

Management mobiler Betriebsmittel unter Einsatz ubiquitärer Computersysteme in der Produktion

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Lamine Jendoubi
aus Frankenthal (Pfalz)

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. E. Westkämper

Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. U. Heisel

Tag der Einreichung: 18.10.2006

Tag der mündlichen Prüfung: 17.04.2007

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart

2007

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-------------|
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | XIII |
| ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS..... | XV |
| 1 EINLEITUNG | 19 |
| 1.1 Ausgangssituation | 19 |
| 1.2 Problemstellung | 21 |
| 1.3 Zielsetzung, Lösungsansätze und Vorgehensweise | 26 |
| 2 GRUNDLAGEN DES BETRIEBSMITTELWESENS..... | 33 |
| 2.1 Mobile Betriebsmittel in der Produktion | 33 |
| 2.1.1 Definition mobiler Betriebsmittel..... | 33 |
| 2.1.2 Werkzeuge | 34 |
| 2.1.3 Vorrichtungen | 35 |
| 2.1.4 Mess- und Prüfmittel | 37 |
| 2.2 Betriebsmittelbezogene Material- und Informationsflüsse..... | 37 |
| 2.2.1 Betriebsmittelbestandsplanung | 39 |
| 2.2.2 Betriebsmitteleinsatzplanung..... | 40 |
| 2.2.3 Betriebsmittelbewirtschaftung..... | 41 |
| 2.2.4 Betriebsmitteleinsatzsteuerung..... | 42 |
| 2.2.5 Betriebsmittelversorgung und -entsorgung..... | 44 |
| 2.2.6 Vorbereitung | 45 |
| 2.2.7 Einsatz..... | 47 |
| 2.2.8 Nachbereitung..... | 49 |
| 2.2.9 Lager | 50 |
| 2.3 Querschnittsaufgaben des Betriebsmittelmanagements..... | 50 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.4 | Verwaltungssysteme und Funktionen..... | 53 |
| 2.5 | Fazit..... | 58 |
| 3 | ANALYSE DER TECHNOLOGISCHEN RAHMENBEDINGUNGEN | 59 |
| 3.1 | Einfluss von Umweltbedingungen im industriellen Umfeld | 59 |
| 3.2 | Identifikationstechnologien | 61 |
| 3.2.1 | Mechanisch | 61 |
| 3.2.2 | Elektronisch | 62 |
| 3.2.3 | Optische Verfahren | 62 |
| 3.2.4 | Funk-Verfahren..... | 64 |
| 3.2.5 | Magnetisch..... | 66 |
| 3.3 | Positionierungstechnologien..... | 67 |
| 3.3.1 | Cell-Identification..... | 67 |
| 3.3.2 | Signalniveaumessung..... | 67 |
| 3.3.3 | Anguläre Peilung | 67 |
| 3.3.4 | Time Difference of Arrival..... | 68 |
| 3.4 | Mobile Kommunikationstechnologien..... | 69 |
| 3.4.1 | Bluetooth..... | 70 |
| 3.4.2 | Digital Enhanced Cordless Telecommunications..... | 70 |
| 3.4.3 | Wireless Local Area Network..... | 70 |
| 3.4.4 | Global System for Mobile Communication..... | 71 |
| 3.4.5 | General Packet Radio Service..... | 71 |
| 3.4.6 | Enhanced Data for Global Evolution..... | 71 |
| 3.4.7 | Universal Mobile Communication System..... | 72 |
| 3.5 | Datenhaltungstechnologien..... | 72 |
| 3.5.1 | Lokale Datenhaltung..... | 72 |
| 3.5.2 | Zentrale Datenhaltung..... | 73 |
| 3.5.3 | Kontextbezogene Datenhaltung..... | 74 |
| 3.6 | Fazit..... | 75 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4 | KONZEPTION DES BETRIEBMITTELWESENS IN DER SMART FACTORY | 77 |
| 4.1 | Gesamtkonzept..... | 77 |
| 4.2 | Technologische Teilkonzepte | 81 |
| 4.2.1 | Transport..... | 81 |
| 4.2.2 | Vorbereitung | 87 |
| 4.2.3 | Einsatz..... | 88 |
| 4.2.4 | Nachbereitung..... | 90 |
| 4.2.5 | Lager | 91 |
| 4.3 | Ontologie mobiler Betriebsmittel in der Smart Factory | 92 |
| 4.4 | Realisierungsaspekte..... | 94 |
| 4.4.1 | Systemmodule..... | 94 |
| 4.4.2 | Systemkommunikation | 95 |
| 5 | PROTOTYPISCHE UMSETZUNG DES BETRIEBSMITTELWESENS IN DER SMART FACTORY | 96 |
| 5.1 | Hardware-Ebene | 97 |
| 5.1.1 | Transport..... | 97 |
| 5.1.2 | Vorbereitung | 113 |
| 5.1.3 | Einsatz..... | 114 |
| 5.1.4 | Nachbereitung..... | 115 |
| 5.1.5 | Lagern | 116 |
| 5.2 | Software-Ebene..... | 122 |
| 5.2.1 | Mikrocontroller..... | 122 |
| 5.2.2 | Verwaltungsrechner | 124 |
| 5.2.3 | Zentralrechner und Kontextserver | 133 |
| 5.2.4 | Initialisierungs- und Registrierungsrouinen | 137 |
| 5.3 | Validierung | 142 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6 | RESÜMEE | 143 |
| 7 | SUMMARY | 146 |
| 8 | ANHANG | 149 |
| 8.1 | Berechnung der Induktivität der Antennenspule | 149 |
| 8.2 | Pinbelegung, Bauteilliste, Schaltplan | 154 |
| 8.3 | Betriebsmittelkreislauf mit Einordnung ins Betriebsmittelwesen | 160 |
| 9 | LITERATURVERZEICHNIS | 161 |

