faktoren eine Rolle spielen. Große Maschinenbauunternehmen mit ausdifferenzierten Managementstrukturen und teilweise komplexeren, entwicklungsintensiveren Produktspektren sind in Niedersachsen etwas seltener anzutreffen als beispielsweise in Baden-Württemberg oder Nordrhein-Westfalen. Hierfür spricht auch, dass der Akademikeranteil der niedersächsischen Maschinenbauer deutlich niedriger liegt als in diesen beiden Bundesländern (10,8 Prozent gegenüber 14,3 Prozent und 15,8 Prozent (CIMA 2017). Relevant dürfte aber auch das regional unterschiedliche Entgelt-niveau sein – zumal einige niedersächsische Maschinenbauschwerpunkte eher in ländlichen Räumen (Nordwesten, Raum Hameln-Pyrmont) angesiedelt sind.

dungsorientierung, die auch darin zum Ausdruck kommt, dass ein kontinuierlicher Rückfluss von Erfahrungen aus den Servicebereichen in die Weiter- und Neuentwicklung von Produkten und produktbezogenen Dienstleistungen stattfindet. Eine zunehmende Digitalisierung der Produkte sowie steigende Softwareanteile spielen in der Branche und unserem Sample generell eine große Rolle, mit Ausnahme der Automatisierungstechnikspezialisten G und M sind die Betriebe jedoch nach wie vor durch hohe und zudem für das spezifische Know-how relevante Hardwareanteile geprägt. Produktbezogene Dienstleistungen gewinnen im Maschinenbau seit Jahren an Bedeutung und stehen im Kontext der gegenwärtigen Digitalisierungsdiskussion verschiedentlich im Fokus von Unternehmensstrategien mit dem Ziel einer eigenständigen Profilbildung. Die Ausweitung produktbezogener Dienstleistungen findet sich als Trend auch in unserem Sample; vom Fall J abgesehen, führt dies jedoch in keinem der von uns untersuchten Betriebe zu einer substantiellen Ausweitung der Geschäftsmodelle.

Die **Produktions- und Arbeitsstrukturen** der Betriebe sind auf flexible Einzel- und Kleinserienfertigung und Qualitätsprodukte ausgerichtet. Auch wenn die Betriebe sich fast durchweg an Fließprinzipien orientieren, ist produktionsstrukturell in einigen der von uns untersuchten Betriebe der Werkstattcharakter der Fertigung aber nach wie vor spür- und sichtbar. Die Umstellung der Montagen auf getaktete Linien, deren Taktzeiten jedoch in der Regel weit oberhalb der in der Automobilindustrie üblichen wenigen Minuten liegen, ist noch nicht überall und nicht in allen Produktgruppen erfolgt. An einer ablauf- und arbeitsbezogenen Realisierung von Lean-Prinzipien unter den Bedingungen einer flexiblen Kleinserienfertigung arbeiten seit einiger Zeit einige Betriebe unseres Samples – exemplarisch sind hier die Fälle A und O.

Personell ist der Maschinenbau generell durch einen hohen Anteil fachlich qualifizierter Beschäftigter geprägt. Niedersachsenweit lag der Anteil angelernter Helfertätigkeiten in 2016 bei lediglich 7,5 Prozent (CIMA 2017) und auch in den von uns in die Untersuchung einbezogenen Betrieben, in denen eigene Ausbildungsbemühungen zudem eine erhebliche Rolle spielen, war der Anteil der Angelernten sehr niedrig und gilt eine berufsfachliche Ausbildung im Bereich Metall/Elektro fast durchweg als Grundvoraussetzung. Berufliche Aus- und Weiterbildung und der langjährige Erwerb von fachlichem Erfahrungswissen sind im Maschinenbau und angrenzenden Branchen generell bedeutsam und werden von den betrieblichen Experten als wichtig eingeschätzt. Arbeitsstrukturell ist typisch, dass die in Branchenstudien immer wieder bestätigte Wertschätzung von Beruflichkeit und Erfahrungswissen (Kern/Schumann 1984, Schumann et al. 1994, Widmaier 2000, Kuhlmann et al. 2004, Pfeiffer et al. 2016) einhergeht mit entfalteter funktionaler Arbeitsteilung und technologischer Spezialisierung. Aufgrund der für mittlere Betriebsgrößen und mittelständi-

sche Betriebskulturen großen räumlichen und sozialen Nähe in den Betrieben sowie vergleichsweise guten Kommunikationsbeziehungen zwischen Planung und Ausführung, die zudem durch eine gemeinsame fachliche Basis im Metall-/Elektrobereich gestützt werden, ist die hierarchische Arbeitsteilung im deutschen Maschinenbau deutlich geringer als in anderen Branchen.

III. Digitalisierung im niedersächsischen Maschinenbau

Der Maschinenbau ist bezogen auf die Digitalisierungsdiskussion ein spezifisches Untersuchungsfeld und unser Betriebsfallstudiensample bildet wichtige betriebliche, produkt- und produktionsbezogene sowie arbeits- und beschäftigungsstrukturelle Merkmale dieser Branche recht gut ab. In der Diskussion über Industrie 4.0 (vgl. exemplarisch Spath et al. 2014, Plattform Industrie 4.0 2015) sowie in der breiter ansetzenden Diskussion über Digitalisierung spielt der Maschinenbau eine zentrale Rolle – auch dies lässt sich an den in der Plattform Industrie 4.0 vertretenen Unternehmen ersehen, zu denen gleich mehrere Maschinenbauunternehmen gehören. Die industriepolitische Bedeutung zeigt sich daran, dass den Großunternehmen der Branche und spezialisierten Vorreitern auf der Anbieterseite eine wichtige Rolle als Ideenlieferanten, (Pro-)Motoren und Investoren der Digitalisierung zukommt. Zudem wird in der Debatte mahnend darauf hingewiesen, dass die mittelständische Struktur der Branche sich als Innovationshemmnis erweisen könnte. In Schlagzeilen wie „Die Angst des Mittelstands vor der Digitalisierung“ (Handelsblatt, 12.5.2015) oder „Mittelstand zögert bei Industrie 4.0“ (VDI-Nachrichten, 5.2.2016) schlägt sich nicht nur die Unsicherheit in Teilen der Branche nieder, sie sind auch Ausdruck einer zunächst noch abwartenden Haltung von kleinen und mittleren Maschinenbaubetrieben, die über geringere Investitionsmittel verfügen und bei ihrem Innovationsverhalten weniger risikofreudig agieren.

In den von uns geführten Expertengesprächen kam die enorme Spannweite der Bezugnahmen auf die Themen Industrie 4.0 und Digitalisierung deutlich zum Ausdruck – auch in dieser Hinsicht spiegelt unser Sample die Situation der Branche wider. Während in den Vorreiterunternehmen C, G, J und M bereits systematische Entwicklungs- und Marketingaktivitäten betrieben wurden, die Unternehmensleitungen aktiv involviert waren und erhebliche Ressourcen bereitgestellt hatten, waren in einer zweiten Gruppe von Unternehmen (in den Fällen D, I, L, O) Entscheidungen in Richtung Industrie 4.0 und Digitalisierung erst vor nicht allzu langer Zeit gefallen und die verschiedenen Akteure begannen damit, Aktivitäten über die verschiedenen Unternehmensfunktionen hinweg zu entfalten. Eine dritte Gruppe bildeten Fälle (Betriebe A, B, H, N), die bezogen auf ihre Produkte und Ver-

fahren zwar ebenfalls als innovationsorientiert und als ausgesprochene Technologietreiber gelten können, die anders als die Vorreiter jedoch vorsichtiger und abwartender bei einigen technologischen Kernelementen wie der Vernetzung oder der Digitalisierung der Produkte agierten. Auch in diesen Betrieben stellten sich einige unserer Gesprächspartner als Befürworter schnellerer und größerer Schritte in Richtung Industrie 4.0 und Digitalisierung heraus, sie verfügten jedoch über weniger Widerhall auf der Geschäftsführungsebene und sahen sich mit größerer Skepsis ihrer Kollegen konfrontiert, für die es sich bei den neuen Themen teilweise um einen Hype handelte, der seine technische Machbarkeit und insbesondere seine wirtschaftliche Sinnhaftigkeit erst noch beweisen muss. In einer vierten Gruppe von Betrieben (E, F, K) rangierten die Themen Industrie 4.0 und Digitalisierung nicht sehr weit oben auf der Tagesordnung und spielten in den Unternehmen als explizites Thema eine eher untergeordnete Rolle. Was allerdings nicht damit verwechselt werden darf, dass Prozesse der schrittweisen Digitalisierung von Abläufen und Produkten oder eine voranschreitende Vernetzung und Integration von Datenbeständen und Prozessen in diesen Betrieben irrelevant sind: Im Fall des Messtechnikspezialisten F formulierte die technische Leitung die Einschätzung, dass in den Bereichen Fertigung und Logistik bereits ein hoher Technisierungsgrad erreicht sei und man dort stattdessen auf die Flexibilitätspotentiale und das Know-how der Beschäftigten setze und dieses nicht einschränken dürfe. Eine weitergehende Technisierung durch Digitalisierung sei in Zukunft eher im Bereich der administrativen und kaufmännischen Prozesse zu erwarten. Ein vergleichsweise geringes Erregungsniveau beim Thema 4.0 war auch für den konzernabhängigen Baumaschinenhersteller K typisch, der auf absehbare Zukunft für den eigenen Betrieb ebenfalls keine größeren Umbrüche erwartete, zugleich jedoch die Digitalisierung produktseitig vorantrieb und um eine Optimierung der Fließfertigung bemüht war. In seinen Einzelheiten und seiner Potentialität wenig bekannt waren das Thema Industrie 4.0 und neuere Digitalisierungskonzepte lediglich im Unternehmen E. Auch in diesem Fall lag dies allerdings weniger an der Größe des Unternehmens oder an fehlender Aufgeschlossenheit gegenüber neuen technischen Lösungen, sondern eher am technologisch wenig vorangeschrittenen Produkt und dem wirtschaftlich kaum technisierbaren Produktionsprozess.

Digitalisierung ist kein neues Phänomen – Computer Integrated Manufacturing (CIM)

Generell lässt sich festhalten, dass Technisierung sowie Automatisierung, Digitalisierung, Vernetzung und Integration von Daten und Prozessen aus Sicht der von uns untersuchten Betriebe, im Kern keineswegs neue Themen sind – bei einigen Gesprächspartnern führte dies in den Interviews zunächst dazu, die Aufregtheit und den Neugiergestus der aktuellen Diskussion über Industrie 4.0 und Digitalisierung zu kritisieren oder ironisch zu kommentieren. Gelegentlich trafen wir dabei auch auf Gesprächspartner, die betonten,

dass man im Betrieb bereits weit vorangeschritten sei, dies jedoch vor allem daran liege, dass man über einen längeren Zeitraum von 10-15 Jahren an den Themen aktiv und in kleinen Schritten gearbeitet habe.

Im Rückblick auf die CIM-Diskussionen seit Ende der 1980er Jahre, die seither nahezu flächendeckend erfolgte Einführung von CAD-Systemen in den Bereichen Konstruktion und Entwicklung (vgl. unten, Abschnitt IV.1) oder die schon länger voranschreitende und ebenfalls längst etablierte Computerisierung von Maschinen- und Anlagensteuerungen wird der in den meisten Betrieben bei sehr vielen Experten zu beobachtende Umgang mit den Themen Industrie 4.0 und Digitalisierung, der im Ton eher nüchtern und wenig dramatisierend und in der Sache zumeist pragmatisch-abwägend war, gut nachvollziehbar. Die Zielvorstellung einer computer- und datenbasiert integrierten Wertschöpfung, in der die kaufmännisch-administrativen, entwicklungsseitig-konstruktiven, herstellenden und logistischen Prozesse direkt miteinander verknüpft sind und – so noch die damalige Vorstellung – zentral gesteuert werden, war einer der Grundgedanken der computer-integrierten oder rechnergestützten Produktion (Computer Integrated Manufacturing, CIM; exemplarisch und zugleich einflussreich: Scheer 1987, mehrere, überarbeitete und erweiterte Auflagen). Die Suche nach Effizienzgewinnen durch rationellere und fehlervermeidende technisierte Steuerung und Automatisierung gehört im Maschinenbau insofern seit langem zum gängigen Handlungsrepertoire der betrieblichen Praktiker. Und ähnlich wie in der heutigen Digitalisierungsdiskussion wurden auch in den arbeitswissenschaftlichen und arbeitspolitischen CIM-Diskussionen der 1980er und 1990er Jahre Prognosen formuliert, die einen Beschäftigungsabbau voraussagten und von einer Entwertung und einem Rückgang von Facharbeit ausgingen. In den gewerkschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Diskussionen spielten zudem Befürchtungen einer massiven Zunahme von Kontrolle und Überwachung, der drastischen Einschränkung von Handlungsspielräumen sowie des Verlustes von Primärmacht und Einflussmöglichkeiten als Folge der Annahme eine Rolle, dass qualifizierte Facharbeit für eine wirtschaftliche Beherrschung der Produktion immer weniger notwendig sei.

Bilanziert man rückblickend die rund um das Thema CIM einsetzende empirische Forschung, dann wurde jedoch mehr und mehr deutlich, dass im Kontext von CIM zwar unterschiedliche arbeitspolitische Strategien verfolgt wurden, die teilweise und für einzelne Beschäftigtengruppen auch mit eingeschränkten Handlungsspielräumen einhergingen (Hirsch-Kreinsen et al. 1990, Wolf et al. 1992, Moldaschl/Schultz-Wild 1994), der fachliche Kern der Tätigkeiten, die spezifischen Arbeitsbeziehungen und die sogenannte betriebliche Sozialverfassung des Maschinenbaus (Hildebrandt/Seltz 1989, Hildebrandt 1991) lösten sich hierdurch jedoch nicht auf. Die Produktionsarbeit im Maschinenbau blieb in wei-

ten Teilen Facharbeit, Aus- und Weiterbildung sowie der Erwerb von beruflich geprägtem Erfahrungswissen waren weiter wichtig und die Beschäftigten verfügten nach wie vor über erhebliche, teilweise sogar zunehmende Handlungs- und Entscheidungsspielräume, die in den allermeisten Fällen von den Betrieben durch technische Überwachung oder zentralisierte Kontroll- und Steuerungszugriffe nicht eingeschränkt, sondern aktiv zur Bewältigung von Wirtschaftlichkeits-, Flexibilitäts- und Innovationsanforderungen genutzt wurden. Hieran hat sich auch in den Entwicklungen seit Ende der 1990er Jahre wenig verändert, die ausgehend von der Automobilindustrie durch die schrittweise Verstärkung von Fließfertigungsstrukturen und die Einführung von *Lean*-Prinzipien geprägt waren, im Maschinenbau aber nie vollständig griffen. An den oben im Abschnitt II umrissenen Merkmalen der Arbeitsstrukturen und Arbeitseinsatzformen des deutschen Maschinenbaus hat sich bis in die Gegenwart hinein insofern auch durch CIM wenig verändert.

Digitalisierung und Industrie 4.0 – pragmatische Sichtweisen sind vorherrschend

Bezogen auf das Thema Digitalisierung im Maschinenbau vertrat das Gros unserer Gesprächspartner die Auffassung, dass Digitalisierung im Maschinenbau kein grundlegend neues Phänomen sei, evolutionär in Schritten voranschreite und dass die Diskussion um Industrie 4.0 durch vielfältige Übertreibungen und Dramatisierungen geprägt sei. Eine vollständige Vernetzung und Integration aller Datenströme, eine weitreichende in Echtzeit verfügbare Transparenz über Zustände und Prozesse oder gar eine durchgängige Automation von Prozessen seien auf absehbare Zeit wenig realistisch. Dies scheitere nicht nur an den immer noch erheblichen sowohl rein technischen als auch informatorischen Schnittstellenproblemen: häufig bereits auf der Ebene von verschiedenen Maschinen und Anlagen, im innerbetrieblichen Informationsaustausch zwischen Abteilungen und Funktionsbereichen und nicht zuletzt über Unternehmensgrenzen hinweg zu Zulieferern, Kooperationspartnern und Kunden. Obwohl gegenwärtig in vielen Bereichen an der Behebung von Schnittstellenproblemen gearbeitet werde und neue Systeme entstehen, die die Verknüpfung von Datenbeständen und Einzelprozessen ermöglichen sollen, seien Technologien und Softwarelösungen, die die bestehenden Begrenzungen überwinden, vielfach entweder noch nicht verfügbar oder genügten nicht den Qualitätsstandards der Betriebe. Die komplette technische, informatorische und organisatorische Neugestaltung von Abläufen im Zuge des Auf- und Umbaus von Standorten, wie sie in anderen Branchen mitunter praktiziert wird, ist in den gewachsenen Standortstrukturen des Maschinenbaus, die gleichermaßen und kontinuierlich Flexibilität und Lieferfähigkeit gewährleisten müssen in der Regel keine Option – darüber hinaus fehlen hierfür schlicht die Investitionsmittel.

Über die mangelnde Verfügbarkeit technischer Lösungen hinaus findet sich bei der Skepsis und dem Unbehagen gegenüber einer weitreichenden Technisierung und Digitalisierung,

die fast überall im Management zu spüren war, im Maschinenbau aber auch die Annahme im Hintergrund, dass Flexibilität, Reaktions- und Innovationsfähigkeit in dieser Branche zentrale Voraussetzungen für wirtschaftlichen Erfolg darstellen und bei der Bewältigung dieser Anforderungen die Kompetenzen und Kooperationsfähigkeit sowie das Engagement und die Lernbereitschaft der Beschäftigten unverzichtbar und letztlich wichtiger als technische Lösungen sind. Die Standardisierung und Stabilität der eigenen Herstellungsprozesse werde aus Sicht der meisten Experten auch in Zukunft nicht das für andere Branchen typische Niveau erreichen. Die Vielfalt und Veränderungsdynamik von Kundenanforderungen sowie die Notwendigkeit ständiger, kleinschrittiger Innovationen bleiben für die Branche auf Dauer prägend und in wirtschaftlicher Hinsicht entscheidend.

Zu diesen eher internen und branchenbedingten Gründen für Zurückhaltung gegenüber einer weitreichenden Technisierung und informatorischen Vernetzung spielten bei allen Gesprächspartnern außerdem Fragen der Datensicherheit eine erhebliche Rolle. Angesichts der starken Exportabhängigkeit der Branche, der internationalen Ausrichtung selbst kleinerer Unternehmen und dem Wissen um neue, aufstrebende Akteure insbesondere in Asien, führt die große und letztlich existentielle Bedeutung von überlegenem Verfahrens- und Produkt-Know-how dazu, dass die Bereitschaft zu unternehmensübergreifenden Vernetzungen und Datenaustauschen, die wichtige Elemente von Industrie-4.0-Lösungen darstellen, in der Branche eher gering ist. Der Geschäftsführer eines hochgradig spezialisierten mittelständischen Herstellers von elektronischen Messgeräten formulierte es bei einem Besuch so, dass man aus Gründen der Prozessüberwachung und Prozessoptimierung intern zwar hochgradig vernetzt und datenbasiert arbeite, die Vernetzung nach außen hin aber auf das unbedingt notwendige Maß beschränke. Selbst wichtigen Kunden aus der Automobilbranche, für die der unternehmensübergreifende Austausch von Daten branchenüblich sei, gewähre man keinen direkten Zugang zu den internen Systemen.

Trotz dieser in zentralen Merkmalen der Branche verankerten Skepsis gegenüber einer weitreichenden oder gar schnellen Digitalisierung und Technisierung der betrieblichen Prozesse im Maschinenbau war bei unseren Gesprächspartnern eine hohe Aufmerksamkeit für die Themen Digitalisierung und Industrie 4.0 spürbar. Die Bereitschaft, sich mit dem Thema zu beschäftigen, ist fast durchweg hoch. Und auch wenn viele Anwendungen aus Sicht der Experten noch nicht praxistauglich oder bezogen auf die eigenen Anforderungen schlicht zu aufwendig sind, geht von den Grundideen der Industrie 4.0 und den stark anwachsenden, erweiterten technischen Möglichkeiten auch im Maschinenbau eine erhebliche Faszination aus. Obwohl nicht in allen Betrieben bereits aktiv an der systematischen Umsetzung von Industrie-4.0-Konzepten oder einer erweiterten Digitalisierung gearbeitet wurde, ist man sich in der Branche einig, dass die Betriebe sich in einer Phase neuer tech-

nologischer Entwicklungen und beschleunigter Veränderungen befinden. Im jeweiligen Fokus und in der Geschwindigkeit der formulierten Veränderungsnotwendigkeit fanden sich durchaus Unterschiede in unseren Fallstudienbetrieben, dass mit dem Thema Digitalisierung Herausforderungen und neue Möglichkeiten einhergehen, wurde aber selbst von den ausgeprägten Skeptikern nicht bestritten. Der beschleunigte technologische Wandel war in allen Unternehmen spürbar, ist in den meisten von uns untersuchten Betrieben jedoch routinierter Bestandteil des normalen Managementhandelns und nicht unbedingt Gegenstand intern und extern propagierter, expliziter Strategiekonzepte wie in den Vorreiterunternehmen C, G oder J. Obwohl der Stand der Dinge bei der Technologieentwicklung, gesicherte Technologietrends oder gar sich mittelfristig abzeichnende neue technologische Standards aus Sicht der von uns befragten Praktiker zumeist (noch) nicht geklärt waren, bestand bei den Befragten dennoch weitgehende Übereinstimmung, dass es im Kern um technologische Potentiale geht und sogar um welche spezifischen Technologielinien es sich bei den Themen Industrie 4.0 und Digitalisierung handelt.

Dominante Techniklinien und Anwendungen

Während die öffentliche Debatte mit notwendigerweise und teilweise aus strategischen Gründen unscharfen Generalformeln wie Industrie 4.0 oder Digitalisierung operiert, ist für die von uns befragten betrieblichen Praktiker klar, dass sich hinter diesen Begriffen sehr verschiedene und in ihren Potentialitäten und Wirkungen unterschiedliche Technologien verbergen. Digitalisierung und Industrie 4.0 sind vielgestaltig und für die in unserer Studie im Vordergrund stehenden Fragen nach den Arbeitswirkungen sowie arbeitspolitischen Herausforderungen und Gestaltungsmöglichkeiten ist es wichtig, diese Vielfältigkeit wahrzunehmen und bei der Entwicklung von Konzepten zu berücksichtigen. Bezogen auf den Maschinenbau stehen dabei folgende Technologien im Vordergrund:

(1) Im Zentrum des Leitbildes Industrie 4.0 steht auch aus Sicht der Befragten im Maschinenbau die **erweiterte Vernetzung** von Maschinen, Produkten, Dingen jeglicher Art (Internet-of-Things) und Menschen, die zur Entstehung von sogenannten Cyber-physischen Systemen (**CPS**) bzw. Cyber-physischen Produktionssystemen (**CPPS**) führt. Im Kern geht es in Fortführung und unternehmensübergreifender Ausweitung des CIM-Ansatzes darum, den Grad der technischen und informatorischen Vernetzung und letztlich Integration zu steigern, um auf dieser Grundlage zentrale Steuerungsmöglichkeiten sowie die dezentrale Selbststeuerungsfähigkeit von Anlagen und Prozessen zu erhöhen. In einigen Betrieben (exemplarisch hierfür ist in unserem Sample der Fall J) wird dabei nach wie vor an der Perfektionierung der CAD/CAM-Schnittstelle gearbeitet, um aus dem CAD-System der Konstruktion heraus automatisiert optimale Bearbeitungsprogramme für die Werkzeugmaschinen zu erstellen. Dem 4.0-Konzept zufolge bieten technologische Fortschritte in den

Bereichen Sensorik und Miniaturisierung, die nach wie vor anhaltende Dynamik der Erhöhung von Speicher- und Rechnerleistungen bei gleichzeitig sinkenden Kosten sowie die höhere Leistungsfähigkeit (Datenübertragungsraten und Stabilität) von funkbasierten Formen der Datenübermittlung die Möglichkeit einer erweiterten Verfügbarkeit und Nutzung von Daten zur Herstellung von Prozesstransparenz sowie für Steuerungszwecke. Derzeit gilt beispielsweise der kurz vor der Anwendung stehende 5G-Standard als technologische Voraussetzung für alltagstaugliche Industrie-4.0-Lösungen. In dem Maße wie zunehmend eigenständiger agierende Teilsysteme untereinander in Echtzeit Daten austauschen, steigt die Komplexität der technischen Systeme und diese sind besser in der Lage, auf sich wandelnde Kontextbedingungen und situative Besonderheiten zu reagieren.

(2) Zugleich hält seit einigen Jahren schubartig ein ganzes **Bündel von einzelnen neuen Technologien** Einzug in die Arbeitswelt. Die Liste konkreter Technologien und Anwendungen ist auch im Maschinenbau lang: Zu nennen sind insbesondere **digitale Assistenzsysteme** in unterschiedlichen Ausprägungen wie etwa verschiedene Formen einer digitalen Werkerführung, die sowohl in Montagebereichen (Kuhlmann et al. 2018) als auch in der Instandhaltung (Baethge et al. 2018) zum Einsatz kommen können. In den Betriebsfällen I und L waren erste Anwendungen in der Kleinserienmontage bereits realisiert, im klassischen Maschinenbaubetrieb A wurde mit externer Unterstützung gerade an der pilothaften Entwicklung einer Werkerführung gearbeitet. Im sich zunehmend ausweitenden, aber noch am Anfang stehenden Bereich von **wearables** sind ebenfalls überaus unterschiedliche Anwendungsszenarien und Gestaltungsoptionen denkbar (Evers et al. 2018, Niehaus 2017). Konkret gemeint sind dabei mit dem menschlichen Körper verbundene, mobile technologische Hilfsmittel wie Datenbrillen, Datenhandschuhe oder Exoskelette, mit denen Körperkräfte und Bewegungen unterstützt werden. Für Datenbrillen beispielsweise sind unterschiedliche Anwendungsfelder wie Instandhaltungs- oder Servicebereiche (Fall G), Qualitätssicherung oder Montage vorstellbar. Am ehesten in die Anwendung kommen sie derzeit in den Bereichen Logistik und Kommissionierung – allerdings in keinem der von uns untersuchten Betriebe.

Zunehmend bedeutsam und bereits breitflächig im Einsatz sind außerdem konkrete Basistechnologien wie **RFID** (*radio-frequency identification*), mit denen eine automatische und berührungslose Lokalisierung und Identifizierung von Objekten durch elektromagnetische Wellen ermöglicht wird. RFID ist nicht nur eine wichtige Grundlage für cyber-physische Systeme, die Digitalisierung von Produkten und damit neue produktbezogene Dienstleistungen und Anwendungen, im Verbund mit Assistenzsystemen und **wearables** erhöhen sie zudem deren Anwendungsmöglichkeiten und generell die Transparenz von Abläufen und Prozessen.

