

Prospektive Zeitbestimmung für nicht wertschöpfende Montagetätigkeiten

Von der Fakultät Maschinenbau
der Universität Dortmund
zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTOR DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN

genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Christoph Picker
aus
Ahaus

2006

Berichter: Prof. Dr.-Ing. K. Heinz
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. J. Deuse
Prüfungsvorsitzender: Prof. Dr.-Ing. M. Uhle
Mitprüfer: Prof. Dr.-Ing. K. Kauder

Tag der mündlichen Prüfung: 29. September 2006

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	2
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise	3
2	Planung und Gestaltung von Arbeitssystemen in der Montage	5
2.1	Hierarchischer Aufbau eines Montagesystems	7
2.2	Funktionen eines Montagesystems	10
2.3	Struktur eines Montagesystems	11
2.4	Der Produktlebenszyklus	19
2.4.1	Simultaneous Engineering	21
2.4.2	Informationen in der Produktentwicklung	22
2.4.3	Die Prozessplanung der Montage	27
3	Zeitdatenermittlung in frühen Phasen der Produktentwicklung	30
3.1	Methoden zur Zeitdatenermittlung für die Montageprozessplanung	30
3.1.1	Methoden zum Ist-Zeiten-Erfassen	31
3.1.2	Methoden zur Soll-Zeiten-Ermittlung	33
3.1.3	Quantitative Montagebewertungsverfahren mit Zeitbezug	41
3.2	Anforderungen an Verfahren zur Zeitdatenermittlung in frühen Phasen der Produktentwicklung	44
3.2.1	Aus der Anwendung abgeleitete Anforderungen	44
3.2.2	Aus den Rahmenbedingungen abgeleitete Anforderungen	47
4	Sekundärzeiten in Montagesystemen	49
4.1	Abgrenzung von Primärzeit und Sekundärzeit	51
4.2	Beschreibung der Sekundärzeitanteile	56
4.2.1	Die sekundären Montagefunktionen	57
4.2.2	Nicht wertschöpfende Tätigkeiten auf Basis der sekundären Montagefunktionen	59
4.2.3	Das Handhaben von Verpackungen	61
4.2.4	Der Transport innerhalb eines Mikro-Arbeitssystems	64
4.2.5	Der Montageobjekttransport zwischen Arbeitssystemen	66
4.2.6	Das Kontrollieren	68
4.2.7	Das Reinigen	72
4.2.8	Das Justieren	74
4.2.9	Das Verwenden von Montagehilfen	75
4.2.10	Das Rüsten	75

4.2.11	Das Dokumentieren.....	78
4.2.12	Das Warten.....	80
4.2.13	Das Nacharbeiten	82
4.3	Bewertung der dargestellten Verfahren zur Zeitdatenermittlung.....	83
5	Systematik zur produktbezogenen Ermittlung von Sekundärzeiten	88
5.1	Ermittlung relevanter nicht wertschöpfender Tätigkeiten	89
5.2	Beschreibung der Tätigkeitsausprägungen.....	93
5.3	Auswahl eines Zeitdatenermittlungsverfahrens	99
5.4	Bestimmung der Sekundärzeiten für die Tätigkeitsausprägungen.....	101
5.5	Ermittlung der produktspezifischen Sekundärzeit	101
6	Konzeption eines Werkzeugs zur produktspezifischen Sekundärzeitermittlung	103
6.1	Anforderungen an ein Werkzeug	103
6.2	Analyse der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten.....	104
6.2.1	Beziehung zwischen dem Montageobjekt und den nicht wertschöpfenden Tätigkeiten	104
6.2.2	Die Häufigkeit einer nicht wertschöpfenden Tätigkeit an einem Montageobjekt	108
6.3	Das Werkzeug zur Sekundärzeitermittlung.....	109
6.3.1	Matrix zur produktbezogenen Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten mit Montageobjektbezug	110
6.3.2	Matrix zur produktbezogenen Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten ohne Montageobjektbezug	131
7	Fallbeispiel zu der Sekundärzeitermittlung	139
7.1	Ermittlung relevanter nicht wertschöpfender Tätigkeiten	140
7.2	Beschreibung der Tätigkeitsausprägungen.....	143
7.3	Auswahl eines Zeitermittlungsverfahrens.....	147
7.4	Bestimmung der Sekundärzeiten für die Tätigkeitsausprägungen.....	148
7.5	Kalkulation der produktspezifischen Sekundärzeit.....	149
8	Zusammenfassung und Ausblick	158
9	Literaturverzeichnis.....	161

1 Einleitung

Kurze Lebenszyklen und geringe Gewinnspannen aufgrund eines in vielen Branchen vorhandenen Käufermarkts zwingen Unternehmen dazu, mit Neuerungen als einer der ersten Anbieter am Markt zu sein, um dauerhaft Gewinne erwirtschaften zu können. Dieses ist nur möglich, wenn die Produktentwicklungsdauer reduziert wird, was vor allem durch das Simultaneous Engineering und in der jüngeren Vergangenheit auch durch das Cooperative Engineering unterstützt wird.

Die Produktentwicklungsdauer ist eine wesentliche Größe im Wettbewerb. Trotzdem hängt der wirtschaftliche Erfolg für ein Unternehmen nicht alleine von einer verkürzten Time-to-Market-Zeit ab, auch die Selbstkosten eines Produkts müssen am Markt mindestens Erlöst werden. Da die Materialkosten im Allgemeinen durch ein Unternehmen nur begrenzt beeinflusst werden können, sind vor allem die Fertigungskosten wesentlich zur Reduktion der Selbstkosten. Die Fertigungskosten werden in der Regel getrennt nach Kosten für die Teilefertigung und nach Kosten für die Montage ermittelt, wobei der Anteil der Montage am Gesamtarbeitsaufwand je nach Branche und Produkt zwischen 20 und 70 Prozent ausmachen kann /KIEF 02, S. 36/. Im Bereich der Konsumgüter liegt der Anteil der Montagekosten an den Fertigungskosten beispielsweise bei ca. 30 Prozent, im Apparate- und Gerätebau bei bis zu 65 Prozent und in der Elektronik- und Feinwerktechnik bei bis zu 70 Prozent. Die Montagekosten können somit einen wesentlichen Teil der Selbstkosten umfassen. Aufgrund des signifikanten Zusammenhangs zwischen Montagekosten und Montagezeiten in manuellen Arbeitssystemen hat die Ermittlung von Zeitdaten für die Kostenermittlung eine hohe Bedeutung. Die Ermittlung und die Pflege von hinreichend genauen Zeitdaten sind deshalb für die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens trotz des erforderlichen Aufwands unerlässlich.

Während in der Vergangenheit die Ermittlung von Zeitdaten im Allgemeinen erst mit dem Start der Produkterstellung begonnen wurde und Zeitdaten überwiegend für die Termin- und Kapazitätsplanung, zur Preisermittlung und zur Ermittlung von Produktivitätskennzahlen eingesetzt wurden, wird ihr Einsatz zukünftig auch verstärkt in den frühen Phasen der Produktentwicklung erfolgen, um die Kostensituation und damit die Wettbewerbsfähigkeit von Produkten sicherzustellen. In den frühen Phasen der Produktentwicklung werden dabei

andere Anforderungen an die Zeitdatenermittlung als in der Phase der Produkterstellung gestellt. Da der Umfang verfügbarer Informationen ist in frühen Phasen begrenzt und darüber hinaus – zumindest teilweise – noch Veränderungen unterworfen ist, muss das Vorgehen zur Zeitdatenermittlung diesen Randbedingungen angepasst werden. Flexibel einsetzbare Zeitdaten, die mit einem minimalen Aufwand ermittelt werden können, gewinnen an Bedeutung. Hingegen braucht die Genauigkeit von Zeitdaten in dieser Phase des Produktlebenszyklus noch nicht so groß zu sein wie zum Zeitpunkt der Produkterstellung.

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Methoden, die in frühen Phasen der Produktentwicklung eine Kostenermittlung zulassen, sind für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Produkten von besonderem Interesse. Während die Bewertung von Kosten für die Teilefertigung auf Basis der Teilegeometrie im Allgemeinen auch in frühen Phasen der Produktentwicklung gut möglich ist, ist die prospektive Ermittlung von Montagekosten aufgrund der geringen verfügbaren Informationsmenge schwieriger. Methoden, die für die Ermittlung von Zeitdaten in frühen Phasen der Produktentwicklung erstellt wurden /z. B. FRECH 98, KIEF 02/, bieten die Möglichkeit, manuell ausgeführte wertschöpfende Tätigkeiten zu bewerten. Wertschöpfende Tätigkeiten umfassen dabei alle Montageoperationen, die den Wert eines Produkts erhöhen, indem sie eine dauerhafte Veränderung herbeiführen (vgl. Kap. 4.1). Dabei ist wesentlich, dass diese Veränderung aus Sicht des Kunden eine Wertsteigerung darstellt. Nicht wertschöpfende Tätigkeiten der Montage, beispielsweise das Transportieren oder das Prüfen, werden durch die aufgeführten Methoden jedoch nicht erfasst. Diese nicht wertschöpfenden Tätigkeiten erzeugen keine dauerhafte Veränderung am Produkt und somit keinen Wert, sind aber in der Regel nicht vermeidbar und damit ebenso Bestandteil der Montage wie die wertschöpfenden Tätigkeiten. Dass der Anteil der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten für die Ermittlung der Montagezeit nicht unberücksichtigt bleiben sollte, zeigt eine Auswertung verschiedener Literaturstellen. Der Anteil nicht wertschöpfender Tätigkeiten an der Gesamtmontagezeit liegt hiernach in einem Bereich von 13 Prozent /LOTTER 98, S. 92ff/, über 34 Prozent /BECKS 98, S. 2-22/, 42 Prozent /BULLINGER 95, S. 144f.; KOETHER 83, S. 33-34/, 59 Prozent /SCHMIDT 90, S. 21/ bis hin zu 65 Prozent /HARTEL 00, S. 30/. Während der geringste Anteil für die Einzelplatzmontage kleiner und variantenarmer Produkte ermittelt wurde, sind umfangreichere nicht wertschöpfende Tätigkeiten in der niedrig mechanisierten Fließmontage, wie beispielsweise in

der Automobilendmontage, anzutreffen. Im Gegensatz zu den wertschöpfenden Tätigkeiten, bei denen der Fokus auf Bauteilen und deren Montageoperationen liegt, reicht für die Bewertung der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten diese rein produktbezogene Betrachtungsweise scheinbar nicht aus. Die Abb. 1.1 zeigt das Ergebnis eigener Untersuchungen, denen entnommen werden kann, dass beispielsweise der Aufwand für die Teilebereitstellung sowohl mit der Größe des Produkts als auch mit der Variantenzahl zunimmt.

Variantenzahl Produktgröße	$x \leq 5$	$6 \leq x \leq 20$	$x \geq 21$
$y \leq 300 \times 300 \times 300 \text{ mm}$	keine Daten aufgenommen	3,5 %	keine Daten aufgenommen
$y > 300 \times 300 \times 300 \text{ mm}$ $y \leq 2500 \times 500 \times 500 \text{ mm}$	keine Daten aufgenommen	8,0 %	20,0 %
$y > 2500 \times 500 \times 500 \text{ mm}$	keine Daten aufgenommen	keine Daten aufgenommen	24,0 %

Abb. 1.1: Prozentualer Anteil des zeitlichen Umfangs der Teilebereitstellung an der Gesamtmontagezeit innerhalb der Montage in der Automobil(zuliefer)industrie (N = 34 Arbeitssysteme)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die vorliegenden Methoden zur Montagezeitermittlung in frühen Phasen der Produktentwicklung den Montageplaner nicht hinreichend bei seinen Aufgaben unterstützen. Weder die Verwendung von Zuschlägen noch der Einsatz von Erfahrungswerten als derzeit übliche Vorgehensweisen erzeugen eine Genauigkeit, die für den Montageplaner bei der Kostenermittlung wünschenswert ist.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel dieser Arbeit ist die prospektive Ermittlung von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten sowie deren zeitliche Bewertung bei der Montageplanung. Ein zu realisierendes Montagesystem soll dabei hinsichtlich seiner Tätigkeiten und deren Ausführungszeiten durch eine vorausschauende Betrachtung möglichst genau beschrieben werden. Die Zeitdaten müssen produktbezogen aufbereitet sein, um sie z. B für die Angebotserstellung oder für Verfahrensvergleiche nutzen zu können. Erforderlich ist es dazu, die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten von

wertschöpfenden Tätigkeiten abzugrenzen. Hierzu sind die Funktionen einer Montage zu erarbeiten und die Struktur von Montagesystemen zu untersuchen. Wesentlich für die Aufbereitung der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten sind insbesondere die zeitbestimmenden Einflussgrößen und deren Ausprägungen. Durch die geplante Verwendung der Zeitdaten in der Phase der Montageplanung und den damit verbundenen Einschränkungen der Informationsverfügbarkeit kommt der nutzbaren Informationsbasis ein besonderes Gewicht zu. Grundlage der Informationsbasis bildet die Analyse der Wechselwirkungen zwischen Produktentwicklung und Montageprozessplanung, wie sie beim Simultaneous Engineering auftreten.

Für die zeitliche Bewertung der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten sind geeignete Zeitdatenermittlungsverfahren zu identifizieren, die für die Planung manueller Montagetätigkeiten einsetzbar sind und die die vorhandenen Informationen in geeigneter Form nutzen. Hierzu sind Anforderungen für die Bewertung der Verfahren zu definieren. Zeitdaten und ihre systematische Aufbereitung sind Voraussetzungen für eine zu erstellende unternehmensübergreifende Vorgehensweise zur Bestimmung von produktbezogen aufbereiteten Zeiten für die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten. Zur Vereinfachung des Vorgehens zur Zeitbestimmung ist zum einen eine standardisierte Beschreibung der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zu entwickeln und zum anderen ein Werkzeug zur Zeitdatenermittlung zu konzipieren. Das Werkzeug muss eine schnelle und aufwandsarme Ermittlung von Zeitdaten für unterschiedliche Produkte unterstützen können.

Bei Festlegung der im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Tätigkeiten gilt es bestehende Verfahren zur Bewertung wertschöpfender Tätigkeiten /KIEF 02, S. 81ff; FRECH 98, S.67ff/ zu berücksichtigen.

Die Vorgehensweise ist bezüglich ihrer Praxisrelevanz und Genauigkeit zu validieren, was die Erstellung eines unternehmensspezifischen Kalkulationswerkzeugs einschließt.

2 Planung und Gestaltung von Arbeitssystemen in der Montage

Für die Analyse von Arbeitssystemen in der Montage ist eine systematische Aufbereitung des Untersuchungsbereichs hilfreich. Daher wird im Weiteren der systemtheoretische Ansatz nach DIN EN ISO 6385 /04, S. 1-16/ verfolgt, um die Montage anhand der Merkmale Hierarchie, Struktur und Funktion zu analysieren. Die Ergebnisse bilden die Basis für die Abgrenzung von wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten sowie deren Einordnung in den Montageablauf. Hierauf aufbauend wird die Aufgabe der Montageplanung und dessen Interaktionen mit der Produktentwicklung näher analysiert, da die ausgetauschten Informationen die Grundlage für die Ermittlung von Zeitdaten für nicht wertschöpfende Tätigkeiten bilden.

Als Montage wird in der Produktionstechnik der Zusammenbau von Teilen zu Erzeugnissen bezeichnet. Im zeitlichen Verlauf der Produkterstellung ist die Montage hinter der Teilefertigung, die für die Herstellung der Teile verantwortlich ist, angesiedelt. Der Vorgang der Montage erfolgt im Montagesystem. Dabei wird als System eine Menge von Elementen verstanden, die miteinander verbunden und durch eine Systemgrenze von der Umwelt getrennt sind. Ein Austausch zwischen Systemelementen und Umwelt ist über die Systemgrenze hinweg aber möglich. Zur Charakterisierung eines Systems werden der hierarchische Aufbau, die interne Struktur sowie das Verhalten der zugehörigen Elemente genutzt /ROPOHL 79, S. 67/:

- Durch das Zusammenfassen von Elementen – als kleinste nicht weiter zerlegbare Bestandteile eines Systems – entstehen Subsysteme, die wiederum Teil des Gesamtsystems sind, so dass durch die Gliederung Element, Subsystem und System ein hierarchischer Aufbau entsteht. Subsysteme sind – wie Systeme – durch Grenzen voneinander getrennt, die Abgrenzung ist dabei eindeutig, es gibt keine gemeinsamen Elemente /DAENZER 92, S. 8/.
- Die Struktur eines Systems wird durch die Menge der zwischen den Systemkomponenten (Subsysteme, Elemente) bestehenden Beziehungen definiert. Beziehungen entstehen, wenn ein Austausch von Information, Material, Energie oder Mitarbeitern zwischen den Systemkomponenten stattfindet /WIEHENDAHL 97, S. 9/.

- Die Funktion eines Systems, Subsystems oder Elements beschreibt die Transformation einer Eingabe in eine Ausgabe. Hierbei kann eine Veränderung der Eingabe hinsichtlich Gestalt, Form und/oder Struktur erfolgen /KAST 72, S. 450/.

Wird der Systemansatz auf die Montage übertragen, kann diese als Subsystem eines übergeordneten Systems angesehen werden. Dieses übergeordnete System wird im Allgemeinen als Produktionssystem bezeichnet. Als solches wird es für die Erfüllung einer Produktionsaufgabe genutzt, die durch Art, Menge und Reihenfolge der zu erstellenden Sachleistung charakterisiert ist /vgl. EVERSHEIM 96, S. 4/. Aus systemtechnischer Sicht steht bei der Analyse von Produktionssystemen die Erstellung von Sachleistungen im Vordergrund. Die hierbei zusammenwirkenden Subsysteme sind in Abb. 2.1 aufgeführt.

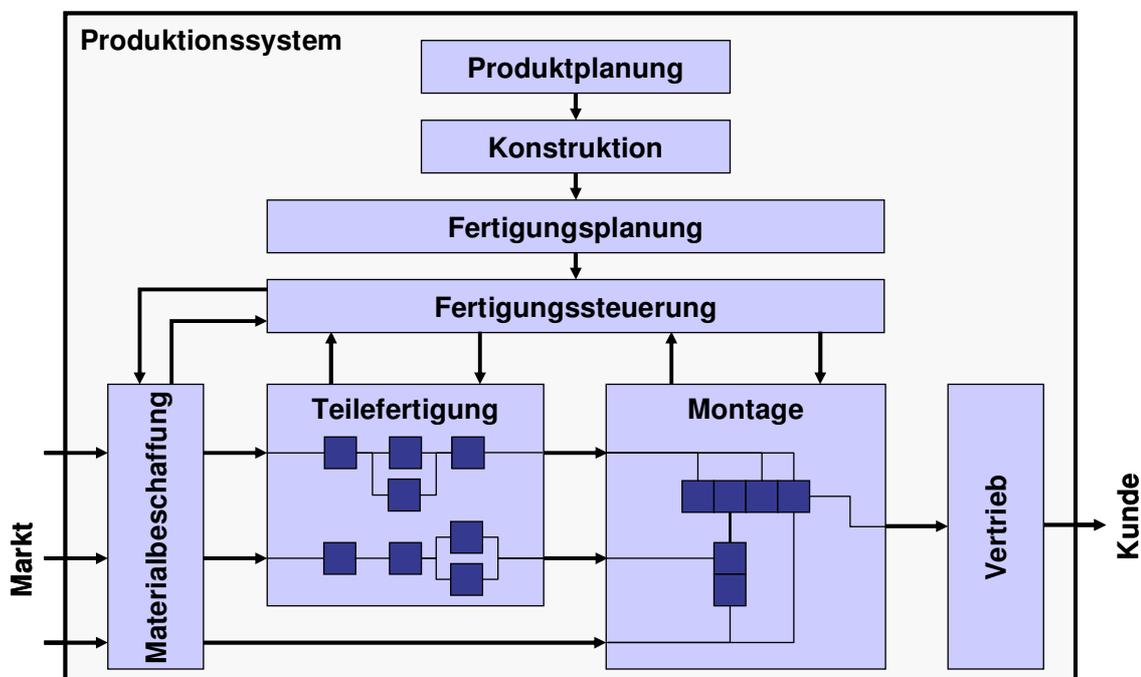


Abb. 2.1: Systemtechnisches Modell eines Produktionsunternehmens /nach WARNECKE 86, S. 610/

Die Austauschbeziehungen der Subsysteme untereinander sind durch Pfeile angedeutet. Zwischen Beschaffung, Teilefertigung, Montage und Vertrieb erfolgt vorwiegend ein Austausch von Material, welches über den Beschaffungsmarkt in das Produktionssystem zugeführt wird und nach der Erstellung der Sachleistung den Kunden zur Verfügung gestellt wird (waagerechte Pfeile in der Abb. 2.1).

Auf Teilefertigung und Montage wirken darüber hinaus Subsysteme wie Fertigungssteuerung, Fertigungsplanung, Konstruktion und Produktplanung direkt oder indirekt ein. Vor allem die Fertigungssteuerung wirkt mit Terminen und Mengenvorgaben auf Teilefertigung und

Montage ein (senkrechte Pfeile in der Abb. 2.1). Die Montage pflegt für den Materialaustausch Beziehungen mit der Beschaffung, der Teilefertigung und dem Vertrieb. Es ist in Abb. 2.1 bereits angedeutet, dass innerhalb der Montage weitere Strukturen vorhanden sind. Für eine detaillierte Analyse des Montagesystems bietet sich die hierarchische Dekomposition an.

Seit einiger Zeit wird der Begriff „Produktionssystem“ auch vermehrt verwendet, um ein Konzept für die Organisation und Führung eines produzierenden Unternehmens zu beschreiben /SPATH 03, S.11f.; SENGOTTA 02, S. 256-260/. Zur Abgrenzung wird das Produktionssystem als Organisations- und Führungskonzept vielfach unternehmensneutral als „Ganzheitliches Produktionssystem“ bezeichnet /DEUSE 05, S. 57-60; KORGE 04, S. 2-6/ oder in Verbindung mit dem Unternehmensnamen genannt, z. B. Mercedes-Benz-Produktionssystem oder Bosch Produktionssystem /HIRSCHLE 05, S. 1-16; THOMAS 05, S. 219-232/. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus aber auf technischen Produktionssystemen „Ganzheitliche Produktionssysteme“ werden nicht weiter betrachtet.

2.1 Hierarchischer Aufbau eines Montagesystems

Durch die Wahl des systemtheoretischen Ansatzes zur Beschreibung eines Produktionsunternehmens ergibt sich die Möglichkeit, ein Produktionssystem aus systemtechnischer Sicht hierarchisch zu gliedern. Für die vorliegende Arbeit steht innerhalb eines technischen Produktionssystems die Montage im Vordergrund, so dass sich die detaillierte Betrachtung auf das Montagesystem beschränkt. Das Montagesystem umfasst alle Ressourcen, die zur Ausführung der Montagefunktionen erforderlich sind (Welche Funktionen hierunter fallen, wird in Kap. 2.2 ausgeführt.). In der industriellen Praxis wird ein Montagesystem vor allem an der räumlichen Abgrenzung innerhalb der Produktion sichtbar. Diese dem Montagesystem zugehörige Fläche wird entsprechend Montagebereich genannt. Innerhalb des Montagesystems als übergeordnetes System lassen sich mit den Makro-Arbeitssysteme und den Mikro-Arbeitssysteme zwei weitere Hierarchieebene definieren (vgl. Abb. 2.2) /vgl. SALWICZEK 82, S. 13; LANDAU 01, S. 9; REFA 93, S. 58/.

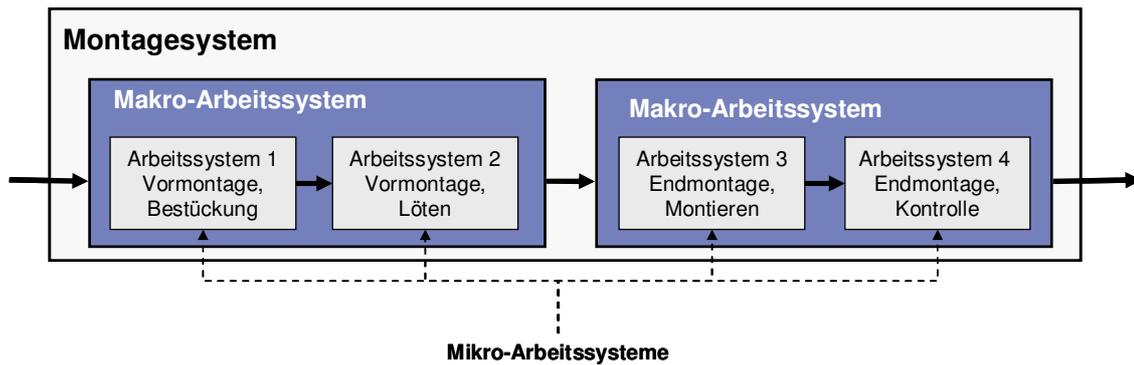


Abb. 2.2: Beispiel für den hierarchischen Aufbau eines Montagesystems

Makro- und Mikro-Arbeitssysteme unterscheiden sich in der Regel anhand des Umfangs der durch sie ausgeführten Arbeitsaufgabe. In einem Makro-Arbeitssystem umfasst die Arbeitsaufgabe einen in sich abgeschlossenen Montagevorgang, z. B. die Vormontage und/oder die Endmontage /REFA 93, S. 43/. Sind die Montagevorgänge umfangreicher, wie dies beispielsweise bei komplexen Produkten der Fall ist, wird der Vorgang der Montage in der Regel in Subaufgaben unterteilt. Derartige Subaufgaben können ihrerseits wieder eigenständige Arbeitsaufgaben darstellen, die in unabhängigen Subsystemen erfüllt werden können. Diese Subsysteme werden als Mikro-Arbeitssystem bezeichnet. Mikro-Arbeitssysteme können im Allgemeinen mit einzelnen Arbeitsplätzen in einer Montage gleichgesetzt werden. Entfällt eine Aufteilung eines in sich abgeschlossenen Montagevorgangs auf mehrere Subsysteme, weil beispielsweise ein Produkt komplett an einem Arbeitsplatz montiert und geprüft wird, sind Mikro- und Makro-System identisch. Aufgrund der komplexen Produkte mit einer Vielzahl von Bauteilvarianten besteht in der Regel ein Montagesystem aus mehreren Makro-Arbeitssystemen, welche wiederum mehrere Mikro-Arbeitssysteme aufweisen können. Die Beziehung der Mikro- und Makro-Arbeitssysteme untereinander werden in der Struktur des Montagesystems abgebildet.

Die Beschreibung eines Systems der Montage kann auf den drei vorgestellten Hierarchieebenen erfolgen. Der Detaillierungsgrad der Systembeschreibung nimmt dabei vom Montagesystem zum Mikro-Arbeitssystem hin zu. Während beispielsweise für das Montagesystem die Eingangs- und die Ausgangsgrößen des Systems in allgemeiner Form aufgeführt werden /vgl. EVERSHEIM 89, S. 6/, können sie für die Charakterisierung eines Mikro-Arbeitssystems konkretisiert werden (vgl. Abb. 2.3).

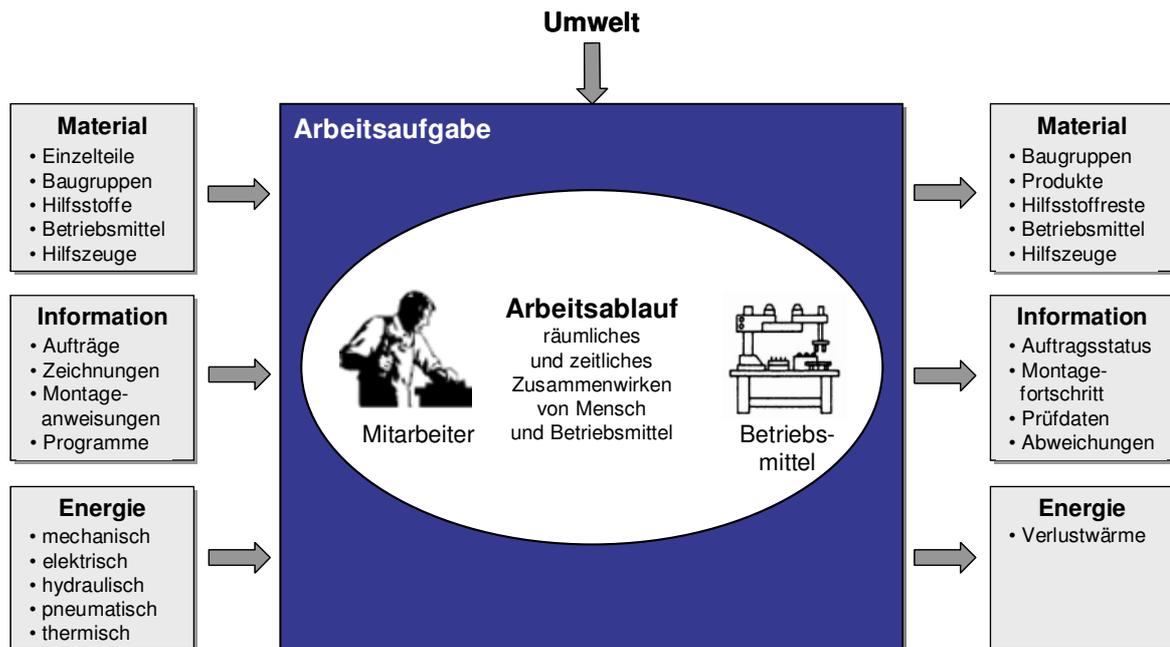


Abb. 2.3: Komponenten eines Mikro-Arbeitssystems /in Anlehnung an REFA 93, S. 58/

Nach REFA /93, S. 57/ besteht ein Mikro-Arbeitssystem aus 7 Komponenten. Die *Arbeitsaufgabe* kennzeichnet den Zweck des Arbeitssystems; für die Montage ist dieses der Zusammenbau von Teilen zu Erzeugnissen, wozu verschiedene Eingaben und Kapazitäten genutzt werden. *Eingaben* eines Mikro-Arbeitssystems können materieller, informatorischer oder energetischer Natur sein. Typisches Eingangsmaterial sind Teile aus der Teilefertigung und Baugruppen aus vorgelagerten Makro-Arbeitssystemen. Zusammen mit dem *Mitarbeiter* stellen die *Betriebsmittel* die Kapazitäten des Mikro-Arbeitssystems dar. Die Kapazitäten sind dafür verantwortlich, dass die Eingabe gemäß der Arbeitsaufgabe in die Ausgabe transformiert wird. Unter der Bezeichnung Betriebsmittel werden in der Montage unter anderem Maschinen, Anlagen, Werkzeuge, Vorrichtungen und Prüfmittel zusammengefasst /SCHMIGALLA 95, S. 306/. Die *Ausgabe* eines Arbeitssystems tritt wieder in Form von Material, Informationen und Energie auf. In der Montage sind dieses z. B. Baugruppen, Erzeugnisse, Auftragsstatusinformationen und Prüfdaten. Grundsätzlich erfolgt die Erfüllung der Arbeitsaufgabe immer in einem betrieblichen Umfeld, welches sich auf das Zusammenwirken der Kapazitäten auswirken kann. Dieses Umfeld wird unter dem Begriff *Umwelteinflüsse* zusammengefasst. Die detaillierte Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Folge des Zusammenwirkens von Mensch und Betriebsmittel zur Transformation der Eingabe in die Ausgabe stellt der *Arbeitsablauf* dar.

2.2 Funktionen eines Montagesystems

Zur Beschreibung der Transformation, die in einem Arbeitssystem durchgeführt werden kann, stehen fünf Montagefunktionen zur Verfügung. Eine Funktion ist nach BROCKHAUS /99/ definiert als Aufgabe, Tätigkeit oder Stellung innerhalb eines größeren Ganzen. Übertragen auf die Montage kann eine Montagefunktion als eine montagesystemspezifische Aufgabe oder Tätigkeit betrachtet werden. Auf der Ebene der Mikro-Arbeitssysteme kann die Aufgabe der Montage – die Transformation der Eingabe in die Ausgabe – in der Regel aus fünf Montagefunktionen zusammengesetzt werden (vgl. Abb. 2.4).

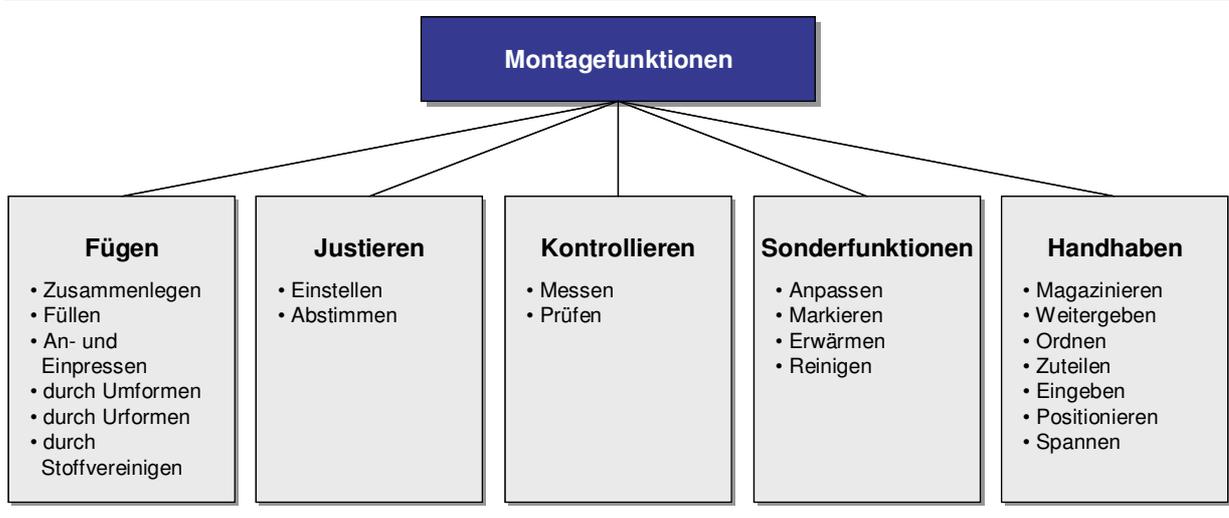


Abb. 2.4: Wesentliche Funktionen der Montage /REFA 93, S. 18/

Diese Funktionen bilden die Grundlage für die in Kap. 4.1 erfolgende Abgrenzung von wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten. Hiernach kann die Funktion Fügen immer der Wertschöpfung zugerechnet werden. Das Handhaben kann im Rahmen dieser Arbeit sowohl wertschöpfend als auch nicht wertschöpfend sein, während das Justieren, das Kontrollieren sowie die Sonderfunktionen immer nicht wertschöpfend sind. Rein qualitativ sind somit mehr Funktionen in der Montage nicht wertschöpfend als wertschöpfend. Die Fallbeispiele in Kap. 1.1 mit einem Anteil zwischen 13 % und 65 % nicht wertschöpfender Tätigkeiten, belegen ebenfalls, dass nicht wertschöpfende Tätigkeiten bei der Betrachtung der Montage nicht vernachlässigt werden dürfen.