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die Wandlung vom Verkäufer- zum Käufermarkt, gepaart mit der erhöhten Anzahl internationaler Wettbewerber, verlangt von produzierenden Unternehmen durchgängige strategische Ausrichtungen um wirtschaftlich erfolgreich zu sein [ADA98, BLE04]. Dabei stehen für die Unternehmen je nach Marktsituation und aktuellen Rahmenbedingungen unterschiedliche Strategien zur Wahl [TAY11, BRA97, SAU98, LUK01]. Speziell in Deutschland hat sich dabei die Entwicklung und Implementierung neuer Technologien (Technologieführerschaft) sowie kundenspezifischer Produkte zu einem relevanten Marktsegment der Wirtschaft entwickelt. So sind Einzel- und Kleinserienfertiger, etwa der Werkzeugmaschinen Sektor, der durch hohe kundenindividuelle Anforderungen bei gleichzeitig hoher Technologieanforderung geprägt ist, mit einem Marktvolumen von 8,3 Milliarden einer der wichtigsten Maschinenbauzweige [VDW06]. Um entsprechende Produkte wirtschaftlich anbieten zu können und damit dem wachsenden internationalen Konkurrenzdruck gewachsen zu sein, müssen die relevanten Betriebsmittel allerdings eine hohe Flexibilität besitzen [HAM97, WES01, WES04]. Nur dann kann mit geringen Zusatzkosten neuen Anforderungen begegnet werden. Das heißt, es kann schnell und effizient auf neue Kundenwünsche aber auch geänderte technologische Entwicklungen reagiert werden. Neben dem Personal sind die für den Fertigungsprozess relevanten Ressourcen, nach Westkämper, vor allem der Arbeitsplatz selbst, aber auch Werkzeuge, Vorrichtungen, Materiallogistiksysteme, Energie und Information [WES04]. Diese Definition behält auch heute ihre Bedeutung. Demnach sind diese Teilbereiche zu flexibilisieren um auch in Zukunft konkurrenzfähige Produkte anbieten zu können [HEI04, HEI05]. Das Personal passt sich durch Entwicklungsprogramme und durch Konzepte des „Lebenslangen Lernens“ den neuen Herausforderungen an [SCH00, HAU04]. Dieser Vorgang wird nun durch gravierende Veränderungen in der Informations- und Kommunikationstechnologie beschleunigt und auf die materiellen Betriebsmittel ausgeweitet [HAU04, MEN04]. So werden Maschineninformationen über standardisierte Protokolle ausgelesen und durch Dienstleister ausgewertet [SPA02a, STO06]. Neue Werkstoffe und Produktionsverfahren, wie beispielsweise Hochleistungszerspannung (HPC), eröffnen neue Bereiche der Fertigungspräzision und -geschwindigkeit,

aber auch die zu handhabende Komplexität [BKS05, WEI05, WES04]. Der Kunde fordert dennoch auch weiterhin qualitativ hochwertige, das heißt an seine Anforderungen angepasste Lösungen. Dem variantenreichen Produktportfolio können die produzierenden Unternehmen nur durch weitere Flexibilisierung der Produktionsressourcen und internen Prozesse erfolgreich begegnen [SPA02b, WIE04, WIE06, WIL03]. Somit entsteht ein Kreislauf aus Flexibilisierung, erhöhten Kundenanforderungen bezüglich individueller Spezifikation und weiterer Flexibilisierung [WIE04, WIL03].