Auch wenn es sich nicht wirklich um neue Technologien handelt, könnten sich die zunehmend leistungsfähigeren und mobil verfügbaren **luK-Technologien** (Smartphone, mobile Datenverarbeitung, Cloud-Technologien) und **Telematik**-Lösungen unter dem Gesichtspunkt von Arbeitswirkungen jedoch eventuell als besonders folgenreich erweisen. Neue mobile Nutzungsformen, Chats und Social Media-Anwendungen, die sich im Privatbereich seit Jahren verstärkt verbreiten, wandern zunehmend in die Arbeitswelt hinein. Bei der beruflichen und privaten Nutzung von Smartphones, mobilen Computern und Cloud-Technologien entstehen teilweise erhebliche Regelungsbedarfe: Welche Geräte und welche Applikationen dürfen von wem, wann und zu welchem Zweck genutzt werden? Im Maschinenbau ergeben sich hieraus insbesondere im Bereich des Kundenservice neue Möglichkeiten des schnelleren und direkteren Austausches über größere Entfernungen hinweg. Von Telematik-Lösungen könnten etwa durch Fernwartung erhebliche Einsparungen bei der Reduzierung von Reiseaufwänden ausgehen. Zugleich wirft die zunehmende Nutzung von neuartigen luK-Technologien Fragen des Persönlichkeitsschutzes und der Datensicherheit sowie des Umgangs mit und der Regulierung von Arbeitszeiten und Leistungsanforderungen auf.

Augmented reality, virtual reality und **Simulationen** stehen für neue Technologien oder neuartige Anwendungen, deren gemeinsamer Kern darin besteht, dass reale Welten mit künstlichen Informations- und Datenwelten verknüpft werden. In der Entwicklung und Konstruktion, wo computergestütztes Arbeiten in fast allen Betrieben unseres Samples bereits seit vielen Jahren zum Standard gehört und zunehmend mit 3D-Systeme gearbeitet wird, handelt es sich hierbei um bereits gängige Instrumente (Simulationen) oder naheliegende Weiterentwicklungen der bisherigen Arbeitsweisen. Mit *augmented reality* lassen sich – zumeist in Verbindung mit Datenbrillen – kontextbezogen zusätzliche Informationen beispielsweise für Instandhalter oder Servicetechniker bereitstellen. *Virtual reality*-Anwendungen und Simulationen können in Planungsprozessen oder im Kundenkontakt eine Rolle spielen, sind aktuell jedoch noch wenig verbreitet. In unseren Untersuchungsfällen waren sie in der Produktion bislang noch nicht im Einsatz.

(3) Während es sich bei *wearables* oder *augmented reality* zumeist um Anwendungen handelt, die nicht originär aus dem Maschinenbau heraus entwickelt wurden und werden, steht mit **Leichtbaurobotern** seit einigen Jahren eine neue Technologie zur Verfügung, die sich stärker in den traditionellen Innovationsmustern des Maschinenbaus bewegt. Leichtbauroboter haben in den letzten Jahren zu einer spürbaren Ausweitung der möglichen Anwendungsszenarien für Robotik geführt. Um eine neue Technologie handelt es sich hierbei insofern, als die Geräte sehr viel kleiner, mobiler einsetzbar und teilweise kollaborativ verwendbar sind, d. h. ohne Sicherheitsvorkehrungen wie Absperrungen oder ab-

schirmende Lichtschranken mit Menschen unmittelbar zusammenarbeiten oder sich im Umfeld von Menschen bewegen können. Hinzu kommt, dass die Systeme sehr viel kostengünstiger in der Anschaffung, aufgrund ihrer Größe und Beweglichkeit in unterschiedliche Peripherien integrierbar und deutlich einfacher zu programmieren sind als frühere Robotergenerationen. Begrenzt wird das Einsatzspektrum im Wesentlichen durch die geringe Tragekraft von Leichtbaurobotern sowie teilweise durch die geringere Arbeitsgeschwindigkeit – insbesondere dann, wenn sie kollaborativ oder ohne Sicherheitsvorkehrungen im Einsatz sind. Roboter wurden in der Vergangenheit vor allem in Großserienfertigungen insbesondere der Automobil- und teilweise der Elektroindustrie eingesetzt. In den Einzel- und Kleinserienfertigungen des klassischen Maschinenbaus waren sie in der Vergangenheit sehr viel seltener anzutreffen. Ob sich dies ändern wird bleibt abzuwarten. Haupteinsatzfelder für Leichtbauroboter sind auch aktuell wieder die Automobil- und die Elektroindustrie, wo sie die Möglichkeiten der Automatisierung aus wirtschaftlichen und/oder ergonomischen Gründen erhöhen. Im Maschinenbau scheinen auch Leichtroboter wiederum seltener zum Einsatz zu kommen, finden jedoch auch in dieser Branche neue Anwendungsfelder. In den von uns untersuchten Fällen sind Leichtbauroboter vereinzelt im Einsatz: so im Fall G in Montagebereichen oder – noch im Pilotstadium – im Fall J im Bereich der Maschinenbedienung. Im Betrieb I wurden Leichtbauroboter ebenfalls in der Montage erprobt, kommen vorerst jedoch nicht zum Einsatz, da menschliche Arbeitskräfte in den Bereichen Geschwindigkeit, Qualität und Flexibilität als überlegen und damit letztlich wirtschaftlicher gelten. Der Messtechnikhersteller F schloss den Einsatz von Leichtbaurobotern aus den gleichen Gründen sogar langfristig aus. In den übrigen Untersuchungsbetrieben spielten Leichtbauroboter in den aktuellen Planungen ebenfalls keine Rolle.

(4) Die Kombination aus den erweiterten Vernetzungsmöglichkeiten mit den verschiedensten neuen Technologien etwa im Bereich der Sensorik, die nach wie vor exponentiell wachsende Leistungsfähigkeit der Datenverarbeitung, die aktuell noch durch erste Anwendungen aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz (KI), *big data* und Datenanalyse (*predictive analytics*) verstärkt wird und neue Formen der Robotik treiben in Summe gegenwärtig auch die Diskussion zum Thema **Automatisierung** voran. Auch wenn in der Öffentlichkeit im Anschluss an einzelne Studien (exemplarisch: Frey/Osborne 2013, World Economic Forum 2016) verschiedentlich Szenarien der Gefahr massiver Beschäftigungsverluste diskutiert werden, die sich aus Sicht gerade der deutschen Arbeitsmarktforschung (Bonin et al. 2015, Arntz et al. 2016, Dengler/Matthes 2015, Wolter et al. 2016) jedoch als hoch spekulativ und wenig wahrscheinlich erweisen, spricht derzeit wenig dafür, dass es gerade im Maschinenbau zu einem massiven Automatisierungsschub kommt. Ausgeschlossen ist eine merkliche Erhöhung des Automatisierungsniveaus insbesondere in Branchen mit erheblichen Großserienfertigungsanteilen sowie in den leichter technisierbaren Elektronik-

fertigungen nicht, in den von untersuchten Betrieben wurden Überlegungen einer substantiellen Erhöhung des Automatisierungsniveaus derzeit aber nahezu einhellig nicht forciert. Eine erhebliche Rolle spielt Automatisierung bereits seit vielen Jahren in den Unternehmen G, I und M, da es sich hierbei in Teilen um Elektronikfertigungen handelt und bestimmte Produktlinien in großen Serien hergestellt werden. In den Unternehmen G und M ist davon auszugehen, dass die Automatisierung der eigenen Fertigungen auch weiterhin kontinuierlich voranschreitet und die neuen technologischen Möglichkeiten genutzt werden. In abgeschwächter Form gilt dies auch für den Betrieb I, der in der hauseigenen Montage von Kleinserien gegenwärtig ebenfalls keine Automatisierungsschübe erwartet. Die übrigen Betriebe unseres Samples, darunter auch sämtliche klassischen Maschinenbaubetriebe rechnen generell nicht mit einer deutlichen Erhöhung des Automatisierungsniveaus. Eine gewisse Ausnahme stellt hier lediglich der Fall J da, wo Leichtbauroboter bei der Maschinenbedienung in der Mechanischen Fertigung erprobt werden.

(5) Die steigende Bedeutung und die Ausweitung des Einsatzes von **Softwaresystemen** nicht nur als Mittel zur Automatisierung in der Produktion, sondern auch zur Vorstrukturierung und Formalisierung von Dienstleistungstätigkeiten und administrativen Prozessen in Form von informationstechnisch basierten **workflows** spielt für den Wandel der Arbeitswelt seit vielen Jahren eine erhebliche Rolle. Auch in dieser Hinsicht handelt es sich bei der Digitalisierung aber nicht um ein gänzlich neues Phänomen. Wahrscheinlich sind Entwicklungen einer forcierten Digitalisierung von **workflows** insbesondere in den administrativen Bereichen des Maschinenbaus. Einige Gesprächspartner wiesen ausdrücklich darauf hin, dass die administrativen und dispositiv-planenden Bereiche zukünftig sogar stärker von der Digitalisierung betroffen sein könnten als die Produktion. Auch wenn in den von uns untersuchten Betrieben technisch vermittelter Datentransfer in vielen Bereichen bereits möglich und gängige Praxis war, waren die kaufmännisch-administrativen Prozesse nach wie vor noch stark von Papier geprägt und auch in der Produktion spielte Papier bei der Auftragsverfolgung, Dokumentation und Qualitätssicherung unverändert eine große Rolle. Unsicherheit herrschte bei den Arbeitsfolgen, die sich als Folge der Digitalisierung in diesen von Angestellten dominierten Bereichen abzeichnen würden. Gewisse Personaleinsparungen erschienen den betrieblichen Experten zwangsläufig, ohne dass sie jedoch – anders als dies für einzelne Dienstleistungsbranchen vermutet wird – mit einem substantiellen Personalabbau rechneten. Unklar blieb zudem, ob bei der Digitalisierung („papierloses Büro“, „papierlose Fertigung“), der zentralisierten Vernetzung von Datenbeständen sowie der Vorgabe von standardisierten Abläufen mit einem steigenden Grad an Formalisierung von Tätigkeiten und eingeschränkten Handlungs- und Entscheidungsspielräumen zu rechnen sei oder es umgekehrt gerade zu einer Aufwertung administrativer Aufgaben und stei-

genden Qualifikationsanforderungen komme, weil nur noch komplexe, vorab schlecht definierbare Aufgaben anfallen und alle Routinetätigkeiten automatisiert werden.

(6) Und schließlich sei noch eine auch im Maschinenbau allmählich an Bedeutung gewinnende Gruppe von neuen Technologien und Anwendungen erwähnt, die sich unter der Überschrift **Plattformen und neue Geschäftsmodelle** fassen lassen. In ihrer generellen Bedeutung derzeit noch schwer abschätzbar und in ihren Arbeits- und Beschäftigungswirkungen derzeit noch wenig abzusehen sind Dynamiken, die sich aus der Tatsache ergeben, dass die Digitalisierung nicht nur bestehende Tätigkeitsfelder verändert, sondern zugleich neue Geschäftsmodelle ermöglicht. Zunehmend ins Spiel kommen hierbei neue IT-basierte Dienstleistungen, die sich im produzierenden Gewerbe häufig aus dem Bereich After Sales heraus entwickeln und mitunter neue Geschäftsfelder generieren. Typische, in der Öffentlichkeit breit diskutierte Anwendungen finden sich beim Onlinehandel, im Bereich von Mobilitäts- oder Gesundheitsdienstleistungen oder in den unterschiedlichen Einsatzfeldern von Crowdfunding-Portalen, die von Einfachaufgaben bis hin zu komplexen Dienstleistungen reichen können. Produktbezogene Dienstleistungen und neue Geschäftsmodelle gewinnen in Ansätzen auch im Maschinenbau an Bedeutung: So etwa beim Flottenmanagement, der Überwachung und Einsatzoptimierung von Land- und Baumaschinen, bei der Wartung und Reparatur von Maschinen und Anlagen (*predictive maintenance*) sowie der Optimierung der Maschinen- und Anlagennutzung. In bestimmten Maschinenbauzweigen (etwa im Bereich Fahrtreppen/Aufzüge) haben Fernwartungs- und Servicekonzepte mittlerweile sogar eine erhebliche wirtschaftliche Bedeutung. Von solchen Ausnahmen abgesehen, sind Plattformen und neue Geschäftsmodelle im Maschinenbau derzeit aber noch nicht sehr weit verbreitet. Sie sind zudem eher eine Sache größerer Unternehmen. Gerade die kleineren und mittleren Mittelständler sehen hierin angesichts des oft erheblichen Vorab-Aufwandes bisher kein zentrales Geschäftsfeld.

In unserem Sample steht allerdings der Betrieb J für den Versuch, selbst entwickeltes Know-how im Bereich der Überwachung von Prozessen und der softwaregestützten Digitalisierung von planerischen Abläufen auch extern zu vermarkten. Das ebenfalls mittelständische aber deutlich größere Unternehmen C ist sogar ein ausgesprochener Vorreiter in diesem Bereich und vermarktet intern entwickelte Organisationskonzepte und Softwarelösungen in Zusammenarbeit mit Beratern in Form eines eigenständigen Tochterunternehmens. Für die übrigen Fälle sind Plattformen und die Erschließung neuer Geschäftsmodelle zwar ein Thema, haben gegenüber dem Kerngeschäft derzeit jedoch keine Priorität.

Eine deutlich größere Rolle spielen Plattformen im Bereich des Vertriebs: Hier gibt es insbesondere bei Serienherstellern seit einigen Jahren die Tendenz, dem Vertrieb oder sogar

direkt dem Kunden, die Auswahl, Zusammenstellung und Modifizierung von Bestellungen internetbasiert mittels sogenannter **Konfiguratoren** zu ermöglichen. Dies dient nicht nur dem Zweck der Kundengewinnung, sondern es erlaubt zugleich eine bessere Steuerung des Vertriebs und reduziert im Idealfall zudem administrative Arbeitsaufwände. Die Zielvorstellung von Industrie 4.0 in diesem Bereich lautet, dass – wie im Onlinehandel – im Anschluss an den Konfigurator nicht nur eine automatische Bestellung, Bestellabwicklung und Rechnungslegung erfolgt, sondern dass ausgehend vom Konfigurator auch Fertigungsaufträge, Stücklisten und Logistikprozesse erstellt und angestoßen werden – und letztlich sogar die Maschinenbelegung sowie der Aufruf von Werkzeugen und Bearbeitungsprogrammen automatisiert wird. Auch wenn von vereinzelt Einsatzbeispielen berichtet wird, in den von uns untersuchten Betrieben handelt es sich hierbei, abgesehen vom Unternehmen A, um Zukunftsmusik. Den von uns befragten betrieblichen Praktikern zufolge sind Konfiguratoren dieses erweiterten Zuschnitts für die typischen Maschinenbauer mit Einzel- und Kleinserienfertigung derzeit keine ernsthafte Option.

In Summe bestätigen unsere Betriebsfallstudien zur Digitalisierung im niedersächsischen Maschinenbau das Bild der eingangs referierten Umfrage-Erhebungen (IW Consult/FIR 2015, IW Consult 2016, Lerch et al. 2017, Lins et al. 2018) sowie der ersten parallel in Nordrhein-Westfalen durchgeführten fallstudienbasierten Untersuchungen (Bosch et al. 2017, Hirsch-Kreinsen 2018). Die Diskussionen um Industrie 4.0 und Digitalisierung sind auch in den niedersächsischen Betrieben angekommen. Die häufig geäußerte Skepsis gegenüber dem vermeintlichen Umbruchcharakter, das Bild einer Revolution wurde von vielen Gesprächspartnern sogar eher zurückgewiesen, begründet sich nicht in einer generellen Ablehnung, sondern vielfach darin, dass Digitalisierung im Maschinenbau als kontinuierlicher, seit vielen Jahren anhaltender Prozess erlebt wird. In den strategischen Überlegungen und im Handeln der Betriebe spielt Digitalisierung sehr wohl eine Rolle. Auch wenn der Umsetzungsstand bezogen auf die verschiedenen neuen technischen Potentialen unterschiedlich ist und die Betriebe teilweise je spezifische Schwerpunkte setzen und Strategien verfolgen, zeichnen unsere Fallstudien zugleich das Bild einer Branche, die sich insgesamt im Aufbruch befindet. Die verschiedenen neuen Technologien und Anwendungen der Digitalisierung sind teils Gegenstand von betrieblichen Diskussionen und konkreten Planungen, teils befinden sie sich auch bereits in der Anwendung. Breitflächige Anwendungen oder bereits realisierte durchgängige Umsetzungen haben wir gleichwohl nicht angetroffen, und sie scheinen selbst bei den Vorreitern auch noch in weiter Ferne zu liegen.

Mit Blick auf die Fragestellung der vorliegenden Studien nach dem Zusammenhang von Digitalisierung und Arbeit ist bemerkenswert, dass bei den technikbezogenen Überlegungen der Maschinenbaubetriebe Fragen der Organisation der Arbeit eine untergeordnete

Rolle gespielt haben und wenig thematisiert werden. Nur vereinzelt wurden Digitalisierungsstrategien der Betriebe von den Gesprächspartnern selbst in einen expliziten Zusammenhang mit neuen Organisationsformen oder veränderten Arbeitsstrukturen gestellt. In diesen Fragen gingen die von uns befragten Praktiker fast durchweg zumindest vorerst von einem hohen Maß an Kontinuität aus: Qualifizierte Facharbeit sowie die maschinenbautypischen Betriebsstrukturen, Arbeits- und Organisationsformen blieben in ihren Erzählungen im Hintergrund und standen nicht unter Veränderungsdruck.

IV. Digitalisierung und Arbeit im niedersächsischen Maschinenbau

Auch wenn die quantitativen Beschäftigungsfolgen in der öffentlichen Debatte eine große Rolle spielen, in der Branche selbst gelten sie, dies lohnt sich vorab festzuhalten, als wenig dramatisch. Unter den von uns befragten betrieblichen Experten herrschte auch in dieser Hinsicht weitgehende Einigkeit. Mit Industrie 4.0 und Digitalisierung gehen den betrieblichen Praktikern zufolge keine massiven Rationalisierungsschübe einher. Rationalisierung finde vielmehr kontinuierlich und in kleinen Schritten statt, und in Summe werden auch keine gravierenden Umschichtungen zwischen Tätigkeitsbereichen erwartet. Diese Einschätzung formulierten die Befragten sowohl für ihren eigenen Betrieb als auch für den Maschinenbau insgesamt. Wie für ausgewählte, besonders bedeutsame Funktionsbereiche des Maschinenbaus im Folgenden noch genauer zu zeigen sein wird, deuten sich beim Zusammenhang von Digitalisierung und Arbeit aber auch Differenzierungslinien an.

IV.1 Produktentwicklung und Konstruktion

Ausgangssituation: Der „digitale Urknall“ in den 1980er Jahren

Gesprächspartner im „technischen Büro“, wie die Innovationsabteilung des Maschinenbaus traditionell genannt wird, haben einige Schwierigkeiten damit, das gängige Narrativ von „Digitalisierung“ und „Industrie 4.0“ als gültige Beschreibung der aktuellen Entwicklungsdynamik ihres Bereichs zu akzeptieren. Für ihr Tätigkeitsfeld, so die fast einhellige Wahrnehmung, liegt die „digitale Revolution“ bereits 30 Jahre zurück, als der Einzug digitaler Rechentechnik die Abläufe in einem Bereich, der sich technisch und organisatorisch von den 1920er bis in die 1980er Jahre nur wenig verändert hatte⁴, in Bewegung brachte. Bis dahin hatte das analoge Entwickeln am Zeichenbrett das Bild in den technischen Büros

⁴ Zur Entstehung des „technischen Büros“ im Maschinenbau, zu den Formen von Organisation, Technik- und Personaleinsatz in diesem Bereich vgl. die Darstellung in Wolf et al. 1992: 50ff.

geprägt. Zwar waren bereits in den 1960er Jahre im Konstruktionsbereich erste EDV-Anwendungen punktuell eingesetzt worden, sie blieben aber begrenzt auf Formen digitaler Unterstützung von aufwendigen Berechnungsaufgaben (Wolf et al. 1992: 70). Erst in den 1980ern erreichte die Digitalisierung den eigentlichen Kern der Innovationsarbeit. Fortan stand die rechnergestützte Produktentwicklung, das *computer aided design* (CAD), im Zentrum beschleunigter Computernutzung in den technischen Büros. Digitale Technologien wie CAD-Systeme, Plotter, elektronische Speichersysteme hielten schwingvoll Einzug und revolutionierten die Tätigkeiten der Produktmodellierung, Zeichnung und Dokumentation.

„[...] was in den Medien unter Digitalisierung läuft hab ich bei uns nicht so viel gefunden. Bei uns ist die Digitalisierung schon komplett da. Ich hab im Studium auf dem Zeichenbrett meine Arbeiten angefertigt, CAD parallel mitgelernt. [Ich] denke, das war der größte Einzug der Digitalisierung in den Entwicklungsbereich.“ (D3: 3)

Von nun an prägte zunehmend das digital gestützte Entwickeln am Computer das Bild in Entwicklung und Konstruktion. Bis 1986/87 waren in 20 Prozent der Maschinenbaubetriebe CAD-Systeme im Einsatz (Hirsch-Kreinsen et al. 1990: 58), ihre Verbreitung beschleunigte sich rasant. In den folgenden Jahren setzte sich das rechnerbasierte Konstruieren breitflächig durch und ist nun schon seit langem *state of the art* in den Entwicklungsbüros. Insofern gilt: Digitale Technologien sind in jenem Teil der Wertschöpfungskette, der für die Produktinnovation zuständig ist, nicht neu. Der „digitale Urknall“ liegt also schon einige Jahrzehnte zurück. Seit den frühen 1980ern sind sie in den Entwicklungsbüros in Gebrauch, ihre Diffusion und partiell auch ihre Vernetzung („Rechnerintegration“) erfolgte dann in den 1980ern und 1990ern eher „auf leisen Sohlen“ (Lay/Wengel 1998).

Veränderungsimpulse: Die dritte Dimension

Gleichwohl verläuft die Nutzung digitaler Technologien in den Konstruktionsbüros des Maschinenbaus, einmal eingeführt, seitdem nicht durchweg als gleichförmige, kontinuierliche und kleinschrittige Evolution. Vielmehr verzeichnen die Experten in diesem schon länger beachteten Technologiefeld – der rechnergestützten Produktinnovation – einen Entwicklungssprung, der neuen Schwung in die Sache bringt. Wenn man mit Blick auf das „technische Büro“ im Maschinenbau danach fragt, was denn in diesem Teil der industriellen Wertschöpfungskette am ehesten mit der aktuellen Rede von „Digitalisierung“ (oder eventuell gar von „Industrie 4.0“) gemeint sein könnte, dann nennen die Gesprächspartner meist den Übergang von der 2D-Entwicklung zur 3D-Entwicklung. Und in der Tat: Wenn man in der jüngeren Geschichte der Produktentwicklung einen Technologiesprung sucht, der den Einsatz digitaler Technologien verbreitert und beschleunigt, die Abläufe im techni-

schen Büro durchdringt und die Arbeit gründlich verändert, dann ist es dieser in den Jahren nach der Jahrtausendwende einsetzende digitale Erneuerungsschub in den Innovationsabteilungen: der Übergang von der zweidimensionalen zur dreidimensionalen rechnergestützten Produktmodellierung.

Digitales Konstruieren gab es schon vorher – in 2D: „Das war eine digitale Zeichnungserstellung [...] Vor circa 30 Jahren war ich auf der Hannover-Messe und total begeistert, wie die Plotter auf einem Zeichenbrett rumgerast sind. Noch die alten Tuschestifte, die man vom technischen Zeichnen kennt, die in eine Fassung kamen, und das Ding hat wahnsinnig schnell eine Zeichnung gemacht. Also schon da war es möglich, 2D-Zeichnungen am Computer zu machen, sonst hätte man es danach nicht ausplotten können.“ (D3: 5f.) Der erste Digitalisierungsschub, das rechnergestützte Konstruieren in 2D, brachte zwar erhebliche Rationalisierungsgewinne: Korrekturen am Entwurf waren leichter auszuführen, und vor allem wurden Zeichnungen nun automatisch erstellt. Aber: „ist schon über 30 Jahre her – und in den letzten 15 Jahren ist 3D in die Konstruktion eingezogen!“ (D3: 5f.) Erst dieser zweite Schub erschloss breite Möglichkeiten digitaler Technologie, weil er wesentlich über die Ablösung des manuellen Zeichnens durch das Zeichnen am Bildschirm hinausging.

„[Ich] denke, das erst war der große Umbruch. Vorher, ob ich mit Hand oder Maus zeichne, macht [zwar] einen Unterschied, aber ich hatte immer noch die Vorstellung im Kopf. Jetzt hab ich die Vorstellung vor mir auf dem Bildschirm. Das ist für mich der große Umbruch.“ (D4: 6)

Bis dahin fanden Transferleistungen zwischen 2D-Entwürfen und der dreidimensionalen Wirklichkeit im Kopf des Entwicklers statt und hingen wesentlich von seinem Vorstellungsvermögen ab. Diese Transferleistungen machten einst den guten Entwickler aus, beanspruchten allerdings auch einen Großteil seines Leistungsvermögens. Zugleich stießen sie an kognitive Grenzen, weil die steigende Produktkomplexität die Imagination zu überfordern drohte. So waren Machbarkeit und Auswirkungen von auch nur kleinen Änderungen nicht unmittelbar sichtbar und mussten daher mit erheblichem Aufwand überprüft werden. Darin lag eine Begrenzung, die mit dem Übergang zur 3D-Modellierung aufgehoben wurde.

Die Fähigkeit zur realitätsnahen und sehr exakten 3D-Modellierung des Produkts im Datenraum hat weitreichende Implikationen. Der Umstieg auf 3D ist mehr als eine Automatisierung von Entwicklungstätigkeit. Über die unmittelbare Rationalisierung von Konstruktionsarbeit im „technischen Büro“ hinaus nutzen Unternehmen die 3D-Technologie für einen Durchbruch in der Realisierung branchentypischer Geschäftsstrategien. Typischer-

weise konkurrieren deutsche und damit auch niedersächsische Maschinenbauer weniger über den Preis, sondern mehr über die Lieferfähigkeit von überlegen ausgestatteten, oft kundenindividuell zugeschnittenen Qualitätsprodukten. Hier hilft 3D weiter. Ihre Nutzung beflügelt neue Innovationskonzepte, wie umgekehrt neue Innovationskonzepte (zur Realisierung verschärfter Geschäftsstrategien) 3D Rückenwind geben. Die Fähigkeit, trotz gesteigener Produktkomplexität die Produkte schneller und mit exzellenter Qualität und einem offeneren Ohr für individuelle Kundenlösungen entwickeln zu können, stützt sich wesentlich auf 3D – wie gleichzeitig 3D solche Geschäftsstrategien besser möglich macht. Den Unternehmen geht es mit dem Einsatz von 3D-Technologien im Entwicklungsbereich um die Beschleunigung von Innovationsprozessen trotz erhöhter Produktkomplexität bei gleichzeitiger Begrenzung der Risiken.

Dem Übergang zur Modellierung in 3D liegt eine „Verwohlfeilerung“ von Rechenleistung zugrunde. Treiber dieser Entwicklung ist eine erweiterte Leistungsfähigkeit der Prozessor- und Speichertechnologie ebenso wie die Umsetzung dieser erweiterten Fähigkeiten in spezifische Entwicklungsprogramme. Es ist aber mehr als Verbilligung. Sie schafft Raum für Innovationen in der Entwurfstechnologie und eine Zuspitzung der Wettbewerbsstrategie komplexer Qualitätsproduktion – ermöglicht durch „sinkende Kosten pro Komplexität“ (D4: 6).