In Abhängigkeit von der Anzahl der automatisiert ausgeführten Funktionen lassen sich manuelle, hybride und automatisierte Makro- und Mikro-Arbeitssysteme unterscheiden. Bei automatisierten Systemen werden alle Funktionen von Betriebsmitteln ausgeführt. Automatisierte Systeme zeichnen sich durch eine hohe Ausbringungsmenge bei geringer Flexibili-

tät bezüglich Funktionsänderungen aus. In manuellen Systemen wird die Arbeitsaufgabe durch Mitarbeiter ausgeführt, wobei diese auch mechanische Betriebsmittel zur Hilfe nehmen. Durch die Kenntnisse, die Fingerfertigkeit, die Sensorik und die vielen Freiheitsgrade des Mitarbeiters sind manuelle Arbeitssysteme insbesondere für komplizierte und anspruchsvolle Montageaufgaben geeignet /AHREND 96, S. 186-188/. Die Ausbringung eines manuellen Makro-Arbeitssystem liegt in der Regel unter der eines vergleichbaren automatisierten Makro-Arbeitssystems, so dass die automatisierte Lösung bei großen Stückzahlen im Allgemeinen wirtschaftlicher ist /LOTTER 99, S. 12/. Hybride Arbeitssysteme stellen einen Kompromiss zwischen manuellen und automatisierten Systemen dar. Ein Teil der Montageaufgabe wird durch automatisierte Betriebsmittel übernommen, während die restlichen Tätigkeiten von einem Mitarbeiter ausgeführt werden. Für einfache Teilaufgaben kann der Vorteil der Automatisierung, bei komplexen Teilaufgaben die Variabilität des Mitarbeiters genutzt werden. Dementsprechend liegen hybride System in Bezug auf Ausbringung und Flexibilität zwischen automatisierten und manuellen Systemen /SPUR 86, S. 597/. Aufgrund ihrer Eigenschaften werden automatisierte Systeme vielfach in der Massenfertigung eingeplant, wohingegen manuelle und hybride Systeme in der Regel in der Einzel-, der Kleinserien und der Serienfertigung vorgesehen werden. Gegenwärtig ist eine Entwicklung weg von starr automatisierter, hin zu manueller oder hybrider Montage festzustellen, da der Markt eine immer gezieltere Anpassung der Produkte an die Kundenwünsche verlangt, was mit einer Erhöhung der Variantenzahl und einer Reduzierung der Losgrößen einhergeht /JESCHKE 97, S. 1; REINHART 01, S. 474/. Manuelle Makro und Mikro-Arbeitssysteme, wie sie im Rahmen dieser Arbeit betrachtet werden, bekommen damit gegenwärtig wieder eine stärkere Bedeutung.

2.3 Struktur eines Montagesystems

Die Struktur eines Montagesystems ergibt sich in der Regel durch den Austausch von Material und Informationen zwischen den Mikro- und Makro-Arbeitssystemen (z. B. in der Fließmontage) sowie zwischen diesen Arbeitssystemen und Systemen außerhalb der Montagesystemgrenze (z. B. bei der Materialbereitstellung). Seltener werden Mitarbeiter zwischen Mikro- oder Makro-Systemen ausgetauscht, wie es beispielsweise bei der Mehrstellenarbeit der Fall ist. Der Austausch von Material und Informationen kann grundsätzlich auf allen Hierarchieebenen dargestellt werden, wie das Beispiel des Materialflusses in Abb. 2.5 zeigt.

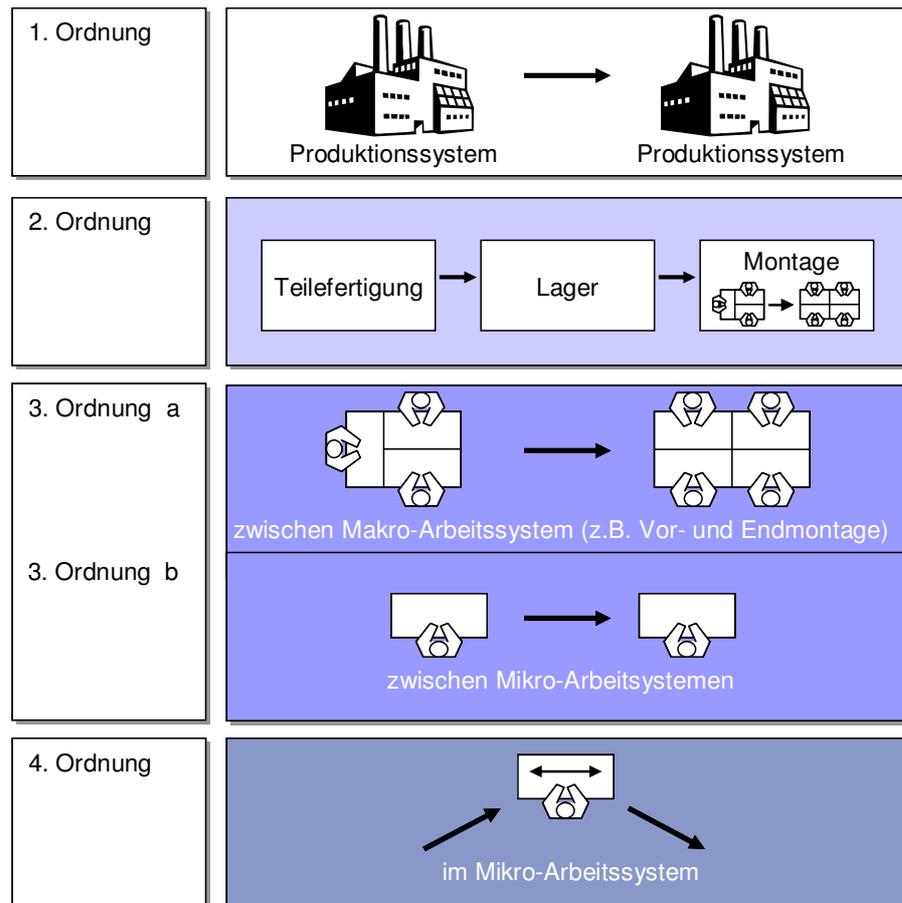


Abb. 2.5: Strukturen des Materialflusses auf verschiedenen Hierarchieebenen /BULLINGER 86, S. 175/

Der Materialfluss lässt sich nach BULLINGER /94, S. 5ff/ in vier Ebenen gliedern, die den in Abb. 2.1 und Abb. 2.2 dargestellten Hierarchieebenen eines Produktionssystems mit einem Montagesystem als Subsystem zugeordnet werden können. Im Rahmen dieser Arbeit ist der Materialfluss erster Ordnung zwischen Produktionssystemen nicht relevant und der Materialfluss zweiter Ordnung nur für den Materialaustausch des Montagesystems mit vorgelagerten Systemen relevant. Der Materialfluss dritte Ordnung beschreibt die Beziehungen zwischen Makro-Arbeitssystemen (3a) und Mikro-Systemen (3b), während Materialtransporte innerhalb des Mikro-Arbeitssystems dem Materialfluss vierter Ordnung zugerechnet werden.

Damit der Austausch koordiniert erfolgt, ist die Aufteilung der Montageaufgaben auf die verschiedenen Mikro- und Makro-Arbeitssysteme sowie das räumliche und zeitliche Zusammenwirken dieser Systeme zu planen. Das Schaffen dieses aufgabengerechten Miteinanders von Arbeitssystemen wird als Arbeitsorganisation bezeichnet /REFA 91, S. 73/. Die im Rahmen dieser Arbeit relevanten Aspekte der Arbeitsorganisation werden daher im Weiteren vorgestellt.

Organisationsformen von Montagesystemen

Die Organisationsform beschreibt die Ausprägung des Arbeitsablaufes und damit die konkrete Gestaltung des räumlichen und zeitlichen Zusammenwirkens von Betriebsmitteln und Menschen im Montagesystem. Bezogen auf die Organisationsform lassen sich Montagesysteme insbesondere nach der Bewegung des Montageobjekts unterscheiden (vgl. Abb. 2.6). Das Montageobjekt stellt dabei ein Teil, eine Baugruppe oder ein Produkt dar, an dem die Transformation in der Montage vorgenommen wird.

Grundsätzlich lassen sich Organisationsformen in solche mit unbewegten Montageobjekten und solche mit bewegten Montageobjekten unterscheiden. Insbesondere bei großen und schweren Montageobjekten findet keine Bewegung statt. Sie werden im Allgemeinen nur in einem Makro-Arbeitssystem (Einplatzmontage) oder direkt am späteren Einsatzpunkt (Baustellenmontage) montiert.

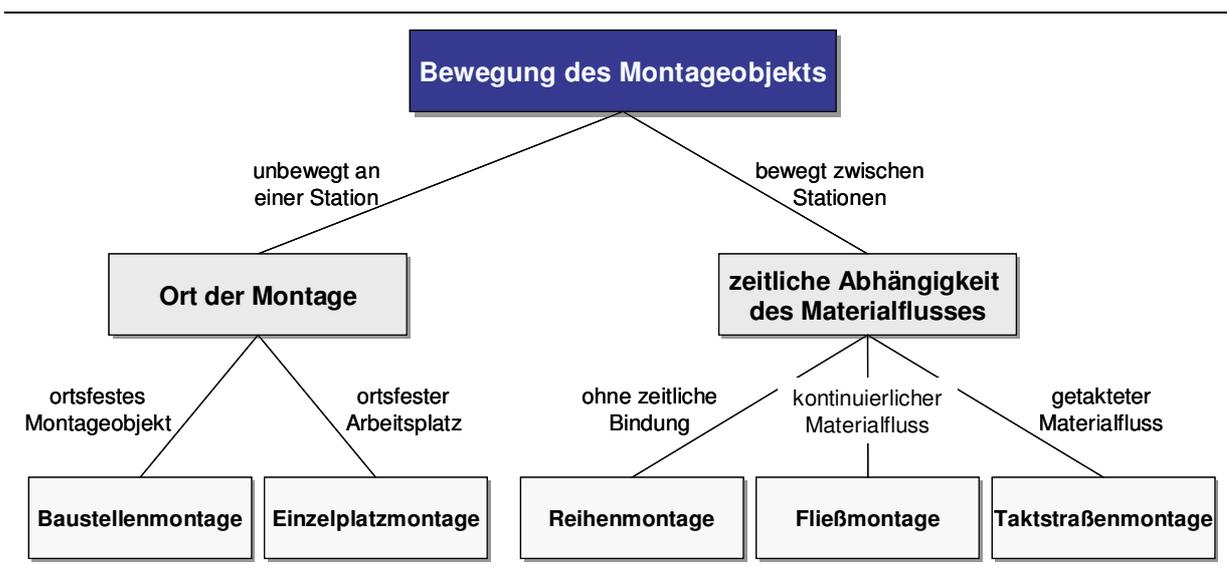


Abb. 2.6: Organisationsformen der Montage /SPUR 86, S. 598/

Im Gegensatz zur Baustellenmontage, bei der in der Regel nur einzelne Produkte oder kleine Serien hergestellt werden, kann die Einzelplatzmontage auch für die Serienmontage genutzt werden, insbesondere wenn die Arbeitsinhalte je Produkt sehr gering sind. Durch das Duplizieren gleicher Arbeitsplätze kann die Ausbringung eines Montagesystems entsprechend erhöht werden, wobei an jedem Arbeitsplatz weiterhin die gesamte Montage des Produkts durchgeführt wird. Die Aufteilung der Arbeit auf die Arbeitsplätze erfolgt in diesem Fall anhand der Menge. Da jedem Arbeitsplatz nur noch eine Teilmenge der Gesamtmenge zugewiesen wird, wird diese Form der Arbeitsteilung als „Mengenteilung“ bezeichnet. Demgegenüber steht die „Artteilung“, bei der an jedem Arbeitsplatz nur eine Teilaufgabe der Gesamt-

aufgabe jedoch an der Gesamtmenge aller zu montierenden Produkte durchgeführt wird. Daher muss für eine artteilige Montage das Montageobjekt zwischen den einzelnen Arbeitsplätzen bewegt werden. Um den Transportaufwand gering zu halten, ist es sinnvoll, die Arbeitsplätze entlang des Materialflusses anzuordnen. Der Aufwand für die Artteilung und für die dazugehörige Arbeitssystemgestaltung ist jedoch nur zweckmäßig, wenn entweder die Arbeitsinhalte so umfangreich sind, dass ein einzelner Mitarbeiter diese nicht wirtschaftlich alleine ausführen kann oder wenn hohe Stückzahlen gleicher oder ähnlicher Teile in gleicher Arbeitsfolge zu montieren sind, wie dieses beispielsweise bei der Großserienmontage der Fall ist. Sind die Arbeitsplätze zeitlich nicht miteinander verbunden, so liegt die Organisationsform der „Reihenmontage“ vor. Zwischen den Arbeitsplätzen gibt es Puffer, die dafür sorgen, dass Störungen sich nur begrenzt auf das gesamte System auswirken. Im Gegensatz hierzu gibt es bei der „Fließmontage“ und bei der „Taktstraßenmontage“ keine Entkopplung der Arbeitsplätze. Es liegt eine lückenlose Folge von Vorgängen vor, die räumlich und zeitlich aufeinander abgestimmt sind.

Kapazitätsbedarf und Kapazitätsteilung

Die erforderliche Kapazität eines Montagesystems errechnet sich aus dem Bedarf aufgrund einer Arbeitsaufgabe, die mit der Herstellung eines Produkts verbunden ist:

$$C_B = N \cdot t_e$$

$C_B =$ Kapazitätsbedarf pro Tag

$N =$ Gesamttagesmenge

$t_e =$ Zeit je Einheit

Die Gesamttagesmenge errechnet sich dabei aus der geplanten Jahresproduktion und der Anzahl der Betriebstage je Jahr, wobei Betriebstage als die Tage definiert sind, an denen das Montagesystem genutzt werden kann. Für die Planung kann mit ca. 240 Betriebstagen gerechnet werden. Zum Teil wird bei der Berechnung des Kapazitätsbedarfs ein Systemnutzungsgrad η berücksichtigt ($C_B = \frac{N \cdot t_e}{\eta}$), der in der Regel zwischen 0,75 und 0,9 in

Abhängigkeit des Automatisierungsgrads liegt /BULLINGER 86, S. 126/.

Das vorhandene Kapazitätsangebot zur Bewältigung der Arbeitsaufgabe ist definiert als:

$$C_A = t_{MA} \cdot n_{MA} \cdot ZG \cdot n_s$$

C_A = Kapazitätsangebot pro Tag

t_{MA} = Verfügbare Arbeitszeit je Mitarbeiter und Tag

n_{MA} = Anzahl Mikro-Arbeitssysteme bzw. Mitarbeiter

ZG = durchschnittlicher Zeitgrad der Mitarbeiter

n_s = Anzahl Schichten je Tag

η = Systemnutzungsgrad

Die verfügbare Arbeitszeit je Mitarbeiter und Tag wird vor allem durch die tarifvertraglichen Arbeitszeitregelungen im Unternehmen beeinflusst. Daneben können weitere betriebs-spezifische Besonderheiten, z. B. Schichtübergabegespräche oder Gruppensitzungen, die Zeitdauer reduzieren. Da diese Einflussgrößen im Unternehmen in der Regel über eine längere Zeit konstant sind, kann die verfügbare Arbeitszeit je Mitarbeiter und Tag in der Planungsphase relativ sicher bestimmt werden. Der Zeitgrad eines Mitarbeiters beschreibt das Verhältnis von Vorgabenzeit zu Ist-Zeit und ist damit ein Indikator für die erbrachte Leistung des Mitarbeiters. In der Planungsphase sollte mit einem Zeitgrad von 100 % gearbeitet werden, sofern es im Unternehmen keine abweichenden Vorgaben für die Planung gibt. In Unternehmen mit Akkordfertigung kann es beispielsweise vorkommen, dass mit einem Zeitgrad über 100 % geplant wird, sofern die Mitarbeiter in der Regel langfristig eine überdurchschnittliche Leistung erbringen, so dass unter dieser Voraussetzung die Anzahl an Mikro-Arbeitssysteme möglicherweise reduziert werden kann, was Kosten einspart. Bei der Anzahl an Schichten je Tag gibt es im Allgemeinen eine tarifliche oder unternehmens-spezifische Begrenzung der maximalen Schichtzahl. Mit welcher Anzahl an Schichten geplant werden soll, kann nicht allgemeingültig vorgegeben werden, sondern ist aus der jeweiligen betrieblichen Situation abzuleiten.

Auf Dauer sollte das Kapazitätsangebot dem Kapazitätsbedarf im Arbeitssystem entsprechen. Hierzu werden auf der Angebotsseite im Allgemeinen die Anzahl an Schichten sowie die Anzahl an Mitarbeitern je Schicht variiert, sofern der Kapazitätsbedarf nicht verändert werden kann. Bei geringen Stückzahlen kann es vorkommen, dass ein Mitarbeiter auf einer Schicht ausreichend ist, um den Bedarf zu decken. Im Allgemeinen sind aber mehrere Mitarbeiter bzw. Mikro-Arbeitssysteme je Schicht erforderlich, um die entsprechende Tagesmenge zu

montieren. In diesem Fall ist festzulegen, in welcher Form die Arbeit auf die Mikro-Arbeitssysteme verteilt wird, wie demnach die Teilung eines Kapazitätsbedarfs in Kapazitätsbedarfsteile erfolgen kann, so dass jedes Kapazitätsbedarfsteil durch das Kapazitätsangebot eines Mitarbeiters bzw. Arbeitsplatzes gedeckt werden kann /DITTMAYER 81, S. 47/. Die grafische Darstellung erfolgt in einem Kapazitätsfeld, in dem die Tagesmenge über die Zeit je Einheit aufgetragen wird und jedem Mikro-Arbeitssystem entsprechend seiner Kapazität einen Teil der Zeit je Einheit und einen Teil der Tagesmenge zugeordnet wird. Eine Aufteilung eines Kapazitätsfelds auf fünf Mikro-Arbeitssysteme ist beispielhaft in Abb. 2.7 dargestellt.

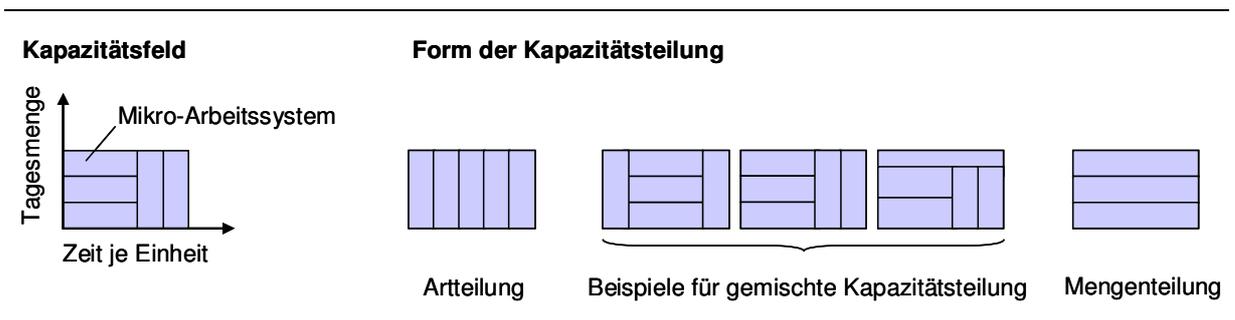


Abb. 2.7: Formen der Kapazitätsteilung

Die Arbeitsteilung kann dabei in Form von Artteilung oder Mengenteilung sowie in beliebigen Mischformen auftreten (vgl. Abb. 2.7). Bei der Artteilung sind alle Mikro-Arbeitssysteme an der Erstellung jeder Einheit beteiligt, während bei der Mengenteilung die Produktmontage parallel in identischen Mikro-Arbeitssystemen erfolgt. Bei idealisierter Betrachtungsweise hat die Form der Arbeitsteilung keinen Einfluss auf das verfügbare Kapazitätsangebot. In der Praxis reduzieren aber extreme Art- oder Mengenteilung das Kapazitätsangebot /DITTMAYER 81, S. 64 ff/. Bei artteiliger und gemischter Arbeitsteilung ist neben der Materialbereitstellung auch der Transport von Montageobjekten zwischen den Mikro-Arbeitssystemen zu planen.

Verkettung

Die Verkettung ist die materialflussmäßige Verknüpfung von Mikro-Arbeitssystemen, um den Arbeitsablauf sicherzustellen /BULLINGER 93, S. 25/. Technische Hilfsmittel, die zur Weitergabe von Material genutzt werden, werden Verkettungsmittel genannt. Prinzipiell kann zwischen einer festen oder einer flexiblen Verkettung sowie einer starren, elastischen oder losen Verkettung unterschieden werden. Bei einer festen Verkettung ist die Abfolge der Arbeitsstationen innerhalb des Montageprozesses fest vorgegeben, während bei einer flexiblen

Verkettung die Reihenfolge variiert werden kann. Die feste Verkettung ist daher in der Regel bei Fließ- und Taktstraßenmontagen vorzufinden, während die flexible Verkettung im Allgemeinen in der Reihenmontage auftritt.

Zur Beschreibung der Beziehung zwischen den Arbeitsplätzen werden die Eigenschaften starr, elastisch und lose verwendet. Bei einer starren Verkettung befinden sich keine Puffer im Makro-Arbeitssystem. Der Materialfluss zwischen den Mikro-Arbeitssystemen unterliegt einem vorgegebenen Takt, daher wirken sich Störungen in einem Mikro-Arbeitssystem direkt auf vor- und nachgelagerte Mikro-Arbeitssysteme aus, an ihnen kann ebenfalls nicht mehr gearbeitet werden. Sofern die Mikro-Arbeitssysteme z. B. durch einen Puffer so weit voneinander entkoppelt sind, dass kleinere Störungen an einem Arbeitsplatz nicht direkt auf benachbarte Arbeitsplätze Einfluss nehmen, wird von elastischer Verkettung und einem kontinuierlichen Materialfluss gesprochen. Wirken sich auch größere Störungen nicht auf das Gesamtsystem aus, liegt eine lose Verkettung vor. Es existiert keine zeitliche Bindung im Materialfluss. In der Taktstraßenmontage sind Montagearbeitsplätze in den meisten Fällen starr miteinander verkettet, während in der Fließmontage auch die elastische Verkettung anzutreffen ist. Die Reihenmontage ist im Allgemeinen elastisch oder lose verkettet (vgl. Abb. 2.6).

Zur Auswahl geeigneter technischer Hilfsmittel für die Verkettung können verschiedene Kataloge genutzt werden, die in Abhängigkeit des Anwendungsbereichs häufig verwendete Lösungen aufführen /KONOLD 80, S.17 ff; BULLINGER 94, S.43 ff/. Zum Teil erfüllen die Verkettungsmittel dabei auch die Aufgabe eines Puffermittels.

Materialbereitstellung

Ziel der Materialbereitstellung ist es, die für die Durchführung einer Montageaufgabe erforderlichen Montagekomponenten termingemäß und in der richtigen Menge im Mikro-Arbeitssystem zur Verfügung zu stellen /STOLZ 88, S. 57; BULLINGER 94, S. 81/. Die Form der technischen und organisatorischen Ausführung der Materialbereitstellung wird dabei von produkt- und unternehmensspezifischen Randbedingungen beeinflusst. Unterschiedliche Strategien der Materialbereitstellung lassen sich dabei anhand der Kriterien „Art der Bereitstellung“, „Bereitstellungsmenge“ und „Form der Bereitstellung“ abgrenzen. Darüber hinaus lässt sich zu jeder Strategie angeben, welche Bereitstellorte genutzt werden (vgl. Abb. 2.8).

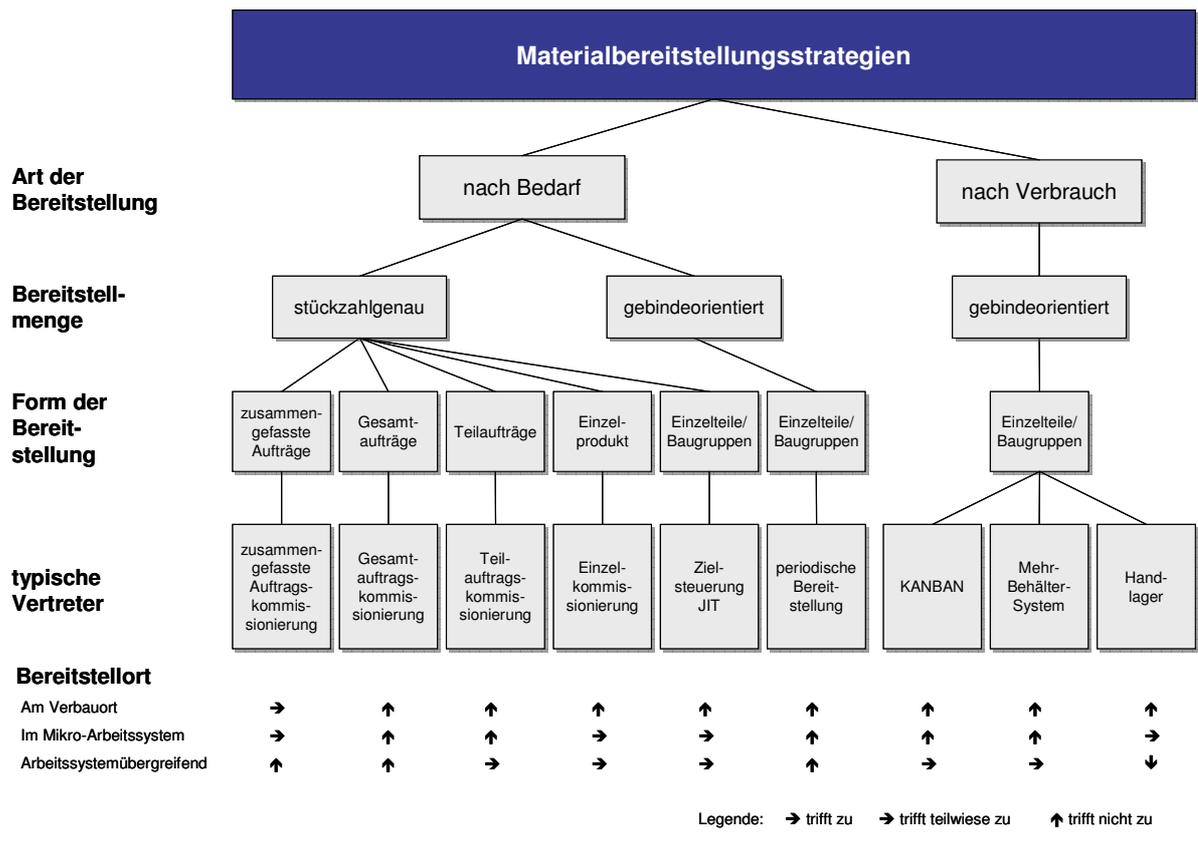


Abb. 2.8: Gliederung der Materialbereitstellung / nach BULLINGER 94, S. 20f./

Der Bereitstellort beschreibt den Ort, an dem das Material dem Mitarbeiter in der Montage übergeben wird. Hierbei können drei Formen unterschieden werden. Entweder wird das Material direkt an den Verbauort, also den Punkt der Montageausführung geliefert, oder es befindet sich räumlich entfernt. In diesem Fall wird unterschieden, ob sich das Material innerhalb der Systemgrenzen eines Mikro-Arbeitssystems befindet oder ob es auf einer Fläche außerhalb des Mikro-Arbeitssystems für mehrere Mitarbeiter unterschiedlicher Mikro-Arbeitssysteme zugänglich ist.

Die verschiedenen Strategien haben jeweils spezielle Bedingungen, unter denen sie besonders zweckmäßig sind. Kommissionierende Bereitstellstrategien eignen sich für die Einzelplatzmontage wie auch für die Serienmontage mit hoher Typen- und Variantenvielfalt sowie für Modell-Mix-Montagen, während bevorratende Strategien für geringe Variantenvielfalt und kontinuierlichen Verbrauch prädestiniert sind. Zur Umsetzung der jeweiligen Strategie bedarf es einzelner Technischelemente aus den Bereichen der Fördertechnik, der Lager- und der Lagerbedientechnik sowie der Bereitstelltechnik. Die Auswahl einer geeigneten Technik erfolgt anhand der jeweiligen Aufgabe sowie den Umgebungsbedingungen, in jeder Situation sieht

daher die optimale Gestaltung unterschiedlich aus. Für die richtige Wahl gibt es in der Literatur zahlreiche Übersichten einschließlich Auswahlkriterien gängiger Technologien /vgl. KOETHER 01, S. 15ff; STOLZ 88, S. 57ff/.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Montagesysteme sich anhand ihrer Funktion, ihres hierarchischen Aufbaus und ihrer Struktur beschreiben lassen, wobei die Ausprägung dieser Merkmale je nach geplanter Aufgabe des Montagesystems variieren kann. Die unterschiedlichen Ausprägungen insbesondere von Struktur und Hierarchie beeinflussen den Aufwand eines Mitarbeiters seine Arbeitsaufgabe zu erfüllen. Daher sind die unterschiedlichen Gestaltungsformen von Montagesystemen und deren Einflussgrößen für eine zeitliche Bewertung des Arbeitsablaufes von Interesse. Die Gestaltungsform eines Montagesystems wird in der Regel in der Phase der Montageprozessplanung festgelegt. Die Montageprozessplanung ist wie die Konstruktion der Produkterstellung innerhalb des Produktlebenszyklus vorangestellt. Da im Allgemeinen in frühen Phasen der Produktentwicklung nur begrenzte Informationen vorliegen, wird insbesondere analysiert, welche Informationen zum Zeitpunkt der Montageplanung verfügbar sind.

2.4 Der Produktlebenszyklus

Der Produktlebenszyklus beschreibt die einzelnen Phasen eines Produkts von der Entstehung über die Nutzung bis zur Entsorgung. Zu Beginn des Produktlebenszyklus steht die Produktentwicklung, der sich die Prozessplanung mit der Planung der Teilefertigung und der Montage anschließt. Im Anschluss an die Planungsphasen erfolgen die Produkterstellung und die Nutzung des Produkts, bevor mit der Außerbetriebnahme und der Entsorgung der Produktlebenszyklus geschlossen wird. Für die Ermittlung und Bewertung der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten in der Montage sind insbesondere die der Produkterstellung zeitlich vorausgehenden Phasen des Produktlebenszyklus von Interesse (vgl. Abb. 2.9).

Eine prospektive Zeitbestimmung im Sinne der vorliegenden Arbeit bedeutet, dass in einer Phase des Produktlebenszyklus, in diesem Fall der Produktentwicklung- bzw. Prozessplanungsphase, eine Aussage über Zeitdaten einer zukünftigen Phasen, hier der Produkterstellungsphase, getroffen wird.

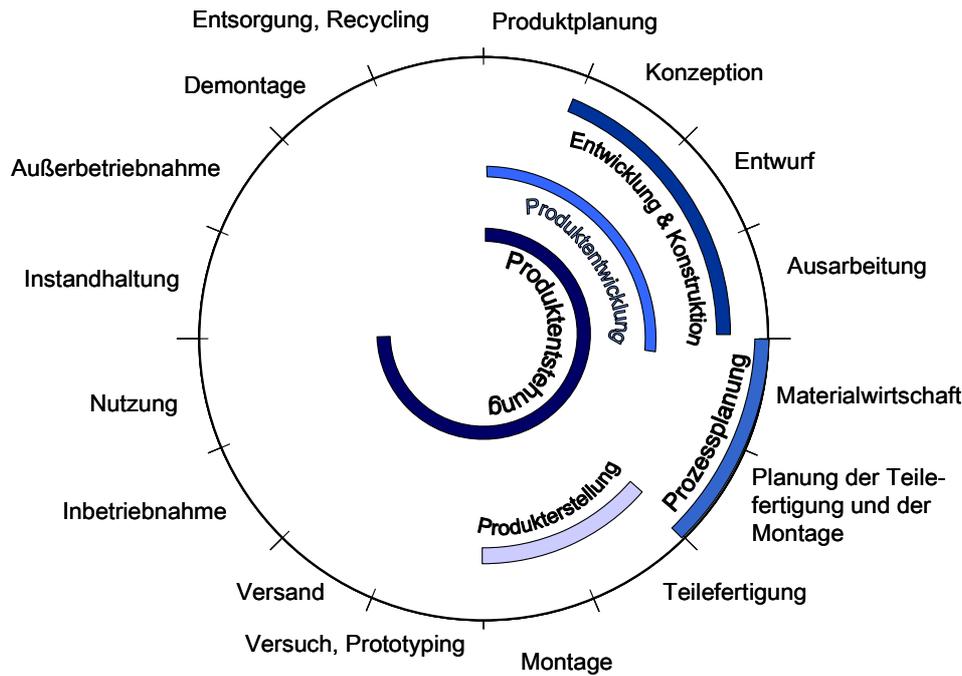


Abb. 2.9: Produktlebenszyklus /in Anlehnung an EHRENSPIEL 95, S. 120/

Die Produktentwicklung umfasst mit der Planung, der Konzeption, dem Entwurf und der Ausarbeitung die ersten vier Phasen des Gesamtlebenszyklus. Sie beschreibt den Weg von einem (prognostizierten) Kundenbedarf bis hin zu einem ausgearbeiteten Produkt. Es schließt sich die Phase der Prozessplanung an, in der die technischen und organisatorischen Voraussetzungen geschaffen werden, damit ein Produkt in den Bereichen Teilefertigung und Montage erzeugt werden kann. Aus der sequenziellen Bearbeitung von Produktentwicklung, Prozessplanung und Produkterstellung ergeben sich Randbedingungen, die sich nachteilig auf die Wirtschaftlichkeit eines Produkts auswirken. So reduziert eine lange Produktentwicklungs- und Prozessplanungsphase die Phase der Produkterstellung und damit die Phase Gewinn zu erwirtschaften, da die Dauer eines Produktlebenszyklus in der Regel durch den Markt und nicht durch ein einzelnes Unternehmen vorgegeben wird /WIEHENDAHL 97, S. 91/. Weiterhin werden Anforderungen, die sich aus der Prozessplanung an das Produkt ergeben, nur sehr selten berücksichtigt, da dieses mit erheblichem Mehraufwand für die Konstruktionsabteilung und damit steigenden Produktentwicklungskosten verbunden ist /EVERSHEIM 89, S. 6/. Neben der zeitlichen Trennung der Aufgaben gibt es vielfach auch eine räumliche Trennung der Abteilungen bzw. der Bearbeiter, was eine übergreifende Sichtweise und damit die frühzeitige Berücksichtigung der Interessen der im Produktlebenszyklus nachgelagerten Bereiche erschwert.

Um diesen Problemen entgegenzutreten und eine ganzheitliche Produkt- und Prozessoptimierung einschließlich einer durchgängigen Qualitätsplanung zu ermöglichen, werden heute in der Regel Produkte und Prozesse mit Hilfe des Simultaneous Engineerings entwickelt und geplant.

2.4.1 Simultaneous Engineering

Beim Simultaneous Engineering wird durch die integrierte und zeitparallele Produktentwicklung und Prozessplanung die Zeitdauer für die Entwicklung und die Herstellung marktgerechter Produkte reduziert, indem alle an der Produktentstehung beteiligten Unternehmensbereiche frühzeitig mit in die Planung eingebunden werden /LAUFENBERG 96, S. 11/. Durch diesen Ansatz können Entwicklungs- und Fertigungskosten reduziert und die Produkt- und die Prozessqualität verbessert werden /EVERSHEIM 95, S. 12/.

Beim Simultaneous Engineering ist erforderlich, dass die Konstrukteure mit den Montageplanern und den Mitarbeitern aus der Qualitätsplanung in einem interdisziplinären Team zusammenarbeiten, damit die verschiedenen Sichtweisen bzw. Anforderungen an eine Konstruktion mit dem Beginn der Produktentwicklung berücksichtigt werden können. Welche Hilfsmittel und Methoden die Montageplaner zur Unterstützung der Zusammenarbeit verwenden, kann z. B. bei BÄBLER /88, S. 45ff/ nachgeschlagen werden.

Die Zusammenarbeit bietet aber nicht nur die Möglichkeit das Produkt aus Montage- oder Qualitätssicht besser zu gestalten, sondern auch den frühzeitigen Zugang nachgelagerter Bereiche zu Informationen aus der Produktentwicklung, so dass diese bereits frühzeitig mit ihren Aufgaben beginnen können (siehe Abb. 2.10).