Im Gegensatz zu der früheren Annahme, dass erhöhte Flexibilisierung mit einem höheren Automatisierungsgrad einhergehen muss [ZIP94], kommt man heute zu dem Schluss, dass die Flexibilität eines modernen Produktionssystems auf aktuellen Informationen und damit einer optimierten Koordination der unterschiedlichen Teilsysteme beruht [SPA02b, SPA03, WJN04]. Ziel bleibt es, kostenoptimal, möglichst kundenauftragspezifisch zu produzieren. Einzelelemente des Produktionssystems, welches Planung, Steuerung, Produktionsanlagen und Peripheriesysteme umfasst, sind durch ein zentral gesteuertes Materialflusskonzept miteinander verknüpft, um Liegezeiten möglichst zu minimieren [BKS05, HAI06, LMI06, WIL06]. Für jede Fertigungszelle führt eine Unterversorgung mit den oben genannten Produktionsressourcen zum Stillstand der Produktion, beziehungsweise zu einem Qualitätsverlust. Demnach kommt dem Material- und Informationsfluss nicht nur in der einzelnen Fertigungszelle, sondern auch zwischen den Zellen eine hohe Bedeutung zu. Das ist zum einen der Auftragsdurchlauf, zum anderen der Betriebsmittelkreislauf. Diese beiden Flüsse unterscheiden sich grundlegend durch die Tatsache, dass Werkstücke eine lineare Wertschöpfung erfahren, das heißt, sie werden als Halbzeuge (Rohmaterial) eingeschleust und verlassen als Fertigteil (Baugruppe) das Unternehmen. Im Gegensatz dazu fließen mobile Betriebsmittel, zum Beispiel Werkzeuge, ins Unternehmen ein, zirkulieren mehrmals zwischen den verschiedenen verantwortlichen Abteilungen, Lager, Vorbereitung, Einsatz, Nachbereitung und verlassen erst ab einer definierten Verschleißgrenze das Unternehmen [GRO05, VDI2815]. Demnach unterliegen Betriebsmittel im Gegensatz zu den Werkstücken keiner direkten Wertschöpfung, sondern dienen dem Fertigungsprozess. Beide benötigen eine hohe Verfügbarkeit, da ihr Fehlen am Produktionsprozess nicht ausgleichbar ist und damit den Stillstand des Gesamtsystems zur Folge hätte [ROM92, MUM99, VAL04].

1.2 Problemstellung

Die Verfügbarkeit von Material und Betriebsmitteln ohne überhöhte Bestände bildet die Grundlage der flexiblen Produktion, die wiederum benötigt wird, um schnell auf Kundenanforderungen reagieren zu können und somit Marktanteile zu halten bzw. zu gewinnen [VIE88, LMI03, WIE04].

Bei der Koordination der Betriebsmittel und deren Verwaltung stellen sich die mobilen Betriebsmittel, also Fertigungshilfsmittel wie Vorrichtungen, Werkzeuge und Messmittel als besonders komplex heraus [BRU79, LEI96, MUM99, VDI2815]. Repräsentativ für diese mobilen Betriebsmittel sollen Werkzeuge genauere Betrachtung finden. Diese laufen nicht unidirektional durch das Unternehmen, wie z.B. Material, sondern bewegen sich durch entsprechende Instandhaltung in Kreisläufen durch unterschiedliche Zuständigkeitsbereiche und ändern dabei Position und Zustand [MAR04, MUM99, WEI95].