Wie und wodurch wird das erreicht? Während die rechnergestützte 2D-Konstruktion das Arbeitsmedium ändert – vom Zeichenbrett zum Bildschirm –, aber der Ablauf der Produktentwicklung dem Vorgehen am Zeichenbrett stark ähnelt, revolutioniert 3D die Abläufe und eröffnet einen neuen Raum von Themen, der mit einer Fülle von neuen Anwendungsprogrammen erschlossen wird. Mit der dreidimensionalen computergestützten Produktentwicklung setzt sich seit der Jahrtausendwende ein Technologiestandard durch, der für eine sprunghafte Erweiterung der Visualisierung, eine Fülle neuer digitaler Anwendungen und eine extreme Beschleunigung der Entwicklungsarbeit steht.

Ein wesentlicher Fortschritt liegt in der Visualisierung. Die 3D-Modellierung liefert unmittelbar eine realitätsnahe Darstellung des Produkts im jeweils aktuellen Bearbeitungsstand, und sie eröffnet neue, erweiterte Perspektiven der Betrachtung.

„Auch wenn ich keine 3D-Brille aufhabe, sondern nur einen Monitor [habe] und mir eine Maschine im 3D-Modell ankucke, krieg ich einen sehr guten Eindruck. Ich kann das Modell drehen, durch das Modell durchschneiden [und] erkennen, wie ist das. Ganz anders als früher eine Zeichnung. Ich musste kreativ überlegen, so gehen die Bauteile da dran, über die Projektionsmöglichkeiten der drei Ansichten, überlegen wie sieht es von der anderen Seite aus. [Das] war sehr fehleranfällig.“ (D3: 5)

Überdies eröffnet die Beschreibung des Produkts in 3D eine sprunghafte Erweiterung im digitalen Instrumentarium: eine Fülle weiterer Anwendungen, insbesondere auf dem Feld von Simulationen, mit denen die Konsequenzen von Änderungen visualisiert und diverse Produkteigenschaften getestet werden können. Weit verbreitet sind etwa Festigkeitsberechnungen nach der Finite-Elemente-Methode (FEM), die in 2D-Zeiten noch manuell aufgesetzt werden mussten und nun automatisch modelliert werden können. „Da hat sich bei der Simulation sehr viel getan, auch [bei der] Strömungssimulation oder dem Darstellen elastischer Bauteile. Als der Schritt zu 3D gemacht war, wurden viele kleine Probleme aufgegriffen und Stück für Stück gelöst.“ (D3: 6) Die Simulation schließt auch heute nicht alle Risiken aus,

„aber wir sind deutlich genauer. Ich bin immer näher an der Realität. Früher bei einer Simulation hab ich irgendwo anhand von 2D-Daten ein Modell aufgebaut, und es kam [dabei] auf die Kreativität des Berechners an, wie gut er das umgesetzt hat. Anhand der 3D-Daten kann ich jetzt Algorithmen hintersetzen, die das Berechnungsmodell selbst aufbauen und grundsätzlich weniger Fehler machen.“ (D3: 6)

Ein digitales 3D-Modell ermöglicht virtuelle Analysen und Simulationen am Rechner – reduziert also die Anzahl von physischen Prototypen, deren Erstellung nicht nur aufwändig ist, sondern vor allem auch Zeit kostet. 3D-Daten erzeugen „digitale Prototypen“ – und das bedeutet: „man hat mehr Versuche“ (D4: 6). All das ermöglicht eine Steigerung der Produktkomplexität, die Integration von mehr und enger gepackten technologischen Inhalten.

„[...] im Vergleich zu früher sind alle Entwicklungen viel komplexer. Die große Packungsdichte kommt mit dazu. Nur durch die Techniken, die wir heute haben, ist das überhaupt zu bewältigen.“ „...die Einbausituation [ist] immer komplexer geworden.“ (D3: 5)

Bereits lange bevor jetzt das Thema *virtual reality* vor allem im Kontext von Datenbrillen aktuell wird, verlagert sich die Produktentwicklung in den virtuellen Raum:

„Seit einigen Jahren schon [...] arbeiten wir komplett in der virtuellen Welt. Die Arbeit findet dort statt, die Maschine existiert immer zuerst virtuell, mit den meisten Kleinigkeiten. Und dann leiten wir daraus Zeichnungen ab, und die Produktion geht los. Ohne diese virtuelle Welt wäre es aktuell nicht mehr möglich. [...] Weil die Einbausituationen immer komplexer werden. [...] [Bei unserem Produkt] gehen Schlauchpakete rein. Das sehen Sie im Werk, wie dicht Schlauchpakete aneinander vorbeigehen. Geht drum, ob ein Schlauch einen Zentimeter länger oder kürzer ist,

um beim Bewegen eine Kollision zu vermeiden. Geht erst durch die Möglichkeit, das vorab in 3D zu simulieren und dann zu sehen: Funktioniert es?“ (D4: 5)

Mit dem Übergang von der zweidimensionalen Darstellung (2D-CAD) zur Modellierung des Produkts als dreidimensionalen Körper entsteht die Grundlage für diverse neue Anwendungen und eine Flut neuer Programme. Er trägt einen bis heute andauernden digital fundierten Innovationsschub in der Produktentwicklung, der durch die Nutzung der dritten Dimensionen für Perspektiven, Simulationen und *digital prototyping* geprägt wird.

Zu den neueren Instrumenten zählt die „virtuelle Realität“: Sie eröffnet neue Perspektiven auf das Produkt, wird jedoch deutlich seltener als andere Anwendungen genutzt. Viele Betriebe erschließen sich diese neue Anwendung, ohne sie allerdings in das technologische Repertoire der betrieblichen Praxis fest aufgenommen zu haben. Das ist nur punktuell der Fall, bislang hat sich diese Anwendung in der betrieblichen Praxis nicht breitflächig durchgesetzt.

„Wir wissen, da gibt es etwas, setzen wir bei uns aber nur ganz begrenzt ein. Haben eine *virtual reality*-Brille, eine *software*, mit der man Sichtfelduntersuchungen durchführen kann. Kann man sich durch das Einsetzen der *virtual reality*-Brille mehr oder weniger den Eindruck vermitteln, als wenn man in der Maschine selbst drinsitzt. Und das schon in der Phase, wo es nur Zeichnungen gibt!“ [...] „Wir haben sie angeschafft, um zu schauen, weil das was ist, was uns begeistert. [...] Motivation ist bei uns ein wichtiges Thema. Die Leute waren davon begeistert, die Kosten im Verhältnis, [also] haben wir das angeschafft und später erkannt, dass es im Alltag nicht so genutzt wird, wie wir uns das vorgestellt hatten.“ (D3: 4)

Nachdem die anfängliche Begeisterung sich gelegt hat, prüft man die Anwendungsmöglichkeiten auch unter wirtschaftlichen Kriterien und stellt fest, dass sich etliche mögliche Anwendungen nicht rechnen. „Das Hauptproblem ist der Zeitfaktor“ (D3: 4): Der Aufwand zur Vorbereitung und Durchführung ist zu groß, auch weil Programme nicht durchweg kompatibel sind.

„Bei der Problematik mit dem Sichtfeld muss man sehen, [das] macht nicht jeder Konstrukteur bei uns. Haben nur einen Kollegen, der das richtig kann. Aber das reicht, weil er macht das nicht Vollzeit, sondern einmal pro Maschinenentwicklung [...] [Das] ist nichts, was man dauerhaft macht. Darum ist die Schnittstellenproblematik angemessen für wie häufig wir das nutzen. Würde jeder das täglich nutzen, wäre die Problematik anders. So ist nicht genug Leidensdruck, was zu unternehmen“ (D4: 4). Die Anzahl möglicher Anwendungen ist zu niedrig, um Investitionen in die Behebung der Schnittstellenproblematik zu tätigen. „Der Mehrwert für die

Zeit, die reingesteckt werden muss, ist nicht da. [Dann] sagt man einfach: Okay, [wir] brauchen es an vielen Stellen nicht.“ (D3:4)

Auch dies wird an diesem Untersuchungsfall deutlich: Der Einsatz digitaler Technologie kann die Umstellung auf ein zugespitztes Geschäftsmodell beschleunigen, weil er dessen Risiken deutlich entschärfen hilft und damit Wettbewerbsvorteile verspricht. In diesem Fall geht es um einen obligatorischen, gesetzlich vorgeschriebenen Produkttest, der obligatorisch durchgeführt und dokumentiert werden muss. Bisher erfolgte dieser Test, sobald der erste Prototyp gebaut und damit für diesen Test verfügbar war. „Jetzt kann ich das an dem digitalen Prototyp machen! Auswertung läuft dann automatisch.“ (D4: 4) Der Einsatz der *virtual reality*-Datenbrille erlaubt den Test „wunderbarerweise schon bevor der Prototyp dasteht. Das ist der große Vorteil!“ Er liegt auf der Hand: Ein früher Test-Zeitpunkt im Entwicklungsablauf beseitigt wesentliche und kostenträchtige Risiken. Wenn man Fehler erst am physischen Prototypen und damit zu einem späten Zeitpunkt feststellt, „hat man verloren, kann mit der Entwicklung von vorne anfangen.“ (D4:5)

Hier scheint die Strategie auf, die den Einsatz digitaler Technologien in der Entwicklung leitete: „dass wir Probleme schon vorhersehen und nicht erst, wenn der Prototyp unten [in der Montagehalle] steht und wir schon die Hälfte verloren haben“, so ein Konstrukteur (D4: 4). Der Entwicklungsleiter bekräftigt: „Richtig. Ich denke, das ist die Hauptaufgabe der Digitalisierung in der Entwicklung: Bevor der Prototyp in Stahl und Eisen gebaut ist, die Probleme erkennen. Gibt's eine ganz klassische Kurve zu, wie die Vermeidungskosten sind, wenn das Problem erkannt wird.“ (D3: 5) Freilich geht es nicht nur um Kosten.

„Darum haben wir im Vergleich zu vor zehn Jahren von den Kosten her nicht den großen Nutzen, circa ähnliche Kosten. Aber wir haben viel mehr reingepackt und können viel mehr zur selben Zeit machen. Setz ich's mit Kosten pro Komplexität, hat sich das schon verändert.“ (D4: 6)

Beschleunigte Innovation komplexer Produkte bei bestmöglicher Kontrolle der Risiken – auf diesen Nenner lässt sich die durchaus typische Digitalisierungsstrategie dieses Falls (und der Branche) bringen. Dabei dominiert eine pragmatische, für den traditionellen mittelständischen Maschinenbau durchaus typische Haltung, die tief in einer Begeisterung für technologische Innovation verwurzelt ist, ihr stattgibt, ohne zugleich in ökonomischen Leichtsinn zu verfallen.

Fassen wir zusammen. In weiten Teilen des Maschinenbaus beobachten wir eine Neu-Akzentuierung der nach wie vor auf Qualitätsprodukte fokussierten Geschäftsstrategie. Über die Zeit erhöht sich bei dieser Strategie fast zwangsläufig (und deutlich stärker als in mittleren oder unteren Marktsegmenten) die Komplexität der Produkte, was mit einer Verlän-

gerung der ohnehin immer schon knappen Entwicklungszeiten einhergeht. Dies verschärft die Anforderungen an die Organisation des Innovationsprozesses, die nicht leicht zu bewältigen sind. Die Unternehmen antworten mit erhöhter Arbeitsteilung und Spezialisierung der Entwicklerteams und einer Beschleunigung des gesamten Innovationsprozesses. Ein probates Mittel ist die Senkung der Zahl von Prototypen, dies spart Zeit (und reduziert auch den Stress mit dem Bereich Produktion, da immer weniger Entwicklungsabteilungen im Maschinenbau über eigene Werkstätten mit meist überdurchschnittlich qualifiziertem und erfahrener Personal für den Prototypenbau verfügen – Prototypen werden heute meistens in der Produktion und von dem dortigen Personal gebaut, dort aber häufig als Störung des Alltagsgeschäfts empfunden). Allerdings droht der Zeitgewinn mit beträchtlichen Nachteilen erkauft zu werden, denn Prototypen schaffen Sicherheit, und der Verzicht auf Prototypen birgt hohe Risiken.

Digitalisierung verspricht einen Weg aus dem Dilemma. Der Sprung in die dritte Dimension verhilft der Produktentwicklung bei aller Beschleunigung auch zu mehr Sicherheit. Die 3D-Produktentwicklung bringt neuen Schwung in Innovationsmodelle und beschleunigt die Abwendung von einem linearen, sequentiellen Verständnis, indem es Rückkopplungsschleifen im Innovationszyklus deutlich verkürzt. Sie bietet neue, virtuelle Prototypen, sie ermöglicht auf vielfältige Weise realitätsnahe Visualisierung, frühe Tests und Simulationen – und das alles frühzeitig im Innovationsprozess und zeitnah bei Änderungen am Produkt bzw. Fortschritten in der Entwicklung. Insgesamt rückt die Entwicklung damit näher an die Realität, die Unternehmen erlangen mehr Sicherheit und mehr Kontrolle über den Innovationsprozess. In diesem Fall folgt der Einsatz digitaler Technologien durchaus strategischer Pfadabhängigkeit: Unternehmen nutzen digitale Technologien zur Forcierung der Strategie von Qualitätsproduktion und besserer Beherrschung der Risiken aus erhöhter Produktkomplexität und verschärftem Zeitwettbewerb.

Arbeitskonzepte und Arbeitsfolgen

Aus Sicht der Betriebe ist die 3D-Produktentwicklung mit erheblichen Veränderungen verbunden. Wie stellt sie sich aus Sicht der Beschäftigten in Entwicklung und Konstruktion dar? Was bedeutet diese Form der Digitalisierung für die Arbeit in Entwicklung und Konstruktion?

Die Erwartungen sind hochgesteckt. Diese Technologie, so scheint es, entlastet die menschliche Arbeit in der Entwicklung, sie nimmt den Entwicklern viel ab. Der massive Zugewinn an Prozessbeherrschung treibe die Produktentwicklung in Richtung „Null Fehler“, entproblematisiere die Arbeit, befördere sogar deren Trivialisierung. Derartige Erwartungen haben, so zeigen unsere Recherchen, mit der Realität nicht viel zu tun. Zwar bringt 3D

diverse Fortschritte und entschärft Risiken der beschleunigten Entwicklung von immer komplexeren Qualitätsprodukten, mit denen deutsche Maschinenbauer höherpreisige Marktsegmente besetzen und verteidigen, aber: Die Technologie hebt die Risiken nicht auf, sie beseitigt sie nicht. Sie ermöglicht mehr Perspektiven, leichtere Korrekturen, Ableitung besserer Zeichnungen (was Perspektiven und Formate angeht). Sie erlaubt über die konventionelle, direkte geometrische Modellierung hinaus die Einbeziehung von und Verknüpfung mit anderen Eigenschaften, Parametern und Features und erlaubt eine Kopplung mit weitergehenden Anwendungen wie Simulationen und „virtuelle Realität“. Digitale Technologien erleichtern so zwar den Umgang mit Beschleunigung und Komplexität, zugleich aber schieben sie nur die Grenze hinaus. Die Wettbewerbsstrategien der Unternehmen (oder – was auf dasselbe hinausläuft – die Ansprüche der Kunden) gehen weiter (was etwa die Zahl der integrierten Technologien und deren Niveaus angeht), damit sind auch die Probleme und Risiken wieder da – die Widersprüche bleiben! Digitale Technologien machen diese ein Stück bearbeitbarer, aber sie lösen sie nicht auf. Denn die Einbettung in ein kompetitives Umfeld schafft für die Unternehmen immer neue Limitierungen und Herausforderungen. Sie erscheinen bisweilen als Limitierungen der Technologie, sind in der Wurzel aber wirtschaftlicher Natur. Manches ist technisch möglich, aber wirtschaftlich nicht sinnvoll, wie oben exemplarisch anhand des Einsatzes von Simulationsprogrammen gezeigt wurde. Wo solche Limitierungen greifen, kommt weiterhin die fachlich qualifizierte und verantwortungsbewusste Arbeit von Entwicklern zum Einsatz, die bestehende Risiken „von Hand“ prüfen und bearbeiten.

Eine durch digitale Technologien erzeugte Limitierung liegt in der *Null-Fehler-Illusion* – der realitätsfernen Vorstellungen, mit diesen Programmen setze sich die fehlerfreie Produktentwicklung durch. Unterstützt werden diese Erwartungen von den Verheißungen der Anbieter von 3D-Programmen.

„Ich kann in der digitalen Welt alles machen, die Kollisionen mit der Schweißnaht voraussehen etc. Die Leute, die das sehen und sich die schönen Präsentationen der Softwareunternehmen ankucken, denken, künftig machen wir beim Prototypen keinen Fehler mehr. So entsteht für die Entwicklungsabteilung und den Konstrukteur ein hoher Druck. Tauchen nachher am Prototypen doch Fehler auf, heißt es. ‘Wie konnte das denn passieren?!’“ (D3: 10) Und sie kommen, so stellen Entwickler häufig fest, auch in den Betrieben an, im Management und „bei den Leuten, die das zusammenbauen. ‘Warum habt ihr das nicht gesehen?! Hätte man sehen können!’“ Das erzeuge „Druck, die Erwartungshaltung Entwicklung eines Null-Fehler-Produkts.“ (D3: 11)

Die Erfahrung der Entwickler steht allerdings in starkem Kontrast zu diesen Erwartungen. Die digitale Produktmodellierung in 3D verspricht hohe Transparenz und Exaktheit, erzeugt damit die Illusion von Fehlerfreiheit, die tatsächlich nicht gegeben ist: Verbesserte Darstellungs- und Simulationsmöglichkeiten haben ihre Grenzen. Und in der ersten Realität stößt auch die Algorithmisierung an ihre Grenzen: Zwar kann man im Prinzip immer weiter rechnen, prüfen, optimieren und sich so dem Ideal der fehlerlosen Entwicklung annähern, tatsächlich aber sind die Ressourcen an Zeit, Geld und Rechnerkapazität begrenzt – dies zwingt zu Kompromissen und Risiken.

Limitierungen ergeben sich nicht selten aus dem, was man eine *Paradoxie des Realitätsbezugs* nennen könnte. Auch Entwickler laufen Gefahr, so schildern sie, dass sich am 3D-Bildschirm ihr Kontakt zur ersten Realität lockert. In 2D-Zeiten war die Distanz zwischen der Darstellung auf dem Bildschirm und der Wirklichkeit groß, diese Distanz hatte der Entwickler durch sein Vorstellungsvermögen zu überbrücken. In 3D-Zeiten ist die Darstellung auf dem Bildschirm näher an die erste Realität herangerückt, und die Gefahr besteht darin, die eine mit der anderen zu verwechseln. „Dass wir digital konstruieren, führt dazu, dass man ein bisschen von der Realität weggeht, denkt in dieser Scheinwelt“ (D4: 10). Ein Entwicklungsleiter spricht von „Realitätsfremdheit“:

„[...] das Gefühl zu verlieren: Wie ist das, was ich dort konstruiere in der der wahren Welt? Kann ich so ein Teil noch montieren oder nicht? Ich kriege eine Traumvorstellung davon, dass alles viel einfacher ist, weil es sich so wunderbar darstellen lässt, als es nachher wirklich umzusetzen ist.“ (D3: 11)

Am Bildschirm als überaus gelungen erscheinende Baugruppen können sich dann in der Montage als nicht handhabbar herausstellen. Oder eine in ihren Bewegungsmöglichkeiten ausgereizte Baumaschine kann sich als nicht einsetzbar erweisen, weil die dabei auftretenden Beschleunigungskräfte von Fahrern als Überforderungen erlebt werden, obwohl die Simulation sie als noch erträglich eingeordnet hatte. „Die Gefühlswahrnehmung von Menschen in eine Zahl zu fassen, das als Zielwert zu definieren und dann an digitalen Prototypen zwischen okay und nicht okay zu packen“ (D3: 10) – da liegt die Limitierung. Am Bildschirm ist alles möglich, was sich dann als nicht realitätstüchtig erweisen kann. Es ist paradox: Digitalisierung ist realitätsnah und -fern zugleich. Die größere Realitätsnähe der 3D-Entwicklung überdeckt das Sich-Entfernen von der Realität. Sie droht die Notwendigkeit, sich der ersten Realität immer wieder zu vergewissern, zu verdrängen. Diese Zwiespältigkeit schildern Entwickler als eine große Belastung.

Grenzen des simultaneous engineering. Nicht in jedem Fall taugt forcierte Digitalisierung dazu, die Risiken avancierter Innovationsstrategien zu bändigen. Die Produktentwicklung ist

stark arbeitsteilig und teamförmig organisierte Ingenieursarbeit. Diese Organisationsform zielt darauf, die Anforderungen erhöhter Produktkomplexität bei verkürzter *time to market* durch erhöhte Spezialisierung und Beschleunigung zu bewältigen. Freilich sind damit zugleich Risiken verbunden: Entwickler arbeiten parallel im selben Produktraum, folgen dabei ihrer spezialisierten Logik und tendieren dazu, fremde Anforderungen auszublenden. Wieso kommt es zu Kollisionen im Raum, wo doch die 3D-Modellierung auch bei simultanem Entwickeln solche Unfälle verhindern können und sollten? Die Gründe sind vielfältig.

Es kommt zu Vereinfachungen in der Produktmodellierung. Nicht jedes Detail wird ausgearbeitet, da das zu lange dauern und zu teuer werden würde. So werden etwa in einem unserer Fälle Schweißnähte nicht mitmodelliert, weil der Arbeitsaufwand übermäßig groß erscheint. Zudem würden die Produktdateien dadurch übermäßig aufgebläht, was Aufrufzeiten bei der Simulation stark verlängert und das Risiko erzeugt, dass der mit der Datei weiterarbeitende Kollege „Schweißnähte ausblendet, weil ihm das Modell zu langsam ist“ (D3: 9). Dies könne dann ähnlich schnell zu Platzproblemen und Kollisionen führen wie ein Verzicht auf aufwändig mitmodellierte Schweißnähte. Man schöpft in diesen Fällen also die Möglichkeiten des Digitalen bewusst nicht aus und geht Fehlerrisiken insbesondere dann ein, wenn eine Reparatur der Fehler weniger aufwändig ist als eine langwierige Detailmodellierung zur Fehlervermeidung.

Ähnlich geht man in der Branche vielfach auch mit „Ungenauigkeiten der Simulation“ um, die nachzukontrollieren viel zu aufwändig wäre. Da erscheint es „manchmal einfacher und günstiger, mit 90 Prozent zufrieden zu sein und an mancher Stelle bei der Prototypenmontage Schwierigkeiten zu haben und dann zu sehen, so sieht es jetzt aus, dass man mit vertretbarem Aufwand Abhilfe schafft“. (D3: 8)

Auch gibt es, trotz aller „Verwohlfeilerung“, nach wie vor Limitierungen der Rechenleistung. Bei detaillierter Darstellung von komplexen Produkten können Rechner an ihre Grenzen kommen.

„Noch ein Problem: haben natürlich auch Rechnerressourcen. Die geben es vielleicht nicht her, die ganze Maschine einzublenden, und selbst wenn, kann ich nicht mehr damit arbeiten. Dann muss ich mir was vereinfachen, die Hälfte ausblenden, transparent machen, damit ich durchkucken kann – dabei geht immer was verloren.“ (D4: 8)

Die Fähigkeit der digitalen 3D-Produktmodellierung zu hoher Genauigkeit und Detailliertheit in der Darstellung hat ihre Kehrseite in einem erschwerten Umgang mit den Daten in der Weiterarbeit. Eines der häufigsten Folgeprobleme sind Störungen in der arbeitsteiligen Entwicklungsarbeit. Nicht nur für manchen digitalen Rechner sind die Produktdateien

schwer zu verarbeiten, auch die Entwickler und Konstrukteure verlieren in den riesigen, komplexen und detaillierten Darstellungen leicht mal den Über- und Durchblick. Das probate Mittel: Sie blenden Teile aus, das erleichtert die eigene Arbeit – dieses Vorgehen ist übliche Praxis. Allerdings führt es leicht zu Problemen, denn „[...] je genauer ich werde, desto aufwändiger wird das Ganze. Dann kommen Vereinfachungen rein, die später zu Fehlern führen“ (D4: 7).

„[Wir] haben nach wie vor, wenn wir einen Prototyp bauen, viele Kollisionsprobleme. Weil Leute sich nicht daran halten, alles so wie sie es nachher in der Zeichnung darstellen, rechtzeitig so freizugeben und in den virtuellen Prototyp einzubauen, dass andere Leute ihre Baugruppen machen können. [...] Dann wird der ein oder andere Platz gern zweimal genutzt.“ (D4: 6f.)

Die arbeitsteilige Neuentwicklung komplexer Produkte unter Zeitdruck erfordert Kooperation und Abstimmung unter den beteiligten Teams, damit die separat entwickelten Teilprodukte am Ende auch zusammenpassen. Ein digitales Tool ist dafür nicht verfügbar und auch in kühnen Zukunftsvisionen nicht absehbar, also bleibt nur die Interaktion von beteiligten Menschen. Wohl aber lässt sich dieser Prozess digital unterstützen und fördern. So hat man im Untersuchungsbetrieb einen eigenen Raum für solche Konferenzen vorgesehen und mit leistungsfähiger Rechentechnik und avancierten, großflächigen Monitoren ausgestattet, die eine Betrachtung des integrierten Gesamtprodukts mit allen Details erlauben. Hier ließen sich dann Integrationsprobleme und Kollisionen an den Schnittstellen der Teilprodukte von vornherein vermeiden oder frühzeitig beheben, indem in so genannten „Bauraumrunden“ der verfügbare Platz ausgehandelt und verteilt wird. Allerdings wird dieses Angebot von den Entwicklungsteams nicht genutzt. Der Entwicklungsleiter: „sowas ist deutlich zeitaufwändiger als wir vermutet hatten. Darum findet es weniger Anklang als ich mir erhofft hatte“ (D3: 7). Aus der Sicht eines Entwicklers: „Wir führen diese Runden durch, aber informell. Dann kommen mal zwei Kollegen zum Schreibtisch und sagen: ‚Das möchte ich, hab Befürchtungen, dass wir kollidieren.‘ Dann schaut man sich das an. Aber das wird eher nebenbei, schnell gemacht als dass man sich einen Termin reinstellt und organisiert zusammensetzt“ (D4: 7). Hier bevorzugen die Mitarbeiter unter hohem Zeitdruck die kreative Einbindung neuer Technologien in die dezentrale, selbstorganisierte Problemlösung und setzen auf die Flexibilität menschlicher Arbeit.

Im Ideal des *simultaneous engineering* existieren diese Probleme nicht, da verhelfen digitale Technologien den arbeitsteilig erstellten Teilprodukten am Ende zu einer reibungslosen Integration. Unter Wettbewerbsbedingungen allerdings sind die Umstände andere, bei denen Fehler und unvollkommene Lösungen in Kauf genommen werden müssen, so der Entwicklungsleiter:

„Rein theoretisch gibt es die Probleme nicht, aber wir sind alle noch Menschen. Es gibt immer noch den Faktor Zeit! In einer idealen Welt mit unbegrenzten Ressourcen, unbegrenzten Zeiträumen, könnte ich das alles bewerkstelligen. Aber wir stehen unter Termindruck, und darum muss man an gewissen Punkten Abstriche machen.“ (D3: 7)

Unter begrenzten Zeitspielräumen ist Sicherheit nicht zu haben, sind Risiken nicht auszuschließen. Der Konstrukteur:

„Zeit ist ein Problem. Irgendwann muss man sagen ‘90 Prozent reichen mir’ – so blöde das klingt. Kann das nicht noch zwei Wochen durchkontrollieren, auch wenn ich gerne würde.“ (D4: 8)

Irgendwann sind unter den Zwängen des Marktes die Vorteile des 3D-Entwickelns, die Vorteile des „digitalen Prototyp“ ausgereizt. Dann muss die Produktentwicklung ins Risiko gehen und es hinnehmen, dass beim Prototyp „in Stahl und Eisen“ die Mängel sichtbar werden.