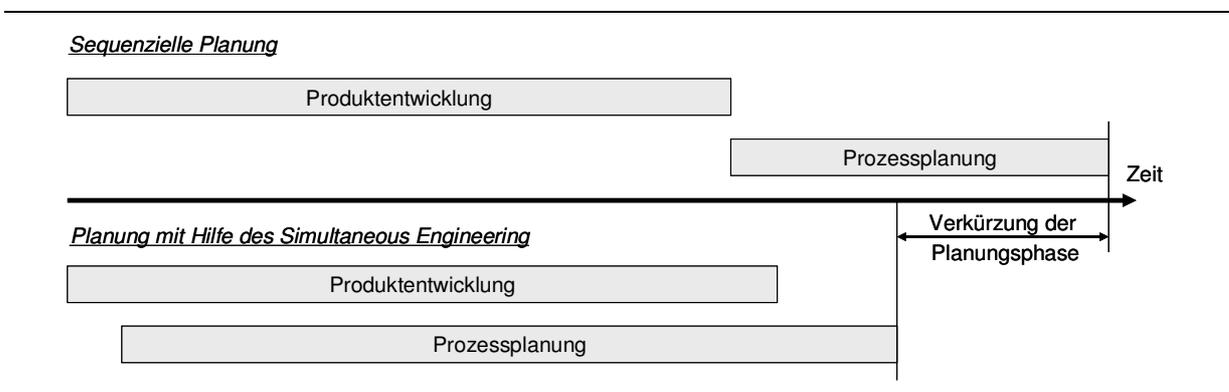


Abb. 2.10: Zeitliche Verkürzung der Planungsphase durch Simultaneous Engineering /in Anlehnung an EVERSHEIM 89, S. 7/

Die parallele Bearbeitung von Produktentwicklung und Prozessplanung ist möglich, da in der Planung auch mit unvollständigen oder unsicheren Informationen gestartet werden kann /MATZ 98, S. 37; LAUFENBERG 96, S. 15/. Nach EVERSHEIM /95, S. 13/ sind bereits in der Konzeptionsphase, und damit sehr frühzeitig, 90% der funktionalen Eigenschaften, 80% des Zeitbedarfs, 70% der Qualität und 60% der Herstellkosten festgelegt. Um diese Aussage treffen zu können, sind in der Konzeptionsphase entsprechende Informationen erforderlich, die auch für die Ermittlung nicht wertschöpfender Montagezeitanteile genutzt werden können. Daher werden im Weiteren die vier Phasen der Produktentwicklung kurz vorgestellt, sowie der Informationsaustausch zwischen Produktentwicklung und Prozessplanung analysiert. Der Fokus liegt dabei auf Informationen, die für die Montageprozessplanung genutzt werden können, da diese für die Ermittlung der Struktur und der Hierarchie von Montagesystemen und damit für die Bestimmung der Zeitdaten für nicht wertschöpfende Tätigkeiten erforderlich sind.

2.4.2 Informationen in der Produktentwicklung

Eine Beschreibung der einzelnen Phasen der Produktentwicklung kann auf Grundlage der VDI-Richtlinien 2221 /VDI 93/ und 2222 /VDI 82/ erfolgen, die sich intensiv mit den Abläufen während der Produktplanung, -entwicklung und -konstruktion auseinandersetzen.

In der *Planungsphase* ist die Aufgabenstellung zu klären und zu präzisieren. Hierzu sind z. B. mit Hilfe von Trendstudien, Marktanalysen, Kundenbefragungen oder durch Auswertungen von Kundenanfragen Informationen über Kundenbedürfnisse zu analysieren, um Kenntnisse über die Merkmale und Kundenbedürfnisse des zu entwickelnden Produkts zu bekommen. Als Planungsgrundlage steht somit im Allgemeinen eine Aussage zu Jahresstückzahlen, Produktlebensdauer und (möglichen) Produktvarianten zur Verfügung, auf der alle weiteren Schritte beruhen /REINHART 95, S. 360-364/. Auf Seiten des Produkts sind die technischen und die wirtschaftlichen Anforderungen festzulegen, die bei der Umsetzung der Produktidee in ein Produkt einzuhalten sind /EHRENSPIEL 95, S. 135/.

Für diese Umsetzung werden in der *Konzeptionsphase* die Funktionen des Produkts analysiert und strukturiert, für die Teilfunktionen werden Lösungsprinzipien erarbeitet, aus denen Konzeptvarianten abgeleitet werden. Die Konzeptionsphase schließt mit einer technisch-wirtschaftlichen Bewertung der erarbeiteten Konzepte und der Auswahl eines Lösungskonzepts ab, welches in der Entwurfsphase detailliert wird /PAHL 97, S. 88/. Als Ergebnis liegen die modulare Struktur sowie die räumliche Anordnung der wesentlichen Produktkomponenten vor

/VDI 2221, S. 15/. Aus der Produktgliederung in Funktions- und Baugruppen ergeben sich Vorgaben und Hinweise für den Montagevorranggraph, der die zeitlich-logische Abfolge der Montagetätigkeiten darstellt. Zur vollständigen Übersicht der verwendeten Bauteile und Komponenten werden in der Konzeptionsphase vorläufige Stücklisten angelegt /EHRENSPIEL 95, S. 135/. Ausgehend von diesen Listen kann für die Einzelteile die Behälterplanung gestartet werden, aus der sich erste Anhaltspunkte für die spätere Materialbereitstellung ergeben /BERNHART 93, S. 59/.

In der *Entwurfsphase* wird das Lösungskonzept durch die Festlegung der Produktgestalt weiter ausgearbeitet. Begonnen wird dazu mit der Grobgestaltung der gestaltungsbestimmenden Hauptfunktionsträger, bevor weitere Funktionsträger in einem vergleichbaren Detaillierungsgrad entworfen werden. Abgeschlossen wird die Entwurfsphase mit der vollständigen Feingestaltung aller Funktionsträger. Hierauf aufbauend kann auf Basis des Montagevorranggraphs eine wahrscheinliche Montagereihenfolge abgeleitet werden. Durch die Definition der Schnittstellen zwischen den Baugruppen und den hierfür geplanten Verbindungsverfahren ergeben sich darüber hinaus Ansätze zur Abgrenzung von Montageaufgaben.

In der *Ausarbeitungsphase* werden die Funktionsträger weiter detailliert, indem Einzelteile gestaltet und optimiert sowie Vorschriften zur Montage und Prüfung erstellt werden. Mit der Aktualisierung und Vervollständigung von Zeichnungen und Stücklisten und dem Erstellen einer vollständigen Produktdokumentation wird die Produktentwicklung abgeschlossen.

Durch die überlappende Bearbeitung der einzelnen Phasen, kann es sowohl innerhalb jeder Phase der Produktentwicklung als auch über mehrere Phasen hinweg Iterationsschleifen zur schrittweisen Verbesserung des Produkts geben /VDI 2221, S. 11/. Darüber hinaus kann es in der praktischen Anwendung zu Verschiebungen der Inhalte zwischen den einzelnen Phasen kommen. Einzelteile, Baugruppen und Gesamtprodukt können je nach Konstruktionsfortschritt in unterschiedlichen Konkretisierungsstufen vorliegen /FRECH 98, S. 25/. Die grundsätzliche Anwendbarkeit der Vorgehensweise nach VDI 2221 bleibt aber trotz dieser Einschränkungen erhalten.

In Abb. 2.11 ist der Informationensaustausch bei der Anwendung des Simultaneous Engineerings in der Produktentwicklung zusammenfassend dargestellt. Hierbei werden von der Konstruktionsabteilung in den einzelnen Phasen die aufgeführten Informationen an die

Montageprozessplaner weitergegeben. Nach einer montageorientierten Analyse wird die Bewertung an die Produktentwicklung zurückgegeben, um gemeinsam eine kontinuierliche Verbesserung des Produkts zu erreichen.

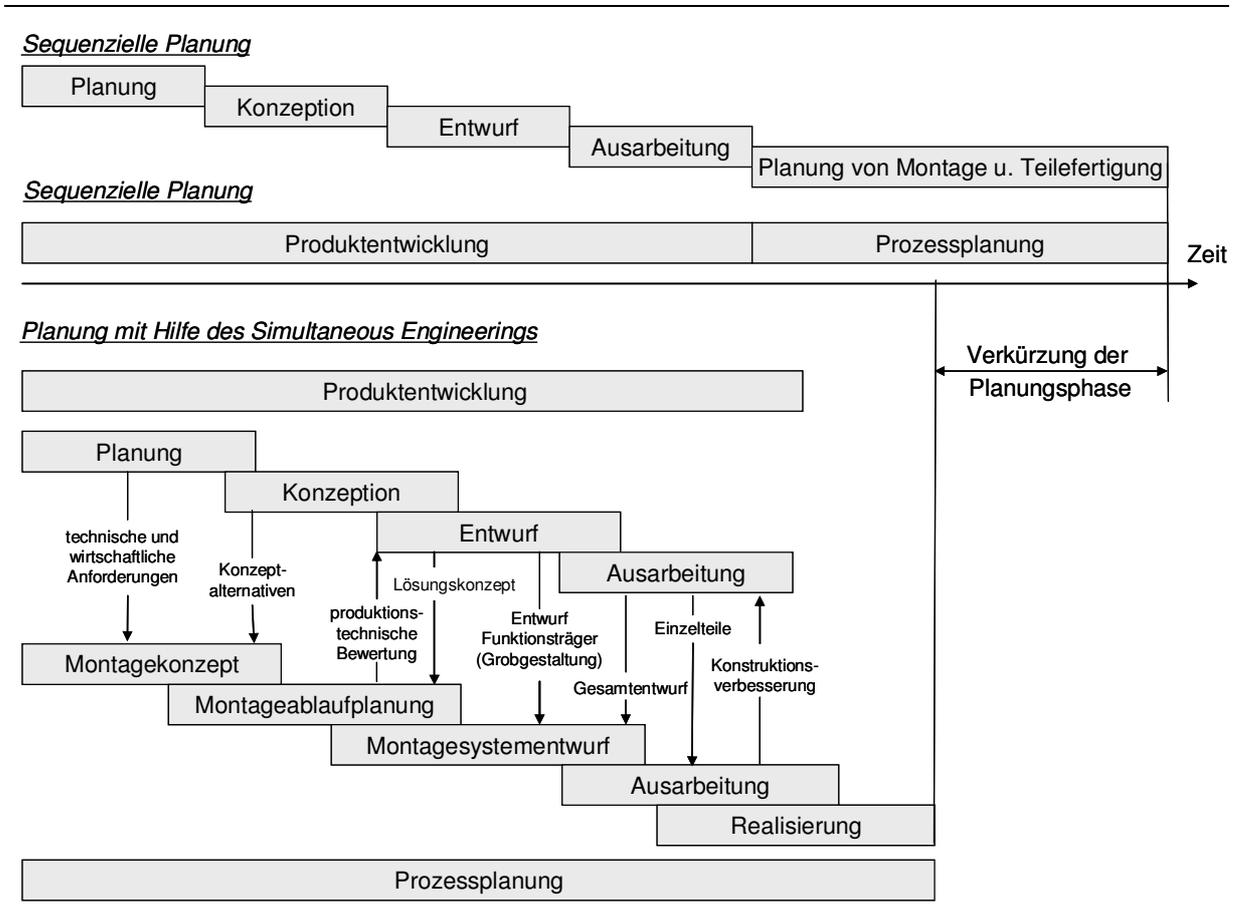


Abb. 2.11: Informationsaustausch zwischen Produktentwicklung und Prozessplanung (am Beispiel der Montageplanung)

Die Informationen, die während der Produktenwicklung an die Montageprozessplanung weitergereicht werden, lassen sich weiter gliedern. Zusätzlich kann die Güte der Informationen bewertet werden. Die Güte beschreibt dabei ein Maß für die Unveränderlichkeit einer Information. Für die Planung kann unterschieden werden, ob eine Information auf Basis einer ersten Abschätzung gewonnen wurde und damit noch unsicher ist, oder ob die Information nur noch begrenzten Veränderungen bzw. keinen/kaum Veränderungen unterliegt. In den frühen Phasen der Produktentwicklung liegen im Allgemeinen recht unsichere Informationen vor, die im Laufe des Entwicklungsprozesses weiter abgesichert werden. Dem Entwicklungsprozess gehen in der Regel auch Veränderungen an den vorhandenen Daten einher.

In der Planungsphase ergeben sich aus Marktanalysen die Prognosen zu Stückzahlen und deren Verlauf über die Zeit, z. B. anhand der Kennzahlen Verbrauchsstetigkeit oder Wieder-

holhäufigkeit. Die Stückzahlprognose wird in der Planungsphase als wesentliche Kenngröße definiert, kann sich aber im zeitlichen Verlauf des Produktlebenszykluses noch ändern, da sich der Kundenmarkt dynamisch verhält. Dieses gilt auch für alle weiteren Kennzahlen, die aus Marktbeobachtungen und Trendanalysen hervorgehen und in der Planungsphase nur abgeschätzt und erst in der Konzeptionsphase detailliert werden. Darüber erfolgen erste Abschätzungen zu Produktgestalt, -volumen und -masse. Diese Informationen sind Eingangsgröße für die Montagekonzeptplanung.

In der Konzeptionsphase werden die Funktionen und Teilfunktionen analysiert, so dass eine Aussage über eine mögliche Montagereihenfolge für die Montageablaufplanung möglich wird. Weiterhin werden erste Informationen zu Einzelteilen generiert, so dass dessen Anzahl, Streuung und Anlieferzustand sowie die Prüfnotwendigkeit abgeschätzt werden kann.

Zu diesen Informationen aus der Konstruktion kommen im Allgemeinen bereits erste bauteil- und baugruppenspezifische Informationen aus der Montageplanung und der Qualitätsplanung hinzu. So werden beispielsweise der Anlieferzustand und die Prüfnotwendigkeit für Bauteile definiert. Eine Zusammenfassung der in frühen Phasen der Produktentwicklung verfügbaren montagerelevanten Informationen sowie dessen Güte kann aus Abb. 2.12 entnommen werden.

montagerelevante Informationen	Planung	Konzeption	Entwurf	Ausarbeitung
Stückzahlprognose	■			
Verbrauchsstetigkeit	▨	■		
Stückzahlvarianz	▨	■		
Wiederholhäufigkeit		■		
Montageablaufbeschreibung	▨	▨	■	■
Masse (Produkt)	▨	▨	■	
Volumen (Produkt)	▨	■	■	
Gestalt (Produkt)		▨	■	■
Teileanzahl		■		
Teilevarianz		■		
Montagereihenfolge		■	■	
Montagereihenfolgenvarianz		■	■	
Wertzuwachs		■		
Zeitpunkt der Variantenausprägung		■		
Anlieferungszustand Baugruppen		■	■	
Bauteilbeschreibung		▨	■	■
Anlieferungszustand (Bauteile)		■	■	
Prüfnotwendigkeit (Bauteile)		▨	■	■
Bauteilgeometrie			■	■
Verbindungstechnik (Bauteile)			■	■
Montageprozesstyp			■	■
Prozessparameter			▨	■
Kapazitätsbed. Prozess			■	■
Prozessvarianz			■	■

▨: abschätzbar, unsicher ■: begrenzte Veränderungen ■: keine / kaum Veränderungen

Abb. 2.12: Verfügbarkeit von montagerelevanten Informationen bei Abschluss der jeweiligen Planungsphase in der Produktentwicklung /nach BERNHART 93, S. 64/

Neben der Gliederung der Informationen nach Verfügbarkeit in der Produktentwicklung lassen sich diese auch nach ihrem Inhalt bzw. nach der Art der Informationsgewinnung unterteilen. Zum einen liegen Informationen zum geplanten Produktionsprogramm zum anderen Informationen zum Produkt vor. Das Produktionsprogramm stellt die Rahmenbedingungen dar, unter denen das Produkt montiert wird. Die Darstellung des Produkts lässt sich weiter in eine zustandsorientierte und eine vorgangsorientierte Repräsentation unterteilen /BRAUN 95, S. 30/ (vgl. Abb. 2.13).

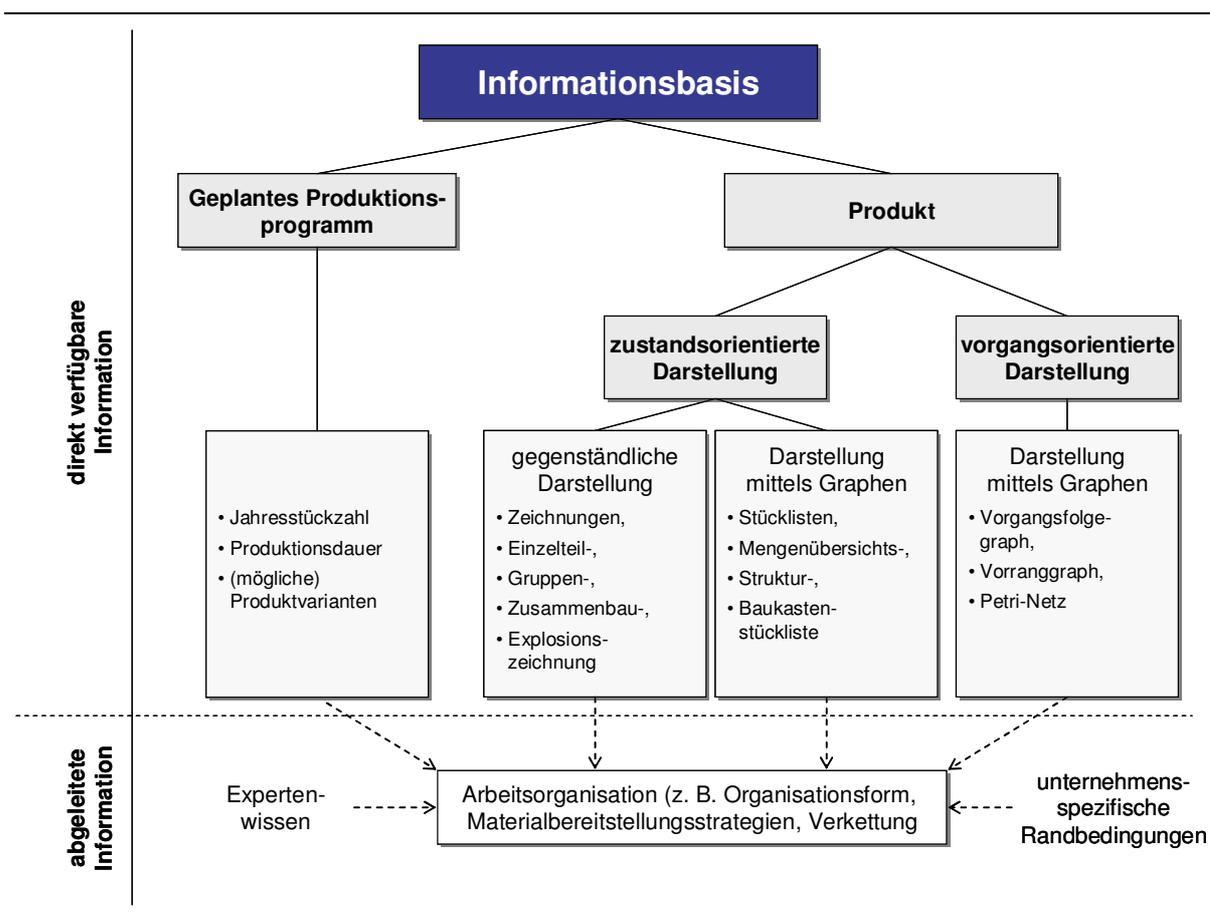


Abb. 2.13: Gliederung der in frühen Phasen der Produktentwicklung verfügbaren Informationen

Informationen zum Zustand werden in der Regel in verschiedenen Formen von Zeichnungen gegenständlich abgelegt, während Stücklisten für die Darstellung mittels Graphen genutzt werden. Diese Form der Darstellung wird auch für die vorgangsorientierte Produktbeschreibung verwendet.

Aus den verfügbaren Informationen lassen sich mit Expertenwissen und unter Berücksichtigung unternehmensspezifischer Randbedingungen weitere Informationen erzeugen. Dieses ist vor allem erforderlich, um eine erste vorläufige Beschreibung der Arbeitsorganisation zu erhalten. Ist das Expertenwissen explizit in Systematiken oder Entscheidungsbäumen abgelegt,

kann beispielsweise auf Basis der verfügbaren Informationen eine geeignete Organisationsform, eine aufwandsarme Materialbereitstellungsstrategie oder eine wirtschaftliche Art der Verkettung ermittelt werden /BULLINGER 94, S. 140; BULLINGER 94, S. 248; KONOLD 03, S. 44/.

2.4.3 Die Prozessplanung der Montage

Durch die parallele Bearbeitung der Produktentwicklung und der Prozessplanung im Rahmen des Simultaneous Engineerings können – wie dargestellt – Synergien genutzt werden. Die Prozessplanung kann dabei vergleichbar der Produktentwicklung detailliert werden (vgl. Abb. 2.9). Durch die Fokussierung dieser Arbeit auf die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten innerhalb der Montage bleiben die Planung der Materialwirtschaft sowie die Planung der Teilefertigung im Weiteren unberücksichtigt. Die Montageplanung hat die Aufgabe ausgehend von dem geplanten Produktionsprogramm sowie den zustandsorientierten Produktdaten ein Montagesystem zu entwickeln, mit es dem unter Beachtung der unternehmensspezifischen Randbedingungen möglich ist, Einzelteile und Baugruppen zusammenzuführen /KONOLD 03, S. 1; SCHÄFER 92, S. 10/. Die Aufgaben und Schritte einer Montageplanung sind in der Literatur vielfältig und mit unterschiedlichen Schwerpunkten aufbereitet /z. B. FELDMANN 96; KONOLD 03; SCHUSTER 92/. In der Regel beinhalten aber alle Gliederungen vier wesentliche Arbeitsschritte /GRUNWALD 02, S. 32/:

- Analyse der Ausgangssituation (Produkt, Produktionsprogramm, Randbedingungen)
- Grob- und Feinplanung des Montageablaufs
- Ausarbeitung /Detaillierung des Montagesystems
- Realisierung (Beschaffung, Installation, Mitarbeiterschulung etc.)

Die Analyse der Ausgangssituation ist Voraussetzung für die Erstellung eines Konzepts, das Basis für die Planung des Montageablaufs ist. Als Ergebnis stehen die Planungsziele sowie Prinziplösungen für die gestellte Problemstellung zur Verfügung /LOTTER 02, S. 360ff/.

Zur Grob- und Feinplanung des Montageablaufs werden u. a. die Erstellung des Montagevorranggraphen /vgl. AMMER 85; BRUNNER 90/, die Kapazitätsteilung und die Festlegung der Arbeitsinhalte /GROB 82; KONOLD 03; MERZ 87/ gerechnet.

In der Ausarbeitungsphase wird die Strukturbildung einschließlich der Auswahl der Betriebsmittel, die Layoutplanung sowie die Organisation des Materialflusses vorgenommen /BULLINGER 86, GRUNWALD 02, S. 33/.

Mit der Realisierung wird die Montageplanung abgeschlossen. Betriebsmittel werden installiert, Mitarbeiter geschult und der Anlauf der Produktion vorbereitet und betreut /BULLINGER 86/.

Neben diesen chronologisch ablaufenden Schritten erfolgt eine kontinuierliche Bewertung der Lösungen. Insbesondere nach Abschluss der Konzeption bzw. zu Beginn der Grobplanung des Montageablaufs ist eine monetäre Bewertung im Sinne einer Montagekostenkalkulation wichtig /BULLINGER 86, S. 71; SCHNEPF 95, S. 28/. Aufbauend auf dem Kalkulationsergebnis können Kostenvorgaben für die weitere Planung formuliert werden. Da sich bei der manuellen Montage Kosten und Montagezeiten gegenseitig stark bedingen, können anstelle von Kostenvorgaben auch Zeitvorgaben in der Planung genutzt werden. Die Zeitvorgaben können bei Bedarf wieder in Montagekosten überführt werden. Unter Kalkulation wird im Allgemeinen eine Berechnung verstanden, die für unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden kann. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff Kalkulation ausschließlich für die Berechnung von Zeitwerten verwendet. Da die Kontrolle der Planung anhand von Kalkulationen in der Regel mit der erbrachten Leistung, im Rahmen der Arbeit also mit der Montage eines Produkts, verbunden ist, besitzt im Weiteren ein Kalkulationsergebnis immer einen Produktbezug.

Ein wichtiges Anwendungsfeld der produktbezogenen Kalkulation von Montagekosten stellt die Erstellung von Angeboten dar. Je nach Art des Angebots (Informations-, Richt-, Festangebot) ist ein entsprechender Aufwand für die Kalkulation erforderlich, um eine hinreichende Genauigkeit des Angebotspreises erreichen zu können. Daneben ist es für die Bewertung der Produktentwicklung und für die Überwachung der Montageplanung erforderlich, bereits frühzeitig eine Aussage über die Montagekosten zu machen. Durch die Verknüpfung von Montagezeiten und Montagekosten trägt eine zeitliche Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten in frühen Phasen der Produktentwicklung bzw. der Prozessplanung hierzu wesentlich bei. Die Analyse der Zeitdaten ermöglicht eine frühzeitige Beeinflussung des Montageprozesses zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. So können bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung unterschiedliche Konstruktionen hinsichtlich ihres Aufwands an nicht wertschöpfenden Tätigkeiten verglichen werden, um so den Konstrukteur bei der Entwicklung aufwandsarmer Produkte zu unterstützen. Die frühzeitige Ermittlung und Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten ist aber auch für den Montageprozessplaner hilfreich. Ihm steht mit der Zeit eine Kennzahl zur Verfügung, mit der unterschiedliche Planungsszenarien bewertet werden können. Die Zeit kann ein wichtiges Entscheidungskriterium beim Vergleich verschiedener Montageverfahren sein. Dass die gezielte Nutzung

von Zeit- und Kostendaten in der Produktentwicklung und der Prozessplanung für den wirtschaftlichen Erfolg eines Produkts wesentlich ist, kann aus Abb. 2.14 entnommen werden. Etwa 80 Prozent der Kosten sind nach Abschluss der Prozessplanung festgelegt, d. h., das Potenzial durch Veränderungen am Produkt und im Prozess die Herstellkosten zu senken, ist im Vergleich zu dem der Produkterstellung erheblich.

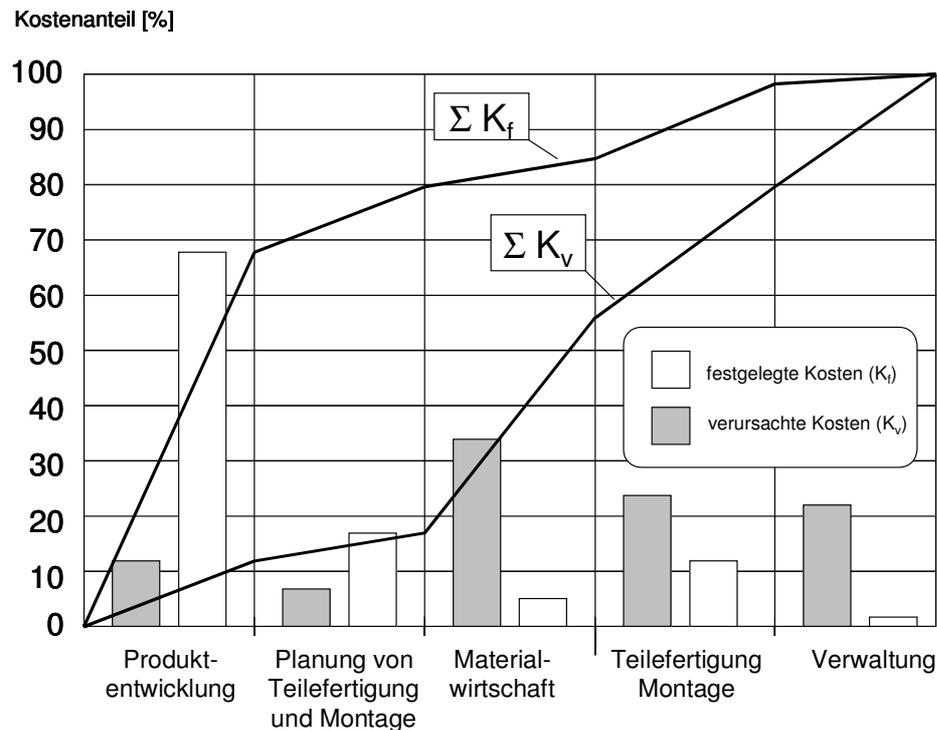


Abb. 2.14: Zusammenhang zwischen Kostenverantwortung und Kostenentstehung (in Anlehnung an VDI 2234 /90, S. 5/)

Hieraus wird ersichtlich, dass Werkzeugen, die in frühen Phasen der Produktentwicklung eingesetzt werden können, um Kosten zu reduzieren, eine hohe Bedeutung zukommt. Im Bereich der Produktentwicklung sind umfangreiche Systematiken zur Erstellung einer geeigneten Konstruktion vorhanden. Für die Planung von Montageprozessen stehen ausschließlich Werkzeuge zur Verfügung, die sich mit dem eigentlichen Montageprozess befassen. Beispiele hierfür sind die Werkzeuge DFA (Design for Assembly, vgl. Kap. 3.1.3) oder ProKon (Produktgerechtes Konstruieren) /SANZENBACHER 04, S. 20/. Letzteres wurde gezielt für die Optimierung der Montagetauglichkeit von Produkten entwickelt. Unberücksichtigt bleiben allerdings alle weiteren Prozesse in der Montage. Für eine möglichst wirtschaftliche Kostenfestlegung ist es daher sinnvoll neben den eigentlichen Montageprozessen auch alle begleitenden, nicht wertschöpfenden Tätigkeiten optimal zu planen, da auch diese die Gesamtkosten beeinflussen.

3 Zeitdatenermittlung in frühen Phasen der Produktentwicklung

Verfahren zur Zeitdatenermittlung in frühen Phasen der Produktentwicklung müssen sich zum einen an den Anforderungen orientieren, die seitens der Montageprozessplanung und den damit verbundenen Verwendungen (z. B. Vorkalkulation, Verfahrensvergleich) vorgegeben werden, zum anderen können als Eingangsgrößen nur die Informationen verwendet werden, die zu diesem Zeitpunkt in der Produktentwicklung zur Verfügung stehen. Für die Bewertung und Beurteilung bestehender Verfahren hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Einsetzbarkeit sind neben den sich aus der Anwendung ergebenden Anforderungen auch die verfügbare Datenbasis zu berücksichtigen. Voraussetzung ist eine Analyse der Zeitdatenermittlungsverfahren mit Fokussierung auf den geforderten Einsatzzweck Montageprozessplanung.

3.1 Methoden zur Zeitdatenermittlung für die Montageprozessplanung

Für die Ermittlung von Zeitdaten stehen nach HEINZ /01, S. 574/ verschiedene Methoden zur Auswahl (vgl. Abb. 3.1). Diese lassen sich grundsätzlich nach der Art der Datenermittlung unterscheiden. Mit den Methoden zur Ist-Zeit-Ermittlung können nur für tatsächlich ausgeführte Arbeitsabläufe Zeitdaten ermittelt. Werden Ist-Zeiten dahingehend aufbereitet, dass sie auch auf Arbeitssysteme außerhalb des Erhebungsbereichs planmäßig angewendet werden können, wurde aus einer Ist-Zeit eine Soll-Zeit gewonnen. Soll-Zeiten beschreiben das planmäßige Ausführen eines Arbeitsablaufs und können z. B. auch durch Schätzen, Systeme vorbestimmter Zeiten oder Vereinbaren gewonnen werden.

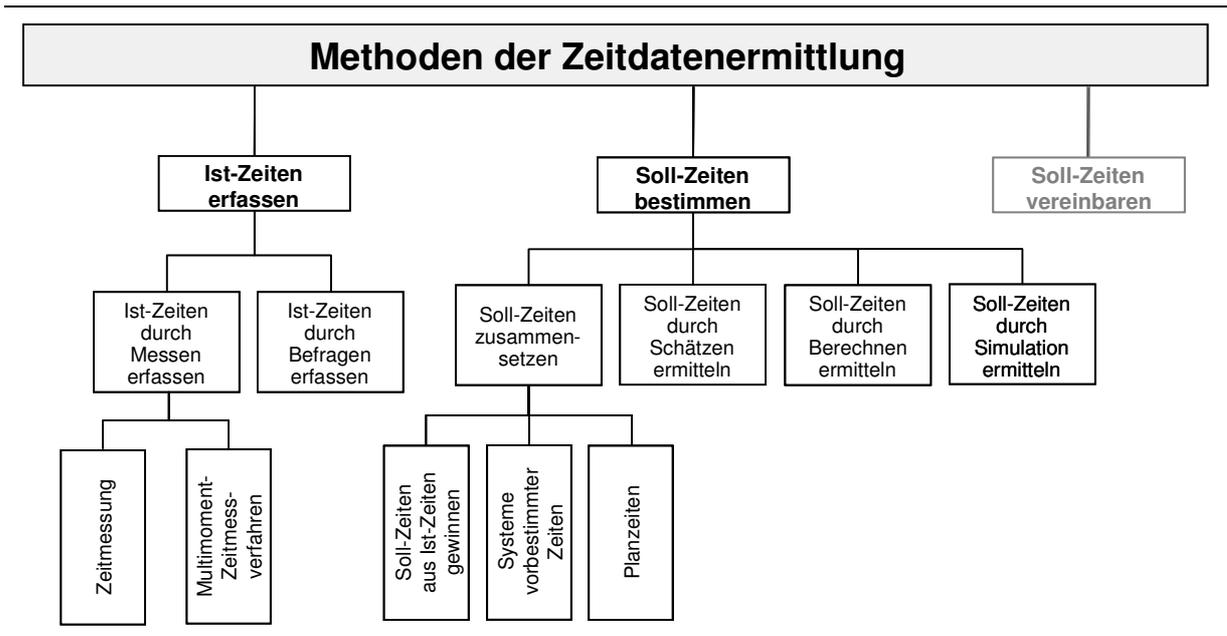


Abb. 3.1: Methoden der Zeitdatenermittlung /in Anlehnung an MESENHÖLLER 04, S. 18/

Die Methode des Vereinbarens von Soll-Zeiten wird nicht weiter verfolgt, da diese Zeiten vornehmlich bei der Abstimmung von Leistungsvorgaben zwischen Arbeitnehmer und Arbeitgeber eingesetzt werden. In frühen Phasen der Produktentwicklung finden diese Verhandlungen nicht statt. Im Allgemeinen greifen beide Seiten bei den Verhandlungen auf bestehende Ist-Zeiten, auf vergleichbare Planzeiten sowie auf ihren Erfahrungsschatz zurück, um ein Ergebnis hervorzubringen. Alle weiteren aufgeführten Methoden werden unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes in der Montageprozessplanung analysiert.

3.1.1 Methoden zum Ist-Zeiten-Erfassen

Ist-Zeiten sind tatsächlich von einem Menschen oder einem Betriebsmittel gebrauchte Zeiten für das Ausführen einer bestimmten Tätigkeit.

Zeitmessung

Bei der Methode der Zeitmessung, auch Zeitaufnahme genannt, werden Ist-Zeiten mittels Zeitmessgerät oder durch indirekte Messung, z. B. durch Rückmeldungen in der Produktionssteuerung erfasst. Sofern die Zeitmessung manuell erfolgt, kann zwischen Selbstaufschreibung und Fremdaufschreibung unterschieden werden. Bei der Selbstaufschreibung werden durch den ausführenden Mitarbeiter selbst die Zeitpunkte von Anfang und Ende seiner Montagetätigkeit notiert oder registriert. Aus den beiden Zeitpunkten ergibt sich die Ausführungszeit der damit verbundenen Tätigkeit.

Bei der Fremdaufschreibung (z. B. REFA-Zeitaufnahme) wird die Ist-Zeit durch einen Beobachter unter zur Hilfenahme eines Zeitmessgeräts (meistens eine Stoppuhr) ermittelt. Der Vorteil gegenüber dem Selbstaufschreiben liegt in der Möglichkeit, parallel zur Arbeitsausführung die Ist-Zeiten zu ermitteln und die Arbeitssituation zu dokumentieren. Sofern bei der Dokumentation die Arbeitsmethode, die Arbeitsbedingungen, die Bezugsmenge sowie der so genannte Leistungsgrad des Mitarbeiters mit aufgenommen werden, können aus den Ist-Zeiten Soll-Zeiten bestimmt werden.