Systemtechnisch bildet sich dabei folgender Kreislauf heraus [MUM99, WEI05]:

- Lagerung, Transport und Handhabung
- Zusammenbau, Voreinstellung, Messung
- Einsatz und partieller Verbrauch an stationären Maschinen
- Wiederaufbereitung und Instandsetzung

Hinzu kommt die Entwicklung der Werkzeuge selbst, die stets durch das Ziel der Bearbeitungszeitverkürzung und Oberflächenanforderungen vorangetrieben wurde. Dies war auch der Hauptgedanke, der in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts zur Erforschung der Technologie der Hochleistungsbearbeitung (HPC) führte, um die Bearbeitungszeiten und -kosten zu senken und damit wettbewerbsfähig zu bleiben [SLZ97, BAR98, WEI05].

Durch die starke Verkürzung der direkten Bearbeitungszeiten an der Maschine kommt es gleichzeitig zu einem prozentualen Anstieg der Nebenzeiten für Werkzeuge und Aufwendungen für das Unternehmen, um die gestiegene Vielfalt an spezialisierten Werkzeugen und deren Logistik zu decken [EGG95, HES00, MUM99]. Bedingt wird diese Kostensteigerung nicht nur durch eine höhere Anzahl der Rüstvorgänge, sondern auch durch die Aufwendung der fertigungsnahen Dienste [STO06]. Trotz dieser Rahmenbedingungen ist die Verfügbarkeit dieser Produktionsressourcen zur Wertschöpfung in den fertigenden Betrieben zwingend erforderlich.

Aktuelle Systeme der Planung und Steuerung von Prozessen in Unternehmen stellen daher neben der eigentlichen Fertigungsplanung unterstützende Module zur Verwaltung von Betriebsmitteln zur Verfügung. Dabei werden Werkzeuge in entsprechenden Datenbanken mit ihren spezifischen technischen Kenngrößen abgelegt [GOE06]. Diese zentralen Systeme haben aufgrund der hohen Mobilität der Werkzeuge den Nachteil, dass nicht sichergestellt werden kann, ob der im System gespeicherte Ort auch mit dem realen Zustand (bzw. Ort) übereinstimmt [GOE06]. Dies führt zu überhöhten Suchzeiten und langen Liegezeiten, wie Abb. 1-1 und Abb. 1-2 zeigen [BAU04].

Gemäß durchgeführter interner Studien in fünf variantenreichen Produktionsunternehmen entfallen so im Durchschnitt 30% der Richtzeit für einen Werkzeugsatz auf das Suchen der Werkzeuge.