Unter dem Gesichtspunkt der *Arbeitsfolgen* lassen sich unsere Befunde folgendermaßen resümieren. Auch in der 3D-Produktentwicklung und -konstruktion ist weiterhin qualifizierte Arbeit gefordert, die als Flexibilitätsreserve und Problemlöser in unerwarteten Situationen agiert, unter Unsicherheiten (Ambiguitäten) kompetente Entscheidungen trifft und digitale Technologien strategisch klug einzusetzen weiß. Das bedeutet nicht, dass sich nichts ändert – im Gegenteil, die Arbeit in der 3D-Konstruktion unterscheidet sich in mehrfacher Hinsicht von der Vorsituation. Keineswegs aber geht dank digitaler Technologie eine verbesserte Beherrschung des Prozesses mit einer Entwertung von Arbeit, möglicherweise gar mit deren Trivialisierung einher. Die 3D-Produktentwicklung ist ein starkes Instrument der Rationalisierung, weil sie (fast) in Echtzeit virtuelle Prototypen hervorzubringen erlaubt. Aber: „Auch der virtuelle Prototyp ist immer nur so gut wie die Leute, die daran arbeiten und wie gut die das machen.“ (D4: 6f.)

Der Übergang in die 3D-Produktentwicklung geht einher mit forcierter Arbeitsteilung und Spezialisierung. Produktentwicklung ist typischerweise organisiert als qualifizierte Ingenieursarbeit in Teams. Sie ermöglicht Beschleunigung von Entwicklungsprozessen, stellt aber hohe Anforderungen an die Fähigkeiten zur Kooperation und Abstimmung sowohl im eigenen Team als auch mit anderen Teams und Externen.

Zu den stärksten Belastungen gehört der Umgang mit Null-Fehler-Erwartungen von Externen, die in krasser Distanz steht zu der fehleranfälligen Tätigkeit, die von den Grenzen der

digitalen Technologie geprägt ist. Die Anwendung digitaler Technologie unter wettbewerblichen Bedingungen erzeugt neue Unsicherheiten.

Mit der 3D-Technologie rückt die Produktentwicklung näher an die Realität, dies entlastet das Vorstellungsvermögen. Zugleich aber entspringt eine neue Belastung aus der Gefahr, in der digitalen Scheinwelt einen Realitätsverlust zu erfahren.

Dabei ist diese Arbeit unter verschärftem Zeitdruck zu leisten. Denn digital gestützte 3D-Produktentwicklung ist ein Rationalisierungstool, das es den Unternehmen ermöglicht, ihre Strategie der diversifizierten Qualitätsproduktion von immer komplexeren Maschinen mit steigendem Technologiemix unter hohem Zeitdruck zu verteidigen und fortzusetzen. 3D hilft, Komplexität zu bewältigen, ohne dass die Entwicklungszeiten ins Uferlose steigen. Aber die Technologie fängt den Zeitdruck nicht auf – er schlägt auf die Arbeitsbedingungen der Entwickler und Konstrukteure durch. Digital gestützte Produktentwicklung ist Arbeit unter hohem Zeitdruck, mit teilweise extremen Stressphasen, die auch das Private belasten können. Die Tätigkeit stellt erhöhte Anforderungen an die Stressresistenz, sie verlangt ein kompetentes und verantwortliches Agieren, unter hohem Druck, bei reduzierten Iterationsstufen und hohen Folgekostenrisiken.

Dabei stellt diese Tätigkeit hohe Anforderungen an die Qualifikation, sodass von Trivialisierung nicht die Rede sein kann. Früher konnten Facharbeiter mit langjähriger Erfahrung noch über interne Weiterbildungsmaßnahmen in die Konstruktion aufsteigen. Diese Karrierewege sind deutlich schwieriger geworden und kaum noch zu realisieren. Das liegt zum einen daran, dass mit der wachsenden Komplexität und Technologiediversität die Anforderungen steigen und ein Denken über Fach- und Disziplingrenzen gefordert ist; zum anderen am hohen Veränderungstempo digitalen Wissens und digitaler Erfahrung. Als Einstiegsvoraussetzung gilt heute fast durchweg eine Hochschulausbildung.

Erhöhte Aufmerksamkeit verlangen die digitalen Arbeitsmittel. Um „dranzubleiben“, steigen die Anforderungen, das digitale Repertoire auf der Prozessseite zu kennen, es anwenden zu können und auf dem Laufenden zu bleiben. „Muss jetzt zum Beispiel über Datenbanksysteme nachdenken. Ist nicht die Aufgabe, für die ich eigentlich bezahlt werde, aber muss ich beherrschen, um das hinzukriegen.“ (D4: 14) Gefordert ist auch Erfahrungswissen, um die Limitationen der digitalen Technologie zu kompensieren. Dazu gehört auch die Fähigkeit, unter Zeitdruck entscheiden zu können, wann man mit der Arbeit am digitalen Prototyp aufhört und ins Risiko geht.

IV.2 Mechanische Fertigung (Teilefertigung)

Ausgangssituation: langjährige Kontinuität in den Arbeits- und Personalstrukturen

Auch wenn es in der Branche vereinzelte Beispiele dafür gibt, dass Maschinenbauunternehmen sich ganz auf Entwicklung und Montage konzentrieren und die Teilefertigung an spezialisierte Zulieferer auslagern, gehört die Mechanische Fertigung unverändert zu den Kernkompetenzen des deutschen Maschinenbaus. Dies ist in den niedersächsischen Betrieben nicht anders, einige betonten sogar in besonderer Weise, dass eine hohe Fertigungstiefe für sie aus Gründen der Qualität, Flexibilität und Lieferfähigkeit besonders bedeutsam ist. Für alle Betriebe ist die Frage selber fertigen oder extern zukaufen jedoch ein Thema. In den in unserem Sample vertretenen Betrieben gab es verschiedentlich zwar eine Tendenz, Teile vermehrt extern einzukaufen, der große Stellenwert einer eigenen Mechanischen Fertigung wurde jedoch in keinem Untersuchungsfall in Frage gestellt. Für das Beibehalten von Kompetenzen im Bereich der Teilefertigung spricht neben Qualitäts- und Flexibilitätsgründen nämlich auch der Aspekt des Erhalts der eigenen Innovationsfähigkeit.

Noch stärker als im Bereich der Produktentwicklung gilt auch für die Mechanische Fertigung, dass Digitalisierung kein neues Phänomen ist. Computergesteuerte Bearbeitungsmaschinen sind in vielen Betrieben – zunächst als NC-, später als CNC-Maschinen – bereits seit den 1960er und 1970er Jahren im Einsatz. Wellenförmig hat es, zunächst in den 1970er Jahren und später im Zuge der Einführung von CIM-Konzepten noch einmal in den 1980er Jahren, Diskussionen darüber gegeben, ob die Informatisierung der Steuerungstechnologie zu einer Entwertung von Fach- und Erfahrungswissen in der Produktion führt und eine allmähliche Abkehr vom Facharbeitermodell des deutschen Maschinenbaus einläutet. Im Bereich der Arbeits- und Personalstrukturen zeichnet sich der deutsche Maschinenbau insgesamt bis in die Gegenwart hinein jedoch durch ein hohes Maß an Kontinuität aus. Auch für die Betriebe unseres Samples gilt, dass qualifizierte Facharbeit als dominante Arbeitsform gegenwärtig und auch zukünftig nicht zur Debatte steht. Eine Ausnahme hiervon ist allerdings der Fall J, der in der eigenen Fertigung gegenwärtig zwar ebenfalls qualifizierte Facharbeiter einsetzt und weiterhin ausbildet, ergänzend aber vermehrt auf Angelernte setzt. Einer unserer Gesprächspartner, der zugleich Hauptbetreiber einer forcierten Digitalisierung und Automatisierung der Teilefertigung sowie der Entwicklung und externen Vermarktung von hauseigenen Technologien zur automatisierten Überwachung ist, geht zumindest für die Zukunft aber davon aus, dass die neu entwickelten technischen Lösungen in einigen Branchen mittelfristig dazu führen werden, dass Facharbeit durch angelernte Tätigkeiten ersetzt wird. Für alle übrigen Betriebe ist klar, dass angesichts der Qualitätsansprüche und der Komplexität zentraler Komponenten der hauseigenen Produkte sowie aufgrund der Vielfalt von Teilen, geringen Seriengrößen und angesichts des ständigen

Wandels im Teilespektrum qualifizierte Fachkräfte auch zukünftig notwendig sein werden. Nur sie verfügen über das erforderliche Fach- und Erfahrungswissen im Umgang mit Produkten, Materialien und Bearbeitungsverfahren sowie über die Fähigkeit, ein breites Produktspektrum flexibel und mit einem hohen Maß an Selbstorganisation bearbeiten zu können. Außerdem fungieren sie als kompetente Kooperationspartner für betriebliche Spezialisten aus den Bereichen Entwicklung und Konstruktion. Geringer qualifizierte Fachkräfte und teilweise sogar Angelernte finden sich in den Mechanischen Fertigungen unseres Samples nur in zwei speziellen Konstellationen. Erstens in Bereichen der Teilefertigung, bei denen, wie im Fall A angesichts einer geringeren Komplexität der Teile, vor allem aber aufgrund von gestiegenen Seriengrößen, eine stärkere Standardisierung und teilweise Automatisierung wirtschaftlich sinnvoll erscheint. In andern Fällen sind genau solche Teile in der Vergangenheit jedoch an spezialisierte Zulieferer ausgelagert worden. In einem zweiten Fall, Betrieb C, ist der vermehrte Einsatz von Angelernten, der hier jedoch unter 10 Prozent liegt, eine Reaktion auf die zunehmenden Schwierigkeiten ausreichende Fachkräfte auf dem regionalen Arbeitsmarkt zu finden. In diesem Betrieb wird versucht, gezielt Frauen und Migranten zu rekrutieren, denen zugleich jedoch umfangreiche Qualifizierungsmaßnahmen angeboten werden. Anders als im Fall A, der Angelernte gezielt in fachlicher weniger anspruchsvollen Fertigungsbereichen einsetzt, verfolgt der Betrieb C zudem die Strategie, Angelernte punktuell in Teams mit Facharbeitern einzusetzen. Auch dies ein Ausdruck der Tatsache, dass die Verantwortlichen im Fall C am Modell qualifizierter Facharbeit festhalten.

In diesem Betrieb, der als Vorreiter beim Einsatz digitaler Tools gelten kann, wird zugleich deutlich, dass die neuen Technologien im Sinne einer Assistenzlogik geplant und eingesetzt werden. Den Facharbeitern werden zusätzliche Informationen zur Verfügung gestellt, Papier spielt sowohl bei der Auftragsverfolgung als auch bei der Programmierung und Teilebearbeitung (Konstruktionsdaten sind mittlerweile digital in 3D verfügbar und nicht mehr als Zeichnung) aber eine immer geringere Rolle. Aus Sicht der betrieblichen Verantwortlichen führt dies jedoch nicht zu sinkenden Qualifikationsanforderungen oder eingeschränkten Handlungsspielräumen in der Fertigung. Zerspanungstypisches Fach- und Erfahrungswissen spielen nach wie vor eine wichtige Rolle, zudem werden parallel zur fundierten breit angelegten Erstausbildung ergänzende Qualifizierungsangebote vorgehalten.

Im Betrieb C wie in fast allen Betrieben unseres Samples gilt der Befund hoher Kontinuität in der Teilefertigung auch in personeller Hinsicht. Der Einstieg als Auszubildender ist personalpolitisch nach wie vor der Regelfall. Eine fachlich hochwertige Erstausbildung, bei der die Auszubildenden frühzeitig an reale Produktionsprozesse und Werkstattsituationen her-

angeführt werden und sich in ihnen bewähren müssen, weit verbreitet. Und eine duale Berufsausbildung bleibt zudem eine Ausgangsposition für innerbetriebliche, durch berufliche Fortbildungen begleitete Aufstiege, die in kleinen und mittleren Betrieben auch gegenwärtig noch bis in Entwicklungs- und Planungsbereiche oder in Leitungsfunktionen einmünden können.

Ein erhebliches Maß an Skepsis besteht in den Teilefertigungen der von uns untersuchten Maschinenbaubetriebe nach wie vor beim Thema Automatisierung sowie bezogen auf den breitflächigen Einsatz von Robotern – im Fall I wurde der Einsatz von Leichtbaurobotern in den Montagen erprobt (und wieder verworfen), für die Teilefertigung wird er bis auf Weiteres ausgeschlossen. Aus Sicht der betrieblichen Praktiker sprechen vor allem produktionsstrukturelle Gründe geringer Seriengrößen, hoher Flexibilitätsanforderungen und das sich wandelnde Teilespektrum gegen eine Hochtechnisierung – die zudem erhebliche Investitionsmittel binden würde.

„Digitalisierung ist etwas, das machen wir, seit der erste Computer erfunden worden ist. Immer wieder werden projektweise einzelne Geschäftsprozesse digitalisiert. Sinnvoll ist es immer da, wo der Wiederholcharakter einer Tätigkeit gegeben ist. Wenn man sich die Wertschöpfung anschaut, dann ist der Wiederholcharakter bei und im Maschinenbau außerordentlich gering. Wir reden über Maschinen, die wirklich in guten Serien laufen bei uns, die brauchen wir 250 Mal im Jahr. Es gibt Maschinen, die sind außerordentlich kompliziert, die laufen zehn oder fünf Mal im Jahr, dazu noch mit sporadischen Bedarfen. Das heißt, man weiß am Anfang eines Jahres nicht, ob das jetzt ein Jahr wird, wo es acht Mal läuft oder zweimal. Das sind Maschinensysteme, wo auch die Fertigungsdokumentation stark vom Expertenwissen des Facharbeiters abhängt, weil man sich eben für zwei oder fünf Wiederholungen keinen Ingenieur leistet, der ein dreivierteljahr lang eine Dokumentation erstellt. Es gibt Bereiche, wo wir mehr mit Seriencharakter fertigen: zum Beispiel bei Ersatzteilen oder Zubehöerteilen, da machen wir auch mal mehrere tausend im Jahr. Da sind wir in der Prozessdigitalisierung, in der Datensammlung auch besser. Da wird mehr automatisiert. Die wirklichen Wiederholungsprozesse haben wir aber nicht in der Wertschöpfung, sondern in der Auftragsabwicklung, also in der Angebotserstellung, in der Auftragswandlung, in der Bearbeitung von Rechnungen, in der Bearbeitung von Angebotsbestätigungen von Lieferanten.“ (F1: 7)

Von den klassischen Maschinenbaubetrieben unseres Samples wäre ein deutlich höherer Automatisierungsgrad am ehesten im Fall A zu erwarten. Auch hier belässt man es bisher jedoch bei punktuellen Verkettungen von Einzelmaschinen. Stärker verbreitet sind automatisierte Produktionslinien hingegen bei den Herstellern von Automatisierungstechnik

(Fälle G und M), die durch erhebliche höhere Seriengrößen, leichter handhabbare Teile sowie modular aufgebaute Produkte gekennzeichnet sind. Am Fall M, der zugleich ein typischer Industrie 4.0-Anbieter ist, wird dabei deutlich, dass der Sprung in Richtung Hochautomatisierung sowohl in arbeitsstruktureller als auch in personeller Hinsicht eher zu einer weiteren Stabilisierung des maschinenbautypischen Pfades qualifizierter Facharbeit führt. Für die Verantwortlichen steht außer Frage, dass die Systembetreuung nur von einschlägig qualifizierten, mechatronisch ausgebildeten Fachkräften oder einem teamförmigen Mix unterschiedlicher Berufsgruppen geleistet werden kann. Die Beschäftigten selbst betonen ebenfalls die hohen fachlichen Anforderungen, begrüßen die beruflichen Herausforderungen ihrer Tätigkeit und heben die beruflichen Entwicklungsmöglichkeiten hervor, die sich ihnen an den modernen automatisierten Anlagen bieten.

Über fast alle Betriebe hinweg haben wir in den Teilefertigungen nicht nur ein hohes Maß an Kontinuität angetroffen, die große Mehrzahl der befragten Experten geht zudem davon aus, dass sich an diesem Bild auf absehbare auch nichts ändern dürfte. Bedingt durch den technologischen Wandel erweitern sich die Möglichkeiten und es findet eine kontinuierliche Modernisierung statt, die heute vor allem Digitalisierung bedeutet. Substantiell veränderte Anforderungen für die in der Teilefertigung eingesetzten Beschäftigten gehen hiermit jedoch nicht einher.

„Es gibt natürlich immer Änderungen insbesondere, wenn es Investitionen gibt, wie neue Maschinen und neue Prozesse. Dann ist es natürlich so, dass die neuen Maschinen mit Netzwerkzugängen ausgestattet sind, dass ich diese Prozesse von CAD bis auf die Maschine voll digital durchführen kann, ohne mit einem USB Stick durch die Halle laufen zu müssen. Ich glaube aber, dass die wirkliche Veränderung im Arbeitsumfeld für die Leute in der Teilfertigung nicht dramatisch ist. Die arbeiten im Wesentlichen seit 20 oder 25 Jahren nach ähnlichen Prinzipien. Die größeren Veränderungen kommen wirklich daher, dass die Maschinen heute mehr Möglichkeiten haben, schneller fahren. Dass ich eben schlicht durch den Maschinenbau heute mit ganz anderen Vorschüben fahren kann als früher. Das kommt nicht aus der Prozesskette der Datenverarbeitung, sondern daher, dass die Maschinen in ihrer Leistungsfähigkeit irre Leistungssprünge hingelegt haben. Die Werkzeuge auch. [...] Das [die Tätigkeiten] machen nach wie vor die Industriemechaniker, die wir selber ausbilden. Die haben halt früher sehr viel an manuellen Maschinen gelernt und gearbeitet. Mittlerweile ist der Anteil an CNC in der Ausbildung sehr viel höher und im Werk arbeiten wir quasi gar nicht mehr mit manuellen Maschinen, schon seit Jahren nicht. Aber deswegen hat sich das generelle Anforderungsprofil nicht geändert. Die

Ausbildung hat sich ja auch weiterentwickelt. Das, was der Industriemechaniker bei uns heute lernt, braucht er im Werk auch.“ (F1: 18)

IV.2.1 Autonome Systeme in der Mechanischen Fertigung

Auch in der Mechanischen Fertigung gibt es jedoch Ausnahmen von dem bisher skizzierten Bild hoher Kontinuität in den Anforderungen und der Einschätzung weitgehender Stabilität des Facharbeitsprofils. Eine Ausnahme ist der Spezialmaschinenhersteller J, der mittels digitaler Technologien intensiv an der Autonomisierung der Bearbeitungsprozesse in der Teilefertigung arbeitet und auf dieser Basis dabei ist, ein Geschäftsmodell zu entwickeln, bei dem die in der eigenen Fertigung entwickelten Lösungen auch extern vermarktet werden sollen. Im Mittelpunkt stehen dabei selbst entwickelte Softwarelösungen in Kombination mit einer sensorischen Überwachung von Bearbeitungsmaschinen, eine durchgängige CAD/CAM-Anbindung und Dokumentation von Programmoptimierungen, der Einsatz von Smartwatches zur Maschinenüberwachung und neuerdings ein probeweiser Einsatz eines Leichtbauroboters für Be- und Entladevorgänge, der – zumindest phasenweise – eine komplett werkerlose Fahrweise ermöglichen soll. Nur in diesem Fall J ging einer unserer Gesprächspartner so weit, dass er langfristig eine deutliche Abkehr von Facharbeit im Umfeld der Anlagen für möglich oder zumindest nicht für ausgeschlossen hält. Gegenwärtig spielen qualifizierte Facharbeiter in der derzeitigen Teilefertigung des Betriebs J sowie in der zukünftigen Personalplanung aber nach wie vor eine wichtige Rolle. Erstmals kommen jedoch einzelne Angelernte – auch hier derzeit aber nur ergänzend wie im Betrieb C – zum Einsatz und werden vor allem als Option für den Fall sich verschärfender Rekrutierungsprobleme betrachtet. Im Kern geht es in diesem Betrieb um eine Erweiterung des eigenen Geschäftsmodells und das Ausloten des technisch Machbaren. Neben den erweiterten Fähigkeiten der Prozessüberwachung und Prozessbeherrschung ist die Möglichkeit, weniger qualifiziertes Personal einsetzen zu können, in diesem Fall zudem ein Verkaufsargument. Ähnlich wie in den Diskussionen früherer Jahrzehnte erscheint die Erosion von Facharbeit hierdurch aber nicht mehr ausgeschlossen – auch wenn der kaufmännische Leiter und Treiber des Konzeptes einer weitreichenden Autonomisierung der Teilefertigung der einzige von uns befragte Experte war, der von Abkehr vom Facharbeitermodell für wahrscheinlich hält.

„Was wir vorhin gesehen haben im Bereich Zerspanung, da werde ich weiterhin Facharbeiter brauchen, aber vielleicht einen auf fünf oder einen auf sechs, zehn. [Warum?] Weil das System das übernimmt. Ich brauche keinen mehr der die Erfahrung hat. Ich brauche eigentlich nur noch einen einzigen, der einmalig mit dem

System zusammen die Abläufe klar definiert, Aufspannungen vorbereitet und für alles andere brauche ich keine gelernte Kraft. [...] Für mich ist das der Weg. Es hat bei uns nicht zu Personaleinsparungen geführt und wird auch nicht dazu führen. Bisher ist es so, weil wir auch ein Entwicklungsunternehmen sind, dass wir immer versuchen die besten Leute zu bekommen. Wenn es jetzt aber um den Bereich Fertigung geht, dann sehe ich das auf Dauer anders, wenn ich kein Unternehmen bin, das selber entwickelt.“ (J1: 9f)

Der an den Bearbeitungsmaschinen eingesetzte Facharbeiter sah im Interview in der technologischen Entwicklung bisher keine Bedrohung, sondern erlebte seine Mitarbeit an der Systementwicklung und seine Mitgestaltungsmöglichkeiten als Bereicherung seiner Tätigkeit. Das neue System bietet aus seiner Sicht eine ganze Reihe von Vorteilen: Information sind schnell und gesichert verfügbar und müssen nicht mehr langwierig zusammengesucht werden und die sensorische Überwachung erlaubt größere Bewegungsfreiheit. Beim Rauchen genügt ein Blick auf die Smartwatch, um sicher zu sein, dass die Bearbeitung problemlos läuft.

Trotz einzelner Beispiele spricht unseren Fallstudien zufolge gegenwärtig aber dennoch wenig dafür, dass die schrittweise Perfektionierung von Überwachungs- und Steuerungstechnologien oder die zunehmende Vernetzung und Integration von Datenbeständen und -strömen zu einer Abkehr vom nach wie vor dominanten Arbeits- und Personalkonzept in den Mechanischen Fertigungen führen wird. Die Anteile angelernter Arbeit könnten zwar steigen, qualifizierte Facharbeit als Basisqualifikation und kompetenzmäßigem Rückgrat dürfte die Mechanischen Fertigungen aber auch zukünftig prägen. Auch wenn die Leistungsfähigkeit der neuen, zunehmend softwaregetriebenen Technologien zunimmt, sprechen Qualitäts-, Flexibilitäts- und Innovationsgesichtspunkte nach wie vor für ein Festhalten an den spezifischen Kompetenzen qualifizierter Arbeitskräfte.

IV.2.2 Umbruch durch Additive Fertigung (3D-Druck)?

Sehr viel stärkere Veränderungen könnten sich für die Mechanische Fertigung allerdings aus einer anderen Richtung ergeben – und zwar dann, wenn Additive Fertigung (3D-Druck) sich verstärkt durchsetzt und spanabhebende Verfahren in stärkerem Maße ersetzt werden. Die Grundprinzipien der Additiven Fertigung sind zwar seit Jahrzehnten bekannt und sie ist in bestimmten Bereichen wie dem Prototypen-/Modellbau (*rapid prototyping*) längst im Einsatz. Gegenwärtig erfährt Additive Fertigung jedoch erhöhte Aufmerksamkeit.

Bei der Additiven Fertigung, die ursprünglich als 3D-Druck bekannt geworden ist, handelt es sich um eine neue, digital gestützte Technologie, die in den letzten Jahren in der industriellen Fertigung von Kunststoff- und Metallteilen zum Einsatz kommt und im Verdacht

steht, traditionelle Verfahren breitflächig ablösen und so das Gesicht der Fertigung radikal verändern zu können. Für die Arbeit in diesem gewichtigen Teil industrieller Produktion könnte eine solche Entwicklung gravierende Folgen haben. Wir skizzieren im Folgenden kurz die Besonderheiten dieser neuen Technologie, gehen dann auf Strategie und Reichweite ihres Einsatzes im niedersächsischen Maschinenbau ein und diskutieren schließlich an einem Fallbeispiel aus einem maschinenbaunahen Feld neue Produktionskonzepte bei der Anwendung der Additiven Fertigung. Hierbei werden dann auch Veränderungen der betrieblichen Personalkonzepte behandelt.

Ausgangspunkt: Additive Fertigung als radikale Innovation

Die Additive Fertigung ist eine genuin digitale Technologie, die seit den 1980er Jahren in der Konvergenz von digitalem Design, computerisierter Maschinensteuerung, Informationstechnologie und neuen Materialien entstanden ist. Es geht um ein neues professionelles Fertigungsverfahren, mit dem auf der Basis von Konstruktionsdaten verschiedene Stoffe Schicht für Schicht „additiv“ verschmolzen und so CAD-Daten direkt in dreidimensionale Teile umgesetzt werden⁵. Bei diesem Verfahren werden die im Produktdesign erzeugten digitalen Geometriedaten direkt umgesetzt in Programmdateien zur Steuerung des Herstellverfahrens – also in die Steuerung des Druckers, der Schicht für Schicht aus meist pulverförmigen Stoffen das Produkt entstehen lässt. Die CAD/CAM-Kopplung ist hier weitreichend realisiert.

Digitalisierung tritt hier in der Form einer radikalen Innovation auf. Hier werden nicht etwa bekannte Verfahren der Teilefertigung (etwa der spanabhebenden mechanischen Bearbeitung oder des Spritzgießens) durch den Einsatz digitaler Technologien (etwa zur Steuerung von maschinellen Bearbeitungsprozessen) verbessert, sondern hier kommt ein ganz neues Fertigungsverfahren zur Anwendung, das sich wesentlich auf digitale Daten stützt und auch erst durch Digitalisierung möglich wurde. Ohne Digitalisierung kein 3D Druck. Es geht hier also nicht um klassische Rationalisierung (im Sinne der inkrementellen oder auch sprunghaften Verbesserung von bekannten Verfahren), sondern um eine digital begründete produktionstechnische Basisinnovation.