Neben der manuellen Zeitaufnahme besteht auch die Möglichkeit, Zeitdaten durch automatisierte Messungen zu erfassen bzw. aus protokollierten Zeitdaten zu ermitteln. Bei maschinengestützten Prozessen kann die Zeitmessung mittels automatischer Messgeräte oder mittels Betriebsdatenerfassungssystemen (BDE) erfolgen, die in Produktionsbereichen eingesetzt werden, um anhand der Rückmeldedaten den Arbeitsfortschritt zu erfassen /vgl. MUSSBACH-WINTER 03, S. 14-18; DREYER 03, S. 19-22/. BDE ist insbesondere in der Teilefertigung anzutreffen, da der Grad der Technisierung hoch ist; in der Montage hat die Datenerfassung noch keinen so hohen Durchdringungsgrad. Für die Montage interessanter ist die Auswertung von PPS-Daten. Durch die Rückmeldung des Montagefortschritts nach vorgegebenen Arbeitsinhalten können aus den Zeitpunkten Ist-Zeiten für die vorgegebenen Arbeitsinhalte ermittelt werden. Ähnlich wird bei der Ermittlung von Zeitdaten durch die Auswertung von Protokolldaten aus Workflow-Management-Systemen (WFMS) vorgegangen. Da diese Systeme aber insbesondere in indirekten Bereichen angewendet werden, ist die Messung von Ist-Zeiten für die Montage mit WFMS nicht von Interesse.

Multimoment-Zeitmessverfahren

Beim Multimoment-Zeitmessverfahren (MMZ-Verfahren) notiert ein Beobachter an jedem Arbeitsplatz in unregelmäßigen Rundgängen neben dem jeweils gerade angetroffenen Vorgang zusätzlich den Zeitpunkt der Beobachtung. Durch die ermittelten Zeitpunkte kann die Dauer der Einzelvorgänge näherungsweise berechnet werden. Die Genauigkeit der Methode wird insbesondere durch die Wahl der Rundgangshäufigkeit beeinflusst.

Das MMZ-Verfahren ist besonders geeignet für die Ermittlung von Ist-Zeiten für langzyklische und unregelmäßig auftretende Arbeitsvorgänge, für Vorgänge ohne oder mit nur geringer Wiederholung, bei kleinen Losgrößen und bei starkem Wechsel der Aufträge und der Erzeugnistypen. Es lässt sich aber auch bei wiederholt auftretenden gleichartigen Vorgängen anwenden /OLBRICH 93, S. 27/.

Befragen

Bei der Methode „Befragen“ wird die Meinung eines Mitarbeiters – meistens des Ausführenden oder seines Vorgesetzten – zur Dauer einer Tätigkeit erfragt /REFA 97, S. 307/. Die Befragung erfolgt in der Regel durch Mitarbeiter mit fundierten Kenntnissen des Arbeitsstudiums. Die Zeitermittlung durch das Befragen führt nach Simons allerdings nur zu einem Ergebnis mit begrenzter Genauigkeit /SIMONS 87, S. 122/. Das ergänzende Befragen zur Ermittlung von detaillierteren Informationen zu Arbeitsabläufen oder zur Absicherung von Beobachtungen, die durch Fremdaufschreibung vorliegen, ist als Teil der jeweiligen Methode (z. B. Zeitaufnahme, Multimoment-Zeitmessverfahren) zu betrachten.

Ist-Zeiten sind für die Montageprozessgestaltung nutzbar, sofern die Ist-Situation mit der zu planenden Montage vergleichbar ist, so dass die gewonnenen Ist-Zeiten für die Planungssituation unter Beachtung der Differenzen anwendbar sind. Dieses ist vielfach bei Anpassungs- und Variantenkonstruktionen möglich, bei denen von einer bestehenden Konstruktion ausgehend das Konstruktionskonzept größtenteils übernommen wird. Für die Montageprozessplanung kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass bei der bestehenden Ähnlichkeit ebenfalls eine vergleichbare Realisierung der Montage erfolgen wird.

3.1.2 Methoden zur Soll-Zeiten-Ermittlung

Soll-Zeiten sind Zeiten für Soll-Abläufe, die bei der Planung ermittelt und benutzt werden. Sie werden im Allgemeinen aus zuvor erfassten Ist-Zeiten abgeleitet. Hierzu werden die relevanten Einflussgrößen ausgewertet und dokumentiert. Die Darstellung der Soll-Zeiten kann nach der Aufbereitung beispielsweise in Form von Funktionsgraphen, Planzeitkatalogen, Kalkulationsblättern oder Zeitformeln erfolgen.

Soll-Zeiten aus Ist-Zeiten gewinnen

Die Aufbereitung von Ist-Zeiten zu Soll-Zeiten kann in unterschiedlicher Form erfolgen. Soll-Zeiten können als mit einem Faktor gewichtete Ist-Zeiten oder als Durchschnittswert von ermittelten Ist-Zeiten Verwendung finden /MESENHÖLLER 04, S. 20/. Darüber hinaus kann durch das Eliminieren von Störungen aus den Ist-Zeiten sowie durch die Anpassung der Ist-Zeiten an veränderte betriebliche Rahmenbedingungen die Aufbereitung zu Soll-Zeiten erfolgen.

Planzeiten

„Planzeiten sind Soll-Zeiten für bestimmte Abschnitte, deren Ablauf mit Hilfe von Einflussgrößen beschrieben ist“ /REFA 97, S. 348/. Der Umfang der Abschnitte kann dabei stark variieren. So ist die Ermittlung von Planzeiten für die Montage von Großanlagen genauso möglich, wie die Ermittlung von Planzeiten für einzelne Bewegungen, z. B. für das Hinlangen zu einem Gegenstand. Unabhängig vom Umfang der Abschnitte steht die Genauigkeit der Zeitdaten im Verhältnis zum Ermittlungsaufwand. Da je nach Verwendungszweck unterschiedliche Genauigkeitsanforderungen vorliegen, ist das geplante Anwendungsfeld der Planzeiten vor der Soll-Zeit-Ermittlung zu definieren, um den Aufwand minimal zu halten. Planzeiten weisen im Rahmen der Zeitdatenermittlung eine Besonderheit auf, da für ihre Erstellung Soll-Zeiten erforderlich sind, die zuvor mit einem Zeitdatenermittlungsverfahren zu erstellen sind. Für die methodische Ermittlung der Abhängigkeiten der Soll-Zeit von einer oder mehreren Einflussgrößen kann die Regressionsanalyse genutzt werden. Mit ihr kann durch die Auswertung einer Stichprobe von Zeitdaten eine allgemeingültige Aussage (hier: Planzeit) gemacht werden. Die Regressionsanalyse untersucht dazu welche Einflussgrößen auf die Zielgröße (hier: Soll-Zeit) einwirken und welcher Art dieser Zusammenhang (z. B. linear) ist. Mit der Korrelationsrechnung wird die Stärke des Zusammenhangs über das Bestimmtheitsmaß und den Korrelationskoeffizienten bewertet.

In Abhängigkeit der verwendeten Einflussgrößen können Planzeiten in unternehmensspezifische und unternehmensübergreifende Planzeiten unterteilt werden. Letztere nutzen Einflussgrößen, die in vielen (oder allen) Unternehmen verfügbar sind und damit eine weitreichende Übertragbarkeit sicherstellen. Der Aufwand für die Erstellung dieser übergreifenden Planzeiten ist für ein einzelnes Unternehmen wirtschaftlich nicht sinnvoll, so dass die Entwicklung überwiegend von Vereinen oder Verbänden gestützt wird. Unternehmensübergreifende Planzeiten sind aber vielfach Basis für die Erstellung von unternehmensspezifischen Planzeiten. Durch die Überführung von variablen Einflussgrößen in Einflussgrößen mit fixer Ausprägung sowie der Auswahl unternehmensspezifischer Einflussgrößen wird die Anwendung der Planzeiten auf vorgegebene Unternehmensbereiche oder Technologien eingeschränkt. Dieser Einschränkung steht jedoch eine erhöhte Anwendungsgeschwindigkeit gegenüber.

Systeme vorbestimmter Zeiten

Systeme vorbestimmter Zeiten (SvZ) sind unternehmensübergreifende Planzeiten, wobei sich die hierunter zusammengefassten Methoden durch die Wahl unterschiedlicher Einflussgrößen und Detaillierungsgrade voneinander unterscheiden. Die Verfahren werden genutzt, um Arbeitsabläufe zeitlich zu bewerten. Hierzu werden manuelle Tätigkeiten und einfache geistige Entscheidungen in Bewegungselemente (z. B. Hinlangen, Greifen) und mentale Funktionen (z. B. Identifizieren) aufgegliedert. Jedem dieser Bewegungselemente und Funktionen wird ein Normzeitwert zugeordnet, der in seiner Höhe durch die erfassten Einflussgrößen, z. B. Bewegungslänge, Kraftaufwand oder Platziergenauigkeit, (vor-) bestimmt ist. SvZ können nur eingesetzt werden, wenn die zu bewertenden Tätigkeiten vom Menschen voll beeinflussbar sind. Die Entwicklungen aller SvZ-Verfahren gehen auf das Motion Time Analysis Verfahren von Segur zurück. Eine Übersicht über die historische Entwicklung sowie die Beziehungen der Verfahren untereinander kann bei KIEF 02 /S. 47/ nachgelesen werden. In der deutschen Industrie werden überwiegend die WF-Verfahren (Work-Factor) und die MTM-Systeme (Methods Time Measurement) eingesetzt, wobei die MTM-Systeme wesentlich verbreiteter sind /WESTKÄMPER 98, S. 47/. Im Folgenden wird daher nur auf die MTM-Systeme eingegangen, Informationen zu den WF-Verfahren bieten neben OLBRICH /93, S. 31f./ auch KIEF /02, S. 48f./ oder PAPENFUß /88, S. 8ff/.

Zu den MTM-Systemen zählen mehrere Analysiersysteme, denen gemeinsam ist, dass sie sowohl quantitativ ermittelbare als auch qualitativ bewertbare Einflussgrößen berücksichtigen. Das MTM-Grundsystem, welches in älterer Literatur MTM-Grundverfahren genannt wird, stellt die Ausgangsbasis dar, aus der die Bausteinsysteme der Standarddaten, der UAS-Grundvorgänge und der MEK-Grundvorgänge vorgegangen sind (vgl. Abb. 3.2).

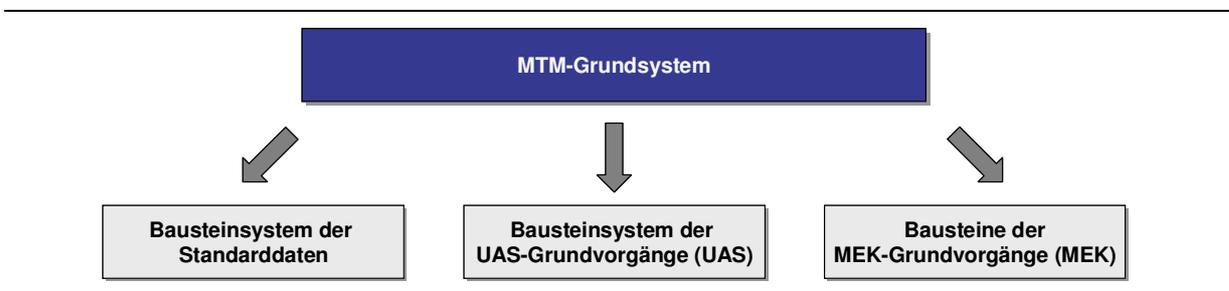


Abb. 3.2: Übersicht der MTM-Systeme

Bei dem MTM-Grundsystem handelt es sich um das detaillierteste MTM-Datensystem. Es berücksichtigt neben acht Grundbewegungen der Finger, der Hand und des Arms zwei Blickfunktionen und neun Körperbewegungen. Da es für die Abgrenzung von wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten von besonderer Bedeutung ist, wird auf das System detaillierter eingegangen. Durch eine Kombination der aufgeführten Grundbewegungen lassen sich alle manuellen Tätigkeiten in der Montage darstellen, wobei für die Beschreibung von ca. 80 % aller Montagetätigkeiten allerdings ein aus fünf Grundbewegungen bestehender Bewegungszyklus ausreichend ist (vgl. Abb. 3.3).

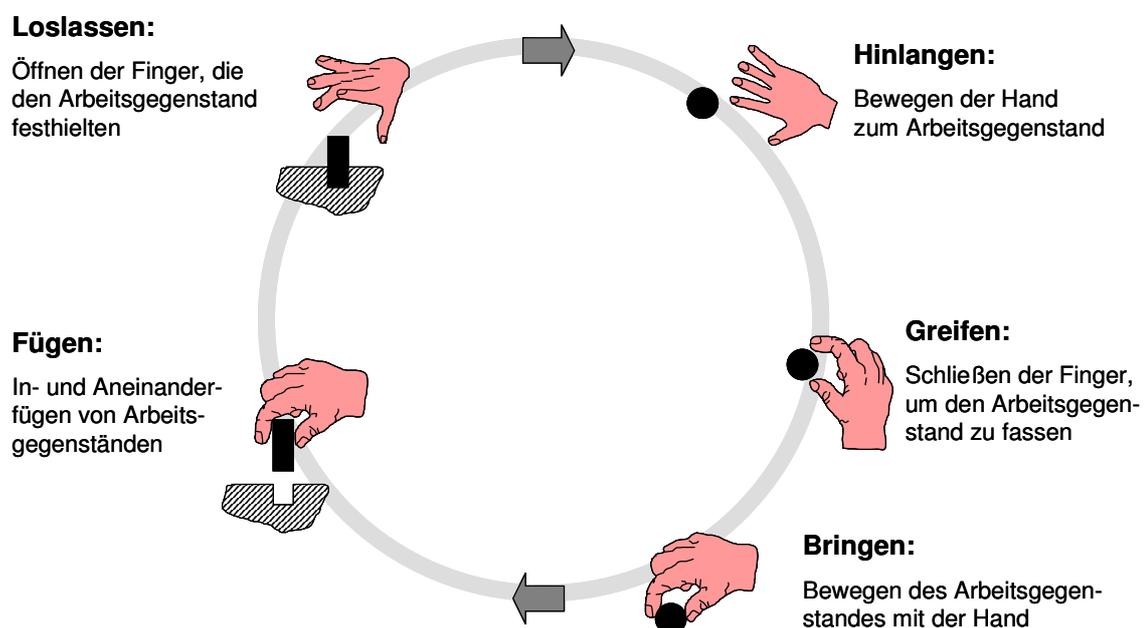


Abb. 3.3: Zyklus aus den fünf häufigsten Grundbewegungen /nach HELMS 91, S. 33-39/

Der Zyklus setzt sich aus den Grundbewegungen Hinlangen, Greifen, Bringen, Fügen und Loslassen zusammen. Das Hinlangen beschreibt eine Bewegung der Hand oder der Finger zu einem Arbeitsgegenstand, der mit der nächsten Grundbewegung dem Greifen unter Kontrolle gebracht wird. Im Anschluss erfolgt mit dem Bringen der Transport des Arbeitsgegenstands mit den Fingern oder der Hand zu seinem Bestimmungsort. Dort wird in der Regel ein Fügen durchgeführt. Das Fügen ist eine von den Fingern oder der Hand ausgeführten Bewegung, mit der ein Gegenstand in einen anderen eingesteckt oder an einen anderen angelegt wird /ANTIS 69, S. 115/. Bei der Ausführung der Fügebewegung kann es zu Verzögerungen aufgrund von Fügeerschwernissen wie Sicht- oder Raumbehinderungen kommen. Darüber hinaus verlängern auch Vorrichtbewegungen, die durch eine fehlende Symmetrie der Fügequerschnitte hervorgerufen werden, die Ausführungsdauer. Nach Abschluss des Fügens

wird mit dem Loslassen, dem Öffnen der Finger, der Kontakt gelöst, so dass die nächste Hinlangbewegung ausgeführt werden kann.

Voraussetzung für die Durchführung des beschriebenen Bewegungszyklus ist, dass das zu fügende Bauteil mit einer Bewegung der Hand oder des Arms erreicht werden kann, es sich also innerhalb des Hand-Arm-Bereichs befindet. Bei der Anwendung der MTM-Systeme wird allgemein eine Entfernung für den Hand-Arm-Bereich von 80 cm festgelegt, die in der Regel durch Bewegungen des Arms mit Unterstützung des Oberkörpers überbrückt werden kann. Bei Entfernungen oberhalb des Grenzwertes von 80 cm sind Bewegungen des Körpers erforderlich, wie der Seitschritt, das Gehen, das Beugen und das Bücken.

Aufgrund des hohen Detaillierungsgrads eignet sich das Grundsystem insbesondere für kurzzyklische Tätigkeiten, wie sie in der Massenfertigung auftreten. Bei längerzyklischen Tätigkeiten ist eine praktische Anwendung durch den hohen Analysieraufwand eingeschränkt /HELMs 80, S. 3/. Hier empfehlen sich andere Datensysteme, die aus dem Grundsystem hervorgegangen sind.

Bei dem Bausteinsystem der Standarddaten (SD) – in älterer Literatur auch Standarddaten-Datensystem genannt – handelt es sich um die erste Weiterentwicklung des Grundsystems /ANTIS 69 S. 224 ff/. Durch das Zusammenfassen von Grundbewegungen zu Grundvorgängen, z. B. der Grundbewegungen „Bringen“ und „Fügen“ zum Grundvorgang „Platzieren“, wird die Analysiergeschwindigkeit durch die Reduktion der Einflussgrößen erhöht und damit der Analyseaufwand reduziert. Aufgrund des immer noch sehr hohen Analysieraufwands wird auch das Bausteinsystem der Standarddaten vornehmlich in der Großserien- und Massenfertigung eingesetzt /BECKs 93, S. 10/. Mit der Entwicklung des Bausteinsystems der UAS-Grundvorgänge (UAS) – in älterer Literatur auch UAS-Analysiersystem genannt – und des Bausteinsystems der MEK-Grundvorgänge (MEK) – in älterer Literatur auch MEK-Analysiersystem genannt – sind zwei Systeme konzipiert worden, mit denen auch Arbeitsabläufe wirtschaftlich beschreibbar sind, die nicht der Großserien- oder der Massenfertigung zuzuordnen sind. Diese Datensysteme zeichnen sich durch eine im Vergleich zum Grundsystem und Bausteinsystem der Standarddaten höheren Analysiergeschwindigkeit durch weitere Reduktion der Einflussgrößen aus /BECKs 98, S. 2-14/. Darüber hinaus werden die Einflussgrößen nicht aus dem Bewegungsablauf abgeleitet, sondern erfassen lediglich die Rahmenbedingungen, die keine detaillierten Kenntnisse des Mikro-Arbeitssystems verlangen und damit üblicherweise zum Zeitpunkt der Planung bekannt sind /HELMs 91, S. 34-39/.

Sollzeiten durch Schätzen ermitteln

Das Schätzen, oft auch Schätzen und Vergleichen genannt, bezeichnet das Ermitteln von Zeitdaten durch den Vergleich eines zu bewertenden Arbeitsablaufs mit einem ähnlichen bereits zeitlich bewerteten Arbeitsablaufs. Kennzeichnend ist, dass geschätzte Daten auch nachgemessen (oder nachgezählt) werden können.

Der Vorgang des Schätzens unterteilt sich in zwei Schritte. Im ersten Schritt wird der Vergleichsmaßstab gesucht, der Basis für den zweiten Schritt, dem Schätzen der Abweichungen von diesem Vergleichsmaßstab, ist. Je besser der Vergleichsmaßstab mit dem zu schätzenden Ablauf übereinstimmt, desto einfacher lässt sich die Methode anwenden. Die Umsetzung der Methode kann in verschiedenen Verfahrensvarianten erfolgen:

- Globales Schätzen
- Unterteiltes Schätzen und
- Schätzen mit Zeitklassen

Mit der Verfahrensvariante *Globales Schätzen* werden Soll-Zeiten für längere oder komplexe Abläufe, komplette Aufträge o. ä. geschätzt. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in dem geringen Zeitaufwand für die Datenermittlung. Aufgrund eines möglichen hohen Schätzfehlers sollte das Ergebnis nur als Orientierungswert genutzt werden.

Im Gegensatz zum Globalen Schätzen wird beim *Unterteilten Schätzen* der zu schätzende Ablauf in einzelne Ablaufabschnitte gegliedert. Für jeden Ablaufabschnitt sind die Schätzwerte zu ermitteln, die anschließend zu einem Gesamtwert addiert werden. Das Verfahren hat den Vorteil, dass es vielfach leichter ist, kürzere, überschaubare Ablaufabschnitte zu schätzen, als einen gesamten Ablauf /REFA 97, S. 278/. Darüber hinaus kann eine bessere Genauigkeit (im Vergleich zum Globalen Schätzen) erreicht werden, da Schätzfehler bei voneinander unabhängigen Ablaufabschnitten nicht voll in das Gesamtergebnis eingehen, weil Ablaufabschnitte sowohl zeitlich überschätzt als auch unterschätzt werden. Der Fehler für das Gesamtergebnis kann durch die Formel

$$F = \frac{f}{\sqrt{n}}$$

beschrieben werden.

Dabei ist

- F der Gesamtfehler in Prozent der Zeit für einen längeren Ablauf,
- n die Anzahl der Ablaufabschnitte, in die dieser Ablauf gegliedert wurde, und
- f der durchschnittliche Fehler in Prozent der einzelnen Ablaufabschnitte.

Es ist ersichtlich, dass der Gesamtfehler mit der Anzahl unabhängiger Ablaufabschnitte sinkt.

Beim *Schätzen mit Zeitklassen* wird nicht ein konkreter Zeitwert geschätzt, vielmehr wird der zu bewertende Ablauf mit bekannten (Standard-) Abläufen als Richtbeispiele verglichen, deren Zeitwerte bekannt sind und einer Zeitspanne (Zeitklasse) zugeordnet wurden. Beim Vergleich der beiden Abläufe ist zu entscheiden, ob die Ähnlichkeit hinreichend groß ist, so dass der zu bewertende Ablauf in die gleiche Zeitklasse einzugruppiert ist, oder ob die Abweichungen eine Eingruppierung in eine benachbarte Zeitklasse erfordern. Die Zeitklassen werden nach statistischen Regeln erstellt, wobei jede Zeitklasse eine Zeitklassen-Untergrenze, eine Zeitklassen-Obergrenze und einen Zeitklassen-Mittelwert besitzt. Zur Vereinfachung der Zuordnung zu den Zeitklassen können Richtbeispiele genutzt werden. Ist ein zu bewertender Ablauf einer Zeitklasse zuzuordnen, so wird als Schätzwert der Mittelwert der Zeitklasse angenommen. Hiermit soll zum einen vermieden werden, dass der Aufwand in die Ermittlung der zeitlichen Abweichung innerhalb einer Zeitklasse zu hoch wird und das Verfahren damit nicht wirtschaftlich ist, und zum anderen sollen systematische Fehler ausgeschlossen werden /REFA 97, S. 290/.

Soll-Zeiten durch Berechnen ermitteln

Die Ermittlung von Soll-Zeiten durch Berechnen hat sich insbesondere für technologische Prozesse durchgesetzt. Grundlage ist die detaillierte Beschreibung der prozessbestimmenden Parameter. Die Zeitdatenermittlung durch Berechnen erfolgt daher beispielsweise für Prozesse in der Teilefertigung, in Teilen hybrider Montagesysteme oder in automatisierten Logistikbereichen.

Sollzeiten durch Simulation ermitteln

Sollzeiten können durch Simulation ermittelt werden, wenn ein Modell vorliegt, mit dem Abläufe beschrieben werden können. Die Erstellung eines Simulationsmodells ist vielfach mit erheblichem Aufwand verbunden, wobei der Detaillierungsgrad, mit dem die Abläufe für eine Simulation nachgebildet werden, auch die Detaillierung des Simulationsergebnisses bestimmt. Verwendung findet die Simulation für die Zeitdatenermittlung zum Beispiel bei vernetzten

Mikro-Arbeitssystemen, um Durchlaufzeiten, aber auch erwartete Zeitverbräuche oder Leistungen (Stückzahl je Zeit) zu ermitteln. Insbesondere bei komplexen Makro-Arbeitssystemen und/oder einem breiten Produktspektrum (Mehrvariantenmontage) bietet sich die Simulation zur Zeitdatenermittlung an. Voraussetzung hierfür sind allerdings Soll-Zeiten, die mit anderen Zeitdatenermittlungsverfahren generiert wurden und als Eingangsgröße für das Simulationsmodell dienen. Durch die stärker aufkommende Nutzung von Digitale-Fabrik-Softwaresystemen zur Planung der Produktion wird die Simulation zukünftig an Bedeutung gewinnen, da sich der Initialaufwand für die Modellerstellung und die Datenpflege verringern wird.

Neben diesen bei HEINZ /01B, S. 574/ aufgeführten Verfahren zur Soll-Zeit-Ermittlung werden bei MÖNIG /05, S. 49ff/ und MESENHÖLLER /04, S. 62ff/ Sondermethoden zur Zeitdatenermittlung vorgestellt. Mönig nutzt einen Fuzzy-Ansatz, um ausgehend von einer bekannten Tätigkeit mit einer definierten Zeit durch eine (unscharfe) Beschreibung der Abweichungen einer ähnlichen Tätigkeit dessen Zeit zu ermitteln. Ausgangspunkt ist damit wie beim Vergleichen und Schätzen eine Referenz, zu der die Abweichungen zusammengestellt und bewertet werden. Während beim Vergleichen und Schätzen die Wissensbasis, auf der die Bewertung der Abweichungen vorgenommen wird, als Erfahrungswissen des Mitarbeiters vorliegt, wird das Wissen durch die Anwendung des Fuzzy-Ansatzes explizit fassbar. Die Genauigkeit des Ergebnisses ist somit nicht mehr von dem Mitarbeiter abhängig, der die Zeitermittlung vornimmt, sondern von dem Ersteller der Fuzzy-Sets, der das Werkzeug zur Zeitdatenermittlung erstellt.

Bei MESENHÖLLER werden Zeitdaten aus Workflow-Management-Systemen (WFMS) ausgewertet und zu Soll-Zeiten aufbereitet. Durch die Erfassung eines Anfangs- und eines Endzeitpunkts sowie der im WFMS hinterlegten Tätigkeit können Ist-Zeiten ermittelt werden. Liegen mehrere Ist-Zeiten für eine Tätigkeit vor, wird diese mittels Regressionsrechnung in eine Planzeit überführt. Anwendung findet diese Methode vor allem in indirekten Bereichen, da dort viele Tätigkeiten EDV-gestützt ablaufen, so dass eine Ermittlung der Ist-Zeiten aufwandsarm stattfinden kann. Für die Ermittlung von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten in der Montage ist diese Methode kaum geeignet, da die Anzahl der Rückmeldungen über den Montagefortschritt in ein EDV-System sich in der Regel auf den Beginn und das Ende eines Montageauftrags beschränkt, der im Allgemeinen eine Vielzahl unterschiedlicher Tätigkeiten beinhaltet. Eine Ermittlung von Soll-Zeiten für einzelne Tätigkeiten ist somit nicht möglich. Von einer Erhöhung der Anzahl der Rückmeldung sollte ebenfalls abgesehen werden, um den Bewegungsablauf in der Montage nicht unnötig zu unterbrechen.

3.1.3 Quantitative Montagebewertungsverfahren mit Zeitbezug

Neben den Methoden zur Zeitdatenermittlung können auch integrierte Planungsverfahren verwendet werden, die Zeitdaten erzeugen.

KIEF /02, S. 81ff/ hat eine Methode entwickelt, mit der Montagezeiten in der Phase der Produktentwicklung ermittelt werden können. Die Methode basiert auf unternehmensübergreifenden Planzeiten für Standard-Montagetätigkeiten, die in Anlehnung an die DIN 8593 definiert sind. In einer Matrix wird jedem Bauteil eines Produkts eine oder mehrere Standardmontagetätigkeit(en) zugeordnet, der/denen wiederum jeweils eine Montagezeit zugewiesen wurde. Durch die Zuordnung von Standardmontagezeiten für alle Bauteile eines Produkts errechnet sich somit eine Gesamtmontagezeit.

Der zeitliche Umfang jeder Standardtätigkeit kann durch die Variation der Ausprägung der Einflussgrößen vor Kalkulationsbeginn verändert werden. Hiermit kann auf technologische und organisatorische Rahmenbedingungen des Montagesystems eingegangen werden. Innerhalb einer Kalkulation erfolgen keine weiteren Unterscheidungen hinsichtlich der Tätigkeitsdauer, selbst wenn bekannt ist, dass die Ausprägung einer Einflussgröße im Montageverlauf variiert. Signifikante Einflussgrößen, die für die Kalkulation berücksichtigt wurden, ergeben sich zum einem aus dem Bausteinsystem der UAS-Grundvorgänge, welches als Zeitdatenermittlungsverfahren genutzt wurde, und zum anderen aus der Arbeitssystemgestaltung. Durch die Zuordnung von Auftretenswahrscheinlichkeiten für die Ausprägungen der Einflussgrößen ergibt sich ein Erwartungswert für die Tätigkeitsdauer, der in der Kalkulation verwendet wird.

Die Methode beschränkt sich bei der Ermittlung von Montagezeiten allerdings auf Tätigkeiten, die einem Bauteil eindeutig auf Basis von Zeichnungs- und Stücklisteninformationen zuzuordnen sind, z. B. das Schrauben, das Klemmen oder das Eindrücken.

FRECH /98, S. 56ff/ hat ein Verfahren zur integrierten prozessbegleitenden Vorkalkulation entwickelt, das auf Basis von Produktstrukturinformationen Teilefertigungskosten, Materialkosten und Montagekosten bestimmt. Für die Ermittlung der Montagezeiten, aus denen die Montagekosten abgeleitet werden, wird ebenfalls auf das Bausteinsystem der UAS-Grundvorgänge zurückgegriffen. Im Gegensatz zu Kief werden allerdings für ein Montagevorgang (bei Kief „Standardmontagetätigkeit“ genannt) Varianten zugelassen, um für die

jeweilige Tätigkeit die exakte Beschreibung der Einflussgrößen durchführen zu können. Die dabei entstehenden Varianten werden in Vorgangsklassen zusammengefasst, die aufgrund der Vielzahl der verwendeten Einflussgrößen und der sich hieraus ergebenden Möglichkeit der Permutation durchaus 20 bis 30 Vorgänge beinhalten können. Vorgangsklassen beschreiben dabei Tätigkeiten wie das Schnappen, das Schrauben, das Legen oder das Kleben. Sie sind somit auch auf Tätigkeiten beschränkt, die eindeutig auf Zeichnungs- und Stücklisteninformationen zurückzuführen sind. Die Anwendungsgeschwindigkeit ist aufgrund der hohen abgebildeten Genauigkeit relativ gering. Es bleibt offen, ob in der Phase der Vorkalkulation bereits detaillierte Arbeitsplatzinformationen vorhanden sind, die zur Beschreibung der Tätigkeiten erforderlich sind, z. B. Anlieferzustand aller Bauteile (vereinzelt, vermischt) oder Abstand zwischen Bereitstell- und Montageort (bis 20 cm, < 20 bis 50 cm, > 50 cm).

HARTMANN /88, S. 32ff/ ermöglicht mit seinem Kostenmodell für die Montage eine sehr detaillierte Kalkulation. Berücksichtigt wird dabei neben dem der Werteverzehr der Ressourcen Personal, Betriebsmittel und Material auch der der Ressourcen Gebäude/Flächen, Information und Finanzen. Der Umfang der Betrachtungen schließt Förder-, Lager-, Handhabungs-, Füge- und Prüfprozesse ein. Relevante Einflussgrößen zur Bewertung des Werteverzehrs werden aus Expertenbefragungen abgeleitet. Der konkrete Zusammenhang zwischen Ausprägung einer Einflussgröße und Werteverzehr ist betriebspezifisch am jeweiligen Anwender festzulegen. Aufgrund der hohen Komplexität und des hohen Detaillierungsgrades des Modells ist der Aufwand für diese Anpassung sehr hoch /HARTMANN 88, S. 121/. Die Art und der Umfang der verwendeten Größen zur Beschreibung der Montageabläufe legen nahe, dass Modell insbesondere bei der Planung von Montageanlagen verwendet werden kann.

Das Ziel der Methode „Design for Assembly“ (DFA) von Boothroyd und Dewhurst /BOOTHROYD 92, S. 625-636, BOOTHROYD 94, S. 17/ ist, das Produkt zu vereinfachen, indem die Notwendigkeit jedes Bauteils kritisch hinterfragt wird, um die Anzahl an Bauteile zu reduzieren. Annahme hierbei ist, dass durch die Reduktion der Bauteile – unabhängig von deren Komplexität – auch der Montageaufwand sinkt. Nach einer zeitlichen Bewertung der Montagetätigkeiten wird die entwickelte Lösung einer theoretisch bestmöglichen Lösung gegenübergestellt, um die Montagegerechtigkeit der Konstruktion bewerten zu können.

Obwohl das Hauptziel der DFA-Methode die Konstruktionsbewertung bzw. –verbesserung ist, bietet diese Methode auch die Möglichkeit, Montagezeiten zu ermitteln. Basis ist die Bewertung von Handhabungs- und Fügetätigkeiten je Bauteil, die mit einem DFA-spezifischen System vorbestimmter Zeit oder durch die Überführung von Zeitaufnahmen in Soll-Zeiten erfolgt.

Eine dem DFA ähnliche Methode die Assembly Evaluation Method (AEM) wurde bei Hitachi entwickelt. Die Montagekosten werden in einem Team durch die Bewertung der Montagegerechtheit ermittelt. Eine Erweiterung von General Electrics bietet zusätzlich die Ermittlung von Montagezeiten (MIYAWAKA 87, S. 9-13). Grundlage ist ebenfalls ein System vorbestimmter Zeiten für Fügevorgänge. Einem Entwurf wird eine Kennzahl zugeordnet, die unter Berücksichtigung von Vergleichsdaten zu einer Montagedauer führt. Bei der Zeitdatenermittlung unberücksichtigt bleiben allerdings Teilehandhabung, Teileausrichtung und –zuführung, Durch die Verwendung betrieblicher Vergleichsdaten können firmenspezifische Randbedingungen bei der Zeitermittlung berücksichtigt werden.

ISHII /88, S 53-65/ stellt mit „Designers´ Aid for Simulations Engineering“ (DAISIE) eine Applikation zur Verfügung, die im Wesentlichen auf DFA und AEM basiert und vergleichbare Ergebnisse liefert, sich aber durch eine höhere Anwenderfreundlichkeit durch die Verwendung eines Expertensystems auszeichnet.

Ein sehr detaillierter Katalog mit Zeitdaten für die zeitliche Bewertung eines Entwurfs wurde von TAYLOR /85, S. 198ff/ vorgelegt. Allerdings beschränken sich die analysierten Tätigkeiten im Wesentlichen auf elektronische Produkte wie Platinen, Stecker oder Leitungen, so dass ein Einsatz nur für diese speziellen Produkte in Frage kommt. Allerdings ist das zur Zeitermittlung erforderliche Wissen über die Gestaltung des Arbeitssystems in der Montageplanung vielfach noch nicht vollständig gegeben.

3.2 Anforderungen an Verfahren zur Zeitdatenermittlung in frühen Phasen der Produktentwicklung

Die Verfahren zur Zeitdatenermittlung müssen, sofern sie in der Phase der Produktentwicklung für die Montageprozessplanung eingesetzt werden sollen, bestimmte Anforderungen erfüllen (vgl. Abb. 3.4).