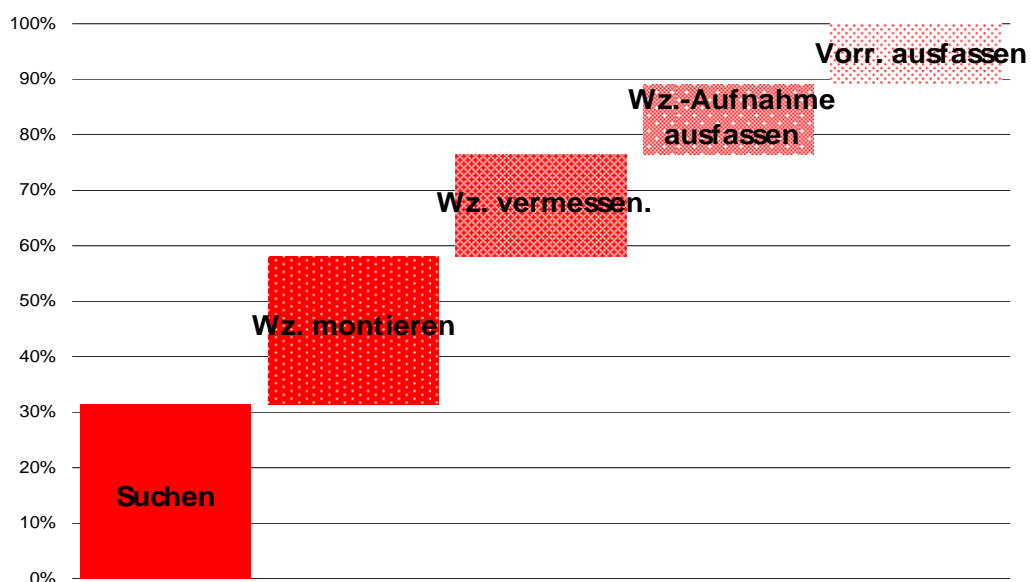


Abb. 1-1: Zeitanalyse der Werkzeugvorbereitung

Maßgeblich verantwortlich sind hierfür Fehlbuchungen innerhalb der Ausgabevorgänge. Diese entstehen durch sehr flexible Auftragswechsel und unterschiedliche Schichtmodelle in Fertigung und Lager sowie unterschiedliche Zuständigkeitsbereiche. Begünstigt werden diese Fehlleistungen durch variierende Softwareschnittstellen zwischen den zuständigen Bereichen [BAU04]. Dies führt zu hohen Bindungszeiten der auftragsbezogenen Werkzeugsätze und damit zu einer weiteren Erhöhung der Bestände um die Verfügbarkeit sicherzustellen. Letztlich führen Informationsdefizite zu Fehlplanungen und damit zu Fehlaufwendungen.

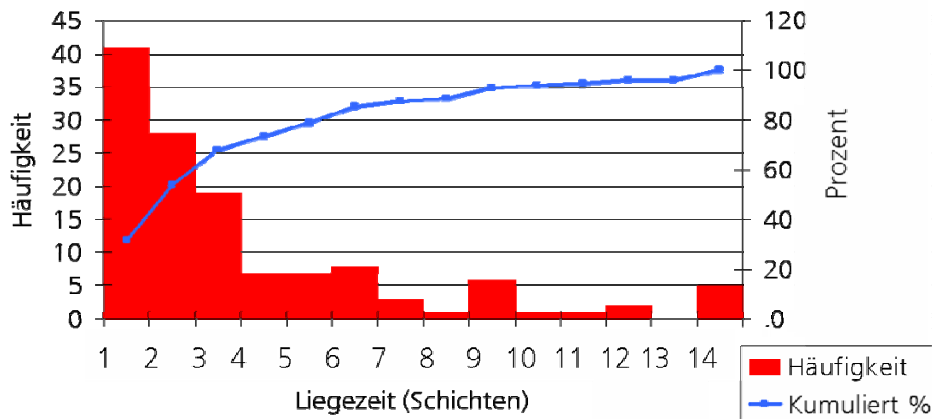


Abb. 1-2: Liegezeiten von Werkzeugsätzen

Die benötigte Verfügbarkeit der Werkzeuge bei gleichzeitiger Flexibilisierung und Leistungssteigerung der Fertigungstechnologie führte zu einer stetigen Bestandserhöhung. Diesen Trend belegt die Auswertung der Kostenstruktur nationaler Unternehmen. So werden, laut VDMA-Statistik, jährlich für jede Investition in eine Werkzeugmaschine, zusätzlich 85 % der Kosten für Fertigungshilfsmittel getätigt [STA03], siehe Abb. 1-3.

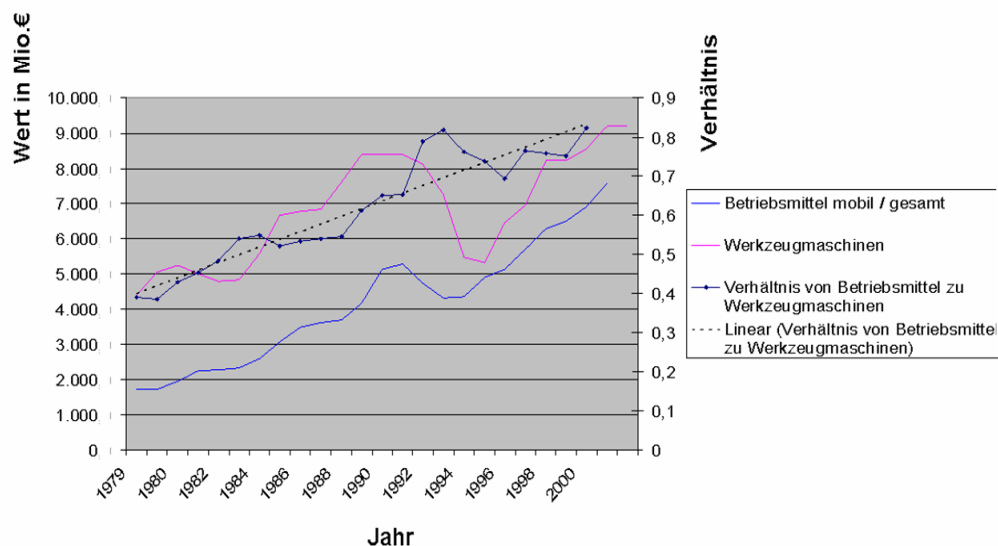


Abb. 1-3: Entwicklung der anteiligen Investitionskosten zwischen Werkzeugmaschinen und mobilen Betriebsmitteln