Attraktiv ist die Additive Fertigung vor allem aus zwei Gründen. Indem sie Produkte Schicht für Schicht aufwachsen lässt, entlastet sie die Anforderungen an fertigungsgerechte Konstruktion – Produktkomplexität schlägt weniger restriktiv auf die Entwicklung durch. Mit additiven Fertigungsverfahren lassen sich Geometrien herstellen, die mit anderen Ver-

⁵ Die am weitesten verbreitete Variante ist das Laserschmelzverfahren von pulverförmigen Eingangsstoffen. Es gibt andere Verfahren, und es gibt Varianz auch bei den verwendeten Materialien: neben Metallen wie Titan oder Aluminium kommen hier auch Polymere und diverse Legierungen zum Einsatz. (VDMA 2018)

fahren nicht darstellbar sind. Das Verfahren erlaubt die Darstellung von komplizierten Geometrien in einem Teil („völlig neue Konstruktionen“ (H5: 7)), was nicht nur Montageprozesse erübrigt und eine erhöhte Stabilität der integrierten Teile gegenüber den vorher montierten Komponenten schafft, sondern auch Gewicht sparen hilft und vordem nicht erreichbare Produkteigenschaften realisierbar macht. Im Untersuchungsbetrieb H experimentierte man beispielsweise mit der additiven Fertigung eines komplexen Teils, das einen bis dahin aus 90 Einzelteilen montierten Vorgänger ablösen sollte.

Zum anderen ist die Technologie hoch flexibel. Additive Fertigung arbeitet ohne Einsatz von Werkzeugen wie etwa bei der („subtraktiven“) spanenden Metallbearbeitung und ohne Einsatz von Formen wie etwa beim Spritzgießen – 3D-Drucker müssen bei Produktwechsel nicht aufwändig umgerüstet werden. So werden Produktwechsel oder kundenspezifische Variationen eines Produkts ohne Zeitverlust für Werkzeugwechsel möglich, allein durch Änderungen in der Steuerdatei. Additive Fertigung, so lautet das „Technologieversprechen“ (Hirsch-Kreinsen 2016), könne die Vorteile der Massenproduktion (*economies of scale*) mit den Vorteilen der Einzelfertigung (kundenindividuelle Lösungen) versöhnen: Produktwechsel oder kundenspezifische Variationen eines Produkts seien ohne Zeitverlust möglich, verschiedene Produkte könnten in chaotischer Folge reibungslos auf einem Drucker gefertigt werden. Additive Fertigung gilt als Beispiel für *mass customization*, die Herstellung individualisierter Produkte in Serie. Freilich wurden auch Nachteile dieser Technologie früh benannt: insbesondere die geringe Fertigungsgeschwindigkeit, die eingeschränkte Materialauswahl, mangelnde Oberflächenqualitäten, unsichere Bauteilqualitäten. (Ehrenberg-Silies 2015; Deutscher Bundestag 2017)

Anfangs wurde dem 3D-Druck eine große Zukunft auf dem Markt für private Anwender prophezeit: Jeder druckt sich selber was er braucht. Auf diesem Markt, so viel ist heute sichtbar, bleibt die tatsächliche Entwicklung hinter den Erwartungen zurück. Stattdessen hat der 3D-Druck für industrielle Anwendungen an Attraktivität gewonnen. Bevorzugte Anwendungsfelder liegen bislang in der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrtindustrie, zunehmend in der Automobilindustrie und punktuell auch im Maschinenbau. (VDMA 2018)

Additive Serienfertigung im Maschinenbau: Einsatzstrategie und Reichweite

Für die niedersächsischen Maschinenbauer, so zeigen unsere Recherchen, ist additive Fertigung ein Thema: Alle Betriebe informieren sich über diese Technologie und ihre Möglichkeiten, etliche setzen additiv gefertigte Teile in ihren Produkten ein, viele beobachten die Entwicklung des Angebots an Hard- und Software und einige haben auch bereits Drucker im Einsatz. In den Produktionshallen allerdings zählen 3D-Drucker bisher nicht zur selbst-

verständlichen Ausstattung. Eine (gelegentlich prognostizierte) Ablösung traditioneller branchentypischer Verfahren der Teilefertigung, insbesondere der diversen subtraktiven Verfahren in der mechanischen Bearbeitung (Fräsen, Drehen, Schleifen, Bohren etc.) ist damit zwar nicht auszuschließen, aber sie ist bisher nicht sichtbar. Wir sind bei unseren Recherchen nicht auf Betriebe gestoßen, in denen dies breit geplant wäre oder bereits umgesetzt würde. Insofern bestätigen unsere Recherchen den Befund einer IMU-Studie in typischen Teilbranchen des deutschen Maschinenbaus: „Bei den eigenen Produktionsprozessen spielt Additive Manufacturing bisher keine Rolle im Maschinen- und Anlagenbau“ (Dispan/Schwarz-Kocher 2018: 35).

Außerhalb der Produktionshallen stellt sich das anders dar, vor allem in jenen betrieblichen Bereichen, die mit der Produktentwicklung befasst sind. Dort findet sich der ein oder andere Drucker, der bei Bedarf für den Bau von Mustern und Prototypen eingesetzt wird. Dabei hat dieser Einsatz einen oft auch explorativen Charakter: Es geht um das Kennenlernen und Erproben einer neuen Technologie, um Erfahrungen zu sammeln und eine bessere Entscheidungsgrundlage zu schaffen, wo und in welchem Maße sie für einen regelmäßigen Einsatz auch in der Fertigung oder im Service (Ersatzteile) infrage kommen könnte.

Die Frage eines breitflächigen Einsatzes von 3D-Druck ist in den Kernbereichen des niedersächsischen Maschinenbaus noch offen. Insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen, die das Gros der Branche ausmachen, zögern. Ihnen erscheint die Anschaffung riskant, da die Einstandskosten hoch sind, weder der Technologiepfad noch die vielversprechenden Anwendungsfelder in der recht hohen Entwicklungsdynamik gut auszumachen sind und ihnen ein wirtschaftlicher Einsatz in der eigenen Produktion nicht gegeben oder zweifelhaft zu sein scheint. Allzu viel erscheint ihnen noch im Fluss zu sein.

In Randbereichen der Branche und in maschinenbaunahen Industriefeldern hingegen stellt sich das teilweise anders dar. Hier gibt es Beispiele für den Einstieg in einen breitflächigen Einsatz, der andere Technologien nicht komplett ablöst, aber tendenziell doch neben sie tritt und so Einzug ins Technologie-Portfolio findet. Dies zeichnet sich insbesondere für Felder ab, in denen, wie im Flugzeugbau, die Vorteile dieser Technologie, was die konstruktiven Spielräume und insbesondere die Gewichtsreduktion angeht, zum Tragen kommen.

Anfangs galt der 3D-Druck als eine dezentrale Technologie, die nicht nur den privaten Kunden befähigen sollte, diverse Dinge für den eigenen Bedarf zu drucken, sondern auch in der industriellen Anwendung die bedarfsgerechte, spontane Fertigung von Mustern, Prototypen oder Ersatzteilen ermöglichen sollte. Mittlerweile zeigen die Verwendungszusammenhänge dieser Technologie einen deutlichen Wandel. Wenn es um industrielle Anwen-

dungen geht, dann ist mittlerweile nicht mehr nur vom dezentral betriebenen 3D-Drucker im Prototypen- und Musterbau die Rede, sondern immer häufiger von 3D-Druck-Fabriken mit vielen Dutzend Anlagen für die Additive Fertigung im großen Stil – für die flexible Serienfertigung.

Additive Fertigung als flexible Serienfertigung – Herausforderungen für betriebliche Personalpolitik

Für dieses Konzept steht in unserem Sample der Fall H, ein Zulieferer von Teilen und Komponenten vorwiegend für den Flugzeugbau, der neben der spanenden Bearbeitung in die Additive Fertigung eingestiegen ist. Zum Zeitpunkt unserer Recherche im Sommer 2018 beschäftigt man sich seit zwei Jahren mit dieser Technologie, hat sie in kleinerem Maßstab erprobt und betreibt nun den Einstieg in die nächste Generation, die fabrikmäßige additive Fertigung. Zu diesem Zweck installiert der Betrieb zunächst eine Pilotlinie zur Entwicklung serienfertigungstauglicher Prozesse. Die verfügbaren Maschinen sind häufig nicht auf Serienfertigung ausgelegt, „das sind immer noch Labormaschinen, die Prozesse sind zu langsam, nicht robust, nicht ausgereizt“ (H5: 5). Noch besteht die Aufgabe darin, gemeinsam mit einem Anlagenhersteller und einem serienfertigungserfahrenen Industriepartner aus der Automobilindustrie die Prozesse zu industrialisieren, sie auf Zuverlässigkeit und Durchsatz zu trimmen. Thema ist dabei auch die Gestaltung von Arbeitsprozessen: Wie bündelt man die Aufgaben zu Arbeitsplätzen, mit welchen Tätigkeits- und Qualifikationsprofilen?

Das ursprüngliche Personalkonzept sah für die Additive Fertigung angeleitete Bediener vor. Die Anforderungsprofile, davon ging man anfangs aus, würden den Einsatz von Fachkräften in der Fertigung nicht hergeben. Der Betriebsrat, der auf der Suche nach Beschäftigungssicherung am Standort die Idee einer Additiven Fertigung ins Spiel gebracht hatte, ist entsetzt, dass „man sagt, ihr macht nur noch die Maschine sauber und bedient sie“. (H4: 7) Zwei Jahre später, im Sommer 2018, hat sich das Personalkonzept gründlich verändert: Für die Anlagenbetreuung setzt man nun auf Facharbeiter.

Hinter diesem Konzeptwechsel steckt, das wollen wir im Folgenden zeigen, ein doppelter Lernprozess. Das ursprünglich vorgesehene Personalkonzept, dieser Eindruck drängt sich den betrieblichen Akteuren immer mehr auf, beruht auf einem Produktionskonzept, das im Zuge der praktischen Annäherung an die neue Technologie fragwürdig wird. Erstens stellt sich heraus, dass die zur Erreichung der gesteckten Ziele erforderliche Auslegung der Anlage umfangreicher ausfällt als ursprünglich vorgesehen – die technologische Komplexität und Diversität der Anlage steigt. Zweitens erweist sich die Additive Fertigung als deutlich betreuungsintensiver als gedacht.

Die Auslegung der Additiven Fertigungsanlage im Untersuchungsbetrieb war anfangs überaus schmal gedacht. Der Anlagenkern, der Drucker, sollte, das stand von Anfang an wie selbstverständlich fest, im eigenen Haus angesiedelt werden. Für die Lokalisierung der sogenannten peripheren Aktivitäten galt das allerdings nicht. Spannende Nachbearbeitung, Oberflächenbehandlung, Wärmebehandlung, Inspektionsprozesse, Abtrennen der für Nachbearbeitungsprozesse (Aufnahmen für Spannmittel) mitgefertigten Produktteile galten zunächst nicht als Kernkompetenz und wurden in der Testphase an externe Dienstleister vergeben. Dieses Outsourcing war als Dauerlösung geplant. Umfang und Bedeutung dieser nachfolgenden Fertigungsschritte gerieten allerdings erst nach und nach ins Blickfeld. Dass es für Produkte, die in Qualität, Verfügbarkeit, Kosten für die hohen Ansprüche des Flugzeugbaus, der Premium-Autoproduktion oder ähnlicher Bereiche im Maschinenbau geeignet sind, mehr bedarf als nur der Beherrschung des 3D-Drucks, wurde immer klarer. Die erforderlichen Neben- und dem 3D-Drucken nachgelagerten Prozesse an externe Fertigungsdienstleister outzusourcen, war – insbesondere bei einem strategischen Projekt – mit großen Risiken verbunden. Nachgelagerte Prozesse erwiesen sich als unerwartet kritisch für das Gesamtergebnis. Auch zeigte sich, dass ein Outsourcing von Nachbearbeitungsschritten (Oberflächenbearbeitung, Wärmebehandlung, Inspektion und Qualitätsprüfung, Drahterodieren) Durchlaufzeiten von 90 bis 120 Tagen zur Folge hatte. Damit waren die möglichen Vorteile einer additiven Fertigung, flexibel „on demand“ produzieren und Lager- und Logistikzeiten und -kosten minimieren zu können, verschenkt. Zudem wurde sichtbar, dass eine derart fragmentierte Wertschöpfungskette mit erheblichen Risiken für die Produktqualität sowie schwierigen Abstimmungsprozessen über Unternehmensgrenzen hinweg verbunden ist. Das macht sich insbesondere dann nachteilig bemerkbar, wenn bei einer noch jungen Technologie die Prozesskette noch instabil ist und Optimierungen der Abstimmung zwischen den Prozessschritten bedürfen.

Das Additive Drucken erweist sich, so stellen die Beteiligten in der Testphase fest, als unerwartet betreuungsintensiv und interventionsbedürftig. Die Vorstellung, dass dieser digital gesteuerte, werkzeuglose Prozess selbsttätig und zuverlässig Produkte von gleichmäßig hoher Qualität hervorbringt, ist realitätsfern. So hat dieses Verfahren zwar Vorteile gegenüber traditionellen Verfahren der mechanischen Fertigung, aber beim vorherrschenden Verfahren des Laserschmelzens, so zeigt die Erfahrung, führen baugleiche Maschinen zu unterschiedlichen Resultaten. Hier müsse mit einem guten Schuss Erfahrungswissen nachgeregelt werden, das lasse sich „nicht allein in Nullen und Einsen fassen“ (H5: 6). Zudem seien nicht alle Einflussfaktoren, so der Meister der Pilotanlage, so stabil, wie es für eine hohe automatische Reproduzierbarkeit von Qualität erforderlich wäre. Beispielsweise seien die eingesetzten Materialien in ihrer Beschaffenheit nicht so stabil wie erwartet. Hier bestehe eine nicht antizipierbare Varianz von Charge zu Charge. Um die Produktqualität

stabil zu halten und bei (drohenden) Abweichungen kompetent intervenieren zu können, hat man in Anlagennähe ein Labor eingerichtet, das schnelle Analysen ermöglicht und hilft, schnelles, informiertes und kompetentes Intervenieren tätigen zu können. Hier sind kurze Rückkopplungsschleifen eine kritische Ressource.

Als Konsequenz dieser Erfahrungen wurde das Produktionskonzept für eine (flexible) Serienfertigung radikal verändert. Um Qualität, Kosten und Lieferfähigkeit in den Griff zu bekommen, wird das Outsourcing von Prozessschritten zurückgenommen und alle Fertigungsschritte an einem Ort gebündelt. Mit dem Druckprozess werden nun auch die nachgeordneten Prozessschritte im eigenen Haus installiert und zu komplexen Produktionssystemen zusammengefasst. Die einzelnen Fertigungsschritte sind ebenso automatisiert wie Handlings und Transporte von Station zu Station (Roboter, FTS). Es verbleiben nur, von der Linie entkoppelt, wenige Rüst- und Packoperationen.

Die Anforderungen an ein Personalkonzept sind hoch. Kritisch für einen wirtschaftlichen Betrieb sind hohe Anlagenverfügbarkeit und Qualität, die bei solch komplexen, hoch automatisierten und verketteten Produktionssystemen immer gefährdet sind und von der Anlagenbesetzung gewährleistet werden müssen. Diese Produktionssysteme sind anfällig, und ihre Verfügbarkeit muss daher immer wieder hergestellt werden: durch schnelle Reaktion auf (sich anbahnende) Störungen, durch präventives Handeln, durch Störungsanalyse und Umsetzung in Prozessstabilisierung und Anlagenoptimierung. Dieses Bündel von Anforderungen verlangt eine fachlich versierte anlagennahe Betreuung. Datenanalysen aus dem laufenden Anlagenbetrieb seien dabei hilfreich, reichten allein aber nicht aus, so ein Servicetechniker des Anlagenherstellers.

Die Erfahrungen im Testbetrieb haben, wie oben gesagt, Konsequenzen für das Personalkonzept, das in der Pilotphase noch verfeinert wird, in seinen Grundzügen aber bereits feststeht. Mit angelernten Mitarbeitern ohne Berufsausbildung werde man nicht hinkommen, angesichts der nun sichtbar gewordenen Anforderungsprofile laufe es auf Facharbeiter hinaus. Auch der Leiter der im Aufbau befindlichen Produktionsabteilung Additive Fertigung, ein erfahrener Meister aus der Mechanischen Fertigung, ändert seine Meinung: „Ich habe früher nicht geglaubt, dass es ein Facharbeiter ist.“ (H5: 6) Nach anderthalbjähriger Erfahrung aber und angesichts des in dieser Zeit entwickelten Produktionskonzepts, ist er sich sicher, dass die Bedienung von 3D-Druckanlagen mit allen neben- und nachgeordneten Prozessen eine Fachausbildung erfordere, „das wird ein Beruf sein“. (H5: 7)

Bei den Unternehmen, die eine Additive Fertigung in größerem Maßstab (Serienfertigung) betreiben (wollen), setze sich diese Einschätzung immer stärker durch, allerdings sei ein einschlägiger Ausbildungsberuf für die Bediener/Betreuer/Operator noch nicht in Sicht. So

müsse man sich vorerst mit Facharbeitern aus anderen Berufen behelfen. Allerdings ist man sich noch nicht sicher, auf welche Fachrichtungen man dabei zurückgreifen will. Im Gespräch sind „Zerspaner“ ebenso wie etwa der „Produktionstechnologe“, auch der „Wärmetechniker“ oder der „Chemikant“ käme eventuell infrage. In jedem Fall aber sei es dringend erforderlich, das Profil der Ausgewählten dann mit Weiterbildungen im eigenen Haus und bei Anlagenherstellern oder Ausbildungsinstitutionen zu erweitern. Hier müssen die Betriebe improvisieren und viel Eigeninitiative entwickeln, um Fachkräfte für die Additive Fertigung zu formen. Denn die Kluft zwischen den Anforderungen der industriellen Praxis, die sich mit dem Übergang zur Additiven Serienfertigung deutlich erhöhen, und verfügbaren Qualifikationen werde größer, weil das Ausbildungssystem sich schwertue, mit dem Tempo der Entwicklung Schritt zu halten.

Die von uns angesprochenen Experten sind sich einig: Vielleicht habe man in den Anfängen des 3D-Drucks noch mit einem gewissen Recht glauben können, für die Bedienung der Anlagen auf gering qualifizierte Anlernkräfte setzen zu können. Die Anlagenkomplexität war vergleichsweise gering, der Druckprozess galt als stabil, die selten zu erwartenden Störungen würden sich auf nachfolgende Prozesse kaum auswirken können, sodass Interventionen nicht zeitkritisch wären und man auf externe Spezialisten bauen könne. Insgesamt waren die Anforderungen an Auslastung und „return on invest“ noch vergleichsweise überschaubar. Wenn sich allerdings das Produktionskonzept der industriellen Serienfertigung durchsetzt, wie es sich aktuell andeute, könne man auf Facharbeiter mit passendem Qualifikationsprofil nicht verzichten. Nur mit einschlägig ausgebildeten Fachkräften in der Fertigung ließe sich zuverlässig das geforderte Niveau in der Optimierung der Anlage, ihrer Verfügbarkeit und Auslastung, bei den Kosten und der Fertigungsqualität erzielen.

Zu bedenken ist dabei auch, dass die Technologie der Additiven Fertigung noch sehr lebendig ist. Sie ist noch nicht so ausgeschöpft wie andere Verfahren, die langjährig erprobt und deren Potentiale ausgereizt sind und die deshalb leichter beherrschbar sind. Veränderungen und Experimente sind hier relativ häufig, da sie Leistungssteigerungen bewirken. Für diese brauche man allerdings „Intelligenz vor Ort“ (H5: 7) – Fachkräfte, die informiert und kompetent mit externen Technikern und Ingenieuren zusammenarbeiten können. Die Erwartung, dass nach Abschluss der Industrialisierung der Additiven Serienfertigung der Technologiepfad so klar definiert ist, dass man die „Intelligenz“ abziehen kann, teilen die Experten nicht. Dafür sei die Technologie zu jung. Man würde das Erproben und Ausreizen von Entwicklungsmöglichkeiten gefährden, wenn man die Fachkräfte vor Ort zu knapp bemesse.

Als *Fazit* lässt sich festhalten, dass eine vom 3D-Druck ausgehende „Revolution der Fertigung“ (Ehrenberg-Silies 2015: 43) im Maschinenbau und maschinenbaunahen Industriebe-

reichen bisher ausgeblieben und aktuell auch nicht absehbar ist. Vorwiegend wird diese Technologie nach wie vor dezentral fürs *rapid prototyping* eingesetzt, allerdings gibt es Hinweise darauf, dass eine Einsatzform der flexiblen Serienfertigung an Boden gewinnen könnte. Die Massenfertigung von Standardteilen wird absehbar die Domäne traditioneller Fertigungsverfahren bleiben, im *medium volume/high mix*-Bereich werden Additive Fertigungsverfahren allerdings insbesondere dann interessant, wenn besondere Anforderungen ins Spiel kommen: etwa komplexe, konstruktiv komplizierte Teile in Leichtbauweise. Diese Einsatzform digitaler Technologie hat wenig Triviales, mit angelernten Arbeitskräften ist hier, anders als gelegentlich erwartet, wenig zu gewinnen. Ein Blick auf die laufende Industrialisierung der Technologie für derartige Anwendungen zeigt für den Personaleinsatz einen Bedarf an Fachkräften für die Betreuung von komplexen, hoch automatisierten Anlagen mit beträchtlichem Technologiemix. Das Anforderungsprofil dieser Beschäftigten ist aber erst noch genauer zu bestimmen.

IV.3 Digitalisierung in der Montage

Ausgangssituation: Ganzheitliche Facharbeit in automationssperrigen Prozessen

Im traditionellen Maschinenbau ist die Montage, insbesondere die Endmontage jener Bereich der Wertschöpfungskette, in dem die besonderen Orientierungen des deutschen Maschinenbauers durchschlagen und ihr Recht in der Gestaltung der Produktionsstrukturen fordern. Hier, am Ende des Produktionsprozesses, muss das Leitbild des kundenindividuellen Endprodukts oder wenigstens doch der Herstellung branchentypisch kleiner Serien von Qualitätsprodukten in geringen Losgrößen realisiert werden. Auch die zuverlässige Lieferfähigkeit in hoher Qualität muss hier unter Beweis gestellt werden. Entsprechend hoch ist die Varianz der Produktion, entsprechend hoch sind die Anforderungen an die Qualität der Montage und an die zuverlässige Lieferfähigkeit. Hinzu kommt, dass es sich bei den Erzeugnissen des Maschinenbaus – anders als in weiten Teilen der Elektronikindustrie – um „integrierte Produkte“ handelt, für die komplizierte Montage- und Prüfprozesse typisch sind (Ulrich 1995, Baldwin/Clark 2000). Im Ergebnis insbesondere von hoher Variantenvielfalt und anspruchsvoller Produktarchitektur bleibt die Endmontage im Maschinenbau typischerweise recht automationssperrig, daran haben auch punktuell erfolgreichen Bemühungen um Modularisierung und Baukastensysteme in der Produktgestaltung (Dispan 2016, Schuh/Riesener 2017) im Grundsatz wenig geändert.

Als Organisationsprinzip vorherrschend war lange und ist in etlichen Bereichen nach wie vor die Platzmontage, bei der der Monteur die Komplettmontage beherrscht und auch für den Großteil der Beschaffung und Bereitstellung von Teilen zuständig ist. Häufig ent-

wickelt sich in diesem Regime eine ´naturwüchsige´ Bevorratung und Zwischenlagerung von Teilen und Baugruppen am Montageplatz oder in der Halle, daher ist in diesen Fällen der Eindruck einer gewissen Unübersichtlichkeit nicht selten.

In dieser Organisationsstruktur werden vorherrschend Facharbeiter mit ganzheitlichem Aufgabenzuschnitt eingesetzt, die auf Grund ihrer breiten Kompetenz bei einem bestimmten Maschinentyp teilweise auch in der Außenmontage und/oder im Kundenservice bei Störfällen, größeren Reparaturen oder Überholungen zum Einsatz kommen.

Veränderungsimpulse: Segmentierung, Strukturierung, digitale Assistenzsysteme

Bei den Ansätzen der Betriebe zur Effektivierung der oft noch recht traditionellen Montagebereiche kommen seit einigen Jahren auch digitale Technologien zum Einsatz, allerdings sind sie typischerweise eingebettet in einen breiter gefassten Ansatz zur Reorganisation dieser Bereiche. Zunehmend beobachten wir in den Unternehmen Vorhaben zur Restrukturierung der Montagen, die an Konzepten von *lean production* und ganzheitlichen Produktionssystemen orientiert sind. Hier geht es um die Installation von systematischer Auftragssteuerung, oft im so genannten „Kundentakt“, um eine Optimierung der internen Logistik oder um die Umstellung der Abläufe auf eine Fließmontage, die zunehmend auch getaktet und arbeitsteilig organisiert ist. Zu beobachten sind auch Ansätze einer organisatorischen Trennung von Montageaufgaben und Materialversorgung und der Organisation von Versorgung der Endmontage mit Teilen oder Baugruppen (von externen Zulieferern oder aus eigenen Vormontagebereichen) nach dem *just in time*-Prinzip.

In diesem Zusammenhang greifen Maschinenbau-Betriebe zur Effektivierung ihrer Montageprozesse auch auf neues technologisches Handlungspotential digitaler Art zurück. Zu nennen sind hier Roboter, die nach unseren Betriebsrecherchen allerdings nur bei Schweißoperationen eine nennenswerte Verbreitung finden. Der Einsatz einer neuen Generation von Montagerobotern hingegen, die von Herstellern als taugliche Instrumente flexibler Automation beworben werden, erfolgt im Maschinenbau äußerst zurückhaltend. Sie werden bisher, so zeigen unsere Recherchen, nur vereinzelt angeschafft und dann meist auch nur „zum Ausprobieren“. Etliche Gesprächspartner äußern sich eher enttäuscht über ihre Erfahrungen. Es scheint, dass die Grenzen der Automatisierung im Maschinenbau nicht so leicht zu verschieben sind.

Bevorzugt zum Einsatz kommen digitale Assistenzsysteme, vor allem in der Kommissionierung und *just in time*-Logistik, sowie Produktionssteuerungs- und Informationssysteme, aber auch diese häufig eher noch als Pilotprojekte. Punktuell gibt es Ansätze für den Einsatz von Systemen digitaler Werkerführung.

Arbeitskonzepte und Arbeitsfolgen

In einigen Fällen erfährt die Montagefacharbeit eine Aufwertung durch Konzepte der Spezialisierung und Arbeitsteilung: Durch die Herauslösung von einfachen Tätigkeiten wie Logistikarbeit aus dem ganzheitlichen Profil des Montagefacharbeiters erfährt das Profil eine Aufwertung: der Anteil einfacher Aufgaben sinkt, der Anteil anspruchsvoller Aufgaben steigt. Im Gegenzug entstehen hierbei dann angelernte Logistiktätigkeiten, die im Maschinenbau bisher selten waren. Inwieweit es durch diese Konzentration anspruchsvoller Tätigkeiten bei den Montagefachkräften zu einer Verdichtung der Arbeit kommt, ist offen.