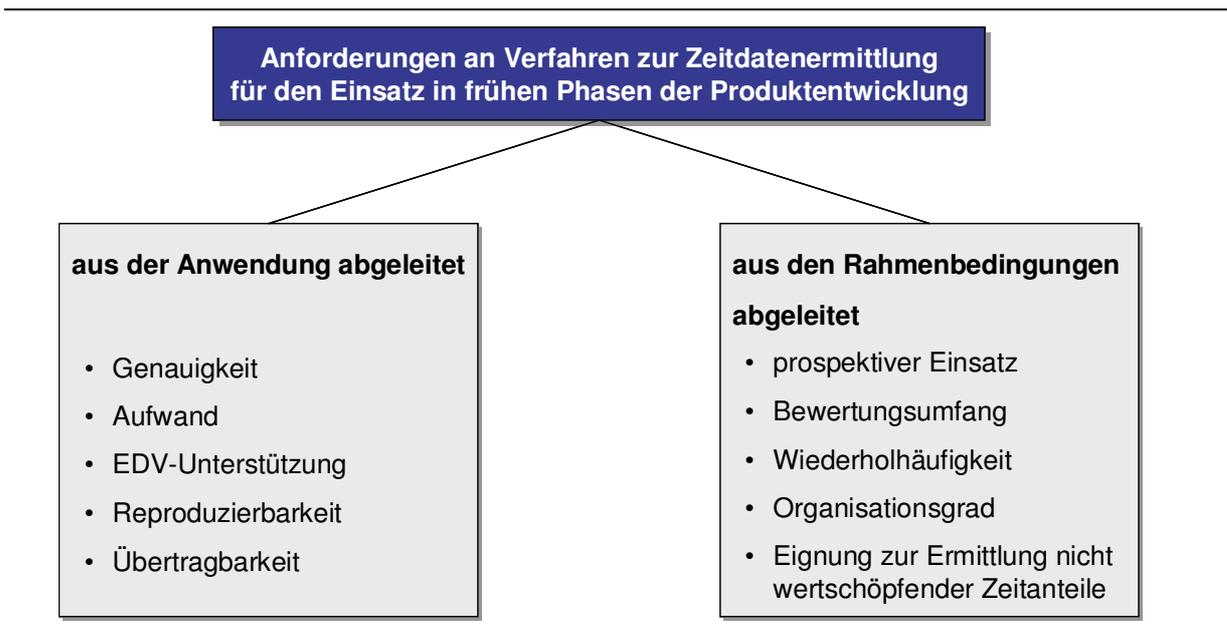


Abb. 3.4: Gliederung der Anforderungen an Verfahren zur Zeitdatenermittlung

Einerseits sollten sie Ergebnisse mit hinreichender Genauigkeit bieten, andererseits aber nicht zu aufwändig in der Handhabung sein. Für die Anwendung ist weiterhin eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse von Vorteil. Darüber hinaus ergeben sich aus der gestellten Aufgabe Randbedingungen, die ebenfalls zu erfüllen sind, wie der Einsatz in frühen Phasen der Produktentwicklung, die Einsetzbarkeit für unterschiedliche Anwendungsbereiche der Montage sowie die Möglichkeit, nicht wertschöpfende Tätigkeiten zu bewerten.

3.2.1 Aus der Anwendung abgeleitete Anforderungen

Das Kriterium *Genauigkeit* beschreibt die Abweichung zwischen der Soll-Zeit als Ergebnis eines Zeitdatenermittlungsverfahrens und dem wahren Wert. Die Höhe der tolerierbaren Abweichung bzw. der geforderten Genauigkeit hängt im Allgemeinen von der Aufgabe ab, für die die Zeitdaten genutzt werden. Abb. 3.5 stellt diesen Zusammenhang zwischen Funktionen im Unternehmen und die geforderte Genauigkeit dar.

Funktionen		Genauigkeitsanforderungen		
		5%	10%	15%
Terminplanung	kurzfristig	■		
	mittelfristig		■	
	langfristig			■
Kapazitätsplanung	kurzfristig	■		
	mittelfristig		■	
	langfristig			■
Personalplanung	kurzfristig	■		
	mittelfristig		■	
	langfristig			■
leistungsorientierte Entlohnung		■		
Vorkalkulation			■	
Nachkalkulation		■		
Entscheidung Eigen- /Fremdherstellung				■
Investitionsplanung		■		

Abb. 3.5: Betriebsbefragung: Relative Genauigkeitsanforderungen an Zeitdaten /HEINZ 89, S. 53/

Sind Zeitdaten für eine kurzfristige Verwendung vorgesehen, ist die geforderte Genauigkeit grundsätzlich höher als bei mittel- oder langfristigen Aufgaben. In der Phase der Produktentwicklung sind die meisten Zeitdaten für eine mittelfristige Verwendung geplant. Für die Zeitdaten, die in der manuellen Montage an Stelle vergleichbare Kostendaten genutzt werden, kann die geforderte Genauigkeit der Funktion „Vorkalkulation“ verwendet werden. Die ermittelte Zeit für ein Produkt sollte also nicht mehr als etwa zwölf oder dreizehn Prozent vom realen Zeitwert abweichen.

Bei der Verwendung der in Abb. 3.5 dargestellten Genauigkeitsanforderungen muss beachtet werden, dass sich die Abweichung des ermittelten Zeitwerts vom wahren Wert aus zwei Faktoren ergibt. Zum einen aus der verfahrenseigenen Ungenauigkeit, zum anderen aus der Ungenauigkeit in der Anwendung, die vor allem auf unvollständige oder fehlerhafte Informationen zurückzuführen ist. (Die dem Verfahren eigene Ungenauigkeit wird auch systemimmanente Ungenauigkeit genannt.) Gerade bei der Vorkalkulation kann der Fehler durch unvollständige Informationen den verfahrensimmanenten Fehler dominieren. Grundsätzlich sollte das Verfahren daher in sich eine hohe Genauigkeit haben, damit das Ergebnis auch bei einer unsicheren Informationslage ein hinreichend genaues Ergebnis liefert.

Der *Aufwand* bezeichnet den Umfang an Kapazitäten (Mitarbeiter und Betriebsmittel), der bereitgestellt werden muss, um Zeitdaten zu ermitteln. Dieser gliedert sich einerseits in den Aufwand für die Ermittlung der zur Verfahrensanwendung erforderlichen Informationen, andererseits in die eigentliche Anwendung des Verfahrens. Da die Verfahren zur Zeitdatenermittlung unterschiedlich gestaltet sind, variiert die zur Anwendung erforderliche Informationsmenge.

Beispielsweise erfordert das Globale Schätzen nur eine relativ geringe Informationsbasis und daher ist der Aufwand für die Vorbereitung geringer als bei den Systemen vorbestimmter Zeiten, die eine deutlich umfangreichere Informationsbasis erfordern.

Bei allen Verfahren steigt die erreichbare Genauigkeit mit dem aufgebrauchten Planungsaufwand /KIEF 02, S. 56/, wobei der minimal aufzubringende Planungsaufwand den Verfahren bereits immanent und eine Aufwandssteigerung zur Verbesserung der Genauigkeit nur begrenzt sinnvoll ist. Bevor ein erheblicher Aufwand betrieben wird, um die gewünschte Genauigkeit zu erlangen, bietet es sich an, ein anderes Verfahren einzusetzen, welches höhere immanente Anforderungen an die Planung stellt, z. B. Wechsel vom Globalen Schätzen auf das Unterteilte Schätzen. In Abb. 3.6 ist dieses qualitativ dargestellt. Die Genauigkeit eines Planungsergebnisses steigt zu Beginn der Planung stärker als gegen Ende einer Planung bei gleichem Planungsaufwand. Unbeeinflusst von diesem Zusammenhang zwischen Aufwand und Genauigkeit bleibt die systemimmanente (Un-) Genauigkeit, diese ist auch durch Erhöhung des Planungsaufwands nicht zu beeinflussen.

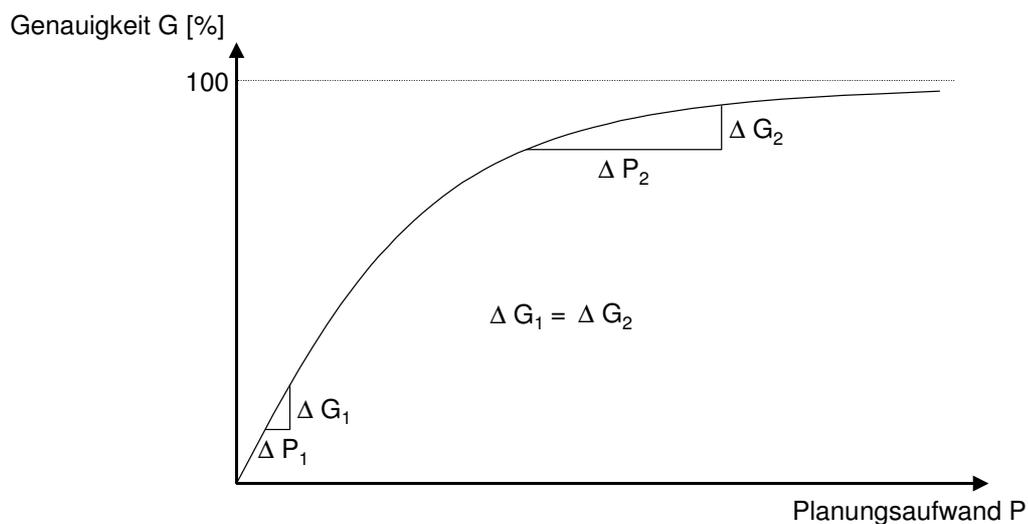


Abb. 3.6: Qualitative Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Planungsaufwand und der Genauigkeit /in Anlehnung an MICHAEL 79, S. 8/

Eng verbunden mit dem Aufwand ist die *EDV-Unterstützung* bei der Erstellung und der Verwaltung von Zeitdaten. Informationssysteme vereinfachen das Zusammenstellen erforderlicher Informationen, das Ermitteln von Zeitdaten sowie deren Dokumentation. In elektronischer Form vorliegende Zeitdaten sind in der Regel leichter zu verwalten und besser zu überarbeiten oder auf neue Planungssituationen anzupassen. Durch eine EDV-Unterstützung werden somit Erstellungsaufwand und Änderungsaufwand wie auch Verwaltungsaufwand reduziert.

Die *Reproduzierbarkeit* beschreibt die Möglichkeit bei gleichen Bedingungen mit demselben Zeitdatenermittlungsverfahren erneut ein vergleichbares Ergebnis zu erlangen. Hierzu ist es erforderlich, dass sowohl die verwendeten Informationen als auch die einzelnen Schritte bei der Verfahrensanwendung gut dokumentiert sind. Die Reproduzierbarkeit wird beeinträchtigt, wenn die Informationszusammenstellung (z. B. beim Befragen durch den Mitarbeiter) oder die Informationsverarbeitung (z. B. beim Schätzen durch den Experten) nicht allgemeingültig in Regeln dargestellt werden kann und damit subjektiven Einflüssen unterliegt. Entsprechend ist eine gute Dokumentation zwar notwendig, allerdings nicht hinreichende Bedingung.

Die *Übertragbarkeit* von Zeitdaten beschreibt die Anforderung, mit Zeitdaten einer bestehenden Montageprozessplanung eine neue aber vergleichbare Planung abbilden zu können. Dieses wird im Allgemeinen erleichtert, wenn die Zeitdaten standardisiert und systematisch aufbereitet und verwaltet werden. Darüber hinaus erleichtert eine Gliederung der Tätigkeiten in Teilabläufe die Identifikation gleicher oder vergleichbarer Abschnitte.

3.2.2 Aus den Rahmenbedingungen abgeleitete Anforderungen

Da die Zeitdaten bereits während der frühen Phasen der Produktentwicklung ermittelt und verwendet werden sollen, also noch weit vor der Realisierung der Mikro- und der Makroarbeitssysteme, ist es erforderlich, dass die Zeitdatenermittlungsverfahren für den *prospektiven Einsatz* geeignet sind. Die Verfahren müssen auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen ein Ergebnis liefern können. Verfahren, die auf Informationen zurückgreifen, die erst in der Nutzungsphase des Arbeitssystems verfügbar sind, sind damit ungeeignet.

Der *Bewertungsumfang* beschreibt die Größe des Ablaufabschnitts, der mit einem Verfahren typischerweise bewertet wird. Hierbei kann es sich um Vorgänge, Teilvorgänge, Vorgangsstufen oder Vorgangselemente handeln, wie sie in Mikro-Arbeitssystemen auftreten, oder um Gesamtabläufe, Teilabläufe und Ablaufstufen als charakteristische Ablaufabschnitte in Makro-Arbeitssystemen. Die Dauer der Ablaufabschnitte in Mikro-Arbeitssystemen beinhalten dabei in der Regel Tätigkeitsumfänge von Sekunden oder Minuten, während in Makro-Arbeitssystemen die Umfänge der Ablaufabschnitte im Allgemeinen bei Minuten bis Stunden liegen, aber auch bis zu Tagen betragen können.

Durch den Unternehmenstyp wird im Wesentlichen die *Wiederholhäufigkeit* der Zeitdatenermittlung vorgegeben. Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung werden zwar regelmäßig ihre Zeitdaten ermitteln, jedoch wird der zu bewertende Inhalt variieren, so dass nur begrenzt auf bestehende Unterlagen zurückgegriffen werden kann. Bei Unternehmen der Serien- oder Großserienfertigung werden Tätigkeiten bewertet, die regelmäßig durchgeführt werden, daher ist auch ein höherer Aufwand für die Zeitdatenermittlung wirtschaftlich vertretbar. Grundsätzlich sollte der Aufwand in einem vernünftigen Verhältnis zum erzielbaren Nutzen stehen, wobei der Nutzen mit der Verwendungshäufigkeit der ermittelten Zeit wächst.

Mit der Wiederholhäufigkeit geht der *Organisationsgrad* mit dem Unternehmenstyp einher. Bei wiederholter Montage gleicher oder ähnlicher Produkte ist die Gestaltung der Arbeitssysteme gut an die Arbeitsaufgabe angepasst z. B. durch Einzweckbetriebsmittel. Der Ablauf der Arbeit ist exakt geplant, Störungen oder Unterbrechungen treten nur sehr selten auf. Da die verschiedenen Zeitdatenermittlungsverfahren bestimmte Anforderungen an den Grad der Arbeitsorganisation stellen /OLBRICH 93 S. 48/, kann der Organisationsgrad ebenfalls als Auswahlkriterium herangezogen werden.

Schwerpunkt der Zeitdatenermittlung in der vorliegenden Arbeit sind nicht wertschöpfende Tätigkeiten innerhalb eines Montagesystems. Hieraus ergibt sich die Forderung, dass die Verfahren über die *Eignung zur Ermittlung nicht wertschöpfender Zeitanteile* verfügen. Im Mittelpunkt stehen somit Tätigkeiten, die im Montageablauf vor und nach dem Fügen von Bauteilen auftreten (vgl. Kap. 4). Durch die heute übliche Form der Arbeitsstrukturierung werden den Mitarbeitern neben Montagetätigkeiten beispielsweise auch Transport- und Prüftätigkeiten übertragen, um den Handlungs- und Entscheidungsspielraum zu erweitern. Die Arbeitsaufgabe eines Montagesystems umfasst somit neben Montagetätigkeiten auch Aufgaben der innerbetrieblichen Logistik und der Qualitätssicherung.

Eine Bewertung der Zeitdatenermittlungsverfahren könnte nach der Beschreibung der Anforderungen nur vorläufig erfolgen, da die Bewertung der Eignung zur Ermittlung nicht wertschöpfender Zeitanteile erst nach einer Abgrenzung von Wertschöpfung und Nicht-Wertschöpfung sowie der Beschreibung nicht wertschöpfender Tätigkeiten möglich ist. Daher wird im folgenden Kapitel zunächst die Begriffsdefinition vorgenommen.

4 Sekundärzeiten in Montagesystemen

Für die Auswahl eines Zeitdatenermittlungsverfahrens zur Beschreibung und Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten ist es erforderlich, Wertschöpfung und Nicht-Wertschöpfung voneinander abzugrenzen. Hierauf aufbauend können die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten genauer analysiert werden, um spezifische Anforderungen an die Verfahren zur Zeitdatenermittlung zu erfassen.

Zur Abgrenzung der Begrifflichkeiten ist es hilfreich mit Primär- und Sekundäraufwand zunächst zwei weitere Begriffe einzuführen. Nach LOTTER /02, S. 6/ werden unter dem Primäraufwand alle Prozesse im Unternehmen verstanden, die der unmittelbaren Erzeugung des Kundennutzen dienen, die somit einen „Wert“ erzeugen. Nach DIN EN 1325 /96, S. 3/ beschreibt der Wert die Beziehung zwischen dem Beitrag eines Objekts zur Bedürfnisbefriedigung und den Kosten des Objekts. Als wertbestimmend gilt im Allgemeinen der Nutzen, den ein Objekt stiftet. Der Nutzen eines Objekts wird dabei nicht durch den Erzeuger des Objekts festgelegt sondern durch den Anwender, sprich den Kunden. Eine Veränderung des Werts eines Objekts – die Wertschöpfung – wird somit nur erreicht, wenn der Nutzen des Objekts für den Kunden erhöht wird, was in der Regel nur durch eine physische Veränderung eines Objekts erfolgt. Aber nicht jede physische Veränderung des Objekts muss vom Kunden als wertsteigernd angesehen werden. Der Aufwand für die Werterzeugung ist nicht nur auf den Einsatz der Ressource Zeit beschränkt, sondern gilt auch für Energie und Information, die zur beabsichtigten Veränderung bzw. Vervollständigung eines Produkts oder einer Dienstleistung dienen. Der Sekundäraufwand fasst alle Aufwendungen zusammen, die aufgrund der gewählten Fertigungsmethode, der Betriebsorganisation oder der Firmenphilosophie erforderlich sind, ohne einen unmittelbaren Kundennutzen zu bewirken. Es wird somit kein Wert erzeugt. Bei der Umschreibung des Sekundäraufwands gibt es in der Literatur keine einheitliche Begrifflichkeit. Während im europäischen Raum der Sekundäraufwand im Allgemeinen als „nicht wertschöpfend“ umschrieben wird /LOTTER 02, S. 6/, hat sich in Japan der Begriff „Muda“, übersetzt „Verschwendung“, durchgesetzt /SHINGO 93, S. 46; SEKINE 95, S. 177/. Bei Betrachtung der Definition von Verschwendung als „der [...] Hang zu übermäßigen, sinn- und zwecklosen Ausgaben“ /BROCKHAUS 99/ kann kritisch angemerkt werden,

dass es in der Montage durchaus Tätigkeiten gibt, die zielgerichtet Ressourcen verbrauchen und trotzdem nicht zur Wertschöpfung beitragen. Als Beispiel sei das Auspacken eines Bauteils als erforderliche Vorbereitung für eine sich anschließende Montagetätigkeit genannt. Aus dieser Kritik ergibt sich der Ansatz, die Verschwendung in Muda Typ I und Muda Typ II zu unterteilen /WOMACK 97, S. 22; vgl. SEKINE 95, S. 177; OELTJENBRUNS 00, S. 32/. Verschwendung Typ I, auch als „Halb-Verschwendung“ bezeichnet /SEKINE 95, S. 177/, beschreibt Tätigkeiten, die keinen Wert erzeugen, aber nach gegenwärtigen Technologien unvermeidbar sind. Unter Verschwendung Typ II werden Tätigkeiten zusammengefasst, die direkt vermeidbar oder nicht notwendig sind. Die Wahl der Umschreibung für den Sekundäraufwand bleibt letztlich dem jeweiligen Anwender und seiner Intention überlassen.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird für den Sekundäraufwand ausschließlich die Umschreibung „nicht wertschöpfend“ genutzt. Die Beschreibung als „Verschwendung“ scheint nicht angebracht, da in der Planungsphase Verschwendung (Typ II) nicht bewusst geplant wird, sondern sich diese erst in der Umsetzung beispielsweise als Planungsfehler ergibt. Der Begriff „Halb-Verschwendung“ beschreibt zwar inhaltlich treffend die im Rahmen dieser Arbeit als nicht wertschöpfend angesehenen Tätigkeiten, er ist aber weder in der Literatur noch in der industriellen Anwendung verbreitet und wird daher hier nicht benutzt.

Werden Primär- und Sekundäraufwand für verschiedene Prozesse der Produktentstehung ermittelt und die gewonnenen Daten graphisch aufbereitet, kann schnell und einfach eine Aussage über die Güte einzelner Vorgänge gemacht werden. Je geringer die Steigung, desto besser ist der „Wirkungsgrad“, d.h. die Wertsteigerung eines Objekts ist bei gleichem Aufwand höher (vgl. Abb. 4.1. Dieses Primär-Sekundäranalyse genannte Werkzeug kann in detaillierter Form auch im Subsystem „Montage“ angewendet werden. Entsprechend kann eine „Montagewirkungsgrad“ ermittelt werden.

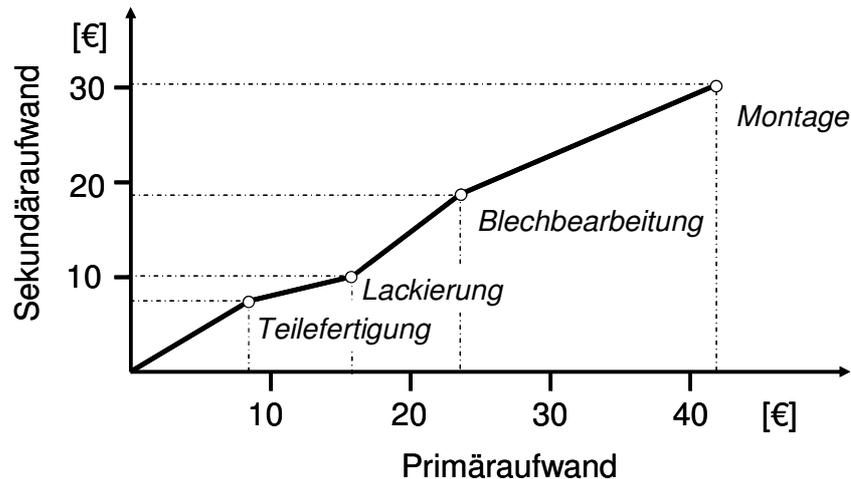


Abb. 4.1: Darstellung der Ergebnisse einer Primär-Sekundär-Analyse /nach LOTTER 2 S. 6/

4.1 Abgrenzung von Primärzeit und Sekundärzeit

Aufbauend auf der Unterscheidung von Primär- und Sekundäraufwand werden die Begriffe Primär- und Sekundärzeitanteile voneinander abgegrenzt, um im Anschluss auf die Sekundärzeit genauer einzugehen. Dabei kann die Definition von Primär- und Sekundäraufwand als Grundlage zur Definition der Begriffe Primär- und Sekundärzeitanteil herangezogen werden. Sofern der Aufwand nur auf die Ressource Zeit beschränkt wird, beschreibt die Primärzeit den Zeitanteil für alle beabsichtigten Veränderungen an einem Produkt. Die dazugehörigen manuellen Abläufe innerhalb eines Arbeitssystems werden als wertschöpfende Tätigkeiten bezeichnet. Alle weiteren innerhalb des Arbeitssystems ausgeführten Tätigkeiten werden als Sekundäraufwand bezeichnet und dienen nicht unmittelbar der Wertschöpfung. Die Zeitdaten für nicht wertschöpfende Tätigkeiten werden der Sekundärzeit zugeordnet.

Beabsichtigte Veränderungen an einem Produkt können durch unterschiedliche Fertigungsverfahren herbeigeführt werden. Eine technologieorientierte Zusammenfassung ist in DIN 8580 /03, S. 7ff/ gegeben. In der Norm werden die Fertigungsverfahren in sechs Hauptgruppen (Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten, Stoffeigenschaften ändern) unterteilt. Für den Bereich der Montage ist insbesondere die Hauptgruppe „Fügen“ von Interesse, welche in DIN 8593, Teil 0 /03, S. 5/ detailliert wird. Fügen ist dort definiert als „das auf Dauer angelegte Verbinden [...] von zwei oder mehr Werkstücken geometrisch bestimmter Form [...]. Dabei wird jeweils der Zusammenhalt örtlich geschaffen und im Ganzen vermehrt“. Die Hauptgruppe Fügen gliedert sich in mehrere Gruppen, die wiederum in Untergruppen zerlegt

werden. Das Zusammensetzen lässt sich z. B. in das Auflegen, das Einlegen, das Ineinander-schieben, das Einrenken und das federnd Einspreizen unterteilen. Mit dieser Einteilung in Gruppen und Untergruppen sind alle Veränderungen an einem Produkt und damit alle wertschöpfenden Tätigkeiten in der Montage aus technologischer Sicht eindeutig beschreibbar.

In der Literatur finden sich zahlreiche Beispiele für die Gliederung von Montagefunktionen, die sich einerseits an der Gliederung der DIN 8593 und andererseits an der aufgeführten Abgrenzung zwischen „primär“ und „sekundär“ orientierten / BULLINGER 86, S. 275; JONAS 00, S. 7, LÖHR 77, S. 49; SPUR 86, S. 591/. Die Gliederung der Montagefunktionen nach JONAS ist in Abb. 4.2 stellvertretend dargestellt.

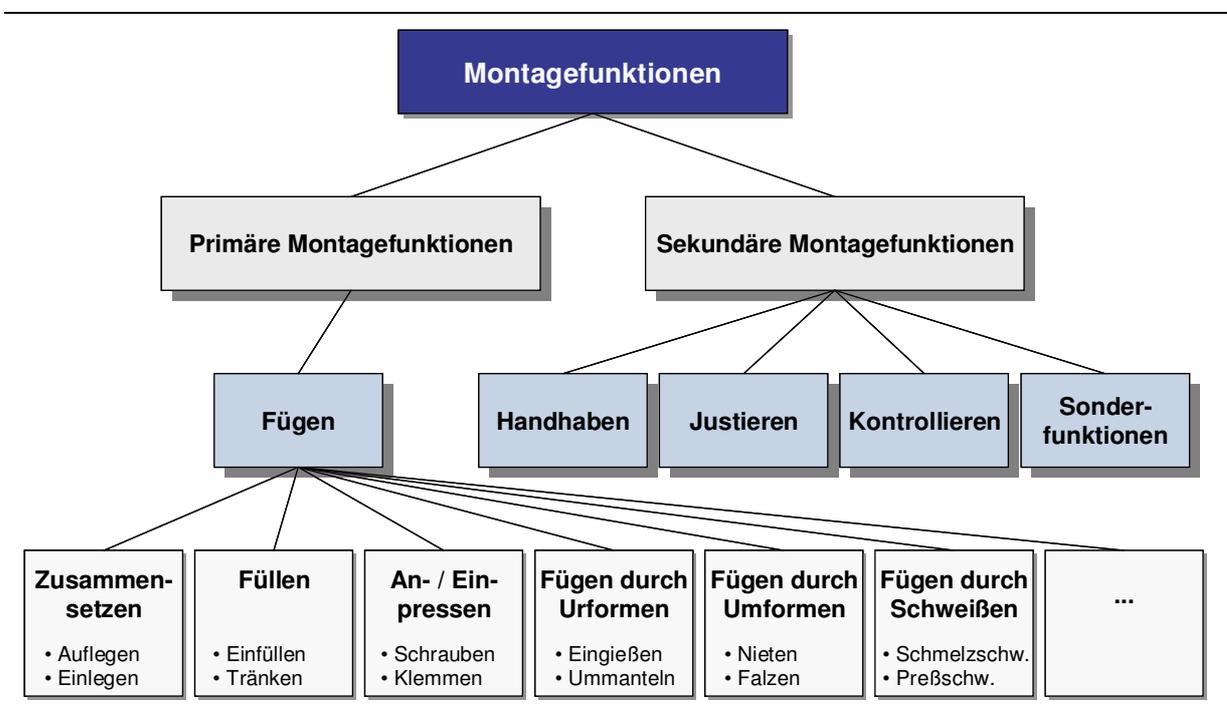


Abb. 4.2: Gliederung der Montagefunktionen /JONAS 00, S. 7/

Als primäre Montagefunktion wird das Fügen bezeichnet, während das Handhaben, das Justieren, das Kontrollieren sowie die Sonderfunktionen sekundäre Montagefunktionen sind, die im Gegensatz zum Fügen aber nicht weiter detailliert werden.

Neben dieser funktions- bzw. fertigungsorientierten Sichtweise kann die Montage auch bewegungsablauforientiert betrachtet werden. Im Vordergrund stehen dabei die Art und der Umfang von Bewegungen, die für die Montage erforderlich sind. Hilfreich sind hierbei Werkzeuge zur Bewegungsanalyse, wie das in Kap. 3.1.2 vorgestellte MTM-System.

WESSELMANN /01, S. 143/ verwendet für die Unterscheidung von Primär- und Sekundär- montage diese bewegungsablauforientierte Sicht. Wertschöpfend sind hierbei das Fügen sowie die Fügeerschwer-nisse (vgl. Kap. 3.1.2); fügevorbereitende Bewegungen werden demgegen- über der Sekundärmontage zugeordnet (vgl. Abb. 4.3).

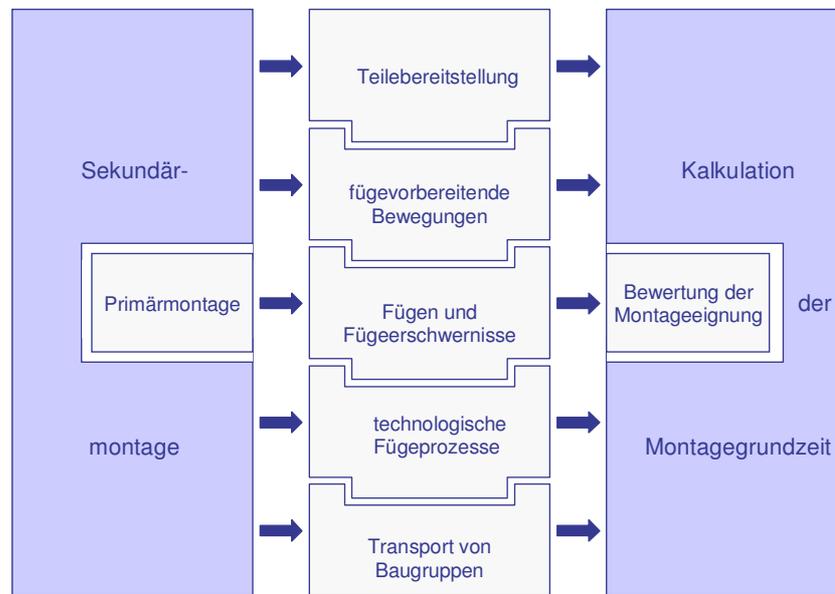


Abb. 4.3: Primäre und sekundäre Montagevorgänge /WESSELMANN 01, S. 143/

Als fügevorbereitende Bewegungen werden diejenigen Bewegungen verstanden, die zeitlich direkt vor dem Fügen erfolgen. Neben dem Bringen, welches dem Fügen in der Regel voraus- geht, können in selteneren Fällen auch Nachgreif- oder Ausrichtbewegungen angetroffen werden, wobei diese Bewegungen grundsätzlich mit den Fingern oder den Händen ausgeführt werden. Bewegungen des Körpers, z. B. für den Transport von Teilen oder Baugruppen werden separat als Teil der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten erfasst. Technologische Füge- prozesse, z. B. das Löten oder das automatische Verschrauben, werden den nicht wertschöpf- enden Tätigkeiten zugeordnet, obwohl diese Prozesse nach der Definition von LOTTER /02, S. 6/ wertschöpfend sind. Die Abweichung ist darauf zurückzuführen, dass der Mensch bei der Bewegungsanalyse im Vordergrund steht. Prozesszeiten sind aus Produktsicht zwar wertschöpfend, aus Sicht des Mitarbeiters entsteht aber durch den Prozess eine Wartezeit, in der dieser nur sehr eingeschränkt weitere Bewegungen ausführen kann. Aus der bewegungs- ablauforientierten Sicht muss daher von einem nicht wertschöpfenden Montagevorgang ausgegangen werden.

Neben Wesselmann orientiert sich auch LOTTER /02, S. 36ff/ bei seiner Definition von Primär- und Sekundärzeiten in der Montage am Bewegungsablauf. Im Gegensatz zu Wesselmann ordnet Lotter die fügevorbereitenden Bewegungen aber nicht eindeutig der Sekundärzeit zu. Es wird stattdessen ein Modell favorisiert, welches diese Bewegungen in Abhängigkeit des Montageprodukts anteilig oder gesamt dem Primäranteil zuordnet. Bei der Großgerätemontage gehören die fügevorbereitenden Bewegungen insgesamt zum Primäraufwand, während bei kleineren Produkten eine minimale Bewegungslänge definiert wird, die als wertschöpfend gilt. Der Anteil der fügevorbereitenden Bewegung, der über diesen Minimalanteil hinausgeht, wird als Sekundäraufwand angesehen. Weiterführende Informationen zur Abgrenzung von kleinen und großen Produkten und damit zur Anwendung der beiden unterschiedlichen Definitionen sind nicht gegeben, stattdessen wird die Grenze als variabel in Abhängigkeit von Produktgröße und Arbeitsplatzinhalt betrachtet /LOTTER 02, S. 36/.

KIEF /02, S. 62/ favorisiert ein drittes Modell und definiert alle fügevorbereitenden Bewegungen als wertschöpfend unabhängig von der Bauteilgröße. In Übereinstimmung mit Wesselmann und Lotter versteht aber auch er unter fügevorbereitenden Bewegungen nur Bewegungen des Hand-Arm-Systems. Die Bewegungen des Köpers, im Regelfall das Gehen, um ein Bauteil vom Bereitstellort zum Verbauort zu bringen, ordnet er immer dem Sekundärzeitanteil zu.

Ausgehend von der dargestellten Gliederung der Montage nach Funktionen oder Abläufen ist zu prüfen, ob die beiden Sichtweisen miteinander kompatibel sind, um miteinander genutzt werden zu können, oder, falls nicht, welche Sichtweise für das weitere Vorgehen zu bevorzugen ist. Grundsätzlich sind beide Sichtweisen für die Ermittlung von Sekundärzeiten in der Montage von Interesse. Die funktionsorientierte Sicht bietet die Möglichkeit Montage-tätigkeiten zu strukturieren und so übergeordnete Gruppen von Tätigkeiten zu beschreiben, anhand derer eine Kalkulation von nicht wertschöpfenden Zeitanteilen durchgeführt werden kann. Für die zeitliche Bewertung von Tätigkeiten ist hingegen die bewegungsablauf-orientierte Sichtweise zu bevorzugen.

Bei dem Vergleich der Funktionsgliederung mit den ablauforientierten Modellen von Wesselmann, Lotter und Kief kann festgestellt werden, dass der Begriff Fügen abweichend genutzt wird. Im MTM-Grundsystem sind das Fügen und die Fügeerschwerisse untrennbar miteinander verbunden, damit sind z. B. auch Ausrichtbewegungen Teil des Fügens und damit des Primäraufwands. Aus Funktionssicht gehört das Ausrichten hingegen zum Handhaben und somit zum Sekundäraufwand. Darüber hinaus gibt es bei Lotter und Kief eine Abweichung bei

der Zuordnung der fügevorbereitenden Bewegungen, die ablauforientiert als (teilweise) wertschöpfend eingestuft werden. Aus funktionsorientierter Sicht gehören fügevorbereitende Bewegungen allerdings zum Handhaben bzw. zu dessen Teilfunktion „Bewegen als Veränderung der räumlichen Anordnung von Körpern“ (vgl. VDI 2860) und somit zum Sekundärzeitanteil.

Um die Vorteile beider Sichtweisen nutzen und damit sowohl eine funktionsorientierte Gliederung der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten als auch eine bewegungsablauforientierte Beschreibung zur zeitlichen Bewertung durchführen zu können, sind für diese Arbeit Setzungen vorzunehmen, die die dargestellten Nachteile auflösen. Die Setzungen bauen auf der funktionsorientierten Gliederung auf, wie sie in Abb. 4.3 dargestellt wurde. Abweichend werden aber dem Fügen auch die erforderlichen Positionier- und Ausrichtbewegungen zugeordnet, die im Rahmen des MTM-Grundsystems Teil des Fügens sind. Darüber hinaus wird das „Handhaben“ in Abhängigkeit des Zwecks der Bewegung entweder dem Primäraufwand oder dem Sekundäraufwand zugeordnet. Die fügevorbereitenden Bewegungen, also Bewegungen des Hand-Arm-Systems, denen unmittelbar eine Fügeoperation folgt, werden als wertschöpfend definiert. Bewegungen, die einem anderen Zweck dienen und Teil des Handhabens sind. Die Weitergabe von Baugruppen ist beispielsweise Teil des Sekundäraufwands.

Eine Zusammenfassung der unterschiedlichen Sichtweisen zur Abgrenzung von Primär- und Sekundäraufwand sind in Abb. 4.4 dargestellt.