Mit der Bestandserhöhung steigen ebenfalls die Fertigungskosten. Dabei führt die klassische Kostenkalkulation zu Ergebnissen, die zu Fehlinterpretationen bezüglich der Kostensteigerung durch überhöhte Werkzeugbestände führen können. Die Ergebnisse einer Analyse zur Zusammensetzung der Fertigungskosten bei der Herstellung von PKW-Getrieben sind beispielhaft in Abb. 1-4 wiedergegeben [WEI95]. Die zwei Hauptkostenblöcke, bestehend aus Material- und Personalkosten, die diesem Diagramm zu entnehmen sind, entsprechen allgemeinen Vorstellungen. Auch der Werkzeugkostenanteil von 4% stimmt mit den genannten Angaben der Fachliteratur überein [TOE93a, TOE93b, HAR93, HAR97, REI97, MUM99]. Bei Betrachtung dieser Ergebnisse muss aber berücksichtigt werden, dass sich dieser Werkzeugkostenanteil lediglich auf die einmalige Anschaffung der Erstausrüstung bezieht. Die kontinuierlich entstehenden Kosten während des Werkzeugkreislaufs für Verwaltung, Lagerung, Transport, Kontrolle, Aufbereitung, Entsorgung und die erneute Beschaffung verschlissener Werkzeuge sind nicht berücksichtigt. Harstorff nimmt allein für Lagerbestände Kosten in Höhe von 15 % des Bestandswertes an, die sich nur aus kalkulatorischen Zinsen und Lagerkosten zusammensetzen [HAR93, HAR97, MUM99].

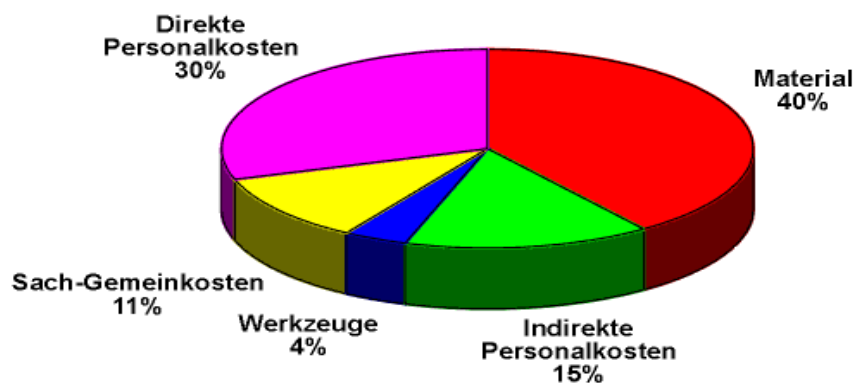


Abb. 1-4: Fertigungskostenverteilung bei der Großserienherstellung [WEI95]

Die Verfügbarkeitserhöhung der Werkzeuge führt somit in der flexiblen Fertigung zu einer Bestandserhöhung der Werkzeuge und damit zu einer Kostensteigerung. Diese wiederum führt zu schnelleren Reaktionen auf Kundenanforderungen und damit weiterer Erhöhung der Flexibilität. Trotz wachsender Bestände sind gerade hochflexible Unternehmen in der Realität noch immer mit folgenden Problemstellungen konfrontiert:

Betriebsmittelfehlmengen

- Fehlerhafte Lieferung von Betriebsmitteln an die Fertigung

Auftragsverzögerung in der Produktion

- Hohe Suchzeiten
- Ungenaue Kenntnis über Aufenthaltsort
- Lange Liegezeiten
- Lange Rüstzeiten
- Ungenügende Abstimmung über alternative Betriebsmittel
- Fehlende Information über Betriebsmittel
 - Unterschiedliche Nummernsysteme
 - Korrektur der Daten nur in den Fachbereichen
 - Ungenaue Zustände

Erhöhte Betriebsmittelkosten

- Hohe Betriebsmittelvielfalt
- Hohe Bestände
- Hoher Bedarf aufgrund von kleinen Losgrößen