Beim bislang im Maschinenbau noch sehr seltenen *Einsatz digitaler Assistenzsysteme in der manuellen Montage* scheint es verschiedene Strategien zu geben, die in ihren Auswirkungen auf Arbeit sehr unterschiedlich ausfallen und auf die große Bedeutung arbeitspolitischer Leitbilder verweisen. Während im Fall L der Einsatz einer digitalen Werkerführung zur Unterstützung von Montagefachkräften eingesetzt wird, haben wir im Fall A ein Beispiel für eine stärkere Ablaufstandardisierung, eine engere Führung und Kontrolle des Arbeitshandelns angetroffen, um geringer Qualifizierte – Angelernte oder zweijährig ausgebildete Facharbeiter – einzusetzen. Dieses Einsatzmodell zielt auch auf Personalkostensenkung, denn mit dem veränderten Konzept des Personaleinsatzes ist eine deutliche Absenkung der Eingruppierung verbunden: von einer Facharbeiter-Entgeltgruppe auf eine Angelernten-Entgeltgruppe.

Im Fall A ist der Einsatz digitaler Werkerführung in der Montage eingebunden in eine Strategie, sich so weit es geht von vergleichsweise teurer Facharbeit unabhängig zu machen. Dieser Technologieeinsatz ist gebunden an recht weitgehende Voraussetzungen, die sowohl die Produktseite als auch die Gesamtorganisation des Montageprozesses betreffen. Auf der Produktseite strebt das Unternehmen eine Segmentierung des Produktportfolios an: eine Aufteilung in kundenspezifische Produkte einerseits und Standardprodukte andererseits. Dabei stehen die kundenspezifischen Produkte für die traditionelle Marktstrategie des Unternehmens: A „ist ein Unternehmen, das dafür bekannt ist, dass es dem Kunden immer viele Wünsche erfüllt“ (A1: 6), so der Leiter Technologie, zuständig für Produkttechnologie und Produktionstechnologie gleichermaßen. Das Angebot von Standardprodukten hingegen ist für das Unternehmen neu. Es schafft sich einen Produkt-Baukasten, der wenige Grundtypen enthält und die Zahl der Varianten stark beschränkt, indem die variierenden Ausstattungsmerkmale begrenzt und nur in wenigen Bündeln (Merkmalskombinationen) angeboten werden. Vermarktet und verkauft werden Standardprodukte über einen digitalen Konfigurator, der den unternehmenseigenen Vertrieb disziplinieren und die Kundenwünsche auf vorgegebene und preislich attraktive Konfigurationen kanalisieren soll.

Die beiden Produktgruppen werden in strikt getrennten Produktionsbereichen hergestellt, die nach dem Flussprinzip organisiert sind. Dabei geht die Standardisierung der Produkte einher mit einer strikten Neustrukturierung des Montageprozesses. Die Montage der Standardprodukte ist in zwei Abschnitte geteilt, die durch ein Zwischenlager getrennt sind. Im ersten Abschnitt werden an einem Montageband arbeitsteilig an mehreren manuellen Plätzen die Grundtypen in festen Losgrößen montiert. Der Bestand an Grundtypen im Zwischenlager steuert automatisch die Montageaufträge und die Freigabe der typspezifischen Teilesätze, die Versorgung mit Teilen liegt bei Hilfskräften (Kommissionierern).

Die Endmontage der Maschinen erfolgt kundenauftragsbezogen an Arbeitsplätzen, die „nach Prinzipien von lean und Industrie 4.0 völlig neu gestaltet werden sollen“ und zum Zeitpunkt unserer Recherchen an einem Pilotarbeitsplatz erprobt wurden.

„Da wollen wir uns bewusst den Arbeitsplatz hernehmen und den völlig neu organisieren, sodass ich sämtliche Informationen, die ich zur Montage dieses Aggregats benötige, zur Verfügung habe. Wir wollen dafür digitale Visualisierungskonzepte, *pick by light* und *put to light*, oder graphische interaktive Zeichnungen, das setzen wir dann zusammen, dass an dem Arbeitsplatz ein Bildschirm ist. Da steht dann gleichzeitig noch das Drehmoment dran, welches Werkzeug ich brauche – die Werkzeuge sind über eine Tafel an der richtigen Stelle usw. [...] Das ist ein absolutes digitales Werkerführungssystem, das geht aber hauptsächlich nur an Standardarbeitsplätzen. Das kann ich bei kundenauftragspezifischen Aggregaten nicht machen. [...] Aber da geht es schon, weil der Werker da genau gesagt bekommt, welche Teile er an welche Stelle setzen muss, mit welcher Schraube und welchem Drehmoment, und für welche Aufgabe er welches Teil nehmen muss.“ (A1: 18)

Wie die Neustrukturierung der Bandmontage zielt die Digitalisierung an den Endmontageplätzen, wenn sie dann nach den neuen Prinzipien strukturiert sein werden, auf einen stark veränderten Personaleinsatz, der weitgehend auf Fachkräfte verzichten soll.

„Bisher sind es Fachkräfte, das sind Industriemechaniker, die auch als gelernte Kräfte dort eingesetzt werden. Ich gehe momentan davon aus, dass wir an der Stelle dann eher ... naja, ich will nicht sagen Hilfskräfte einsetzen, aber es könnte sein, da es ja immer dieselben Handgriffe sind, die auch wirklich exakt und präzise vorgegeben werden“. (A1: 19) Auch die Flexibilität, verschiedene Varianten montieren zu können, erfordere keine höhere Qualifikation, da hier eine kurze Einweisung ausreichend sei. „Es gibt verschiedene Aggregattypen, aber wenn ich die Arbeitsplätze so ausgestattet habe, dass verschiedene Aggregattypen exakt visualisiert werden, dann läuft ein Mitarbeiter einen Tag mit und weist andere ein.“ (A1: 20)

Diese Personaleinsatzstrategie ist nicht der Not geschuldet, da der Betrieb absehbar keinen Mangel an Fachkräften befürchten müsse. Der regionale Arbeitsmarkt sei intakt, und der Betrieb sei in einer privilegierten Position auf diesem Markt.

„Die Region bietet das nach wie vor schon. Man sucht auch mal länger, aber bisher war der Zulauf immer so, dass wir auch für den industriellen Bereich Facharbeiter, Industriemechaniker, Zerspanungsmechaniker, Mechatroniker und dergleichen immer Zulauf hatten. Das liegt aber auch ein Stück weit daran, dass wir als Maschinenfabrik hier in der Region ... nicht einzigartig, aber doch schon ein Einzelfall sind.“
(A1: 19)

Deutlich wird in diesem Fall auch, wie voraussetzungsvoll eine Reorganisation der Montage ist, die auf eine Abwertung der qualifizierten Facharbeit abzielt. Die geschilderten Aktivitäten im Bereich der Standardprodukte erzeugen deutliche Unruhe unter den Beschäftigten. Zum Konflikt kommt es, als der Betrieb auch im Montagebereich kundenspezifischer Produkte tätig wird und Veränderungen der Abläufe umsetzt, die Auswirkungen auf die Montagefacharbeit hat. Die Montage wird strikter strukturiert: konkret wurde die Platzmontage aufgegeben und durch eine getaktete, mehrstufige und verkettete Montagelinie ersetzt. Zwar soll es an dieser Linie beim Einsatz von Facharbeitern bleiben, da die Anforderungen hier höher sind: „Da muss man ein bisschen nachdenken. Die Zeichnungen geben schon vieles vor, aber mal ist es dieses Teil, mal ein anderes, mal hab ich einen Abkühler [einzubauen], mal nicht – also da muss man schon noch mitdenken, da ist schon eher ein Auge gefragt.“ (A1: 20) Aber der Betrieb plant für diese Linie – verglichen mit der Vorsituation – eine Abgruppierung der Montageplätze; zudem gibt es Überlegungen, hier auch Fachkräfte mit verkürzter Ausbildung einzusetzen.

Die Beschäftigten blockieren diese erste restrukturierte Montagelinie des Betriebs, indem sie „Dienst nach Vorschrift“ machen. Diese Strategie zeigt Wirkung. Sie zeigt auf, wie wenig der Betrieb in der Lage ist, dauerhaft die Voraussetzungen für den geplanten Montageprozess zu gewährleisten und wie sehr er für einen störungsfreien Betrieb der Linie darauf angewiesen ist, dass die Beschäftigten Organisationslücken, Planungsfehler und unvorhergesehene Abweichungen vom Normalbetrieb durch verantwortungsvolles und flexibles Handeln jenseits ihrer Tätigkeitsbeschreibung ausbügeln. Ohne Mittun der Beschäftigten, so wird sichtbar, ist ein geregelter Montagebetrieb in diesem Bereich nicht machbar – zur Zeit unserer Recherchen stand die Linie ungeplant seit sechs Wochen. Die Fronten zwischen den Betriebsparteien waren verhärtet. Der Betriebsrat verlangte eine Überarbeitung des Konzepts, insbesondere des Personalkonzepts. Die Geschäftsleitung drohte mit Verlagerung der Produktion an einen Niedriglohnstandort im Ausland, wenn die Arbeitnehmer und ihre Interessenvertretung nicht einlenkten.

Digitale Assistenzsysteme lassen sich in einer dequalifizierenden Logik nutzen, sie können zum Abschied vom Facharbeiter beitragen. Im Betriebsfall A ging es auch um Senkung der Personalkosten, die mit dem Argument der Standortsicherung legitimiert wurde. Wir haben aber auch Fälle angetroffen wie den Betrieb K, in dem die Option des Einsatzes von Angelernten mit dem bereits bestehenden oder für die Zukunft antizipierten Problem des Facharbeitermangels begründet wurde. Freilich ist dieser Pfad im Management umstritten. Die Kritiker befürchten eine Erosion der Facharbeiterkultur und ein Nachlassen in den betrieblichen Anstrengungen für eine Fortsetzung der facharbeiterorientierten Personalpolitik. Ihr Argument lautet: Aktuell steht der Betrieb auf dem regionalen Ausbildungsmarkt sehr gut da, weil der Betrieb eine qualifizierte Ausbildung und gute, langjährige Beschäftigungsperspektiven bietet. Noch ist die Versorgung mit guten Auszubildenden kein Problem. Dass sich das Angebot verschlechtern könnte, halten die Kritiker aber nicht für ausgeschlossen. Ihre strategische Option: Statt das bestehende Modell zu durchlöchern und damit *volens nolens* die Abkehr vom alten facharbeitergestützten Modell zu organisieren, plädieren sie dafür, am facharbeitergestützten Modell festzuhalten, indem der Betrieb sich auf die sich verändernde Angebotssituation einstellt und seine Ausbildungsanstrengungen dem veränderten Angebot anpasst. In der Diskussion sind hier digitale Assistenzsysteme zur Unterstützung von mehrsprachigen Ausbildungsmodulen, um verstärkt auch migrantische Bewerber zu erreichen und gut zu qualifizieren.

Auch wenn die Montagebereiche in den von uns untersuchten Maschinenbaubetrieben nach wie vor durch Facharbeit geprägt waren und viel dafür spricht, dass sich dies auch in Zukunft im Grundsatz nicht ändert, kommen in verschiedenen Konstellationen auch Angelernte zum Einsatz. So insbesondere dort, wo die geringere Komplexität der Produkte oder größere Serien eine stärkere Standardisierung der Abläufe und Tätigkeiten ermöglichen. Beispiele hierfür finden sich im Fall Betrieb A auch dort, wo Digitalisierung im Allgemeinen oder digitale Assistenzsysteme wie insbesondere digitale Werkerführung keine Rolle spielen. Im Betrieb C, der sich ebenfalls darum bemüht, Angelernte – häufig ebenfalls mit migrantischen Hintergrund – in der Montage einzusetzen, wird hierbei jedoch ein anderer Weg beschritten als im Betrieb A. Standardisierte Montagelinien oder digitale Werkerführung spielen hier angesichts der Komplexität der Produkte keine Rolle. Einzelne Angelernte werden stattdessen in die Facharbeiterteams integriert und übernehmen hier von diesen zugewiesene und im Arbeitsergebnis überwachte einfache Tätigkeiten. Dies führt zu deutlich weniger Konflikten und wird – angesichts eines ausdrücklichen Bekenntnisses zu Facharbeit – als Regelanforderungen in diesem Fall auch vom Betriebsrat mitgetragen.

Beim Einsatz digitaler Assistenzsysteme gibt es somit Bewegung, aber keine eindeutige Entwicklungslogik. Das liegt daran, dass es auch im Management unterschiedliche Linien und unterschiedliche arbeitspolitische Leitbilder gibt. Es ist offen, wohin die Reise geht.

Viel dürfte auch im Betrieb A davon abhängen, wie die aktuellen Experimente und Erprobungen und die sich hieran entzündenden Konflikte ausgehen.

Komplementär zu den Entwicklungen in der Montage ist im Bereich der **internen Logistik und Kommissionierung** die Entstehung neuer Einsatzfelder für Angelerntentätigkeiten bis hin zu Einfacharbeit zu beobachten. Auslöser dieser Entwicklung ist allerdings nicht die Digitalisierung, verantwortlich sind vielmehr Spezialisierungsprozesse: das Aufsplitten von vormals integrierten Tätigkeitsprofilen in zwei neue Profile. Aus dem Aufgabenprofil der Montagefachkraft werden Logistikanteile herausgelöst und neu organisiert. Im Ergebnis entsteht auf der einen Seite eine Montagefachkraft neuen Typs, die um einfache periphere Aufgaben erleichtert und damit stärker auf den fachlichen Kern qualifizierter, anspruchsvoller und nach wie vor inhaltlich komplexer Tätigkeiten ausgerichtet wird. Und auf der anderen Seite eine Hilfskraft in der Logistik, zuständig für eine gering qualifizierte, inhaltsarme Einfacharbeit. Die forcierte Arbeitsteilung zwischen Montagefacharbeitern einerseits und angelernten Logistikarbeitern andererseits führt zu einer Polarisierung der Arbeitsstrukturen.

Ganzheitliche Aufgabenzuschnitte werden hier partiell zurückgenommen, allerdings mündet diese Separierung von Einfachaufgaben nicht in jedem Fall in deren breitflächige Automatisierung. Vielmehr werden die Aufgaben der Planung von Zulieferungen in die Montage, der Identifizierung der benötigten Teile, ihrer Beschaffung und Bereitstellung am Arbeitsplatz reorganisiert. Diese Reorganisation erfolgt unter der Maßgabe eines veränderten Anforderungsprofils, das sich aus der strategischen Neuausrichtung der Montage ergibt: erhöhte Flexibilität der Montage (kundenauftragsgesteuert), geringe Lagerhaltung vor Ort, stattdessen *just in time*-Bereitstellung – also die richtigen Teile in der richtigen Zusammenstellung und der richtigen Menge zur richtigen Zeit am richtigen (Montage-)Ort. Und das Ganze hoch reagibel, also fähig zur kurzfristigen Anpassung an veränderte Situationen. Dies alles fordert verbesserte Planung und einen erweiterten Planungshorizont, d. h. aber auch: statt Optimierung des Teilprozesses Logistik, Einbindung der logistischen Planung in einen optimierten Gesamtprozess. An dieser Stelle können, wie wir es im Betriebsfall D vorgefunden haben, auch Logistikassistenzsystem vom Typ *pick by light* oder *pick by voice* zum Einsatz kommen, die den Arbeitsablauf der Logistiker über visuelle oder akustische Signale steuern. Logistiktätigen werden dadurch auch im Maschinenbau einer engeren Kontrolle und Steuerung des Arbeitshandelns und einer hierdurch zunehmenden Arbeitsverdichtung unterworfen.

V. Digitalisierung und Arbeit im niedersächsischen Maschinenbau – Fazit

V.1 Arbeitswirkungen der Digitalisierung

Bündelt man die Ergebnisse unserer Expertengespräche und Betriebsfallstudien quer durch den niedersächsischen Maschinenbau sowie die Befunde unseres erweiterten Untersuchungssamples, dann sind drei Momente besonders wichtig: (1) Skepsis gegenüber der These, dass Digitalisierung und Industrie 4.0 breitflächig und innerhalb kurzer Zeit zu Umbrüchen in der Branche führen werde. (2) Große Neugier und Interesse an den erweiterten technologischen Möglichkeiten und ihren Potentialen für Produkte, Produktionsabläufe und Geschäftsmodelle. In nahezu allen Betrieben wurde konkret über weitere Schritte der Digitalisierung nachgedacht und einschlägige Projekte waren auf dem Weg. Die Bereitschaft, sich mit dem Thema Digitalisierung zu befassen, ist durchweg hoch. (3) Erhebliche Unsicherheit bezogen auf die Frage, welche technologischen und organisatorischen Veränderungen sich in der Branche in den nächsten Jahren durchsetzen werden sowie bezogen auf den wirtschaftlichen Nutzen, der mit der Digitalisierung in ihren unterschiedlichen Facetten einhergeht. Entscheidend ist, dass die drei Aspekte **Skepsis, Neugier/Interesse und Unsicherheit** zugleich gelten und untereinander in Verbindung stehen. Erst im Zusammenhang gedacht, kennzeichnen sie eine mittelstandstypische, **pragmatische Grundhaltung** gegenüber den Themen Digitalisierung und Industrie 4.0, die wir – wenn auch in verschiedenen Schattierungen – in den allermeisten niedersächsischen Maschinenbaubetrieben und darüber hinaus angetroffen haben.

Aktivere und investitionsstärkere Unternehmen verfolgen dabei zwar eine größere Anzahl von konkreten Projekten, einen strategischen Masterplan für eine digitale Transformation der betrieblichen Strukturen insgesamt liegt jedoch auch in den Vorreiterbetrieben weder auf dem Tisch noch in der Schublade. Die Betriebe tasten sich vielmehr schrittweise in Neuland vor. Nicht zuletzt angesichts einer in den meisten Unternehmen seit Jahren guten Konjunktur und hoher Auslastung werden neue Technologien zwar erprobt – mitunter wird auch bewusst mit unterschiedlichen technisch-organisatorischen Ansätzen experimentiert –, wenn es um die betriebliche Umsetzung geht, werden jedoch sichere, erprobte Lösungen eindeutig präferiert. In den meisten Betrieben wird über alle Funktionsbereiche und fachlichen Ausrichtungen hinweg über Potentiale der Digitalisierung nachgedacht und diskutiert. In einigen wenigen Fällen sind für die Themen Digitalisierung und Industrie 4.0 außerdem spezielle Zuständigkeiten geschaffen worden, die jedoch nirgends das aus einigen Großunternehmen bekannte Ausmaß der Institutionalisierung und Ausgliederung von Stabsfunktionen erreicht hat.

Bilanziert man die Ergebnisse unserer Erhebungen unter dem Gesichtspunkt der **Arbeitskonzepte und Arbeitsfolgen**, dann gehen wir für den niedersächsischen Maschinenbau insgesamt von einem erheblichen Maß an Kontinuität aus. Dies gilt nicht nur mit Blick auf

die quantitativen Beschäftigungsfolgen: Die von uns befragten Experten und Unternehmensvertreter rechnen digitalisierungsbedingt weder mit einem deutlichen Beschäftigungsabbau noch mit einem Aufbau von zusätzlicher Beschäftigung. Als Folge einer zunehmenden Digitalisierung und Automatisierung von administrativen Prozessen der Auftragsbearbeitung und Personalverwaltung könnte am ehesten in diesen Bereichen die Beschäftigung etwas sinken. Die planerischen Bereiche sind im Maschinenbau ohnehin nicht sehr groß und in den Entwicklungsabteilungen wird in qualitativer Hinsicht mit einem kontinuierlich weiter steigenden Anteil und Bedarf von Elektronik- und IT-Kompetenzen gerechnet. In quantitativer Hinsicht sind insofern keine größeren Veränderungen zu erwarten. Hier fällt es schon jetzt vielen Betrieben nicht leicht, den Bedarf an qualifiziertem Nachwuchs zu decken. In den Produktionsbereichen dürfte sich der langfristig zu beobachtende Trend kontinuierlich steigender Produktivität auch zukünftig fortsetzen. Er hat die relativen Beschäftigungsanteile der Produktion auch in der Vergangenheit zurückgehen lassen. Im Maschinenbau ist hier nicht mit Sprüngen, einem technologiebedingten Wandel der Produktionsverfahren oder grundlegend neuen Geschäftsmodellen, wie dies für andere Branchen diskutiert wird, zu rechnen. Letztlich dürfte sich die Beschäftigungsnachfrage auch zukünftig vor allem konjunkturabhängig entwickeln, wobei gerade der stark exportabhängige Maschinenbau stark von Entwicklungen auf den Weltmärkten – nicht zuletzt den USA und China – abhängt.

Auch mit Blick auf qualitative Beschäftigungsfolgen sowie Arbeitsfolgen insgesamt spricht viel für ein hohes Maß an **Kontinuität und Pfadabhängigkeit** und einen allenfalls langsamen Wandel. Wie dargestellt kommen zwar in allen Tätigkeitsbereichen zunehmend auch neue Technologien zum Einsatz, bislang hat dies, von wenigen und quantitativ begrenzten Ausnahmen abgesehen, jedoch zu keinem grundlegenden Wandel der Arbeitskonzepte oder neuartigen Arbeitsfolgen geführt. Sowohl in den Entwicklungs- als auch in den Produktionsbereichen bleibt qualifizierte Arbeit mit einem hohen Maß an Selbständigkeit, Eigeninitiative und sowohl breitem als auch vertieftem Fachwissen zentral. Auch wenn das Niveau qualifizierter Facharbeit in der Produktion nicht in allen Tätigkeitsbereichen erreicht wird und die Möglichkeiten des Einsatzes von Angelernten aus technologischen (steigende Autonomie der Systeme in der Mechanischen Fertigung) oder organisatorischen Gründen (erhöhte Vorstrukturierung von Abläufen durch *Lean*-Konzepte in den Montagen) zunehmen könnten, ist diese Entwicklungsrichtung gleichwohl nicht prägend. Konterkariert wird sie durch die nach wie vor zunehmende Komplexität der Produkte, Fertigungsverfahren und Produktionssysteme sowie die hohen Flexibilitäts-, Qualitäts- und Innovationsanforderungen, auf die die Maschinenbaubetriebe unverändert so reagieren, dass sie auf **fachlich kompetente, selbstverantwortlich handlungsfähige und kooperationsbereite Belegschaften** setzen. Vor diesem Hintergrund stehen auch die Grundprinzipien der dualen Ausbildung in den Betrieben nicht auf dem Prüfstand, sondern werden trotz größerer Rekrutierungsschwierigkeiten beibehalten oder sogar gestärkt und be-

kommen durch eine zunehmende Nutzung von Konzepten eines dualen Studiums sogar einen noch größeren Stellenwert.

Aus Sicht der betrieblichen Experten setzt Digitalisierung zwar den Erwerb zusätzlicher fachlicher Kompetenzen insbesondere im Elektronik- und IT-Bereich voraus und erhöht die Anforderungen an das prozessbezogene und bereichsübergreifende Denken und Handeln. Diese zusätzlichen Qualifikationsbedarfe passen jedoch zu den bestehenden Kompetenzmustern und lassen sich über die kontinuierlich stattfindende Modernisierung der Ausbildungsinhalte und die Ausweitung von Zusatzqualifikationen sowie beruflichen Weiterbildungsangeboten decken. In den von uns untersuchten Maschinenbaubetrieben herrschte große Einigkeit, dass beruflich strukturiertes und fachlich grundiertes Erfahrungswissen auch zukünftig eine zentrale Rolle spielen und die mittlere Qualifikationsebene in den Prozessen einer zunehmenden Digitalisierung nicht an Bedeutung verlieren wird. Auch wenn sich konkrete Qualifikationsinhalte verändern, wird bezogen auf den **Qualifikationstyp industrielle Facharbeit** und die hierfür typischen Prozesse des Kompetenzerwerbs und der Kompetenznutzung mit Kontinuität gerechnet.

Sowohl mit Blick auf Qualifikationen und Kompetenzanforderungen als auch hinsichtlich der Arbeitswirkungen liegen die Effekte der Digitalisierung im Maschinenbau eher in der Fortschreibung und teilweise **Verstärkung von bereits bekannten Trends** und nicht so sehr im Entstehen gänzlich neuer Dynamiken. Die Gleichzeitigkeit von steigender Produktivität, erhöhten Flexibilitäts- sowie Qualitätsanforderungen und wachsender Strukturierung von Arbeitsabläufen durch *Lean*-Konzepte hat auch in der Vergangenheit zur Verdichtung und Beschleunigung von Arbeit bei letztlich stabilen Qualifikationsanforderungen geführt – Entwicklungslinien, die sich fortsetzen dürften. Vereinzelt Tätigkeitsbereichen, in denen Digitalisierung den Einsatz von Angelernten ermöglicht, stehen technologieintensive Felder gegenüber, in denen die Digitalisierung erhöhte Qualifikationen erfordert. In Summe führten die verschiedenen Dynamiken in den von uns untersuchten Betrieben zu der letztlich pfadabhängigen Einschätzung, dass Arbeit im Maschinenbau auch zukünftig qualifizierte Facharbeit bleibt. Ein gutes Beispiel dafür, wie stark die Orientierung auf Facharbeit in den betrieblichen Anforderungen und dem Umgang mit ihnen verankert ist, konnte am Fall des Zerspanungsspezialisten H gezeigt werden, der im Bereich der Additiven Fertigung zunächst meinte, auf den Einsatz von qualifizierten Facharbeitern verzichten zu können, mit wachsender Erfahrung dann jedoch zu diesem Arbeits- und Personalkonzept zurückkehrte.

Unseren Befunden zufolge zeigt sich selbst innerhalb einer Branche wie dem Maschinenbau aber auch, dass die Arbeitsfolgen der Digitalisierung differenziert zu betrachten sind. In den Kernbereichen von Maschinenbaubetrieben wie Entwicklung/Konstruktion, Teilefertigung und Montage geht Digitalisierung mit unterschiedlichen Dynamiken einher. Arbeitsbezogen zeigen sich je spezifische Mischungen aus alten und neuen Problemlagen. In

allen drei Bereichen sind bei der Gestaltung von Arbeits- und Personalstrukturen **Kontinuitätslinien** offensichtlich, es deuten sich **aber auch neue Dynamiken** an.