Bei der Formulierung der im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Definition von Primär- und Sekundäraufwand wurde darauf geachtet, dass es Zeitdatenermittlungsverfahren gibt, mit denen Primärzeiten in frühen Phasen der Produktentwicklung ermittelt werden können. So wird erreicht, dass sich Primär- und Sekundärzeiten für die Montageprozessplanung ergänzen. Da nur Methoden zur Zeitdatenermittlung für wertschöpfende Tätigkeiten nach der bewegungsablauforientierten Sicht nach KIEF /02, S. 81ff/ und FRECH /98, S. 67ff/ existieren, wurde diese Definition des Primäraufwands als erforderliche Basis der eigenen Abgrenzung verwendet. Zur Integration der funktionsorientierten Sicht ist dem jeweiligen Zweck einer Tätigkeit (Fügeerschwerisse ausgleichen bzw. das Fügen vorbereiten) eine Elementarfunktion des Handhabens zugeordnet (vgl. Abb. 4.5) worden.

Sichtweise	Quelle	Primäraufwand	Sekundäraufwand
Funktions-/fertigungsorientierte Sicht	Bullinger Jonas Löhr Spur	Fügen (nach DIN 8593)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Handhaben ▪ Justieren ▪ Kontrollieren ▪ Sonderfunktionen
Bewegungsablauforientierte Sicht	Wesselmann	Fügen und Fügeerschwernisse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teilebereitstellung ▪ Fügevorbereitende Bewegungen ▪ Technologische Fügeprozesse ▪ Transport von Baugruppen
	Lotter	Fügen, Fügeerschwernisse und fallweise fügevorbereitende Bewegungen	Alle Bewegungen, die nicht dem Primäraufwand zugeordnet werden
	Kief Frech	Fügen, Fügeerschwernisse und fügevorbereitende Bewegungen	Alle Bewegungen, die nicht dem Primäraufwand zugeordnet werden

Im Rahmen dieser Arbeit:

Kombination beider Sichtweisen		Fügen, Fügeerschwernisse (im Allgemeinen durch Positionieren und Orientieren) und fügevorbereitende Bewegungen (im Allgemeinen durch Positionieren)	Handhaben (nach VDI 2860) ohne Bewegungen mit dem Zweck Fügeerschwernisse auszugleichen oder Fügebewegungen vorzubereiten und best. Sonderfunktionen
---------------------------------------	--	---	--

Abb. 4.4: Unterschiedliche Abgrenzungen von Primär- und Sekundäraufwand

Durch die Berücksichtigung bestehender Zeitdatenermittlungsverfahren bei der Abgrenzung des Sekundäraufwands wird eine einheitliche Basis für die Zeitdatenermittlung für die Montageprozessplanung geschaffen. Für die Ermittlung von Sekundärzeiten für nicht wertschöpfende Tätigkeiten ist im Weiteren eine Detaillierung der Tätigkeiten auf Basis der dargestellten Definition erforderlich.

4.2 Beschreibung der Sekundärzeitanteile

Für eine Zusammenstellung nicht wertschöpfender Tätigkeiten kann die Gliederung der Montagefunktionen aus Abb. 4.2 genutzt werden. Danach gliedern sich die sekundären Montagefunktionen in das *Handhaben*, das *Justieren*, das *Kontrollieren* und in die *Sonderfunktionen*. Bezugnehmend auf VDI 2860 wird das „Kontrollieren“ im Weiteren nicht als eigenständige Montagefunktion angesehen, sondern der Teilfunktion des Handhabens zugeordnet.

4.2.1 Die sekundären Montagefunktionen

Das Handhaben ist in der Richtlinie als „das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskoordinatensystem“ /VDI 2860/ definiert. Die weitere Unterteilung des Handhabens ist in Abb. 4.5 dargestellt.

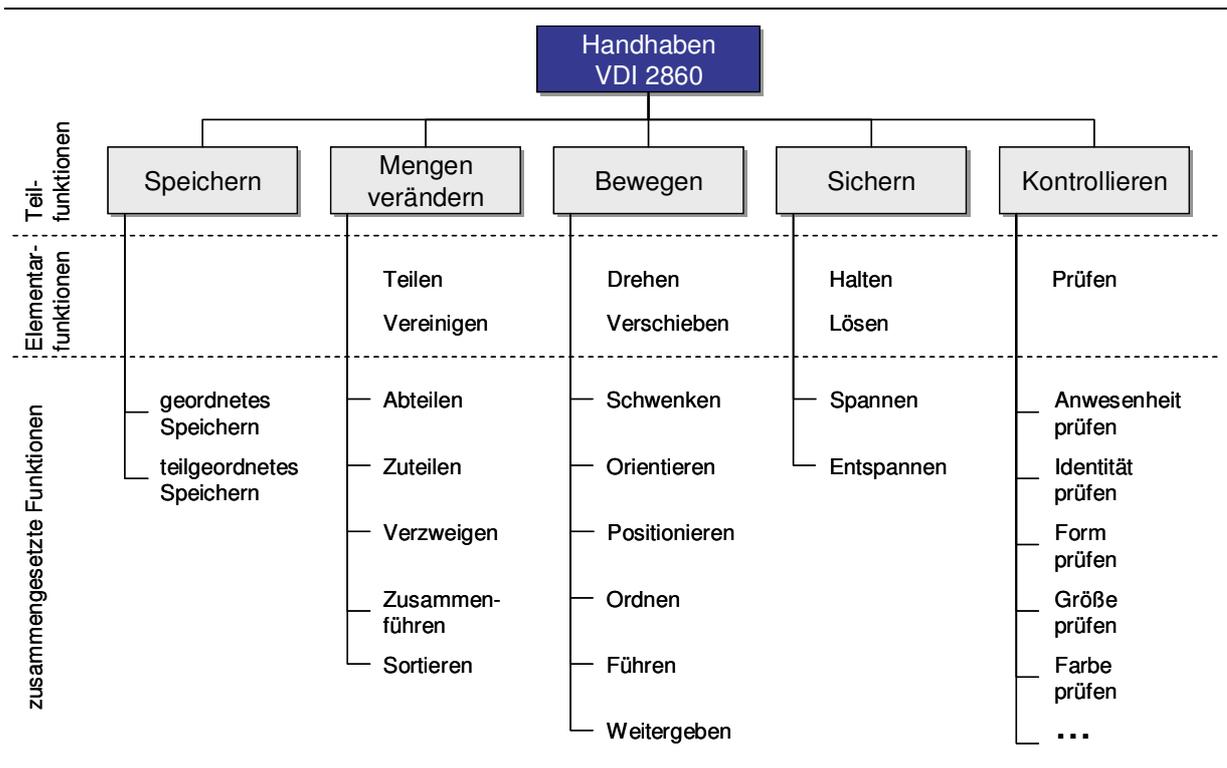


Abb. 4.5: Teilfunktionen des Handhabens /VDI 2860/

Das *Speichern* dient dem Aufbewahren von Vorräten. Da hierfür keine Aktivität erforderlich ist, sind mit dieser Teilfunktion keine manuellen und damit auch keine (nicht) wertschöpfenden Tätigkeiten verbunden. Das Speichern wird daher nicht weiter berücksichtigt.

Das *Menge verändern* durch Teilen oder Vereinigen wird insbesondere dann der Handhabung zugeschrieben, wenn geometrisch bestimmte Körper unter definierten Orientierungsbedingungen verändert werden. Die Teilfunktion kann in Form von Elementarfunktionen (Teilen, Vereinigen) und von zusammengesetzten Funktionen (Abteilen, Zuteilen, Verzweigen, Zusammenführen, Sortieren) repräsentiert werden. In der Montage tritt diese Teilfunktion z. B. in Form von „Teilen“ auf, wenn ein Mitarbeiter aus einem Vorratsbehälter Kleinteile in einen Behälter umfüllt, der dann am Arbeitsplatz verwendet wird. Die Teilfunktion „Menge verändern“ erzeugt keine Wertschöpfung in Sinne der oben angeführten Definition und wird daher als nicht wertschöpfende Tätigkeit geführt.

Das *Bewegen* dient allgemein dem Verändern der räumlichen Anordnung von Körpern. Je nach Änderung von Position und Orientierung während der Bewegung ergeben sich unterschiedliche Elementarfunktionen und zusammengesetzte Funktionen. In der Montage tritt das Bewegen in vielfältigen Ausprägungen auf, in Form des „Weitergeben“ z. B. bei der Übergabe eines Produkts von einem Mikro-Arbeitssystem an das nächste oder als „Positionieren“ eines Bauteils für ein anschließendes Fügen. Somit kann das Bewegen nach der genutzten Abgrenzung von Primär- und Sekundäraufwand sowohl wertschöpfend als auch nicht wertschöpfend sein. Ausschlaggebend für die Unterscheidung ist der Zweck der Bewegung.

Allgemein dient das *Sichern* dem Erhalten definierter Zustände. Das dauerhafte Sichern der räumlichen Anordnung wird nicht als Handhaben verstanden, sondern ist Teil des Fügens. Das vorübergehende Sichern wird mit den Funktionen „Halten“, „Lösen“ und „Spannen“ sowie „Entspannen“ durchgeführt. Beim Einsatz von Vorrichtungen finden diese Funktionen z. B. in der Montage Verwendung. Da „Sichern“ nur eine vorübergehende Aufrechterhaltung eines definierten Zustands darstellt, erzeugt diese Teilfunktion keine dauerhafte Veränderung am Produkt und ist somit nicht wertschöpfend.

Beim *Kontrollieren* kann die Elementarfunktion „Prüfen“ in das „Verwenden von Messmitteln verwenden“ und das „Verwenden von Lehren“ untergliedert werden. Ist eine bestimmte Eigenschaft oder ein bestimmter Zustand festzustellen, spricht man von Prüfen mit einer Lehre. Hierbei handelt es sich um eine qualitative Aussage über das zu prüfende Teil, z. B. gut/schlecht, ja/nein. Beim Messen wird die Eigenschaft oder der Zustand des Teils durch die quantitative Ermittlung einer Bezugsgröße ermittelt. Durch den Abgleich zwischen vorgegebener und gemessener Bezugsgröße kann eine Aussage über das zu beurteilende Teil abgeleitet werden. Das Kontrollieren erfasst grundsätzlich den Zustand eines Teils, ohne an diesem Veränderungen vorzunehmen und ist somit ebenfalls nicht wertschöpfend.

Das *Justieren* umfasst geplante Anpassarbeiten an einer Baugruppe oder einem Produkt. Der Umfang der Tätigkeiten ist bereits vor Montagebeginn bekannt und ergibt sich aus fertigungstechnischen oder wirtschaftlich nicht vermeidbaren Abweichungen in der Montage. Sofern die Anpassarbeit nicht planbar ist, handelt es sich um eine Nacharbeit, die ihre Ursache in vermeidbaren Fehlern hat.

Unter *Sonderfunktionen* werden weitere Aufgaben in der Montage zusammengefasst, die zu keiner der genannten Gliederungspunkte passen. Im Gegensatz zum Handhaben und Justieren

lassen sich die Sonderfunktionen nicht in Elementarfunktionen oder zusammengesetzte Funktionen gliedern. Es handelt sich vielmehr um eine Sammlung von Tätigkeiten, die weder dem Fügen als wertschöpfende Tätigkeit noch dem Handhaben oder Justieren zugeordnet werden kann. Hierzu gehören z. B. das Markieren, das Erwärmen, das Kühlen, das Reinigen oder das Lackieren. Diese Tätigkeiten lassen sich auf verschiedene Fertigungsverfahren zurückführen (Markieren gehört zur Hauptgruppe 5 „Beschichten“ nach DIN 8580, Erwärmen und Kühlen gehören zur Hauptgruppe 6 „Stoffeigenschaften“ ändern und das Reinigen ist in DIN 8592 detailliert). Als Teil der Sonderfunktionen kann auch das Auspacken von Bauteilen als erforderliche Aufgabe eines Montagemitarbeiters vor der Montage betrachtet werden /HARTEL 00, S. 28-30/. Anhand der Beispiele wird erkennbar, dass es sowohl Sonderfunktionen gibt, durch die der Wert eines Produkts erhöht wird, beispielsweise durch Bedrucken oder Lackieren, es andererseits aber Sonderfunktionen wie das Erwärmen und Kühlen gibt, die keine Wertschöpfung erzeugen. Die Zuordnung der Sonderfunktionen zu Primär- oder Sekundäraufwand kann somit nur anhand des Merkmals Wertzuwachs erfolgen.

4.2.2 Nicht wertschöpfende Tätigkeiten auf Basis der sekundären Montagefunktionen

Da die Beschreibung von Abläufen in der manuellen Montage in der Regel anhand von Aufgaben geschieht, die im Allgemeinen aus einer Kombination von Teilfunktionen bestehen, erfolgt die Darstellung und Bewertung der im Rahmen dieser Arbeit verwendeten nicht wertschöpfenden Tätigkeiten auf Basis dieser Aufgaben und nicht auf Basis einzelner Teilfunktionen. Die nachfolgende Aufstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da die Bandbreite in der Praxis anzutreffender nicht wertschöpfender Tätigkeiten sehr umfangreich ist. Es werden aber die wesentlichen in der industriellen Montage anzutreffenden Tätigkeiten vorgestellt.

Als nicht wertschöpfende Tätigkeiten, die sich aus einer Kombination von Teilfunktionen ergeben, werden im Weiteren das Handhaben von Verpackungen, das Transportieren, das Kontrollieren, das Reinigen, das Justieren und das Verwenden von Montagehilfen untersucht (vgl. Abb. 4.6). Hierbei wird eine weitere Gliederung der Tätigkeiten durchgeführt, sofern die Beschreibung der Aufgaben noch nicht eindeutig ist oder wenn Teilaufgaben unterschiedliche Einflussgrößen erwarten lassen. Das Transportieren wird beispielsweise in den Transport von Teilen oder Baugruppen innerhalb eines Mikro-Arbeitssystems (vgl. Abb. 4.3 „fügevor-

bereitende Bewegung“) und den Transport des Montageobjekts zwischen Mikro-Arbeits-systemen oder zwischen Makro-Arbeitssystemen (vgl. Abb. 4.3 „Transport von Baugruppen“) unterteilt. Der Aufwand für Transporte macht insbesondere bei größeren Produkten einen wesentlichen Anteil der Sekundärzeiten aus. Beispielsweise wurde für eine Automobilend-montage ein Anteil von 19 % der Gesamtmontagezeit als Wegezeit identifiziert /SCHMIDT 90, S. 21/. Eigene Untersuchungen bestätigen dieses und weisen für eine vergleichbare Montage-aufgabe eine Zeitanteil von bis zu 20 % für Wegezeiten auf /PICKER 02, S. 67-70/.

Neben diesen aus den Funktionen des Handhabens ableitbaren nicht wertschöpfenden Tätigkeiten werden das Rüsten und das Dokumentieren (vgl. Abb. 4.6) ebenfalls dem Sekundäraufwand zugerechnet.

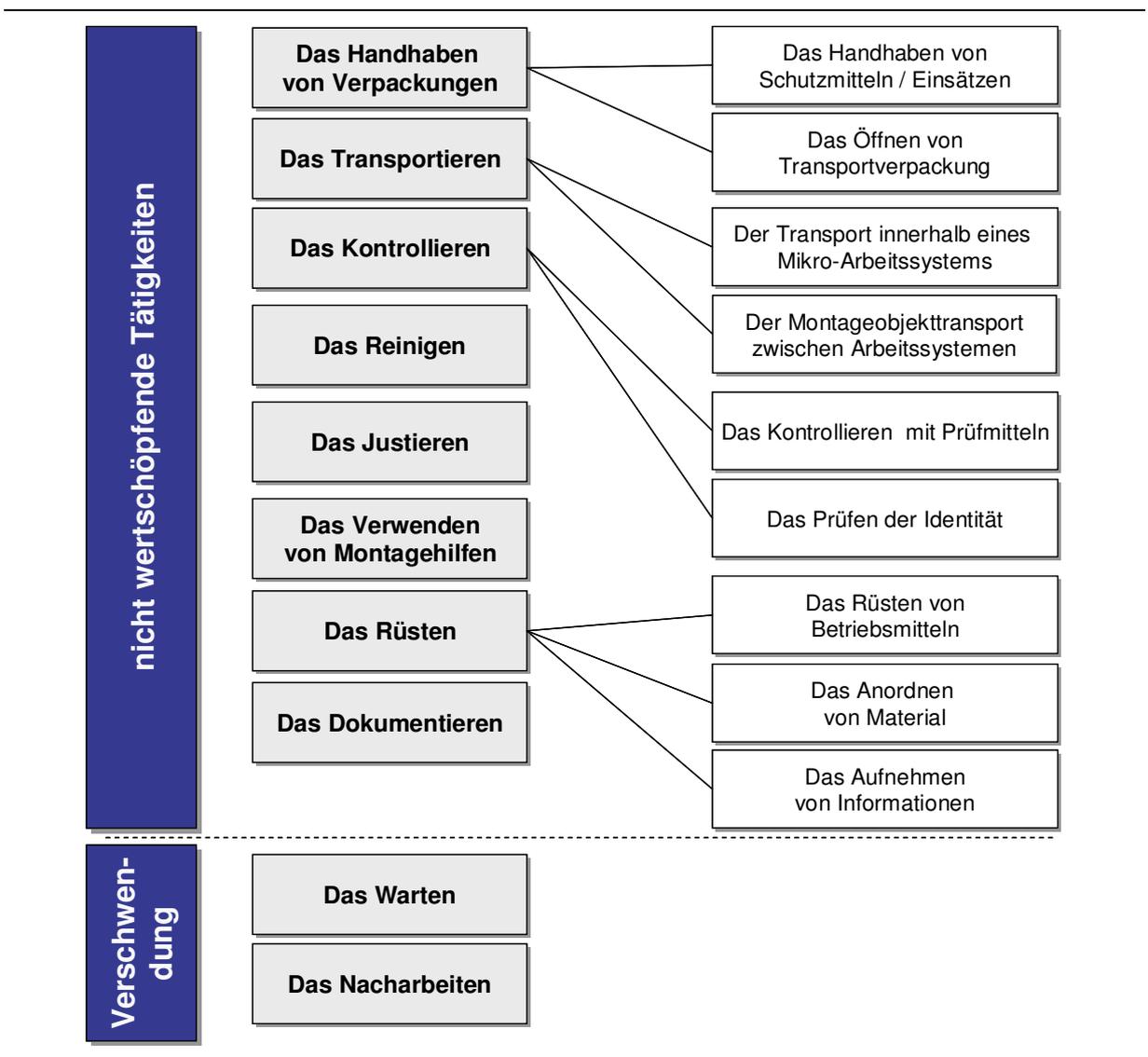


Abb. 4.6: Gliederung der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten im Rahmen dieser Arbeit

Des Weiteren gibt es mit Wartezeiten in Form von Taktausgleichszeiten und dem Zeitaufwand für Nacharbeiten zwei weitere Sekundärzeitanteile, die in der Montage auftreten können. Im Gegensatz zu den bereits vorgestellten Tätigkeiten, die als nicht wertschöpfend (weil nur mittelbar wertschöpfend) beschrieben werden, stellen Wartezeiten und Nacharbeiten Verschwendung dar. Verschwendung ist zu vermeiden, ist im betrieblichen Umfeld aber immer wieder anzutreffen. Ob für das Warten und die Nacharbeit daher Zeiten bei der produktbezogenen Ermittlung berücksichtigt werden sollen, ist im Einzelfall kritisch zu prüfen, kann aber nicht ausgeschlossen werden.

Im Weiteren werden die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten vorgestellt. Neben der allgemeinen Beschreibung werden auch mögliche Einflussgrößen sowie deren Ausprägungen aufgeführt. Die Zusammenstellung der Einflussgrößen und deren Ausprägungen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll die Variabilität der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zeigen.

Eine Einflussgröße, die bei fast allen nicht wertschöpfenden Tätigkeiten vorhanden ist, ist die Entfernung beim Handhaben von Arbeitsmitteln (z. B. Mikrometerschraube, Lappen, Montagehilfe, Stempel, Arbeitsanweisung). Da diese Einflussgröße allgemeingültigen Charakter hat, wird auf eine Beschreibung bei den einzelnen nicht wertschöpfenden Tätigkeiten verzichtet.

4.2.3 Das Handhaben von Verpackungen

Der Transport, der Umschlag und die Lagerung von Bauteilen erfolgt in den meisten Fällen mit der Unterstützung von Ladungsträgern. Ladungsträger können tragend, umschließend oder abschließend sein /COLDIZ 97, S. 14/, wobei Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse (TUL-Prozesse) für Bauteile in den meisten Fällen mit umschließenden oder abschließenden Ladungsträgern erfolgen. Ladungsträger für den Transport können nach ihrer Verwendungshäufigkeit in Einwegtransportverpackungen (ETV) und Mehrwegtransportverpackungen (MTV) unterschieden werden /COLDIZ 97, S. 14/. Für den Bauteiltransport sind Faltkartons und Beutel als Einwegtransportverpackung weit verbreitet, während bei Mehrwegtransportverpackungen Kleinladungsträger für die meisten Bauteile eingesetzt werden. Bei größeren Bauteilen kommen auch Großladungsträger und falls erforderlich Sonderladungsträger zum Einsatz. Einweg- und Mehrwegverpackungen unterscheiden sich nicht nur bei der Verwendungshäufigkeit, auch die Handhabung in der Montage ist unterschiedlich. Während

Mehrwegverpackungen vielfach als umschließende Ladungsträger ausgeführt sind, bei denen kein Öffnen vor der Entnahme erforderlich ist, sind Einwegtransportverpackungen in der Regel als abschließende Ladungsträger ausgeführt, die eines Öffnens bedürfen. Der Aufwand ist in der Regel höher als bei abschließenden Mehrwegtransportverpackungen, die konstruktiv für ein einfaches und schnelles Öffnen und Schließen ausgelegt sind. Die Bauform der Einwegtransportverpackung, sowie das genutzte Verschlussmittel (z. B. Klebeband, Umreifungsband) können ebenfalls einen Einfluss auf die Ausführungszeit ausüben.

Neben der Nutzung von Verpackungen zur Vereinfachung der TUL-Prozesse kann die zusätzliche Verwendung von Schutzmitteln erforderlich sein. Zum Teil übernimmt aber auch die Transportverpackung bereits eine Schutzfunktion, z. B. Staubschutz beim Polybeutel. Der Schutz der Bauteile erfolgt beispielsweise, indem Bauteile mit Staubschutzkappen versehen, in Folien eingeschlagen, in Wellpappe oder Papier gewickelt, durch Einsätze und Stege voneinander getrennt oder in formschlüssigen Einlagen fixiert werden. Alle diese Schutzmittel sind vor der Montage der Bauteile zu entfernen. Darüber hinaus werden Bauteile zum Teil für den Transport gebündelt. Die Bündelung ist ebenfalls aufzuheben.

Bei der Ermittlung nicht wertschöpfender Montagezeiten ergeben sich für Ladungsträger zwei Anwendungsbereiche: zum einen die Bewertung des Transportaufwands, der im Anschluss als Teil der Materialbereitstellung näher betrachtet wird, und zum anderen der beschriebene Aufwand für das Öffnen und Entnehmen der Teile. Aus den Eigenschaften von ETV und MTV lässt sich ableiten, dass insbesondere die Handhabung von ETV sowie die Handhabung von Zwischenlagen und Schutzmitteln zu berücksichtigen ist. Hingegen sind für alle Ladungsträger ihre Hauptabmessungen für den Handhabungsaufwand wesentlich.

$t_{\text{Handhabungsaufwand Transportverpackung}} = f(\text{Bauform, Hauptabmessungen})$ und

$t_{\text{Handhabungsaufwand Schutzmittel}} = f(\text{Schutzmittel, Hauptabmessungen})$

Für die Tätigkeiten des Handhabens der Transportverpackung und des Handhabens von Schutzmitteln sind in Abb. 4.7 und Abb. 4.8 mögliche Einflussgrößen sowie deren mögliche Ausprägungen dargestellt. Zusätzlich sind Kombinationen von Ausprägungen mit Linien miteinander verbunden, die in der Praxis relativ oft anzutreffen sind. Grundsätzlich sind auch nicht aufgeführte Kombinationen im Einzelfall möglich, allerdings kommen diesen Kombinationen bei einer unternehmensübergreifenden Betrachtung weniger Bedeutung zu.

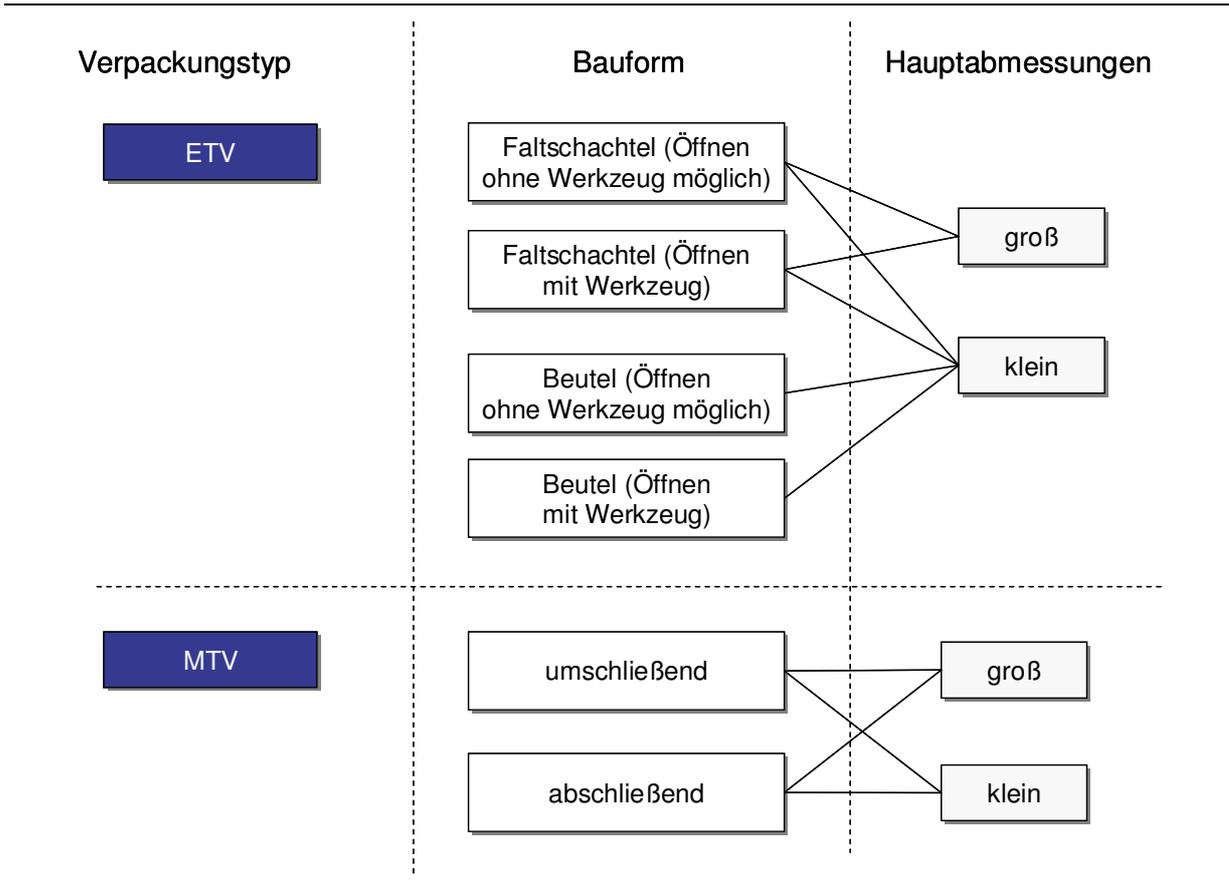


Abb. 4.7: Ausprägungen der Einflussgrößen für das Öffnen einer Transportverpackung

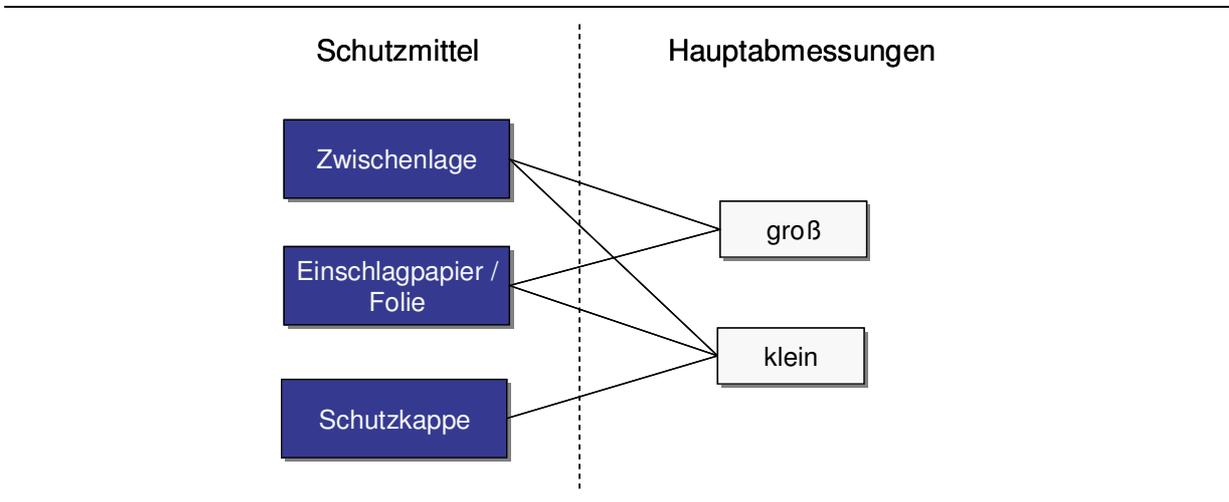


Abb. 4.8: Kombinationsmöglichkeiten von Ausprägungen der Einflussgrößen für das Entfernen von Schutzmitteln

Zur Ermittlung des Handhabungsaufwands von Transportverpackungen und Schutzmitteln müssen in der Produktentwicklungsphase die Anlieferzustände der Bauteile möglichst definiert sein, nur so kann der Aufwand ermittelt werden. Ist der Anlieferzustand unbekannt, kann über einen Vergleich mit ähnlichen Bauteilen eine Abschätzung vorgenommen werden.

4.2.4 Der Transport innerhalb eines Mikro-Arbeitssystems

Der Transport von Material innerhalb eines Mikro-Arbeitssystems stellt nach Abb. 2.5 einen Materialfluss vierter Ordnung dar und gehört zu den nicht wertschöpfenden Tätigkeiten /HOLLE 02, S. 18; WESSELMANN 01, S. 143/. Der Aufwand für die Bereitstellung ergibt sich wesentlich aus Art und Umfang der hierfür vom Mitarbeiter auszuführenden Körperbewegungen. Beeinflusst wird der Aufwand zum einen durch das jeweilige Montageobjekt (Hauptabmessungen) und zum anderen durch die technische Umsetzung der verwendeten Materialbereitstellungsstrategie.

Zweck des durch den Mitarbeiter ausgeführten Transports von Montageobjekten ist es, diese vom Ort der Materialbereitstellung zum Verbauort zu bringen. Nach Abb. 2.8 wird das Material in Abhängigkeit der Materialbereitstellungsstrategie sowie deren technischer Realisierung entweder direkt am Verbauort, also innerhalb des Mikro-Arbeitssystems, oder im Makro-Arbeitssystem bereitgestellt. Die Materialbereitstellung erfolgt dabei in der Regel mit Ladungsträgern. Je nach Anlieferpunkt ergeben sich für den Montagemitarbeiter zwei Teilaufgaben. Zum einen der Wechsel von leeren Ladungsträgern gegen volle Ladungsträger, zum anderen das Bereitstellen der Montageobjekte am Verbauort, sofern die Ladungsträger nicht in unmittelbarer Nähe des Verbauorts stehen.

Wird das Material direkt am Verbauort platziert, kann der Montagemitarbeiter die Teile direkt montieren. Seine Aufgaben beschränken sich auf den Wechsel eines leeren gegen einen vollen Ladungsträger.

Die möglichen Varianten für die Tätigkeit „Ladungsträgerwechsel“ sind in Abb. 4.9 dargestellt. Aus der Abbildung lässt sich ableiten, dass eine Einflussgröße die zurückgelegte Strecke beim Wechsel des Ladungsträgers sein kann. Daneben können auch die Hauptabmessungen des Ladungsträgers sowie dessen Gewicht Einfluss auf die Ausführungsdauer nehmen. Unterschieden wird zwischen Kleinladungsträgern, die in der Regel manuell gehandhabt werden können, und Großladungsträgern, die in der Regel mit Unstetigförderern (z. B. Handgabelhubwagen) bewegt werden.

$$t_{\text{Ladungsträgerwechsel}} = f(\text{Hauptabmessungen, Gewicht, Transportentfernung})$$

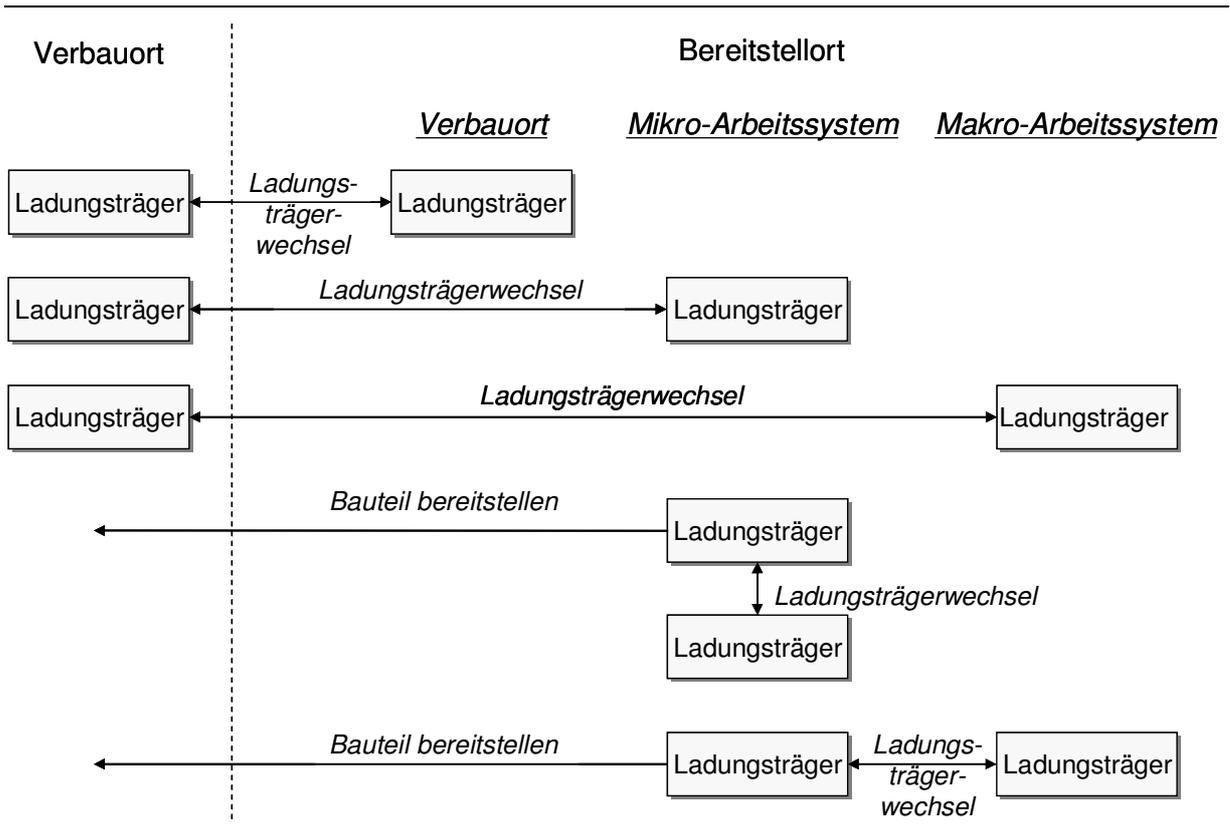


Abb. 4.9: Varianten für die Tätigkeit „Teiletransport“ in Abhängigkeit vom Bereitstellort

Neben der Entfernung, die in Abhängigkeit der dargestellten Varianten unterschiedlich ausfallen kann, kann die Bereitstellhöhe und das Gewicht des Bauteils die Zeitdauer beeinflussen. Für Bauteile, die auf Bodenhöhe bereitgestellt werden, da sie z. B. in einem Sonderladungsträger befinden, muss sich der Mitarbeiter beispielsweise noch zusätzlich bücken.

$$t_{\text{Teil bereitstellen}} = f(\text{Transportentfernung, Bereitstellhöhe, Gewicht})$$

Die Zuteilung der beschriebenen Aufgaben bei der Teilebereitstellung auf Montagemitarbeiter und Logistikmitarbeiter ist in der Literatur nicht eindeutig geklärt. ALBERT /99, S. 426-428/ weist Aufgaben des Ladungsträgerwechsels im Mikro-Arbeitssystem der Logistik zu, d. h. der Montagemitarbeiter ist nicht in die Materialversorgung eingebunden. Dagegen ordnen HILLECKE /02, S. 195-198/, SPATH /97, S. 34-37/ und GRÜNZ /04, S. 118/ die Tätigkeit der Teilebereitstellung von einem (verbauortnahen) Bereitstellort dem Montagemitarbeiter zu. Dass der Aufwand hierfür nicht unerheblich sein kann, zeigt ein Beispiel von Hillecke, in dem ein Mitarbeiter in Summe mehrere Stunden je Schicht für die Materialbereitstellung in einer variantenreichen Serienmontage aufbringt /HILLECKE 02, S. 195-198/. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Teilebereitstellung als Teilaufgabe der Montageaufgabe betrachtet. Entsprechend ist diese Tätigkeit Teil des Sekundäraufwands.