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Verwaltung mobiler Betriebsmittel durch die Dynamisierung der Markt- und damit auch der Fertigungsanforderungen eine wachsende Bedeutung zukommt. Wie beschrieben entstehen Fehlleistungen als Folge von Informationsdefiziten, welche wiederum zu verallgemeinerten Kosten- und Analysestrukturen führen und gezielte Verbesserungsmaßnahmen verhindern [BUL03, DOP05]. Dies geschieht aufgrund falscher, veralteter oder nicht verfügbarer Datensätze, die aus der realen Welt aufgezeichnet wurden und nur unzureichend mit den Planungs- und Steuerungsentitäten gekoppelt werden können [WGF04, WES05]. Der Sektor der Stammdatenverwaltung wird bereits durch handelsübliche Software abgedeckt. Bewegungsdaten hingegen werden nur in Teilbereichen, wie der Einstelldatenerfassung, bedient. Räumliche Daten, sowie dynamische Zustandserfassungen werden nicht oder mit starker zeitlicher Latenz betrachtet, was zu überhöhten Lagerbeständen und/oder logis-

tischen Fehlleistungen führt. Aktuelle Systeme sind demzufolge nicht in der Lage, der zunehmenden Flexibilisierung des unternehmerischen Umfeldes zu folgen und so eine wirtschaftliche Verfügbarkeit zu gewährleisten. Um dieses kontextabhängige Informationspotenzial der Fertigung erschließen zu können bedarf es völlig neuer methodischer und technologischer Ansätze.

1.3 Zielsetzung, Lösungsansätze und Vorgehensweise

Ziel der Arbeit ist es, durch eine dynamische Verwaltung der Betriebsmittel, ein dezentrales, kontextbezogenes Managementsystem mit entsprechender Informationsplattform zu entwickeln. Die akquirierten Informationen sollen im Anschluss dazu dienen, gerichtete Verbesserungsprozesse anzustoßen. Dies war bisher aufgrund der unklaren Informationslage und Kostenstruktur nicht möglich, was zu einer Bestanderhöhung führte, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Hiermit soll der Kreislauf aus erhöhter Komplexität, daraus resultierender Bestanderhöhung sowie Kostenerhöhung der Werkzeuge und erneuter Komplexitätserhöhung unterbrochen werden (siehe Abb. 1-5).

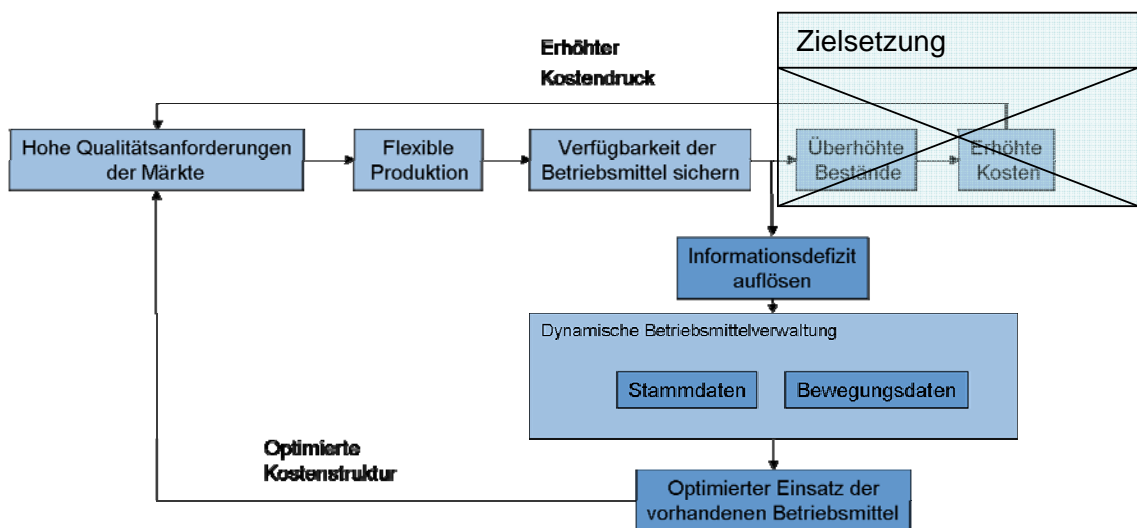


Abb. 1-5: Auswirkungen der Betriebsmittelverfügbarkeit auf die flexible Produktion

Es wird ersichtlich, dass die Aktualität der Betriebsdatenrückmeldung und die Weiterleitung an die beteiligten Planungsbereiche dabei die wichtigsten Faktoren zur Beseitigung der Kerndefizite sind. Daher sind eine genaue Bestimmung des Aufenthaltsortes, des Zustands der Betriebsmittel sowie ein ständiger Datenabgleich zwischen den Systemen für konsistente Daten notwendig.