Im Bereich der Konstruktion erhöhen neue Systeme die Leistungsfähigkeit und Planbarkeit der Konstruktionsarbeit sowie gleichzeitig die Anforderungen an die Beschäftigten, ohne dass Kernbestandteile der bisherigen Kompetenzanforderungen dadurch obsolet würden. In der Teilefertigung ist auf absehbare Zeit nicht mit einer Hochautomatisierung zu rechnen, und neue additive Fertigungsverfahren werden sich nur langsam und in Teilbereichen durchsetzen. Die zunehmende Autonomie der Systeme macht einen verstärkten Einsatz von Angelernten zwar möglich, in den meisten Betrieben ist er derzeit aber nicht auf der Agenda und wird aus produktionsstrukturellen Gründen sowie mit Blick auf die spezifischen Leistungsanforderungen und Geschäftsmodelle des deutschen Maschinenbaus auch nicht für sinnvoll erachtet. Die typischerweise hohen Anforderungen in den Bereichen Qualität, Flexibilität und Innovationsfähigkeit lassen sich aus Sicht der betrieblichen Akteure auch zukünftig nur mit gut ausgebildeten, qualifizierten Fachkräften bewältigen, die nicht nur über ein spezifisches, sich ständig weiterentwickelndes Fachwissen verfügen, sondern sich zugleich durch Kooperationsfähigkeit, Selbstständigkeit und eine hohe Bereitschaft zur Verantwortungsübernahme auszeichnen. Digitalisierungsbedingt dürfte es daher weder zu Dequalifizierungsprozessen noch zu einer deutlichen Zunahme von Angelernten kommen; arbeitsmarktbedingt halten einige Betriebe die Notwendigkeit eines in Teilbereichen verstärkten Einsatzes von weniger qualifizierten Beschäftigten aber nicht für ausgeschlossen. Im Grundsatz gilt dieser Befund auch für die Montagen, in denen manuelle Einzel- und Kleinserienfertigung im Maschinenbau nach wie vor vorherrscht. Hier verstärkt Digitalisierung in vielen Betrieben jedoch die seit Jahren zu beobachtenden Tendenzen der stärkeren Strukturierung und Standardisierung von Prozessen entlang von *Lean*-Prinzipien. Die digitalisierungsbedingt höhere Transparenz und Steuerbarkeit von Abläufen führt in Kombination mit einer stärkeren Standardisierung von Produkten (Baureihen) in einigen Bereichen zu sinkenden Qualifikationsanforderungen auf die auch Maschinenbaubetriebe häufig mit einer Ausdifferenzierung ihrer Montagestrukturen (Fertigungssegmentierung) reagieren. In diesen Fällen können Einsatzfelder für Angelernte entstehen, auch hier wirken jedoch Gegenteilstendenzen, die sich wiederum aus der klassischen, kundenorientierten Anforderungsstruktur Qualität, Flexibilität und Innovationsfähigkeit speisen.

Die vorliegende Studie liefert somit weitere Belege dafür, dass pauschalisierende Thesen zu den Arbeitsfolgen der Digitalisierung wenig sinnvoll sind. Digitalisierung geht nicht mit einer Homogenisierung von Arbeit einher, **digitalisierte Arbeitswelten bleiben vielgestaltig**. Aus arbeitssoziologischer Sicht zeigt sich auch am Beispiel des Maschinenbaus, dass **Geschäftsmodelle der Unternehmen und arbeitspolitische Leitbilder zwei zentrale Einflussfaktoren für Arbeitswirkungen** sind (Baethge-Kinsky et al. 2018). Digitalisierung ist mitunter – auch im Maschinenbau – die Grundlage für neue Geschäftsmodelle, zu-

meist passt sie sich jedoch in je spezifische Geschäftsmodelle und arbeitspolitische Konzepte ein und führt dabei zu einer Verstärkung von arbeitspolitischen Trends und einer größeren Wirksamkeit arbeitspolitischer Leitbilder. Die Bedeutung von arbeitspolitischen Orientierungen und Zielvorstellungen wird dadurch sowohl auf der Stufe der Technikentwicklung als auch in den Phasen der betrieblichen Umsetzung und Nutzung digitaler Technologien eher noch größer. Dies erklärt einerseits die in einigen neueren Studien verschiedentlich betonten auch für den niedersächsischen Maschinenbau offensichtlichen Phänomene der Pfadabhängigkeit (Hirsch-Kreinsen 2018, Kuhlmann et al. 2018) und führt andererseits aber zu einem **erhöhten arbeitspolitischen Gestaltungsbedarf**.

V.2 Arbeitspolitischer Gestaltungsbedarf

Dass Digitalisierung arbeitspolitisch gestaltbar ist und zu einem erhöhten arbeitspolitischen Gestaltungsbedarf führt, ist für die betrieblichen Akteure, aber auch für die Verbände und die Politik, eine gute Nachricht, geht zugleich aber auch mit Herausforderungen einher. Herausforderungen, die – so ein weiterer Befund unserer Fallstudien – auch deshalb beträchtlich sind, weil die betrieblichen Strukturen und die **Akteure auf die Anforderung der arbeitspolitischen Gestaltung der Digitalisierung vielfach nicht gut vorbereitet** sind. Im Kern geht es dabei um vier Aspekte, die allesamt dadurch gekennzeichnet sind, dass die zentralen arbeitspolitischen Akteure das Thema einer integrierten, aktiven Gestaltung von Technik und Arbeit sowohl zu wenig auf ihrer Agenda haben als auch über zu geringe Einflussmöglichkeiten beim Thema Digitalisierung verfügen.

(1) Erstens, so ein Fazit unserer bisherigen Fallstudienbefunde, deutet vieles darauf hin, dass Technikexperten gegenüber betrieblichen Praktikern und Prozessverantwortlichen bei der Entwicklung und betrieblichen Umsetzung von Digitalisierungsprojekten ein deutlich stärkeres Gewicht zukommt und die **Technikentwicklung** dadurch tendenziell **prozessferner** und **technikgetriebener** erfolgt. Zudem spielen externe Akteure (Anbieterunternehmen und Forschungseinrichtungen) aufgrund der Komplexität, der Systemhaftigkeit sowie des hohen Innovationsgehaltes der neuen Technologien bei deren Entwicklung und Ausgestaltung eine dominante Rolle. Agile Entwicklungsprinzipien, die beispielsweise auf eine frühzeitige, aktive Einbeziehung der Nutzer und iterative Vorgehensweisen setzen, sind noch wenig verbreitet. Insbesondere die Beschäftigten selbst und die direkten betrieblichen Vorgesetzten sind häufig erst zu einem späten Zeitpunkt, nur punktuell und mit geringen Einflussmöglichkeiten an der Technikentwicklung beteiligt. Fragen der Gestaltung von Arbeits- und Organisationsstrukturen spielen in den Überlegungen der Technikentwickler professionsbedingt jedoch eine geringe Rolle und sind in den Entwicklungsprojekten häufig nachrangig (vgl. hierzu auch die Untersuchung von Evers et al. 2018, die zu einem recht ähnlichen Ergebnis für die gegenwärtig ebenfalls vor der betrieblichen Umsetzung stehenden *wearables* wie z.B. Datenbrillen kommen).

(2) Verstärkt wird dieser Sachverhalt zweitens noch dadurch, dass **die direkten betrieblichen Vorgesetzten** – wie die Beschäftigten selbst – von externen Technikexperten häufig nicht nur unzureichend beteiligt werden, sondern sich oft ihrerseits nicht aktiv in Fragen der Technikauswahl und Technikgestaltung einschalten. Diese werden aus Sicht der unmittelbaren betrieblichen Vorgesetzten ohnehin „höheren Orts“ geplant und entschieden. Hinzu kommt, dass die Vorgesetzten häufig selbst (ver-)unsicher(t) sind, inwieweit sie mit ihren Sichtweisen Gehör finden und einen aktiven Beitrag leisten könnten. Vielfach verfügen sie bezogen auf die neuen Technologien und deren Leistungsfähigkeit über begrenztes Fachwissen und scheuen sich auch deshalb, ein größeres Maß an Mitsprache und Verantwortung einzuklagen und zu übernehmen. Mit Blick auf eine arbeitsbezogene Gestaltung der Digitalisierung ist die geringe Einbeziehung der unteren Vorgesetztenebenen keine gute Voraussetzung, da diese Akteursgruppe aufgrund ihrer Praxiserfahrungen und ihrer Nähe zu den Prozessen und Beschäftigten besonders wichtig wäre. Und auch die regelmäßig wiederkehrende Erfahrung, dass die Technikumsetzung deutlich länger dauert und aufwändiger ist als zunächst geplant sowie dass die neuen digitalen Systeme die vorab in Aussicht gestellten Leistungsversprechen nur teilweise erfüllen, ließe sich durch eine stärkere Beteiligung der Arbeitsebene und der betrieblichen Vorgesetzten teils vermeiden, teils frühzeitiger kompensieren.

Nicht gut vorbereitet auf den erhöhten arbeitspolitischen Gestaltungsbedarf der Digitalisierung sind zudem zwei weitere Akteursgruppen, denen in besonderer Weise die Aufgabe zukommt, die Arbeits-, Organisations- und Personalseite der Digitalisierung mitzugestalten:

(3) So sind die **Personalbereiche** in kleineren und mittleren Maschinenbaubetrieben häufig wenig ausdifferenziert und damit entsprechend wenig professionalisiert. Daher verfügen sie schon allein in fachlicher Hinsicht sowie aufgrund begrenzter Ressourcen über geringe Einflussmöglichkeiten, um den arbeits- und organisationsbezogenen Fragen der Digitalisierung ausreichend Gewicht zu verleihen, geschweige denn, sich stärker in Fragen der Technikgestaltung und Technikumsetzung einzuschalten. Andererseits können einschlägig qualifizierte und interessierte Personalerinnen und Personaler gerade in kleineren Betrieben bei der arbeitspolitischen Gestaltung der Digitalisierung aber auch besondere Wirkungen entfalten. Sehr viel besser sind die Voraussetzungen für arbeitspolitische Initiativen aber auch in größeren Betrieben oftmals nicht. Selbst wenn Personalbereiche dort stärker professionalisiert und mit mehr Ressourcen ausgestattet sind, verfügen sie im Konzert der verschiedenen Managementfunktionen in der Regel über weniger Einfluss und sind meist in geringerem Maße an der Strategiebildung beteiligt. Die Personalbereiche sind häufig eher prozessfern und in die Ausgestaltung von Arbeits- und Organisationsstrukturen in den verschiedenen Abteilungen und Fachbereichen wenig eingebunden. Vielfach konzentrieren sie sich sogar verstärkt auf ihr vermeintliches „Kerngeschäft“, beste-

hend aus Rekrutierung, Qualifizierung, Aus- und Fortbildung, rechtliche Fragen und Personaladministration sowie zunehmend auch betriebliche Gesundheitsförderung. Die Gestaltung von Arbeits- und Organisationsstrukturen spielt eine allenfalls untergeordnete Rolle und wird selten strategisch betrieben. Bei Digitalisierungsvorhaben sind die Personalbereiche daher häufig nur begrenzt eingebunden und in der Regel eher reaktiv tätig: etwa bei Rekrutierungsfragen sowie der Bereitstellung und Administration von Qualifizierungsangeboten, die ganz überwiegend ebenfalls als der Technikentwicklung nachgelagerte Aktivitäten betrachtet werden. Wenn die Gestaltung der Digitalisierung und die Entwicklung von Arbeits- und Organisationsstrukturen in den Personalbereichen zum Thema wird, dann am ehesten noch bei der zunehmenden Digitalisierung der eigenen Prozesse im Bereich der Personaladministration sowie bei Schulungsangeboten.

(4) Nicht gut vorbereitet auf die Herausforderungen der Digitalisierung sehen sich schließlich auch **die betrieblichen Interessenvertretungen**. Auch hier spielen Fragen der Professionalisierung und der Ressourcenausstattung gerade in kleineren Betrieben, die fast durchweg nicht über freigestellte Betriebsräte verfügen, eine Rolle. In größeren Maschinenbaubetrieben ist die Situation aber nicht grundlegend anders. Fehlende Ressourcen angesichts steigender Anforderungen bei einer Vielzahl von personal- und arbeitspolitischen sowie wirtschaftlichen Themen sind für betriebliche Interessenvertretungen generell von großer Bedeutung. Ähnlich wie die übrigen Akteure artikulieren Betriebsräte eine Überforderungssituation aber auch insofern, als sie einerseits fehlendes Fachwissen beim Thema Digitalisierung betonen und zugleich die Offenheit und kontroversen Sichtweisen der öffentlichen Debatte hervorheben, mit denen sie im Betrieb von ihren Kollegen konfrontiert werden.

Verstärkt wird dieser Sachverhalt noch dadurch, dass etliche Betriebsräte auf aus ihrer Sicht unzureichende Mitbestimmungsrechte verweisen, die ihnen wenig Gelegenheiten geben, mit gesicherten Einflussmöglichkeiten in betriebliche Aushandlungsprozesse einzutreten. Die Einschätzung, mit schwachen Rechten ausgestattet zu sein, behindert in vielen Fällen die Bereitschaft, sich dem Thema Digitalisierung aktiv zuzuwenden. Beim Thema Datenschutz, auf das manche Betriebsräte sich sehr stark fokussieren, weil sie dort über klar definierte und starke Rechte verfügen, entsteht ein zunehmendes Maß an Verunsicherung und Überforderung zudem durch die Vielzahl von IT-Systemen, den zunehmenden Grad der Vernetzung zwischen den Systemen sowie die Häufigkeit und Funktionsreichweite von Updates. Viele Betriebsräte verhalten sich beim Thema Digitalisierung daher abwartend und zögern, Aushandlungsprozesse mit dem Management aktiv einzufordern und voranzutreiben. Nicht selten führt das Gefühl einer arbeitspolitischen Überlastung bei Betriebsräten dazu, dass sie sich ihrerseits auf Kernaufgaben zurückziehen. Die sich aus dem Wahlmandat ergebende Notwendigkeit, die eigene Politik vor der Belegschaft zu begründen und zu rechtfertigen, begünstigt ebenfalls vorsichtige, eher reaktive Haltungen.

Zugleich sind die Haltungen und Herangehensweisen der Betriebsräte abhängig vom jeweiligen Stand der betrieblichen Arbeitsbeziehungen und Umgangsformen sowie von politischen Orientierungen und dem eigenen Rollenverständnis, das sich vor allem zwischen den Polen einer konflikt- bzw. gegenmachtorientierten und einer sozialpartnerschaftlich-kooperativen Haltung aufspannt, die – ebenfalls von unterschiedlichen Interessenlagen ausgehend – dennoch auf die Suche nach Kompromissen und für beide Seiten tragfähige Lösungen orientiert ist. Wo die betrieblichen Interessenvertretungen von der Managementseite frühzeitig und aktiv in Digitalisierungsvorhaben einbezogen werden, wo sie zudem über ausreichende Ressourcen verfügen und sich auf einen sozialpartnerschaftlichen Umgang und die Anerkennung ihres spezifischen Knowhows und ihrer Interessen verlassen können, sind Betriebsräte andererseits jedoch sowohl bereit als auch in der Lage, aktiv an der Ausgestaltung von der Digitalisierung mitzuwirken und hierbei eigene Konzepte und Zielvorstellungen zu entwickeln, mit dem Management zu diskutieren und beim Thema Digitalisierung Verantwortung zu übernehmen.

Grob typisiert, haben wir bei Betriebsräten drei verschiedene Formen des Umgangs mit dem Thema Digitalisierung angetroffen. Weit verbreitet ist eine **Haltung des Abwartens**, manchmal auch des „Wegduckens“. Digitalisierung bleibt in diesen Fällen ein Rand- oder Spezialthema einer Politik des *business as usual*. In anderen Fällen beschäftigen sich betriebliche Interessenvertretungen durchaus aktiv mit dem Thema Digitalisierung – insbesondere dann, wenn sie mit größeren Digitalisierungsvorhaben konfrontiert sind. Für diesen zweiten Typ des Umgangs ist jedoch der **Rückzug auf konsolidierte Verhandlungsfelder** und -positionen prägend, in denen die Interessenvertretung über gesicherte Rechte und Einflussmöglichkeiten verfügt: Im Vordergrund stehen in diesen Fällen der Daten- und der Arbeitsschutz oder auch Arbeitszeit- und Qualifizierungsfragen oder die Entgelt-sicherung. Auch wenn die Einflussmöglichkeiten beim Thema Beschäftigungssicherung sehr viel schwächer sind, kommt diesem Aspekt generell ein großer Stellenwert zu. Und schließlich haben wir in einigen Betrieben auch einen dritten Typ angetroffen, der sich als **(pro-)aktive Mitgestaltung** bezeichnen lässt. Betriebsräte und Betriebsrätinnen dieses Typs sind darum bemüht, über die gesicherten Handlungsfelder hinaus bei Digitalisierungsvorhaben auch Einfluss im Bereich der Arbeits- und Organisationsgestaltung zu gewinnen. Auf der Basis einer proaktiven Haltung, die sich frühzeitig und aus einem strategischen Interesse heraus dem Thema Digitalisierung zuwendet, wird mitunter in Form von konflikthafter Auseinandersetzungen, häufiger jedoch auf der Basis sozial- bzw. konfliktpartnerschaftlicher Aushandlungsprozesse und Kooperationen gemeinsam mit dem Management nach Lösungen gesucht, die die unterschiedlichen wirtschaftlichen und beschäftigtenbezogenen Interessenlagen berücksichtigen. Charakteristisch für diesen Typ des Umgangs mit dem Digitalisierungsthema ist, dass die Betriebsratsgremien stärker auf projektartige Arbeitsformen setzen, Qualifizierungsanstrengungen intensivieren sowie bei gewerkschaftlichen Initiativen mitwirken.

V.3 Arbeitspolitische Herausforderungen und Perspektiven

Ausgehend von unserem Befund differenzierter Entwicklungen beim Zusammenhang von Digitalisierung und Arbeit und der Einschätzung, dass der arbeitspolitische Gestaltungsbedarf zwar zunimmt, die Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für eine aktive, arbeitsorientierte Gestaltung von Digitalisierungsprozessen aber keineswegs gut sind, stellt sich die Frage, worin zentrale Herausforderungen der Gestaltung von Digitalisierung und Arbeit liegen und welche Perspektiven und Ansatzpunkte dabei hervorgehoben werden sollten. Es geht uns in diesem abschließenden Abschnitt um Gestaltungshinweise, die geeignet sind, Chancen der Digitalisierung zu nutzen und Probleme zu minimieren. Ein wichtiger Bezugspunkt hierbei ist die gerade in Maschinenbaubetrieben häufig anzutreffende Sichtweise, dass die Funktions- und Leistungsfähigkeit von neuen Technologien, ihr wirtschaftlicher Einsatz wie auch die Möglichkeit positiver Arbeitsfolgen in hohem Maße von qualifizierten Belegschaften abhängen, die nicht nur über ein ständig sich weiter entwickelndes Fachwissen verfügen, sondern zugleich auf ein hohes Maß an Selbstständigkeit, Verantwortungsbereitschaft und Kooperationsfähigkeit. Beteiligungs- und Mitgestaltungsmöglichkeiten der Arbeitsebene, d.h. jener Beschäftigtengruppen, die in, an und mit den zunehmend digitalisierten Arbeitsmitteln und Systemen arbeiten, sind hierfür eine wichtige Voraussetzung. Bündeln lassen sich unsere aus diesem maschinenbaufokussierten Blickwinkel heraus formulierten Hinweise in acht Feldern.

(1) Im Bereich der **Arbeitsgestaltung** besteht die zentrale Herausforderung darin, die Arbeitsorganisation so auszurichten, dass die durch die Digitalisierung ermöglichte Systematisierung, Formalisierung und Standardisierung von Abläufen nicht auf die Arbeitsprozesse durchschlägt. Handlungs- und Entscheidungsspielräume der Beschäftigten und deren Eingriffsmöglichkeiten in die Prozesse und technischen Systeme gilt es zu erhalten. Die Beschäftigten brauchen qualifikatorische, organisatorische und zeitliche Ressourcen, um sich die jeweiligen Arbeitsprozesse anzueignen und Möglichkeiten, sich mit ihren persönlichen Fähigkeiten und Wünschen in der Arbeit wiederzufinden und anerkannt zu werden. Ermöglicht wird dies insbesondere durch teamförmige, weniger stark hierarchisierte sowie auf breite Aufgabenzuschnitte und kooperative Selbstorganisation setzende und mit ausreichend Ressourcen ausgestattete Arbeitsstrukturen.

(2) **Mitgestaltungsmöglichkeiten** der Beschäftigten **bei der Entwicklung, betrieblichen Umsetzung** und arbeitsalltäglichen **Nutzung der technischen Systeme** sind eine zweite Herausforderung und zugleich Gestaltungsperspektive digitalisierter Arbeitswelten. Gerade weil unseren Untersuchungsbefunden zufolge die betriebliche Realität in diesem Bereich häufig besonders defizitär ist, diesem Aspekt sowohl mit Blick auf Arbeitswirkungen als auch unter dem Gesichtspunkt der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit aber eine besondere Bedeutung zukommt, halten wir dieses Gestaltungsfeld für besonders zentral. Dabei geht es allerdings um mehr als um Fragen der Bedienerfreundlichkeit von Anlagen und

Software oder der Akzeptanzsicherung durch rechtzeitige Informationen. Im Mittelpunkt stehen vielmehr sowohl frühzeitige als auch dauerhaft gesicherte Beteiligungsmöglichkeiten der Beschäftigten bei der Ausgestaltung der technischen Systeme mit einem Fokus auf der Frage, inwieweit die gewählten Lösungen geeignet sind, die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten und die Wirksamkeit ihres Arbeitshandelns zu erhöhen, ohne dem Verschleiss der Arbeitskraft Vorschub zu leisten. Grundprinzip der Systemgestaltung sollte sein, dass die Technik die Arbeitenden in ihrem Handeln sowie bei Entscheidungen informiert und unterstützt, aber nicht rigide lenkt. Fallstudienbefunde deuten darauf hin, dass diese Ziele nicht erreicht werden dürften ohne eine aktive Einbeziehung der betrieblichen Vorgesetzten und die Verbesserung der bereichs-, funktions- und hierarchieübergreifenden Kooperation und Koordination.

(3) Ein zentrales Prinzip der Digitalisierung und zugleich eines ihrer Leistungsversprechen ist die Erhöhung von **Transparenz**, die im Kern durch eine genauere, reichhaltigere, verlässlichere, aktuellere und über verschiedene System hinweg zudem einheitliche Bereitstellung von Daten und Informationen erreicht werden soll. Bessere Daten und Informationen erhöhen die Prozesssicherheit, Prozessqualität und Dokumentation, erweitern die Rückverfolgbarkeit und Prognosefähigkeit und sind dadurch geeignet, Entscheidungsprozesse besser zu fundieren. Aus Sicht der Beschäftigten – und mitunter auch aus Managementsicht – handelt es sich hierbei um ein ambivalentes Phänomen. Begrüßt wird die erhöhte Transparenz digitalisierter Arbeitswelt aus der Perspektive eines über verschiedene Qualifikationsniveaus hinweg weit verbreiteten professionellen Arbeitsverständnisses, für das effektives und effizientes Arbeiten ein wichtiges Gut ist. Andererseits erzeugen die zugleich gestiegenen Möglichkeiten der Überwachung des Arbeitshandelns und der Kontrolle einzelner Personen und Arbeitsgruppen auch Unbehagen und Befürchtungen. Fragen danach, *wer* die Daten, *wann*, in *welcher Form* und *wofür* nutzt, spielen in betrieblichen Diskussionen eine zunehmende Rolle. Der hierdurch erzeugte Diskussions- und Regelungsbedarf ist eine dritte Herausforderung digitalisierter Arbeitswelten. Gestaltungsperspektiven beim Thema Transparenz liegen daher zum einen darin Klärungen, herbeizuführen und verbindlich zu vereinbaren. Zum anderen sollte die Bereitstellung und Nutzung von Daten so transparent und vor allem prozessnah wie möglich erfolgen. Auch hierdurch können die Handlungsspielräume und Ressourcen der Beschäftigten auf der Arbeitsebene erhöht werden. Zudem führt eine prozessnahe Bereitstellung und Nutzung der Daten in der Regel auch zu verbesserten und intensiveren Kooperationsbeziehungen zwischen den operativen Einheiten und den Spezialisten planender Bereiche.

(4) **Qualifikationsanforderungen** und **Qualifizierungsfragen** sind eine vierte Herausforderung der zunehmenden Digitalisierung der Arbeitswelt. Über alle Betriebe und betrieblichen Funktionsbereiche hinweg bestand zunächst einmal ein hohes Maß an Einigkeit darüber, dass Digitalisierung mit der Notwendigkeit einer Ausweitung und Modernisie-

rung fachlicher Wissensbestände insbesondere im IT-Bereich, beim Prozesswissen sowie bei fach- und bereichsübergreifenden Kenntnissen verbunden ist. Anders als in der Öffentlichkeit mitunter diskutiert, spricht zumindest für den Maschinenbau viel dafür, dass langfristig erworbenes und beruflich strukturiertes Erfahrungswissen keineswegs an Bedeutung verliert. Die mittlere Qualifikationsebene der durch berufliche Fortbildungen erworbenen Meister-, Techniker- und Fachwirt-Qualifikationen ist für die überwiegend mittelständischen Maschinenbauunternehmen nach wie vor eine zentrale Beschäftigtengruppe: Nicht nur weil diese Beschäftigtengruppe durch die Kombination praktischer und theoretischer Kenntnisse über spezifische Kompetenzen verfügt, deren Bedeutung bei der Bewältigung von Digitalisierungsprozessen sogar noch zunimmt, sondern auch deshalb, weil diese Qualifikationsebene den Betrieben zufolge durch eine besonders hohe Bereitschaft zur Verantwortungsübernahme, Engagement und eine besonders ausgeprägte Betriebsbindung gekennzeichnet ist.

Unter Qualifizierungsgesichtspunkten liegt eine Perspektive im Abbau der nach wie vor besonders stark ausgeprägten Ungleichheit in der Zuweisung und Nutzung von Qualifizierungsmöglichkeiten. Vor allem dürfte es jedoch noch wichtiger werden, die institutionell und im Denken nach wie vor besonders stark verfestigten Grenzziehungen zwischen Arbeiten und Lernen aufzubrechen. Digitalisierung erfordert die Bereitstellung einschlägiger Qualifizierungsangebote, die gegenwärtig in zunehmendem Maße entwickelt werden. Wichtiger noch ist allerdings die Realisierung lernförderlicher Arbeitsformen und Arbeitsbedingungen, die derzeit noch sehr viel weniger verbreitet sind. Eine stärkere Verschränkung von Arbeiten und Lernen geht nicht nur mit besseren Qualifizierungsergebnissen einher, sondern sie bietet zugleich gute Chancen für die Bewältigung der Herausforderungen im Bereich der Arbeitsgestaltung und bei den technikbezogenen Mitgestaltungsmöglichkeiten. Und *last not least* sind lernförderliche Arbeits- und arbeitsintegrierte Lernformen ein wirksames Mittel, um dem vielfach beklagten Problem lernunwilliger und lernungeohnter Beschäftigtengruppen zu begegnen. Im Maschinenbau ist diese Problemlage zumeist weniger verbreitet als in anderen Branchen, gerade deshalb besteht aber die Möglichkeit, Lösungen zu erarbeiten, die Perspektiven für andere Unternehmen eröffnen könnten.

(5) Auch wenn wir für den niedersächsischen Maschinenbau und den Maschinenbau insgesamt mit unseren Fallstudien zu dem Ergebnis gekommen sind, dass Digitalisierung in dieser Branche nicht mit Strukturbrüchen bei den Arbeits- und Organisationsformen oder gar disruptiven Entwicklungen verbunden sein dürfte, sondern schrittweise, evolutionäre Veränderungen zu erwarten sind, ist die Frage der **Ausgestaltung der digitalen Transformation** dennoch eine weitere Herausforderung, vor der die **Betriebe** stehen. Die Kombination aus einerseits erheblich erweiterten technologischen Potentialen im Bereich der Produkte und Prozesse mit andererseits der geschilderten Mischung aus Skepsis und Un-

sicherheit sowie der generell in der Branche verankerten Bereitschaft, neue Technologie zu erproben und einzusetzen, wirft die Frage auf, welche Ansatzpunkte und Prinzipien in besonderer Weise geeignet, betriebliche Digitalisierungsprozesse zu befördern.