Bei beschränktem Platzangebot am Verbauort gibt es neben der Nutzung von kleinen Ladungsträgern auch die Möglichkeit, eine kommissionierende Bereitstellstrategie zu wählen. Diese hat den Vorteil, dass nur das erforderliche Material am Verbauort gepuffert werden muss, was in der Regel für kürzere Transportwege des Montagemitarbeiters sorgt. Dem Vorteil in der Montage steht aber ein erhöhter Aufwand in der Logistik durch das Vorcommissionieren gegenüber. Da der Aufwand in der Logistik im Rahmen dieser Arbeit nicht mit berücksichtigt wird, ist die Wahl einer geeigneten Materialbereitstellungsstrategie anhand des Sekundäraufwands für die Teilebereitstellung nicht möglich. Dazu sind Verfahren z. B. von BULLINGER /94, S. 224ff/ oder GRÜNZ /04, S. 79ff/ anzuwenden, die sich mit Strategieauswahl ausführlich beschäftigen.

4.2.5 Der Montageobjekttransport zwischen Arbeitssystemen

Der Transport von Montageobjekten kann sowohl zwischen Mikro-Arbeitssystemen als auch zwischen Makro-Arbeitssystemen erfolgen. Er ist aufgrund der Arbeitsorganisation erforderlich und trägt nicht zum Wertzuwachs des Produkts bei /WESSELMANN 01, S. 143/. Zwischen den Mikro-Arbeitssystemen erfolgt im Allgemeinen eine Weitergabe des Montageobjekts über kürzere Entfernung, da Mikro-Arbeitssysteme entsprechend ihrer Aufgabe z. B. in einer Linie oder einer U-Form angeordnet sind. Darüber hinaus werden die Montageobjekte in der Regel einzeln weitergereicht, eine Zusammenfassung in Lose bringt bei einer geringen Transportentfernung keinen wirtschaftlichen Vorteil. Eine feste Anordnung der Mikro-Arbeitssysteme im Montageablauf und kurze Transportentfernungen begünstigen eine technische Unterstützung des Transports und damit eine Entlastung des Mitarbeiters. Die möglichen Ausprägungen der Abhängigkeit zwischen den Mikro-Arbeitssystemen sowie die technischen Hilfsmittel sind bereits als Verkettung in Kap. 2.3 vorgestellt worden.

Einen Transport zwischen Makro-Arbeitssystemen stellt z. B. die Weitergabe von Baugruppen aus der Vormontage an die Endmontage dar. Da Makro-Arbeitssysteme im Allgemeinen weiter voneinander entfernt sind als Mikro-Arbeitssysteme, kann das Zusammenfassen von Baugruppen zu einer Transporteinheit bei unstetigem Transport wirtschaftlich sinnvoll sein, sofern die Eigenschaften der Baugruppen (Gewicht, Hauptabmessungen) dieses zulassen.

Für die Bewertung des Transportaufwands für den Mitarbeiter ist einerseits die Unterstützung durch technische Hilfsmittel von Interesse, andererseits sind die Weglängen, die ein Mitarbeiter zurücklegt, zu berücksichtigen. Der Umfang an Transporten zwischen Arbeits-

systemen wird darüber hinaus wesentlich von der Anzahl an Mikro- und Makro-Arbeits-systemen und damit von der gewählten Form der Arbeitsteilung bestimmt. Mengenteilige Montagesysteme zeichnen sich im Vergleich zu artteiligen Systemen durch eine geringe Anzahl von Transporten aus.

Der Transport von Montageobjekten zwischen Mikro- oder Makro-Arbeitssystemen kann manuell, durch Schwerkraft, mechanisch oder automatisch erfolgen. Für die Ermittlung der nicht wertschöpfenden Zeitanteile sind dabei insbesondere die manuellen und mechanisierten Transportprozesse interessant, da hier der Mitarbeiter in den kompletten Transportprozess eingebunden ist. Bei der automatisierten Förderung und der Förderung durch Schwerkraft, beschränkt sich die Tätigkeit auf das Aufgeben des Produkts. Dieser Aufwand ist im Vergleich wesentlich geringer.

Aus der Beschreibung des Transports können die Einflussgrößen Transportentfernung, verwendete Förder- und Förderhilfsmittel abgeleitet werden. In Abb. 4.10 sind zu diesen Einflussgrößen Ausprägungen aufgeführt sowie typische Kombinationen der Ausprägungen dargestellt.

$$t_{\text{Ladungsträgerwechsel}} = f(\text{Transportentfernung}, \text{Förderhilfsmittel}, \text{Fördermittel})$$

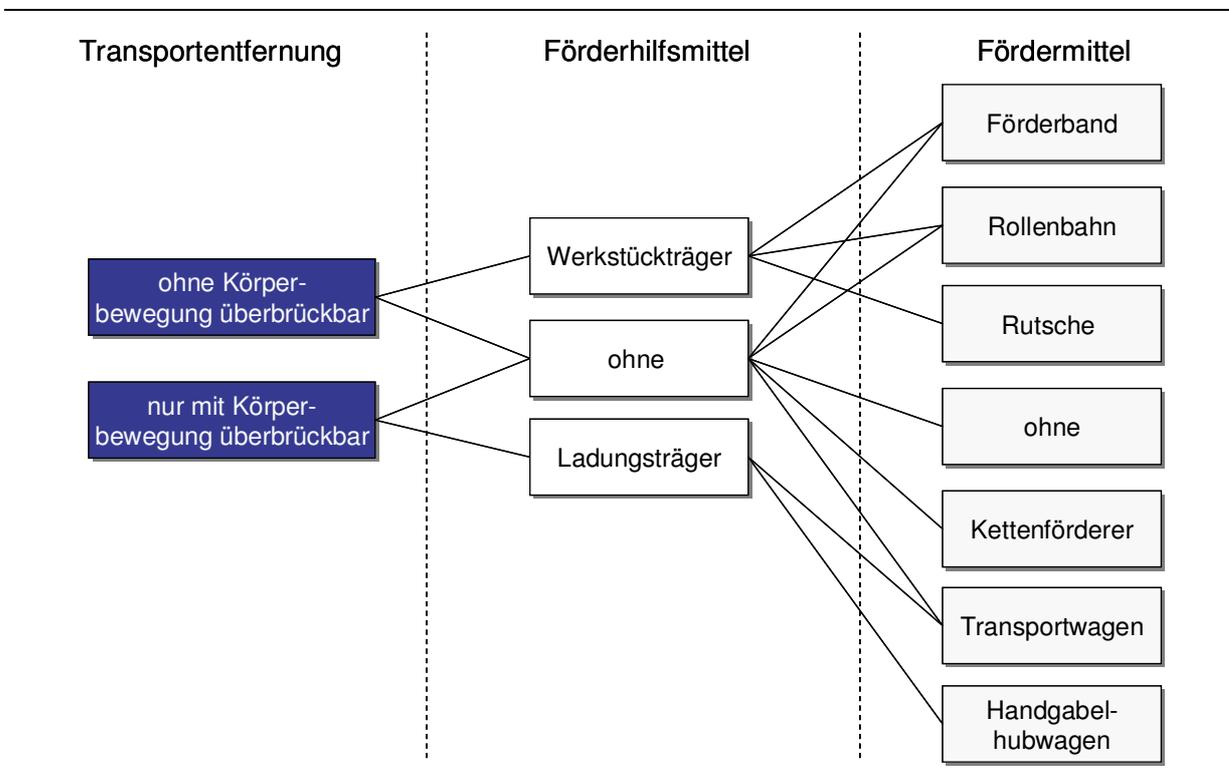


Abb. 4.10: Kombinationsmöglichkeiten von Ausprägungen der Einflussgrößen für das Transportieren zwischen Arbeitssystemen

Die Transportentfernung beschreibt die Distanz, die der Mitarbeiter das Montageobjekt bewegt. Bei kleinen Montageobjekten und der Nutzung von Stetigförderern (z. B. Förderband, Rollenbahn) wie sie in der Regel bei der Verkettung von Mikro-Arbeitssystemen genutzt werden, ist die Entfernung im Allgemeinen ohne Körperbewegungen überbrückbar. Die Weitergabe des Montageobjekts kann dabei sowohl mit Werkstückträgern als auch ohne Förderhilfsmittel erfolgen. In der Regel werden die Montageobjekte einzeln an das nächste Mikro-Arbeitssystem weitergereicht. Ein Zusammenfassen für den Transport erfolgt selten, da dieses im Allgemeinen keinen wirtschaftlichen Vorteil bringt.

Transporte zwischen Makro-Arbeitssysteme weisen in der Regel größere Transportentfernungen auf. Wird diese Entfernung mit Unstetigförderern überbrückt, kann das Zusammenfassen von Montageobjekten mittels eines Ladungsträgers den Aufwand je Montageobjekt reduzieren.

4.2.6 Das Kontrollieren

Das Prüfen als Elementarfunktion des Kontrollierens wird in der Montage an vielen Stellen ausgeführt. So gehört in den meisten Montagen beispielsweise das Prüfen der zu verbauenden Bauteile auf Schäden, z. B. Ausbrüche oder funktionsbeeinträchtigende Verschmutzungen, vor dem Zusammenbau zur Standardaufgabe. Ebenfalls Teil des Prüfens ist das Feststellen der Identität, was insbesondere in Montagesystemen auftritt, in denen ähnliche Teile verbaut werden. Neben diesen vergleichsweise einfachen Prüfungen können auch komplexere Prüfungsvorgänge wie das Messen von Volumenströmen, Widerständen oder Betriebstemperaturen in der Montage durchgeführt werden. Komplexe Prüfungen sind in der Montage seltener anzutreffen, da sie im Vergleich zu einfachen Sichtprüfungen aufwändiger sind und eine höhere Qualifikation der Montagemitarbeiter erfordern. Die Tätigkeit des Prüfens umfasst dabei nicht nur die eigentliche Funktion des Prüfens, sondern auch das Handhaben des Prüfmittels sowie ggf. des Prüfguts.

Das Kontrollieren mit Prüfmitteln

Das Kontrollieren mit Prüfmitteln beschreibt die Anwendung von Messmitteln und Lehren für die qualitative oder quantitative Bewertung von Prüfmerkmalen. Der Aufwand für das Prüfen wird zum einen von der technischen Unterstützung durch Betriebsmittel bzw. Prüfmittel und zum anderen vom Prüfumfang mitbestimmt. Im Allgemeinen schließt sich nach der Prüfung

noch eine Dokumentation der Prüfergebnisse an, welche ebenfalls zeitlich zu bewerten ist. Das Dokumentieren der Ergebnisse wird als eigenständige Tätigkeit behandelt, da in einem Montagesystem nicht nur Prüfergebnisse sondern auch durchgeführte Montageoperationen dokumentiert werden können. Aus diesen Erkenntnissen lassen sich mit dem Fokus auf die Zeitdatenermittlung für Prüfprozesse die in Abb. 4.11 aufgeführten Einflussgrößen zusammenstellen. Hierbei ist es erforderlich, die Ausprägungen der jeweiligen Einflussgrößen zu ermitteln und repräsentative Beispiele zuzuordnen.

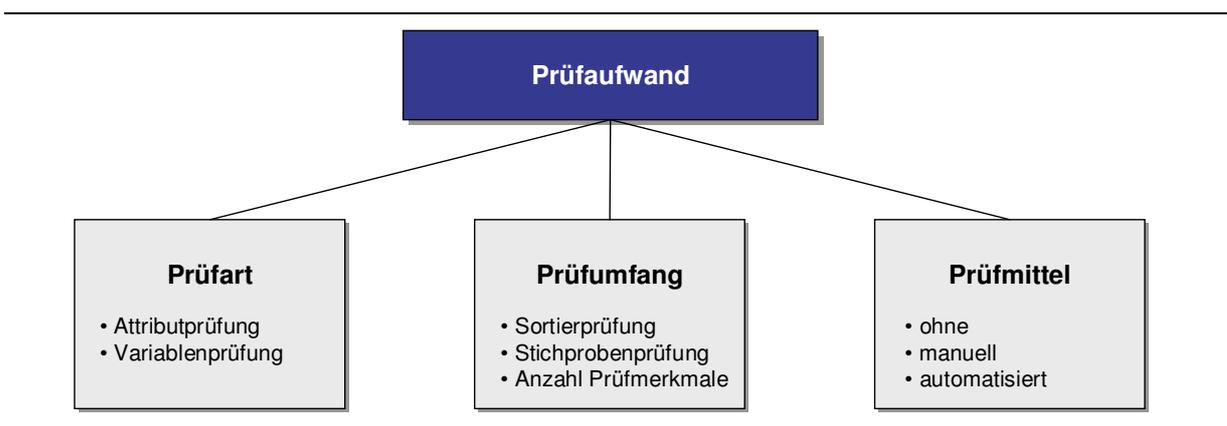


Abb. 4.11: Mögliche Einflussgrößen auf den Aufwand einer Prüfung

Mit der Festlegung der *Prüfart* wird entschieden, ob die Qualitätsprüfung als Variablenprüfung oder als Attributprüfung durchgeführt wird. Bei der Variablenprüfung werden quantitative Merkmale erfasst /VIETHEN 94, S. 43/, während bei der Attributprüfung eine qualitative Aussage als Ergebnis vorliegt, z. B. gut / schlecht oder vorhanden / nicht vorhanden /PFEIFFER 01, S. 432/. Während qualitative Merkmale ausschließlich attributiv geprüft werden können, lassen sich quantitative Merkmale – je nach verwendetem Prüfmittel – sowohl qualitativ als auch quantitativ erfassen /LINß 02, S. 208/. Die Liste von Beispielen für Attribute oder Variablen, die in der Montage erfasst werden, ist beliebig lang, da jedes Produkt spezielle Anforderungen haben kann. Trotzdem gibt es bestimmte Merkmale, die weit verbreitet sind und in vielen Prüfungen erfasst werden. Beispiele hierfür sind die Merkmale Sauberkeit, Dichtheit, Funktion, Schädigungsfreiheit oder Drehmoment /HERING 93, S. 338/.

In der Montage gibt der *Prüfumfang* den Teil eines Montages Loses an, der einer Qualitätsprüfung unterzogen wird. Bei einer Sortierprüfung werden alle Teile eines Loses geprüft (100 %-Prüfung), während bei einer Stichprobenprüfung nur ein vorgegebener Anteil des Loses geprüft wird. Sofern Prüfprozesse in der Montage stattfinden, sind dieses zum überwiegenden Teil Sortierprüfungen. Die Montage ist der letzte Arbeitsschritt in der Produktent-

stehung, in der Fehler aus vorherigen Bereichen entdeckt werden können. Durch die hohe geforderte Produktqualität, die sich z. B. in der Automobilindustrie in der 0 ppm-Fehlervorgabe darstellt, ist eine Stichprobenprüfung für die Einhaltung dieser Vorgaben in der Regel ungeeignet.

Das verwendete *Prüfmittel* hat ebenfalls Einfluss auf den Umfang einer Prüfung. Prüfungen können dabei sowohl mit als auch ohne Prüfmittel ausgeführt werden. Bei Prüfungen ohne Prüfmittel handelt es sich im Allgemeinen um attributive Prüfungen, die sowohl als Sichtprüfungen als auch als taktile Prüfungen ausgeführt werden können. Beim Sichtprüfen wird durch visuelle Kontrolle das Vorhandensein von Merkmalen z. B. „Clips vollständig verastet“ ermittelt, während bei der taktilen Prüfung das Prüfmerkmal durch einen physischen Kontakt ermittelt wird, beispielsweise bei Ermittlung der Leichtgängigkeit eines Lagers.

Werden Prüfmittel verwendet, kann der Einsatz entweder manuell oder automatisiert ablaufen. Bei automatisierten Prozessen besteht die Möglichkeit, den Mitarbeiter vom Prüfprozess zu entkoppeln, die Prozesszeit, welche für den Mitarbeiter eine Wartezeit darstellt, kann für andere Montage- oder Prüfaufgaben genutzt werden. Automatisierte Prüfprozesse spielen aber im Vergleich zu manuellen Prüfungen nur eine untergeordnete Rolle /HERING 93, S. 55/.

Die Prüfmittel lassen sich entsprechend der von ihnen unterstützten Prüfmethode in Messmittel und Lehren unterteilen. Messmittel besitzen eine Anzeige, auf der der Messwert erfasst werden kann, während Lehren den Bezugsmaßstab verkörpern anhand derer eine Ist-Situation bewertet werden kann. Messmittel können für eine detailliertere Betrachtung nach Zeiger- und Skalenmessgeräten unterschieden werden. Skalenmessgeräte wiederum können entweder ohne bewegliche Teile wie bei einem Lineal oder mit beweglichen Teilen ausgestattet werden, z. B. bei einer Messschraube oder einem Messschieber.

In Abb. 4.12 sind mögliche Einflussgrößen mit Beispielen für ihre Ausprägung dargestellt.

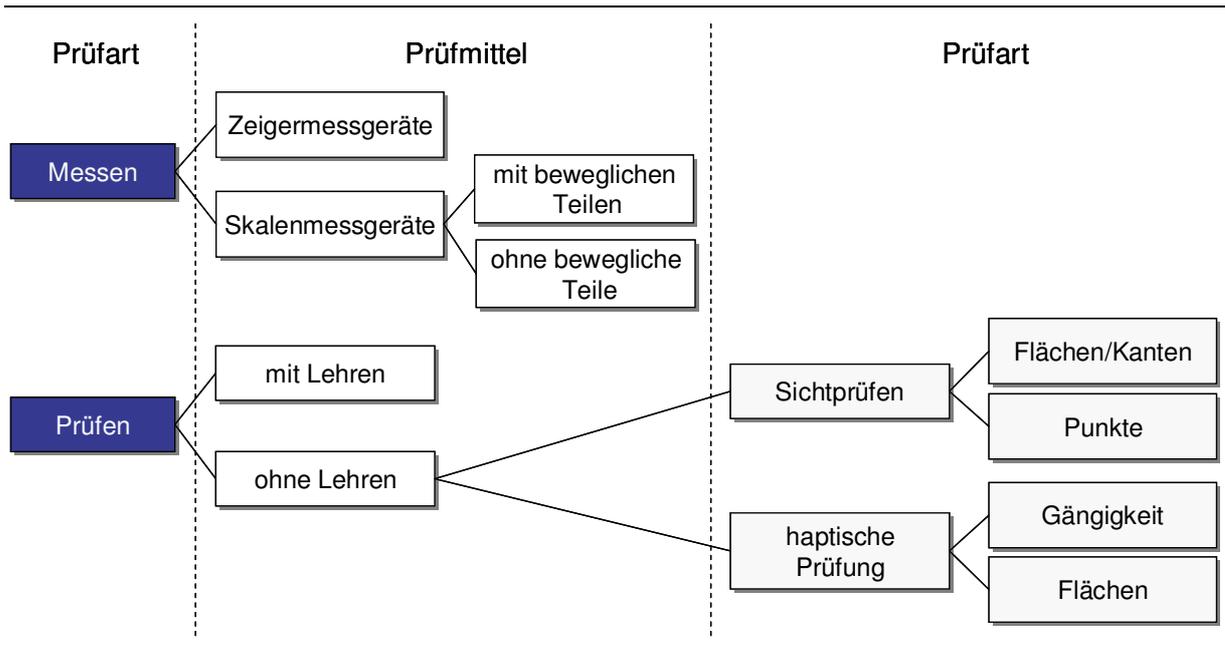


Abb. 4.12: Kombinationsmöglichkeiten von Ausprägungen der Einflussgrößen für die Tätigkeit „Kontrollieren“

Für die zeitliche Bewertung des Messens oder der Prüfens können die Prüfart und das Prüfmittel als Einflussgrößen vorliegen.

Der zeitliche Umfang der Kontrolltätigkeit wird bei den Messgeräten und Lehren insbesondere von den technischen Erfordernissen dieser Prüfmittel bestimmt, während bei den Attributprüfungen ohne Prüfmittel insbesondere das zu prüfende Attribut den Aufwand festlegt. Während beim Prüfen mit Messmittel in der Regel nur ein Merkmal geprüft wird, werden beim Sichtprüfen durchaus mehrere Merkmale eines Montageobjekts in einem Prüfungsvorgang bewertet.

Das Prüfen der Identität

Das Prüfen der Identität tritt in der Montage in der Regel als Feststellen einer Bauteilnummer und deren Abgleich mit einer Vorgabe auf. Darüber hinaus können aber auch Merkmale wie die Farbe oder vorgegebene Abmessungen dieses Bauteils eindeutig beschrieben werden. Für die Erfassung dieser Merkmale können die Beschreibungen der unterschiedlichen Prüftätigkeiten genutzt werden. Zum Teil wird bei der Prüfung der Identität eines Bauteils auch auf Informationen zurückgegriffen, die nicht direkt am Bauteil angebracht sind, sondern an dessen Transportverpackung. Hierbei wird vorausgesetzt, dass bereits an vorgelagerter Stelle die eindeutige Zuordnung zwischen Bauteil und Verpackung sichergestellt wurde. Diese nur mittelbare Prüfung der Identität kann vorteilhaft sein, wenn die Informationen nicht direkt auf

das Bauteil aufgebracht werden können oder wenn somit eine automatisierte Erfassung von Informationen beispielsweise über Barcodescanner möglich ist.

Nach der Erfassung der Information auf der Bauteilseite ist der Abgleich mit der Vorgabe durchzuführen. Sofern die Information durch Scanner oder eine Tastatureingabe erfasst wurde, wird die Identitätsprüfung in der Regel rechnergestützt durchgeführt. Der Nutzer bekommt im Allgemeinen eine Rückmeldung in Form eines visuellen oder akustischen Signals. Besteht keine Rechnerunterstützung erfolgt der Abgleich manuell, indem in einem bereitgestellten Informationsträger der relevante Eintrag gefunden wird. Die Reihenfolge der Informationsaufnahme am Bauteil bzw. aus den Arbeitsunterlagen kann in der Praxis variieren, hat aber keinen Einfluss auf den Umfang der Tätigkeit und ist damit für die Bewertung der Sekundärzeit unerheblich.

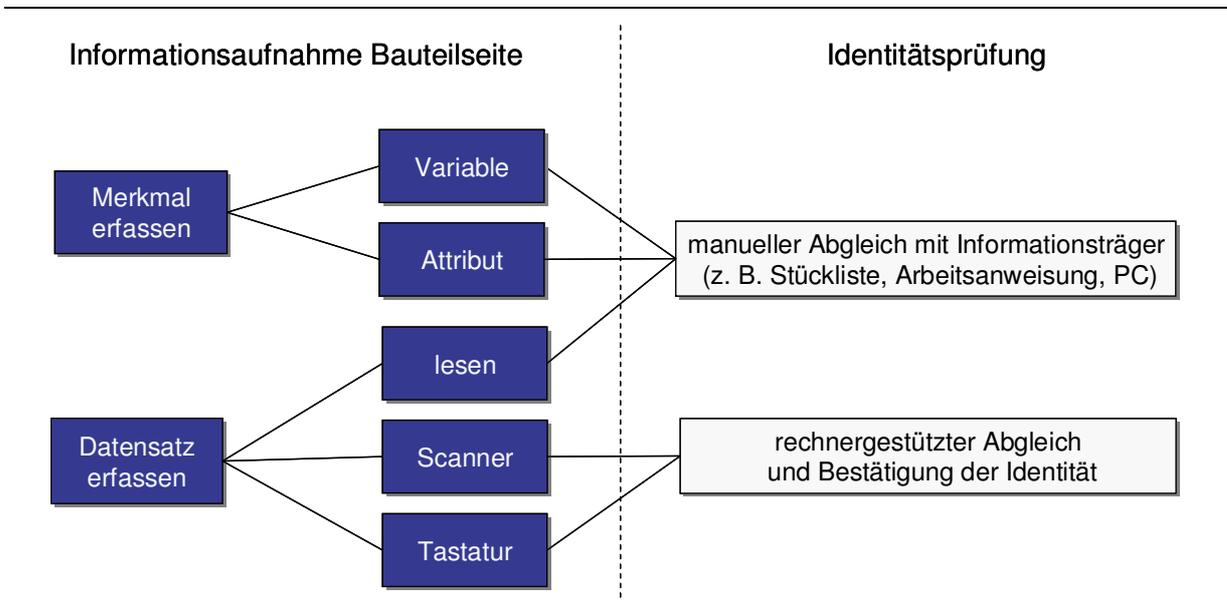


Abb. 4.13: Kombinationsmöglichkeiten von Ausprägungen der Einflussgrößen für die Tätigkeit „Identitätsprüfung“

4.2.7 Das Reinigen

Das Reinigen ist definiert als das „Entfernen unerwünschter Stoffe (Verunreinigungen) von der Oberfläche von Werkstücken“ /DIN 8592 03, S. 3/.

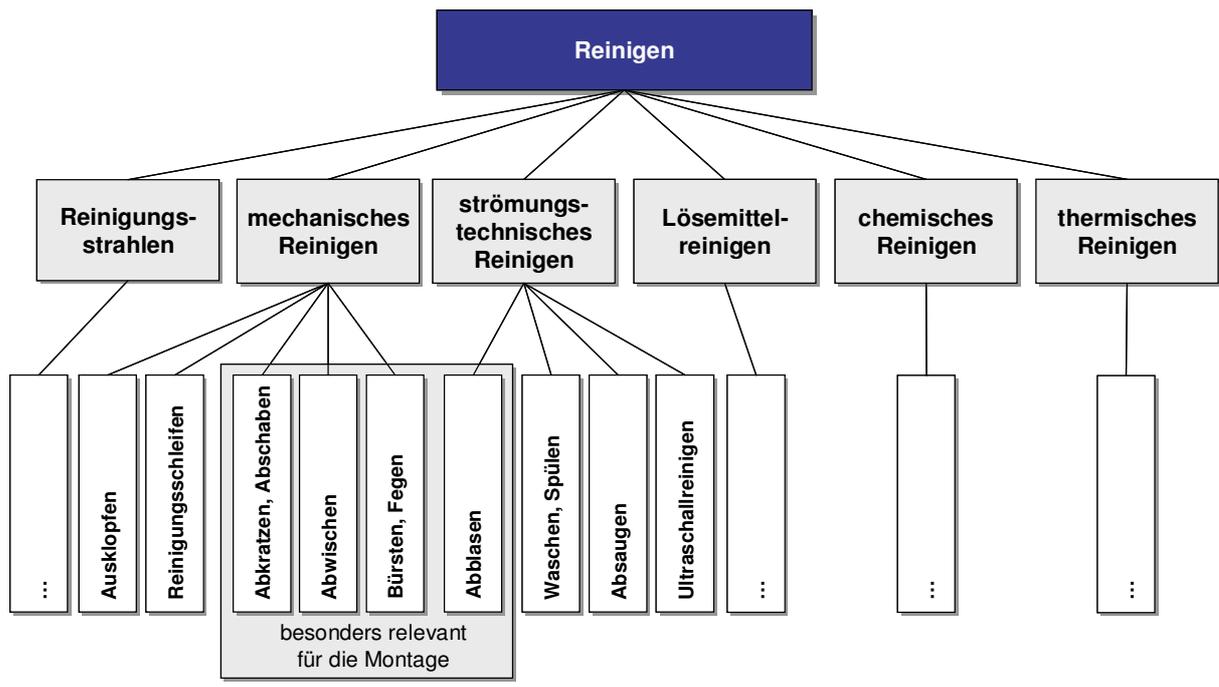


Abb. 4.14: Gliederung des Reinigens /nach DIN 8592 03, S. 7/

Durch das Reinigen wird somit am eigentlichen Werkstück keine Veränderung vorgenommen, es ist demnach eine nicht wertschöpfende Tätigkeit. Von den in der Norm aufgeführten Reinigungsverfahren sind in der Montage insbesondere das Abblasen mit Druckluft als strömungstechnisches Verfahren sowie aus der Untergruppe des mechanischen Reinigens das Abkratzen, das Abwischen und das Bürsten vertreten.

Für die zeitliche Bewertung des Aufwands bietet das verwendete Verfahren bereits ein erstes Unterscheidungskriterium. Weiterhin beeinflusst der Umfang der Reinigungstätigkeiten die Zeitdauer. Als Maß für den Tätigkeitsumfang kann neben dem Grad der Verschmutzung die zu reinigende Fläche ein Anhaltspunkt sein. Diese umfasst das punktuelle Reinigen, beispielsweise beim Ausblasen einer Bohrung, bis hin zum großflächigen Einsatz, z. B. beim Entstauben kompletter Bauteile. Während die zu reinigenden Punkte und Flächen in den frühen Phasen der Produktentwicklung bereits anhand der Zeichnung erkannt werden können, ist der Grad der Verschmutzung nur bedingt vorherbestimmbar, da beispielsweise Fertigungstechnologien nur bedingt festgelegt sind.

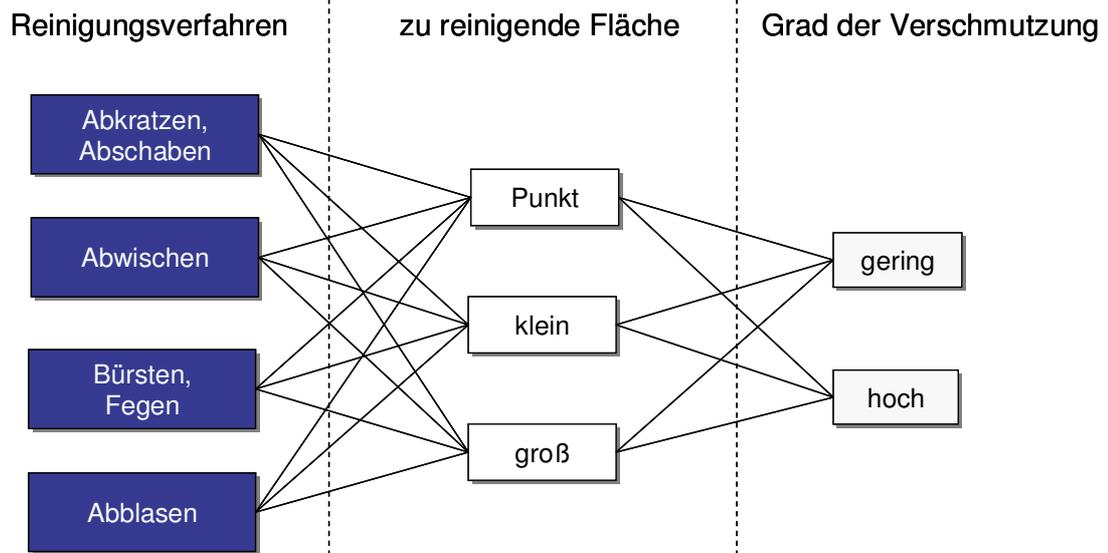


Abb. 4.15: Kombinationsmöglichkeiten von Ausprägungen der Einflussgrößen für die Tätigkeit „Reinigen“

4.2.8 Das Justieren

Auf Basis der DIN 8580 können sechs Arten des Justierens unterschieden werden (vgl. Abb. 4.16).

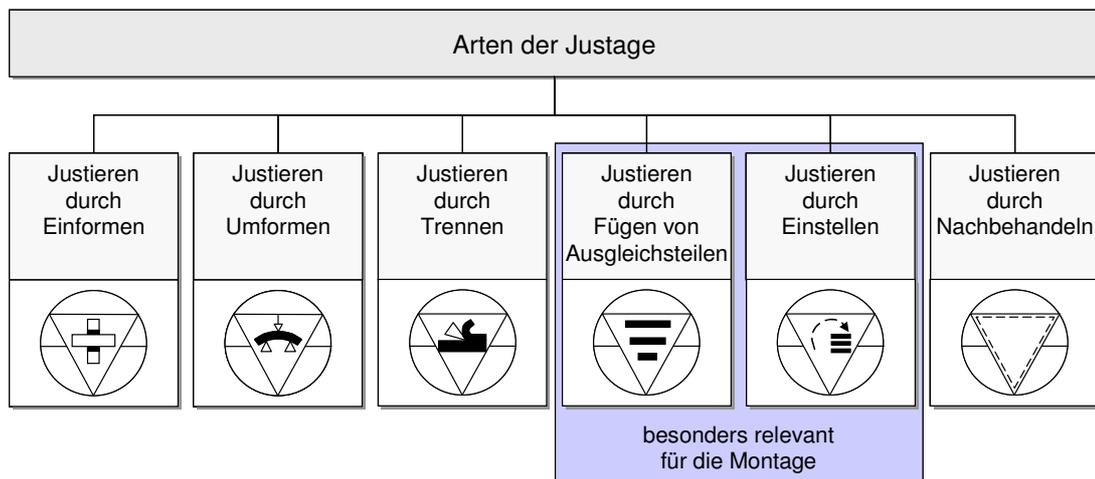


Abb. 4.16: Arten der Justage /SPUR 86, S. 592/

Hiervon sind für die Montage insbesondere das Justieren durch Fügen und das Justieren durch Einstellen von Interesse. Beim Justieren durch Fügen werden vorgesehene Ausgleichsteile hinzugefügt oder weggenommen, z. B. beim Einstellen des Flankenspiels von Kegelartrieben durch Passscheiben. Beim Justieren durch Einstellen wird ein Ausgleich von Ab-

weichungen durch konstruktiv vorgegebene Einstellmöglichkeiten (z. B. Stellschrauben) vorgenommen. Möglich ist auch das Justieren durch Einformen, Umformen, Trennen oder durch Nachbehandeln. Da diese Formen in der Montage aber kaum von Bedeutung sind, werden sie bei der Bewertung nicht weiter berücksichtigt.

Die technische Ausführung von Justagen an Baugruppen kann beliebige Formen annehmen, daher ist es nicht möglich alle Gestaltungsmöglichkeiten zeitlich zu bewerten. Die Beschreibung der Justagetätigkeit kann deshalb nur anhand von Beispielen und in Anlehnung an die jeweilige betriebliche Situation erfolgen.

4.2.9 Das Verwenden von Montagehilfen

Montagehilfen werden verwendet, wenn ein Fügen von Bauteilen oder Baugruppen ohne eine solche Hilfe nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen möglich ist. Charakteristisch für Montagehilfen ist, dass diese vor oder zusammen mit dem Montageobjekt montiert werden und im Anschluss wieder demontiert werden. Durch die Verwendung von Montagehilfen wird das Fügen von Teilen oder Baugruppen vereinfacht, weil die Montagehilfe entweder als Schutz fungiert, der das Risiko von Schäden und dem damit verbundenen Mehraufwand vermindert, oder den Freiheitsgrad beim Fügen reduziert. Schablonen sind hierfür ein gutes Beispiel, sie geben beispielsweise den Spaltabstand zwischen Bauteilen vor.