Zukünftige dynamische Betriebsmittelverwaltungssysteme sollen daher neben den heute schon üblichen Basisfunktionen der Stammdaten-, Einsatz- und Bestellungsverwaltung folgende Anforderungen erfüllen:

- Verringerung der Betriebsmittelvielfalt
- Verkleinerung der Bestände / Lager
- Verbesserung der Transparenz des Betriebsmittelwesens
- Verringerung der Rüstzeiten (Verfügbarkeit)
- Erhöhung der Auslastung des einzelnen Betriebsmittels (Verfügbarkeit)
- Erhöhung der Bereitstellungstransparenz für die Fertigung
- Flexiblere Disposition der Betriebsmittel
- Flexiblere Umdisposition von Betriebsmitteln im Störfall
- Verbesserung der Qualität

Ebenso wichtig wie die Verbesserung der Datenlage ist die Anforderung, dem Benutzer im administrativen Bereich (z.B. Disponent) die derzeitige Betriebsmittelsituation so aufzubereiten, dass er in seinen Entscheidungen unterstützt wird und die direkten Auswirkungen seiner Planungen erkennen kann. Auch der Benutzer im ausführenden Bereich (shop-floor-Ebene) soll einfach über den jeweiligen Zustand des Betriebsmittels informiert werden, ohne dabei überfordert zu sein und somit wieder Kosten zu verursachen [BAU03, BAU04, WEEI95]. Die Frage nach der Umsetzungsmöglichkeit eines Systems, das in der Lage ist, selbständig Werkzeuge zu identifizieren, zu lokalisieren, Zustände zu bestimmen und zu kommunizieren, um damit Bewegungsdaten konsistent aktualisieren zu können, stellt sich der Problemstellung folgend.

Neben der Produktionstechnik wurde bereits in fachfremden Disziplinen nach Möglichkeiten gesucht, durch ergonomische Informationsakquise aus der Realwelt, Systemsteuerungen zu optimieren [JOH95, MAR01]. Einer dieser Ansätze ist die aus der Informatik stammende Vision ubiquitärer, das heißt allgegenwärtiger integrierter und miniaturi-

sierter Computersysteme. 1991 schrieb Marc Weiser, der als Erster den Begriff des Ubiquitous Computing in einen Beitrag für den Scientific American mit dem Titel „The Computer of the 21st Century“ nutzte, das Folgende:

„The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.

Silicon-based information technology, in contrast, is far from having become part of the environment.”

In dem genannten Artikel beschreibt er verschiedenartigste Computer in Form von Unterlagen oder Regalen, die aktiv miteinander kommunizieren und auf Aktivitäten im Raum reagieren. Weisers Vision *ubiquitärer Computersysteme* ist wohl eines der meist diskutierten Themen der heutigen Informatik. Gemäß seiner Definition gibt es eine klar erkennbare Entwicklungsrichtung. Während in der so genannten ersten Entwicklungsphase einzelne Computer mit hohen Leistungsspezifikationen mehreren Benutzern zur Verfügung standen (mainframe), ist die zweite Phase durch den personenbezogenen Computereinsatz gekennzeichnet. Die so genannten Personal Computer, PC, wurden Bestandteil unserer Arbeitsplätze und sind es bis zum heutigen Tag. Folgt man diesem Trend von kleiner werdenden Abmessungen bei gleichzeitiger Erhöhung des Leistungsgrades in der Computertechnik, so wird die dritte Entwicklungsrichtung erkennbar. Hierbei werden mehrere Computersysteme für einen Benutzer zugänglich, was signifikante Folgen für die Mensch-Maschine-Schnittstelle hat (siehe Abb. 1-6). Das Zeitalter der „Calm Technology“ beginnt, indem Computersysteme mit der Umwelt verschmelzen und nur noch in Erscheinung treten, indem sie bereits akkreditierte Informationen an den Benutzer weitergeben[BOE02].