Fünf Aspekte sind dabei auf der betrieblichen Ebene besonders relevant: Ausgangspunkt der Digitalisierung sollte eine integrierte Kombination aus Marktbeobachtung der Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit neuer Technologien mit einer Analyse der veränderten betrieblichen Anforderungen und der wirtschaftlichen und marktseitigen Gegebenheiten sein. Der Prozess der Digitalisierung ist zweitens als schrittweiser Prozess anzulegen, in dem einerseits neue Technologien und Organisationsformen in Stufen realisiert werden, zugleich aber auch Ansatzpunkte, Ausrichtung und Zielsetzungen der Digitalisierung immer wieder zum Thema betrieblicher Diskussionen und Klärungen gemacht werden können. Drittens ist sowohl bei Diskussions- und Klärungsprozessen als auch in den Umsetzungsphasen eine breite Beteiligung der verschiedenen Akteure (Fach- und Funktionsbereiche, Hierarchieebenen, betriebliche Interessenvertretung) wichtig, da hierdurch ein erweitertes Verständnis von möglichen Problemen und zu erwartenden Anforderungen sowie zugleich ein höheres Maß an Transparenz gewährleistet ist. Verstärkt wird dieser Effekt viertens durch neue Formen der Zusammenarbeit zwischen den betrieblichen Akteuren, für die beispielsweise agile Planungsmethoden oder Konzepte des *design thinking* stehen. Bereits das Aufwerfen der Frage, inwieweit und in welcher Hinsicht Digitalisierung schon in der Klärungs- und Planungsphase neue Formen der betrieblichen Zusammenarbeit erfordert, erhöht das Engagement der Beteiligten und die Problemlösefähigkeit der Betriebe. Und schließlich scheint es fünftens angesichts der bereits geschilderten Dominanz von Technikexperten ratsam, die Mitgestaltungsmöglichkeiten der operativen Bereiche (Vorgesetzte und Beschäftigte) zu erhöhen. Über alle fünf Aspekte hinweg geht es dabei nicht nur um neue Organisationsformen bei der Planung und Umsetzung der digitalen Transformation, deren Realisierung für sich genommen bereits eine nicht zu unterschätzende Herausforderung darstellt, sondern auch um die Frage, ob eine ausreichende Ressourcenausstattung gewährleistet ist.

(6) In Ergänzung zu den genannten Herausforderungen und Perspektiven auf der betrieblichen Ebene ist die **Ausweitung und Intensivierung des zwischenbetrieblichen Erfahrungsaustausches** bis hin zu konkreten Kooperationen (etwa im Bereich der Qualifizierung) ein weiterer Ansatzpunkt, der nicht nur die Qualität von Digitalisierungsprozessen insgesamt erhöht, sondern zugleich das Engagement, die Problemlöse- und Handlungsfähigkeit der betrieblichen Akteure stärkt. Sowohl aufseiten des Managements als auch bei den betrieblichen Interessenvertretungen wurde im Vergleich unserer Untersuchungsfälle deutlich, dass sich vor allem die Betriebe durch eine größere Umsetzungsdynamik und aus ihrer Sicht auch bessere Ergebnisse auszeichneten, bei denen der regelmäßige und systematische Austausch mit anderen Betrieben einen besonders hohen Stellenwert hat. In der

Findungs- und Klärungsphase betrieblicher Veränderungen werden in solchen Betrieben typischerweise Treffen mit Betrieben organisiert, die im jeweiligen Themenfeld bereits über Erfahrungen verfügen (mitunter explizit als Benchmark-Reisen konzipiert), Managementvertreter nutzen Branchentreffen und berufsgruppenbezogene Arbeitskreise, Betriebsräte beteiligen sich an thematisch einschlägigen gewerkschaftlichen Arbeitskreisen und Initiativen oder nutzen Qualifizierungsangebote zum Erfahrungsaustausch und für das Knüpfen von Kontakten. Vereinzelt finden sich in unserer Untersuchungssample auch Fälle, die den zwischenbetrieblichen Erfahrungsaustausch über die Beteiligung an Forschungsprojekten (insb. Verbundforschungsprojekte des BMBF) intensivieren und auf diese Weise eine engere Anbindung an aktuelle Forschung und andere, besonders aktive Betriebe gleichzeitig realisieren.

Im Selbstverständnis der von uns befragten betrieblichen Akteure wird Digitalisierung primär als betriebliche Aufgabe gesehen, bei der überbetrieblichen Akteuren (Verbände und Politik) eher eine begleitende, unterstützende und Ressourcen bereitstellende Rolle zukommt. Hinweise oder gar Forderungen in Richtung Verbände und Politik wurden in den Interviews meist nur recht allgemein formuliert. Der Ton hierbei war – von einzelnen Infrastrukturaspekten abgesehen – in den allermeisten Gesprächen keineswegs kritisch. Positiv wurde vermerkt, dass Verbände und Politik sich aktiv mit dem Thema Digitalisierung beschäftigen und in den Bereichen Beratung, Qualifizierungsangebote und Forschung Ressourcen bereitstellen. Die Digitalisierung selbst, d.h. ihre Ausrichtung, ihre Dynamik und die hierdurch zu erreichenden Wirtschaftlichkeitsvorteile und Arbeitsverbesserungen hängen aus Sicht der betrieblichen Akteure jedoch an der Qualität der betrieblichen Prozesse. Hierauf haben Verbände und Politik wenig Einfluss; mehrfach wurde sogar explizit die Position vertreten, dass die Verbände auf der betrieblichen Ebene keine Rolle spielen sollten, da rein betriebliche Klärungs- und Aushandlungsprozesse aussichtsreicher erscheinen.

(7) Aus Sicht der Betriebe besteht bezogen auf die **Verbände** (arbeitgeber- und gewerkschaftsseitig) die Herausforderung der Digitalisierung darin, dass den Verbänden einerseits zwar eine Unterstützungsfunktion zukommt und bezogen auf die Politik eine Interessenvertretungsrolle zugeschrieben wird, dass die betrieblichen Prozesse jedoch weitgehend ohne aktive Interventionen von Verbandsakteuren ablaufen und sich hieran in den meisten Fällen von Managementseite und etwas weniger deutlich auch von Betriebsratsseite her im Grundsatz auch nichts ändern sollte. Nicht aktive Begleitung von betrieblichen Veränderungsprozessen, sondern Koordination bei übergreifenden Themen und Bereitstellung von unterstützenden Ressourcen ist den Betrieben zufolge die zentrale Aufgabe der Verbände. Beim Thema Digitalisierung geht es dabei zunächst einmal um Koordination in Richtung Politik und die vielfältigen für Digitalisierung wichtigen Forschungs- und Regulierungsthemen (technische und rechtliche Standards sowie Bildungspolitik und Aus- und

Weiterbildungsfragen). Wiederkehrend in den Fallstudien genannte Perspektiven für die Verbände waren zum einen eine stärkere verbandsübergreifende Koordination sowohl zwischen Arbeitgeber- und Arbeitnehmerverbänden aber auch zwischen verschiedenen Fachverbänden. In den Betrieben stellt sich Digitalisierung als ein ganzheitlich zu bewältigender Prozess dar, auf Verbandsebene, die zumeist als durchaus aktiv und beim Thema engagiert erlebt wird, werde, so der verschiedentliche Hinweis, mitunter noch zu sehr aus der jeweiligen Einzellogik heraus gedacht. Generell lassen sich bezogen auf die Funktionen der Verbände beim Thema Digitalisierung drei Perspektiven hervorheben.

Es geht erstens um die Bereitstellung von Beratungsressourcen und Qualifizierungsangeboten, zweitens wird die Notwendigkeit betont, Digitalisierung nicht nur als Spezialthema zu behandeln, sondern es stärker in den bestehenden Gremien, Arbeitskreisen und Austauschrunden zum Thema zu machen, und drittens kommt den Verbänden eine wichtige Rolle als Andockpunkte und Organisatoren von zwischenbetrieblichen Erfahrungsaustauschen zu. Letzteres erscheint insbesondere dann als aussichtsreich, wenn Austausche mit konkreten Initiativen oder fachlich-thematischen Schwerpunkten gekoppelt sind. Dies können Themen (z.B. Datenschutz oder Qualifizierung), Technologien (z.B. additive Fertigung oder künstliche Intelligenz) aber auch bestimmte Teilbranchen (z.B. Landmaschinen oder Antriebstechnik) oder Tätigkeitfelder (z.B. Entwicklung oder Teilefertigung) sein. Über die Organisation und Begleitung von zwischenbetrieblichen Erfahrungsaustauschen lässt sich zum einen die in vielen Betrieben nach wie vor verbreitete Unsicherheit bearbeiten und sie können zudem eine Grundlage für die Weiterentwicklung und Verbreitung von Digitalisierungskonzepten sein. Zum anderen bieten sie aus Sicht der Verbandsvertreter die Chance, die politischen Aktivitäten der Verbände noch enger mit den betrieblichen Erfahrungen rückzukoppeln.

(8) Ähnlich wie bei den Verbänden stehen auch bei den **Erwartungen der Betriebe an die Politik** Ressourcenfragen, aber auch Rahmenbedingungen, und wiederum Unterstützungsleistungen im Vordergrund. Klare Grenzen zwischen landes- und bundespolitischen Fragen wurden von den Gesprächspartnern dabei nicht gezogen. Teils schwimmen die Adressaten der Aussagen, teils werden sie bewusst an die Politik insgesamt gerichtet. Stärker noch als auf der Ebene der Verbände geht es vordringlich um die Bereitstellung von Ressourcen: mitunter auch Beratungsressourcen, die insbesondere von kleineren Betrieben betont werden, v.a. jedoch Ressourcen in den Bereichen Forschung und Entwicklung, Qualifizierung sowie Mittel für Investitionen. Beklagt wird dabei verschiedentlich, insbesondere wenn es sich um geförderte Forschungsprojekte handelt, dass der Beantragungsaufwand sehr groß und ohne professionelle Unterstützung kaum zu bewältigen sei. Hinzu kommen bei den Wünschen an die Politik Fragen der technischen Infrastruktur (insb. Breitbandausbau und 5G-Thematik). Während die Aufgabe der themenbezogenen Initiierung und Begleitung von zwischenbetrieblichen Erfahrungsaustauschen und Arbeitskreisen

stärker auf der Ebene der Verbände angesiedelt wird, kommt staatlichen Akteuren aus Sicht der Betriebe – neben ihrer Hauptaufgabe gesetzgeberischer Initiativen – die Rolle zu, die verschiedenen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Akteure zusammenzubringen. Ähnlich wie die Verbände beim Thema Digitalisierung eine intensivere Zusammenarbeit zwischen den Betrieben fördern sollten, sei es Aufgabe der Politik, die verschiedenen Verbände und gesellschaftlichen Gruppen zusammenzubringen.

Rechtliche Fragen haben in den Sichtweisen der betrieblichen Experten demgegenüber eine geringere Rolle gespielt – sicherlich auch deshalb, weil, vom Thema Datenschutz bzw. IT-Sicherheit abgesehen, aus Sicht der Maschinenbaubetriebe unklar ist, ob überhaupt und in welchen Bereichen rechtlicher Klärungsbedarf besteht. Bezogen auf die derzeitigen Digitalisierungsprozesse stellen die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Maschinenbauer keine Hürden dar. Nicht einmal die im Zusammenhang mit Digitalisierung derzeit wieder intensiver diskutierte Frage der Regulierung von Arbeitszeiten war aus Sicht unserer Gesprächspartner ein dringliches Thema. Managementvertreter und Betriebsräte betonten, vor dem Hintergrund von überwiegend kooperativen Arbeitsbeziehungen mit den betrieblich gefunden Lösungen gut leben zu können und wiesen fast durchweg darauf hin, dass es sich beim Thema (Arbeitszeit-)Flexibilität ohnehin um ein beiderseitiges Geben und Nehmen handeln müsse. Eine deutlich aktivere Rolle der Politik wurde schließlich im Bereich der Bildungspolitik gesehen. Auch hier standen wiederum Ressourcenfragen im Vordergrund – meist blieb es auch in diesem Themenfeld jedoch bei generellen Hinweisen wie einer besseren technischen und personellen Ausstattung der Schulen und insbesondere Berufsschulen.

Literatur

- acatech (Hrsg.) 2013: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt/Main: Geschäftsstelle der Plattform Industrie 4.0
- Arntz, Melanie/Gregory, Terry/Zierahn, Ulrich 2016: The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis. OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189. Paris: OECD
- Baethge-Kinsky, Volker/Kuhlmann, Martin/Tullius, Knut 2018: Technik und Arbeit in der Arbeitssoziologie – Konzepte für die Analyse des Zusammenhangs von Digitalisierung und Arbeit. In: Arbeits- und Industriesoziologische Studien, Jg. 11, Heft 2, Oktober 2018, S. 91-106
- Baldwin, Carliss Y./Clark, Kim B. 2000. Design Rules, Volume 1: The Power of Modularity. Cambridge, MA: The MIT Press
- Bauernhansl, Thomas/ten Hompel, Michael/Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.) 2014: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden: Springer Vieweg
- Bertelsmann 2018: Zukunft der Arbeit in deutschen KMU. Werkstattbericht. Gütersloh: Bertelsmann
- BMAS (Hrsg.) 2015: Grünbuch Arbeiten 4.0. Berlin: BMAS
- BMAS (Hrsg.) 2016: Weißbuch Arbeiten 4.0. Berlin: BMAS
- BMWi (Hrsg.) 2015ff: Wirtschaft DIGITAL. Berlin: BMWi
- Bonin, Holger/Gregory, Terry/Zierahn, Ulrich 2015: Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. BMAS Forschungsbericht 455. Berlin: BMAS
- Botthof, Alfons/Hartmann, Ernst Andreas (Hrsg.) 2015: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin: Springer Vieweg
- Bosch, Gerhard/Bromberg, Tabea/Haipeter, Thomas/Schmitz, Jutta 2017: Industrie und Arbeit 4.0. Befunde zu Digitalisierung und Mitbestimmung im Industriesektor auf Grundlage des Projekts „Arbeit 2020“. IAQ-Report 2017-04. Duisburg: IAQ
- Brödner, Peter 1985: Fabrik 2000. Alternative Entwicklungspfade in die Zukunft der Fabrik. Berlin: edition sigma
- Brynjolfsson, Erik/McAfee, Andrew 2014: The Second Machine Age. Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. New York: Norton
- CIMA 2017: Branchenexpertise Maschinenbau. Hannover: CIMA
- Dengler, Katharina/Matthes, Britta 2015: Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland. IAB-Forschungsbericht 11/2015. Nürnberg: IAB
- Deutscher Bundestag 2017: Additive Fertigungsverfahren (3D-Druck). Technikfolgenabschätzung. Drucksache 18/13455
- Dispan, Jürgen 2016: Modulare Bauweise – Erfolgsfaktor für den Maschinen- und Anlagenbau. Wirkung von Baukastensystemen auf Beschäftigung. Frankfurt/Main: IG Metall
- Dispan, Jürgen/Schwarz-Kocher, Martin 2018: Digitalisierung im Maschinenbau. Entwicklungstrends, Herausforderungen, Beschäftigungswirkungen, Gestaltungsfelder im Maschinen- und Anlagenbau. Working Paper Forschungsförderung Nr. 094, Sept. 2018. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung
- Ehrenberg-Silies, Simone/Kind, Sonja/Jetzke, Tobias/Bovenshulte, Marc 2018: Additive Fertigungsverfahren, Anwendungen und Potenziale. Studie durchgeführt von der VDI/VDE Innovation und Technik GmbH. Berlin: VDI/VDE-IT

- Evers, Maren/Krzywdzinski, Martin/Pfeiffer, Sabine 2018: Designing wearables for use in the workplace: the role of solution developers. discussion paper SP III 2018-301, August 2018. Berlin: WZB
- Frey, Carl Benedikt/Osborne, Michael 2013: The future of employment. How susceptible are jobs to computerisation? Oxford: Oxford Martin School, University of Oxford
- Gassmann, Oliver/Sutter, Philipp 2016 (Hrsg.): Digitale Transformation im Unternehmen gestalten. Geschäftsmodelle, Erfolgsfaktoren, Handlungsanweisungen, Fallstudien. München: Hanser
- Hildebrandt, Eckart/Seltz, Rüdiger 1989: Wandel betrieblicher Sozialverfassung durch systemische Kontrolle? Die Einführung computergestützter Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme im bundesdeutschen Maschinenbau. Berlin: edition sigma
- Hildebrandt, Eckart (Hrsg.) 1991: Betriebliche Sozialverfassung unter Veränderungsdruck – Konzepte Varianten, Entwicklungstendenzen. Berlin: edition sigma
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut/Schultz-Wild, Rainer/Köhler, Christoph/Behr, Marhild von 1990: Einstieg in die rechnerintegrierte Produktion. Alternative Entwicklungspfade der Industriearbeit im Maschinenbau. Frankfurt/Main: Campus
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut/Ittermann, Peter/Niehaus, Jonathan (Hrsg.) 2018: Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut 2016: Industrie 4.0 als Technologieversprechen. Technische Universität Dortmund, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät: Soziologisches Arbeitspapier Nr. 46, Juni 2016. Dortmund
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut 2018: Arbeit 4.0: Pfadabhängigkeit statt Disruption. Technische Universität Dortmund, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät: Soziologisches Arbeitspapier Nr. 52, März 2018. Dortmund
- Ittermann, Peter/Niehaus, Jonathan 2015: Arbeiten in der Industrie 4.0. Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder. Düsseldorf: HBS
- IW Consult 2017: Niedersachsen Digital. Digitalisierung aktiv gestalten. Köln: IW Consult
- Kagermann, Henning/Anderl, Reiner/Gausemeier, Jürgen/Schuh, Günther/Wahlster, Wolfgang (Hrsg.) 2016: Industrie 4.0 im globalen Kontext. Strategien der Zusammenarbeit mit internationalen Partnern. München: Herbert Utz Verlag
- Kern, Horst/Schumann, Michael 1984: Das Ende der Arbeitsteilung? Rationalisierung in der industriellen Produktion. München: Beck
- Kuhlmann, Martin/Schumann, Michael 2015: Digitalisierung fordert Demokratisierung der Arbeitswelt heraus. In: Hoffmann, Reiner/Bogedan, Claudia (Hrsg.): Arbeit der Zukunft. Frankfurt/Main: Campus, S. 122-140
- Kuhlmann, Martin/Splett, Barbara/Wiegrefe, Sascha 2018: Montagearbeit 4.0? Eine Fallstudie zu Arbeitswirkungen und Gestaltungsperspektiven digitaler Werkerführung. In: WSI-Mitteilungen, Jg. 71, Nr. 3, S. 182-188
- Kuhlmann, Martin/Sperling, Hans Joachim/Balzert, Sonja (2004): Konzepte innovativer Arbeitspolitik. Good-Practice-Beispiele aus dem Maschinenbau, der Automobil-, Elektro- und Chemischen Industrie. Berlin: edition sigma
- Lay, Gunter/Wengel, Jürgen 1998: Technikrends in der Produktionsmodernisierung. Rechnerintegration auf leisen Sohlen. Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung Nr. 12. Karlsruhe: Fraunhofer ISI
- Lerch, Christian/Jäger, Angela/Spomenka, Maloca 2017: Wie digital ist Deutschlands Industrie wirklich? Arbeit und Produktivität in der digitalen Produktion. Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung Nr. 71. Karlsruhe: Fraunhofer ISI

- Lichtblau, Karl/Stich, Volker/Bertenrath, Roman/Blum, Matthias/Bleider, Martin/Millack, Agnes/Schmitt, Katharina/Schmitz, Edgar/Schröter, Moritz 2015: Industrie 4.0-Readiness. Frankfurt/Main: VDMA
- Lins, Dominik/Ruhe, Arne-Hendrik/Bicer, Enis/Schäfer, Marvin/Palomo, Mark Esteban/Fili-piak, Kathrin/Niewerth, Claudia/Kreimeier, Dieter/Welling, Stefan/Wannöffel, Manfred 2018: Umsetzungsstand von Industrie 4.0 in nordrhein-westfälischen Industrieunternehm-en. Düsseldorf: FGW
- Niehaus, Jonathan 2017: Mobile Assistenzsysteme für Industrie 4.0. Gestaltungsoptionen zwischen Autonomie und Kontrolle. Düsseldorf: HBS
- Mayer-Schönberger, Viktor/Ramge, Thomas 2017: Das Digital. Das neue Kapital – Markt, Wertschöpfung und Gerechtigkeit im Datenkapitalismus. Berlin: Econ
- Pfeiffer, Sabine 2015: Warum reden wir eigentlich über Industrie 4.0? Auf dem Weg zum di-gitalen Despotismus. In: Mittelweg 36, Jg. 24, Heft 6, S. 14-36
- Pfeiffer, Sabine/Lee, Horan/Zirnig, Christopher/Suphan, Anne 2016: Industrie 4.0 – Quali-fizierung 2025. Frankfurt/Main: VDMA
- Radkau, Joachim 1989: Technik in Deutschland – Vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart. Frankfurt/Main: Suhrkamp
- Schlick, Christopher (Hrsg.) 2015: Arbeit in der digitalisierten Welt. Frankfurt: Campus
- Schuh, Günther/Riesener, Michael 2017: Produktkomplexität managen – Strategien, Me-thoden, Tools. 3. Aufl., München: Hanser
- Schumann, Michael/Baethge-Kinsky, Volker/Kuhlmann, Martin/Kurz, Constanze/Neumann, Uwe 1994: Trendreport Rationalisierung – Automobilindustrie, Werkzeugmaschinen-bau, Chemische Industrie. Berlin: edition sigma
- Spath, Dieter (Hrsg.) 2013: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart: Fraun-hofer IAO
- Spöttl, Georg/Gorltd, Christian/Windelband, Lars/Grantz, Torsten/Richter, Tim 2016: Indu-strie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E Industrie. München: bayme
- Spöttl, Georg/Windelband, Lars (Hrsg.) 2017: Industrie 4.0 : Risiken und Chancen für die Be-rufsbildung. Bielefeld: wbv
- Staab, Philipp 2016: Falsche Versprechen. Wachstum im digitalen Kapitalismus. Hamburg: HIS Verlag
- Ulrich, Karl 1995: The role of product architecture in the manufacturing firm. In: research Policy, vol. 24, issue 3, pp. 419-440
- VDMA Arbeitsgemeinschaft Additive Manufacturing 2018: Technology Scout, 2nd Edition. Frankfurt/Main
- Vogel-Heuser, Birgit/Bauernhansl, Thomas/ten Hompel, Michael (Hrsg.) 2016: Handbuch Industrie 4.0. Berlin: Springer
- WEF (World Economic Forum) 2016: The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution. Genf: World Economic Forum
- WGP (Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik WGP e. V.) (Hrsg.) 2016: WGP-Standpunkt Industrie 4.0. Darmstadt: WGP
- Widmaier, Ulrich (Hrsg.) 2000: Der deutsche Maschinenbau in den neunziger Jahren. Konti-nuität und Wandel einer Branche. Frankfurt/Main: Campus
- Windelband, Lars/Fenzl, Claudia/Hunecker, Felix/Riehle, Tamara/Spöttl, Georg/Städtler, Helge/Hribernik, Karl/Thoben, Klaus-Dieter 2010: Internet der Dinge in der Logistik. Qua-lifikationsanforderungen durch das Internet der Dinge in der Logistik. Bremen: Institut Technik und Bildung

-
- Wolf, Harald/Mickler, Otfried/Manske, Fred 1992: Eingriffe in Kopfarbeit. Die Computerisierung technischer Büros im Maschinenbau. Berlin: edition sigma
- Wolter, Marc Ingo/Mönnig, Anke/Hummel, Markus/Schneemann, Christian/Weber, Enzo/Zika, Gerd/Helmrich, Robert/Maier, Tobias/Neuber-Pohl, Caroline 2015: Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. IAB-Forschungsbericht 8/2015. Nürnberg: IAB
- Wolter, Marc Ingo/Mönnig, Anke/Hummel, Markus/Weber, Enzo/Zika, Gerd/Helmrich, Robert/Maier, Tobias/Neuber-Pohl, Caroline 2016: Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. IAB-Forschungsbericht 13/2016. Nürnberg: IAB
- Zeller, Beate/Achtenhagen, Claudia/Föst, Silke 2010: Das „Internet der Dinge“ in der industriellen Produktion – Studie zu künftigen Qualifikationserfordernissen auf Fachkräfteebene. Nürnberg: Forschungsinstitut Betriebliche Bildung
- Zuboff, Shoshana 2018: Das Zeitalter des Überwachungskapitalismus. Frankfurt/Main: Campus
- ZVEI (Hrsg.) 2016: Die Elektroindustrie als Leitbranche der Digitalisierung. Innovationschancen nutzen, Innovationshemmnisse abbauen. Frankfurt/Main: ZVEI

SOFI Arbeitspapiere / SOFI Working Papers

(Erscheinen seit 2007 | Published since 2007)

- 2007–02 Mayer-Ahuja, Nicole/Feuerstein, Patrick (2007): „IT-labour goes offshore: Regulating and managing attrition in Bangalore“
- 2008–03 Kretschmann, Claudia (2008): Studienstrukturreform an deutschen Hochschulen: Soziale Herkunft und Bildungsentscheidungen. Eine empirische Zwischenbilanz zum Bologna-Prozess
- 2009–04 Kurz, Constanze/Wolf, Harald (2009): „Kleiner Grenzverkehr: BiowissenschaftlerInnen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft“
- 2009–05 Kädtler, Jürgen (2009): Finanzialisierung und Finanzmarktrationalität. Zur Bedeutung konventioneller Handlungsorientierungen im gegenwärtigen Kapitalismus
- 2011–06 Mayer-Ahuja, Nicole (2010): Jenseits der „neuen Unübersichtlichkeit“. Annäherung an Konturen der gegenwärtigen Arbeitswelt
- 2012–07 Voskamp, Ulrich/Wittke, Volker (2012): Globale Qualitätsproduktion. Eine Studie zu neuen Strategien transnationaler Produktion bei Zuliefnern der Automobilindustrie und im Maschinenbau
- 2012–08 Kalkowski, Peter/Paul, Gerd (2012): Professionalisierungstendenzen im Wellness-Bereich?
- 2012–09 Wittke, Volker/Heidenreich, Martin/Mattes, Jannika/Hanekop, Heidemarie/Feuerstein, Patrick/Jackwerth, Thomas (/2012): Kollaborative Innovationen. Die innerbetriebliche Nutzung externer Wissensbestände in vernetzten Entwicklungsprozessen
- 2014–10 Peter Bartelheimer/Bettina Kohlrausch/René Lehweß-Litzmann/ Janina Söhn (2014): Teilhabebarrrieren: Vielfalt und Ungleichheit in segmentierten Bildungs- und Beschäftigungssystemen
- 2017–11 Peter Kalkowski (2017): Das Verhältnis von formaler und informaler Strukturierung bei kooperativer Produktentwicklung – Sechs Fallstudien im Vergleich
- 2018–12 Ehrenkolloquium für Michael Schumann zum 80. Geburtstag (2018): Zeitenwende
- 2018–13 Janina Söhn (2018): Is it time for a change? A literature review on occupational mobility among older workers in Germany and the USA
- 2018–14 Klaus-Peter Buss (2018): Auf dem Weg in den Handel 4.0?

SOFI Arbeitspapiere / SOFI Working Papers
finden Sie online unter | are available online:
www.sofi.uni-goettingen.de