An welchem der beiden Fügepartner die Montagehilfe positioniert wird, ist von der jeweiligen Anwendung abhängig. Der Aufwand für das Handhaben wird dadurch in der Regel nicht wesentlich beeinflusst. Relevant ist hingegen die konstruktive Ausführung der Schnittstelle zwischen Montagehilfe und Montageobjekt. Sie beeinflusst wesentlich den Aufwand für die Montage und Demontage der Montagehilfe.

$$T_{\text{Montagehilfe}} = f(\text{Ausführung Schnittstelle Montagehilfe - Montageobjekt})$$

4.2.10 Das Rüsten

Unter Rüsten wird im Allgemeinen das Vorbereiten eines Arbeitssystems für die Erfüllung einer Arbeitsaufgabe verstanden. Auf die Montage angewendet bedeutet dieses, dass das Rüsten alle Aufgaben im Mikro-Arbeitssystem umfasst, die ausgeführt werden müssen, bevor die eigentliche Montage durchgeführt werden kann, was die Einordnung als nicht wert-

schöpfende Tätigkeit rechtfertigt. Charakteristisch ist, dass der Rüstaufwand unabhängig von der zu montierenden Losgröße ist. Der Rüstaufwand steht nicht im direkten Bezug zu einem einzelnen Montageobjekt. In der Regel befassen sich die Rüstaufgaben zum einen mit den Betriebsmitteln des Mikro-Arbeitssystems, die auf das veränderte Montageobjekt angepasst werden müssen, indem Aufnahmen, Werkzeuge oder ganze Betriebsmittel ausgetauscht werden. Zum anderen sind die erforderlichen Eingaben (vgl. Abb. 2.3) des Mikro-Arbeitssystems verfügbar zu machen, wobei dieses hauptsächlich die Anordnung des Materials bzw. der Materialbehälter innerhalb des Arbeitssystems umfasst. Daneben ist in der Montage auch das Aufnehmen von Informationen aus Prüfanweisungen, Arbeitsanweisungen, Zeichnungen und Stücklisten ein wesentlicher Teil des Rüstens /vgl. HOLLE 02, S. 18; BECKS 98, S. 21/. Die Versorgung mit Energie ist im Allgemeinen im Mikro-Arbeitssystem so angelegt, dass mit einem Umrüsten, keine neue Energieform verfügbar gemacht werden muss, so dass dieses für die weiteren Betrachtungen unberücksichtigt bleiben kann.

Für die zeitliche Bewertung des Rüstens sind somit der Aufwand für das Rüsten der Betriebsmittel und der Aufwand für die Anordnung des Materials sowie der Aufwand für die Aufnahme von Informationen zu berücksichtigen. Für eine produktbezogene Kalkulation des Sekundäraufwands ist weiterhin die mittlere Losgröße relevant, da mit ihr die Häufigkeit des Rüstens beschrieben wird. Für Montagen mit Serien bzw. Großseriencharakter wird der Rüstaufwand bezogen auf ein Produkt gering und kann in der Regel vernachlässigt werden.

$$t_{\text{Rüsten (Mikro-Arbeitssystem)}} = t_{\text{Rüsten Betriebsmittel}} + t_{\text{Anordnung Material}} + t_{\text{Aufnahme Informationen}}$$

Das Rüsten von Betriebsmitteln

Das Rüsten von Betriebsmitteln in einem Mikro-Arbeitssystem wird zeitlich zum einen von der Anzahl zu rüstender Betriebsmitteln und zum anderen vom Rüstumfang je Betriebsmittel bestimmt. Als Betriebsmittel in der manuellen Montage sind vor alle Vorrichtungen, Werkzeuge und Prüfmittel anzutreffen. Der Aufwand für das Rüsten wird entweder von der technischen Umsetzung der Schnittstelle zwischen Vorrichtung und Werkstückaufnahme oder Werkzeug oder durch den Aufwand für den Austausch einer kompletten Vorrichtung bestimmt. Die Anzahl erforderlicher Betriebsmitteln kann in der Regel aus verwendeten Verbindungstechnologien abgeleitet werden. Bei Rastverbindungen sind die aufzubringenden Kräfte beispielsweise zum Teil so hoch, dass nur mit entsprechenden Pressen eine sichere Verbindung ausgeführt werden kann.

$$t_{\text{Manipulation Betriebsmittel}} = f(\text{Anzahl Betriebsmittel}, \text{Umfang der Manipulation})$$

Das Anordnen von Material

Neben geänderten Betriebsmitteln ist für die Montage des folgenden Loses im Allgemeinen auch ein anderes Teilespektrum erforderlich. Je ähnlicher sich die Produkte sind, desto größer ist in der Regel die Anzahl an Gleichteilen und umso geringer die Anzahl an Ladungsträgern mit Teilen, die im Mikro-Arbeitssystem ausgetauscht werden müssen. Für die Bewertung des Aufwands für das Wechseln einzelner Ladungsträger kann auf die Tätigkeit der Teilebereitstellung zurückgegriffen werden. Produktspezifische Materialwagen, die Ladungsträger mit den wesentlichen Bauteilen bereithalten, können genutzt werden, um den Aufwand zu reduzieren.

$$t_{\text{Anordnung Material}} = f(\text{Anzahl Behälter, Art und Umfang des Anordnens})$$

Das Aufnehmen von Informationen

Damit ein Mitarbeiter in der Montage eine Tätigkeit richtig ausführen kann, bedarf es Informationen zu der übertragenen Aufgabe. Da die Aufgabe für alle Montageobjekte eines Loses identisch ist, muss die Information nur einmalig aufgenommen werden. Informationen können in Form von Beschreibungen zur Montageaufgaben vorliegen, die in der Regel durch Arbeitsanweisungen, Arbeitspläne oder Zeichnungen dem Mitarbeiter zur Verfügung gestellt werden. Daneben können aber auch Prüfanweisungen für die Arbeitsausführung erforderlich sein. Die Art und Weise der Informationsaufbereitung kann in Abhängigkeit der Fertigungsart unterschiedlich ausfallen. Während bei einer (Groß-) Serienmontage der Detaillierungsgrad der Anweisung im Allgemeinen sehr hoch ist – eine Beschreibung erfolgt auf Basis von Grundvorgängen oder Tätigkeiten /GEHART 91, S. 13-17/ – nimmt der Informationsumfang mit sinkender Wiederholhäufigkeit ab. Bei Tätigkeiten in der Einzel- und Kleinserie wird in der Regel nur die Arbeitsaufgabe bzw. Teilaufgabe beschrieben /GEHART 91, S. 13-17/. Das Wissen um die Ausführung der einzelnen Tätigkeiten bzw. Grundbewegungen ist nicht explizit in Form einer Arbeitsanweisung sondern implizit als Qualifikation bzw. Erfahrung des Mitarbeiters vorhanden. Die Ausführungen für Arbeitsanweisungen gelten in vergleichbarer Form auch für die Prüfanweisungen.

Zu berücksichtigen ist, dass die Komplexität eines Produkts auf den absoluten Aufwand an Informationsverarbeitung ebenfalls einen Einfluss hat, d. h. je umfangreicher ein Produkt ist, desto mehr Informationen sind unabhängig von der Wiederholhäufigkeit in der Montage

erforderlich. Dabei ist es unerheblich, ob der Aufwand auf mehrere Mitarbeiter in einem arteiligen Makro-Arbeitssystem verteilt wird oder auf einen Mitarbeiter in einer mengenteiligen Montage fällt.

Da der Rüstaufwand – wie bereits dargestellt – in der Regel nur einmal je Los erforderlich ist, kann es für eine Montage mit großen Losen durchaus wirtschaftlich sein, den Montageablauf detailliert zu beschreiben und vorzugeben und dem Mitarbeiter entsprechende Zeitanteile für die Informationsverarbeitung zuzugestehen, da der Aufwand im Vergleich zum erzielbaren Nutzen durch die Vorgabe einer geeigneten Arbeitsmethode gering ist. In der Serienmontage kann daher wie beschrieben der zeitliche Aufwand für das Lesen von Arbeitsanweisungen vernachlässigt werden.

$$t_{\text{Aufnahme Informationen}} = f(\text{Produktkomplexität, Detaillierungsgrad der Beschreibung})$$

Unter bestimmten Bedingungen kann der Aufwand für die zeitliche Bewertung des Rüstens reduziert werden. Bei variabel ausgelegten Betriebsmitteln, die ohne Veränderungen für verschiedene geometrisch unterschiedliche Montageobjekte auskommen, entfällt beispielsweise das Manipulieren. Ist das Mikro-Arbeitssystem andererseits so gestaltet, dass es Material für verschiedene Montageobjekte permanent und bei unveränderlicher Gestalt bereithält, entfällt der Aufwand für das Anordnen des Materials. In Montagesystemen, in denen eine geringe Anzahl unterschiedlicher Produkte losweise gefertigt wird, bedarf es nur in der Anlernphase eines Lesens der Arbeitsunterlagen. Danach sind dem Mitarbeiter in der Regel die Abläufe für alle Produkte bekannt, so dass der Aufwand für die Informationsverarbeitung unberücksichtigt bleiben kann.

4.2.11 Das Dokumentieren

Das Dokumentieren bezeichnet eine Tätigkeit, bei der Informationen dauerhaft gesichert werden. In der Montage kann dieses zum Beispiel für Prüfergebnisse oder für auftragspezifische Informationen im Rahmen der Betriebsdatenerfassung erfolgen. Darüber hinaus kann eine Dokumentation als sichtbares Zeichen für die Ausführung einer Montageoperation eingesetzt werden.

Prüfergebnisse werden z. B. in eine Dokumentation überführt, damit auch zu einem späteren Zeitpunkt erkennbar ist, welchen Status ein Montageobjekt hat.

Bei auftragbezogener oder losweiser Montage kann es beispielsweise erforderlich sein, für die Fertigungssteuerung Aufträge oder Lose an- und abzumelden oder für die Nachkalkulation Ist-Zeiten zu erfassen. Vielfach erfolgt diese Dokumentation von Zeitdaten (z. B. Anfangs- und Endzeitpunkt) bereits über Computerterminals, die in die Mikro-Arbeitssysteme integriert sind.

Daneben werden zum Teil durchgeführte Fügeoperationen dokumentiert, beispielsweise in Form einer Faserstiftmarkierung an einem Autotürscharnier, um die (korrekte) Durchführung einer Montageoperation kenntlich zu machen. Durch die Verknüpfung einer zusätzlichen Tätigkeit mit einer Montageoperation soll die Gefahr reduziert werden, dass die Montageoperation ausgelassen wird, da die Wahrscheinlichkeit sinkt, dass ein Mitarbeiter zwei Operationen fälschlicherweise auslöst bzw. bei der Dokumentation in der Regel eine ausgelassene Montage bemerkt wird.

Unabhängig von der Verwendung kann eine Dokumentation entweder als Kennzeichnung des Montageobjekt oder separat papier- oder rechnergestützt erfolgen. Eine quantitative Dokumentation beschreibt das Ablegen von zahlenmäßigen Messergebnissen, während die qualitative Dokumentation nur bestätigt, dass das Ergebnis der Prüfung oder der Montage den Vorgaben entspricht. Qualitative Prüfergebnisse werden vielfach als Kennzeichnung am Teil ausgeführt, während quantitative Prüfergebnisse eher in einem separaten Dokument abgelegt werden. In der Praxis gibt es allerdings eine Vielzahl von Möglichkeiten, eine Dokumentation auszuführen.

$$t_{\text{Dokumentation}} = f(\text{Ort der Dokumentation, Informationsumfang, Art der Dokumentation})$$

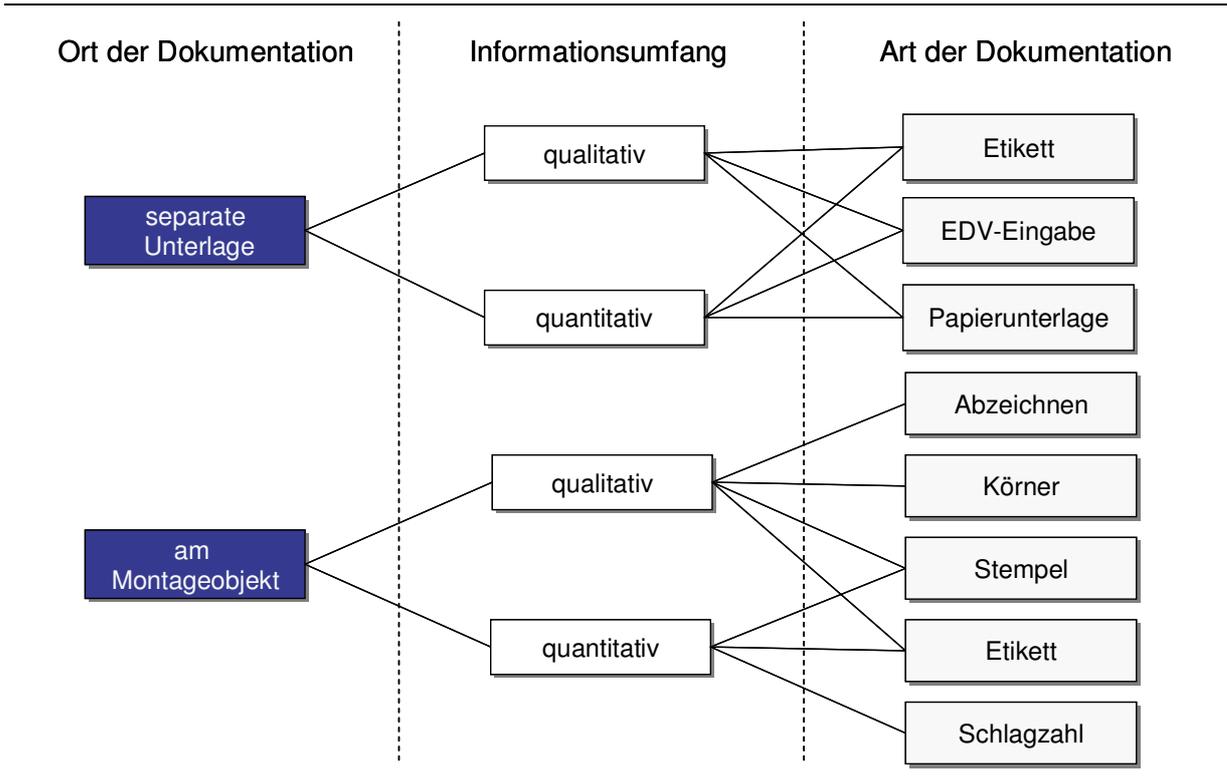


Abb. 4.17: Kombinationsmöglichkeiten von Ausprägungen der Einflussgrößen für die Tätigkeit „Dokumentieren“

4.2.12 Das Warten

Nach REFA /93, S. 223/ ist die Wartezeit eine Zeitdauer, während der die Arbeitsperson aufgrund des Arbeitsablaufes regelmäßig untätig ist, z. B. bei einem Montageprozess ohne Überwachung durch die Arbeitsperson. Darüber hinaus treten Wartezeiten in starr verkoppelten Systemen als so genannte Abtaktverluste auf. Abtaktverluste entstehen durch die nicht gleichmäßige Verteilung von Tätigkeiten auf die Montagearbeitsplätze. Während an einem (Spitzen-) Arbeitsplatz die gesamte Zykluszeit mit Tätigkeiten aufgefüllt ist, entstehen an allen übrigen Arbeitsplätzen in der Regel kurze Wartezeiten, in denen sowohl der Mitarbeiter als auch die Betriebsmittel inaktiv sind und somit keinen Fortschritt am Produkt bewirken /HARTEL 00, S. 28 - 30/.

Defekte an Vorrichtungen oder fehlerhafte Bauteile führen ebenfalls zu Unterbrechungen im Montageablauf. Diese treten aber nicht regelmäßig auf und werden deshalb nicht als Teil der Wartezeit aufgefasst. Da es sich bei den Defekten um Störungen des Systems handelt, sind diese Anteile nur sehr bedingt planbar und werden im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt. Bei der Anwendung der ermittelten Sekundärzeitanteile für die Ressourcen-

planung kann dieses aber gegebenenfalls durch die Einführung eines Verfügbarkeitsgrads berücksichtigt werden.

Bei starr verketteten Mikro-Arbeitssystemen ist für jeden Arbeitsplatz die verfügbare Montagedauer durch die Dauer des Takts vorgegeben. Durch Verfahren der Leistungsabstimmung wird bei bekanntem Arbeitsinhalt und bekannter Ausführungsdauer jedem Arbeitsplatz eine maximale Anzahl an Tätigkeiten zugeordnet, so dass die Differenz zwischen Taktzeit und Arbeitsinhalt minimal wird. Da Tätigkeiten nicht beliebig teilbar sind, lässt sich diese Differenz nicht vermeiden, sondern nur minimieren. Für zwei oder mehr Mikro-Arbeitssysteme die zu einem Makro-Arbeitssystem zusammengefasst werden, lässt sich diese Verlustzeit, der Taktausgleich T , wie folgt berechnen:

$$T = M \cdot t_T - \sum_{j=1}^N t_j .$$

M = Anzahl der Arbeitsstationen

t_T = Taktzeit

N = Anzahl der Teilverrichtungen

Der Taktausgleich gibt die Höhe der rechnerisch ermittelten arbeitsablaufbedingten Wartezeiten innerhalb der Arbeitstakte der einzelnen Arbeitsstationen in einer Fließmontage als Folge der nicht immer genau möglichen Taktabstimmung an.

Neben dem Taktausgleich gibt es mit dem Bandwirkungsgrad eine weitere Kennzahl zur Bewertung der Leistungsabstimmung:

$$E = \frac{\sum_{j=1}^N t_j}{M \cdot t_T} \cdot 100\%$$

E = Bandwirkungsgrad

Welchen zeitlichen Umfang der Taktausgleich annimmt, hängt zum einen vom gewählten Verfahren der Leistungsabstimmung und zum anderen von den organisatorischen Randbedingungen ab. Für die Leistungsabstimmung sind in der Literatur eine Vielzahl von Verfahren entwickelt und gegenübergestellt worden /FREMEREY 93, S. 139; SCHAD 86, S. 25/, die mit unterschiedlichen analytischen oder heuristischen Ansätzen optimale Ergebnisse hervorbringen sollen. Da die Verfahren in der Regel erst gegen Abschluss der Montageplanung zum Einsatz kommen, bieten sie eine hohe Genauigkeit. Sie erfordern allerdings Information-

en, die in frühen Phasen der Produktentwicklung nicht verfügbar sind. Durch Vereinfachungen und Setzungen kann aber ein Ergebnis mit einer für den Planungszeitpunkt ausreichenden Genauigkeit erzielt werden.

Soll der Aufwand für die Bewertung der Abtaktverluste gering gehalten werden, besteht die Möglichkeit, auf bereits vorhandene Ergebnisse zurückzugreifen. Nach LUCZAK /86, S. 634/ ist der maximal erreichbare Bandwirkungsgrad bei ca. 95 % erreicht. Der Maximalwert wird in der Praxis aber nicht immer erreicht. Untersuchungen von SCHMIDT /90, S. 21/ und KOETHER /83, S. 33 - 34/ weisen beispielsweise einen Anteil von 9 % bzw. 10 % der Gesamtzeit als Taktausgleichszeit aus.

In elastisch oder starr verketteten Montagearbeitssystemen sind Abtaktverluste nach LUCZAK damit nicht vermeidbar. Bei der Planung dieser Form der Montageorganisation wird diese Verschwendung von Zeit aufgrund anderer Vorteile in Kauf genommen, obwohl durch die Wahl einer anderen Organisationsform geringere Abtaktverluste auftreten können.

4.2.13 Das Nacharbeiten

Die Nacharbeit stellt einen Mehraufwand in der Montage dar, der durch die Abweichung eines Montageobjekts von den erwarteten Eigenschaften hervorgerufen wird. Ursache für diese Abweichung können beispielsweise Fehler bei der Ausführung von Montagetätigkeiten sein. Eine Nacharbeit ist erforderlich, wenn ein Montageprozess nicht sicher beherrscht und damit das erwartete Ergebnis nicht erreicht wird. Die Abweichung von der Vorgabe wird in der Regel während eines Prüfprozesses festgestellt, bei dem auch festgelegt wird, ob das Montageobjekt dem Ausschuss zuzuführen ist oder nachgearbeitet werden kann. Bei der Nacharbeit wird in der Regel eine Demontage des Produkts oder der Baugruppe vorgenommen und die Abweichung korrigiert, damit anschließend eine erneute Montage und Prüfung erfolgen kann.

Während Nacharbeit aufgrund nur unzureichend beherrschter Prozesse durch eine Prozessoptimierung reduziert werden kann, können Fehler durch den Mitarbeiter nie vollständig ausgeschlossen werden. Allerdings sollte der Aufwand für mitarbeiterbedingte Nacharbeit so gering sein, dass er bei der Sekundärzeitermittlung nicht zu berücksichtigen sein sollte. Die Nacharbeit sollte daher in frühen Phasen der Produktentwicklung nur berücksichtigt werden, wenn bereits absehbar ist, dass es zu einem nicht zu vernachlässigendem Aufwand durch Demontagen und erneute Montagen kommen wird.

4.3 Bewertung der dargestellten Verfahren zur Zeitdatenermittlung

Mit der Abgrenzung von wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten ist die Grundlage für die Bewertung der in Kap. 3.1 analysierten Zeitdatenermittlungsverfahren gegeben. Ein wichtiger Punkt bei der Bewertung der Verfahren ist ihre Eignung, in der Planungsphase genutzt werden zu können, um den Montageplaner zu unterstützen. Die Verfahren müssen dabei beispielsweise geeignet sein, Zeitdaten für die Kalkulation von Montagekosten bereitzustellen oder den Vergleich unterschiedlicher Produktentwürfe bzw. Montageprozessvarianten zu unterstützen.

Wesentliches Kriterium bei der Gegenüberstellung der verschiedenen Verfahren ist der jeweilige Informationsbedarf. Dieser beschreibt den Umfang an Informationen, der verfügbar sein muss, um mit einem Zeitdatenermittlungsverfahren ein Ergebnis generieren zu können. Verfahren, die eine hohe Reproduzierbarkeit aufweisen, erfordern in der Regel auch umfangreiche Informationen. Die Reproduzierbarkeit dieser Verfahren wird im Allgemeinen insbesondere deshalb erreicht, da eine Vielzahl von Informationen standardisiert mit den ermittelten Zeitdaten abgelegt werden. Beispielsweise werden bei der Zeitaufnahme oder bei den Systemen vorbestimmter Zeiten die Arbeitsmethode und die Arbeitsbedingungen mit dokumentiert.

Wie umfangreich die Informationsbasis bei der Montageplanung ist, wird hauptsächlich von der Art der durchzuführenden Produktplanung beeinflusst. Grundsätzlich werden drei Arten von Konstruktionen unterschieden /WIENDAHL 97, S. 121/.

Die Neukonstruktion umfasst eine bisher nicht ausgeführte Anordnung neuer oder bekannter Funktionselemente. Sie umfasst alle Phasen der Produktentwicklung vom Planen bis zum Ausarbeiten. Für die Montageprozessplanung bedeutet eine Neukonstruktion eine Erstplanung, es kann nicht/kaum auf bestehende Lösungen für die Planung und Realisierung von Montageprozessen zurückgegriffen werden. Entsprechend gering ist der Umfang an Informationen, der für die Ermittlung von Zeitdaten verfügbar ist /vgl. ZÜLCH 92; S. 523f./.

Bei einer Anpassungskonstruktion ändern sich einzelne Elemente in der Anordnung oder der Gestalt, das Produkt muss teilweise neu konzipiert und vollständig neu entworfen und ausgearbeitet werden. Für die Montage bedeutet dieses die Durchführung einer Ähnlichkeitsplanung, bei der zum Teil auf bekannte Informationen bzw. Lösungen zurückgegriffen

werden kann. Durch die Vergleichbarkeit bekannter Lösungen mit der neuen Aufgabenstellung besteht die Möglichkeit, auf gute Lösungen zurückzugreifen und für die spezifische Anwendung zu adaptieren.

Die Variantenkonstruktion stellt die aufwandsärmste Konstruktionsart dar. Charakteristisch für sie ist, dass nur die Gestalt und die Dimensionen einer Standardkonstruktion verändert werden. Hauptaugenmerk liegt in der Konstruktion auf dem Entwerfen und dem Ausarbeiten. Für die Montage bedeutet eine Variantenkonstruktion im Allgemeinen die Ausführung einer Wiederholplanung. Alle bereits für eine Planung generierten Informationen können erneut verwendet werden. Es liegen umfassende Informationen zur Gestaltung der Montage sowie zu geeigneten Montageprozessen vor.

In der Praxis des Maschinenbaus überwiegt die Anpassungskonstruktion vor der Neu- und der Variantenkonstruktion /WIENDAHL 97, S. 121/. Für die Montageplanung bedeutet dieses, dass größtenteils Ähnlichkeitsplanungen auszuführen sind. Da die Ähnlichkeitsplanung einen großen Bereich zwischen „keine Ähnlichkeit“ (entspricht einer Erstplanung) und „vollständige Ähnlichkeit“ (entspricht einer Wiederholplanung) einnehmen kann, ist im Einzelfall zu bewerten wie stark die Übereinstimmung und damit der Umfang an bereits vorhandenen und nutzbaren Informationen ist.

Bei hinreichend großer Ähnlichkeit können sowohl Ist-Zeiten als auch Soll-Zeiten als Ausgangsbasis für die Bewertung einer neuen Planungssituation eingesetzt werden (vgl. Abb. 4.18). Für Erstplanungen reduziert sich die Anzahl geeigneter Verfahren allerdings auf solche zur Soll-Zeit-Ermittlung.

Neben dem prospektiven Einsatz lassen sich die Zeitdatenermittlungsverfahren auch nach den in Kap. 3.2 hergeleiteten Anforderungen bewerten. Bei der Bewertung der anwenderbezogenen Anforderungen systemimmanente Genauigkeit, Aufwand und Reproduzierbarkeit ist zu erkennen, dass ein Teil der Verfahren diese nur bedingt erfüllen. Das Globale Schätzen weist im Vergleich zu den übrigen Verfahren die niedrigste systemimmanente also verfahrenseigene Genauigkeit und die geringste Reproduzierbarkeit auf. (Zum Begriff der systemimmanenten Genauigkeit vgl. auch Kap. 3.2.1.) Es ist für die Ermittlung von Zeitdaten in der Phase der Produktentwicklung in der Regel nicht geeignet und bleibt daher im Weiteren unbewertet. Die Forderung nach einem geringen Aufwand in der Anwendung wird von mehreren Verfahren nicht oder nur bedingt erfüllt. Das MTM-Grundsystem, das Bausteinsystem der Standarddaten, die Montagebewertungsmethoden nach FRECH und HARTMANN sowie das Design for

Unabhängig davon ist für jedes Verfahren zu klären, ob eine Zeitdatenermittlung für die jeweilige nicht wertschöpfende Tätigkeit möglich ist. Beispielsweise sind die Montagebewertungsverfahren von KIEF und FRECH sowie die DFA/AEM-Verfahren nur sehr begrenzt bzw. nicht für die Ermittlung von Zeiten für nicht wertschöpfende Tätigkeiten geeignet. Alle Verfahren wurden hauptsächlich für die Bewertung von Fügetätigkeiten in der Montage konzipiert. Das Verfahren von Taylor ist hingegen für bestimmte nicht wertschöpfende Tätigkeiten geeignet.

Aus der Menge der Zeitdatenermittlungsverfahren heben sich insbesondere das Berechnen und das Simulieren von den übrigen Verfahren ab. Bei Tätigkeiten, die überwiegend manuell ausgeführt werden, wie das Handhaben von Teilen oder Ladungsträgern, sind beide Verfahren nicht geeignet. Bei Tätigkeiten wie dem Reinigen mit Druckluft oder dem Transportieren mit angetriebenen Fördermitteln, die einen erheblichen Anteil an Prozesszeiten beinhalten können, kann das Berechnen verwendet werden. Die Simulation ist unter anderem für die Ermittlung von Taktausgleichszeiten geeignet.

Aus den Ausführungen zum Berechnen oder Simulieren von Zeiten ergeben sich bereits Anhaltspunkte für die Beurteilung der Planzeiten und der MTM-Systeme als spezielle Systeme von Planzeiten. Für Tätigkeiten, die durch das Berechnen bzw. Simulieren nicht erfasst werden können, da sie überwiegend manuell ausgeführt werden, sind Planzeiten und speziell die MTM-Systeme gut geeignet. Beim Kontrollieren allerdings unter der Einschränkung, dass das Prüfen nur einfache Entscheidungen (z. B. Merkmal vorhanden / nicht vorhanden) verlangt. Sofern bei den Tätigkeiten Transportieren und Reinigen die Prozesszeit überwiegt, sind die MTM-Systeme nur bedingt geeignet. Dieses ändert sich, sofern die Tätigkeiten durch den Mitarbeiter voll beeinflussbar sind (vgl. Kap. 3.1.2). Da Wartezeiten unbeeinflussbar sind, können die MTM-Systeme für deren Ermittlung nicht eingesetzt werden.

Die verschiedenen Schätzverfahren sind grundsätzlich für die Ermittlung von Zeitdaten für alle Arten von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten geeignet.

Für die Ermittlung von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten im Rahmen einer Erstplanung bleiben das Unterteilte Schätzen, das Schätzen mit Zeitklassen, Planzeiten wie das Bausteinsystem der UAS-Grundvorgänge und Bausteinsystem der MEK-Grundvorgänge sowie das Berechnen als geeignete Verfahren übrig. Bei einer Ähnlichkeitsplanung erweitert sich das Spektrum geeigneter Verfahren um die Zeitaufnahme, das Multimoment-Zeitmeßverfahren sowie das Befragen. Wobei für die konkrete Auswahl der Bewertungs-

umfang, die Wiederholhäufigkeit und der Organisationsgrad neben den jeweiligen Einschränkungen bei der Bewertung der Tätigkeiten berücksichtigt werden sollten.

Die Wahl eines geeigneten Verfahrens ist immer für den spezifischen Anwendungsfall zu treffen. Entscheidend sollten neben den bekannten Einschränkungen für bestimmte nicht wertschöpfende Tätigkeit, der Organisationsgrad der Montage, die Wiederholhäufigkeit sowie der Bewertungsumfang sein. So bieten sich beispielsweise für Unternehmen mit geringer Wiederholhäufigkeit und einem niedrigen Organisationsgrad – dieses sind typischerweise Unternehmen mit Einzel- und Kleinserienmontage – neben dem Schätzen auch das Bausteinsystem der MEK-Grundvorgänge an.

5 Systematik zur produktbezogenen Ermittlung von Sekundärzeiten

Für die Verwendung von Zeitendaten im Rahmen von Vorkalkulationen sowie für Konstruktions- oder Verfahrensvergleiche ist es in der Regel erforderlich, eine Bezugsbasis zu definieren, auf deren Grundlage die Ergebnisse verglichen werden können. Für die genannten Anwendungen bietet sich im Allgemeinen das Produkt als solche Basis an. Die Ermittlung von Sekundärzeiten wird für diese Verwendungszwecke daher auch produktbezogen ermittelt. Im Weiteren wird eine Systematik vorgestellt, mit der für ein Produkt nicht wertschöpfende Tätigkeiten zeitlich bestimmt werden können. Vor der eigentlichen Ermittlung von Zeitdaten bedarf es vielfach vorbereitender Arbeitsschritte (vgl. Abb. 5.1).

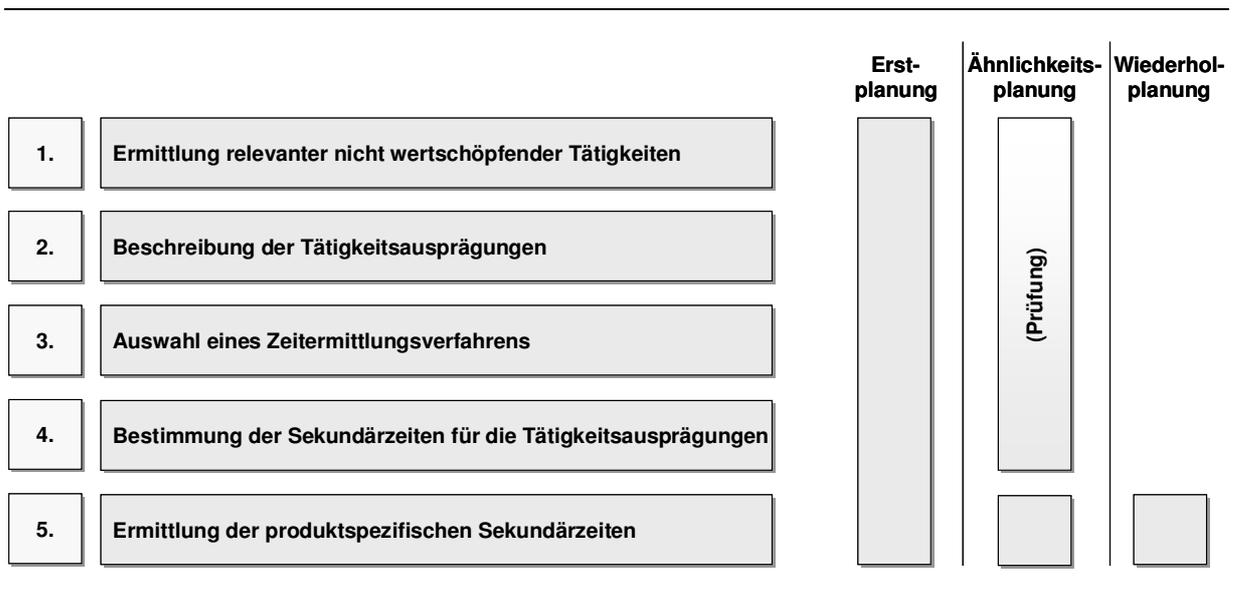


Abb. 5.1: Vorgehensweise zur Ermittlung produktbezogener Sekundärzeiten

Zu Beginn ist daher zusammenzustellen, welche nicht wertschöpfenden Tätigkeiten bei der Montage des Produkts grundsätzlich auftreten können. Für diese Tätigkeiten sind die relevanten Tätigkeitsausprägungen festzulegen. Eine Tätigkeitsausprägung beschreibt dabei eine Tätigkeit, bei der alle Einflussgrößen durch einen definierten Ausgang eindeutig bestimmt (ausgeprägt) sind. Es handelt sich somit um eine mögliche Ablaufvariante einer

Tätigkeit. Nach der Wahl eines geeigneten Zeitdatenermittlungsverfahrens können für die beschriebenen Tätigkeitsausprägungen Sekundärzeiten ermittelt werden.

Welche Arbeitsschritte für die Ermittlung von Sekundärzeiten auszuführen sind, ist abhängig von der Art der Konstruktion und der damit verbundenen Möglichkeit, bekannte Planungsergebnisse verwenden zu können. Für eine Erstplanung sind alle fünf Schritte durchzuführen. Informationen müssen gesammelt und für die produktbezogene Zeitdatenermittlung aufbereitet werden. Bei einer Wiederholplanung ist hingegen nur eine bestehende Kalkulation im Arbeitsschritt fünf auf die vorliegende Konstruktionsvariante anzupassen. Bei einer Anpasskonstruktion und der damit in der Regel verbundenen Ähnlichkeitsplanung ist der Aufwand für die Zeitdatenermittlung höher als bei der Variantenkonstruktion. Die ersten vier Schritte müssen zwar nicht neu ausgeführt werden, allerdings sind insbesondere die Schritte zwei und vier auf Vollständigkeit zu prüfen. Tätigkeitsausprägungen, die durch die Veränderungen in der Konstruktion hinzukommen, sind für die Sekundärzeitermittlung aufzubereiten. Der beschriebene Kalkulationsaufwand für die Zeitdatenermittlung von Anpassungs- bzw. Variantenkonstruktionen gilt nur, wenn bereits eine produktbezogene Sekundärzeitermittlung vorliegt. Für die erste Zeitermittlung ist ein Initialaufwand vergleichbar der Erstplanung erforderlich, der ebenfalls alle Arbeitsschritte umfasst.

5.1 Ermittlung relevanter nicht wertschöpfender Tätigkeiten

Voraussetzung für die Ermittlung von Sekundärzeiten für ein Produkt ist die vollständige Erfassung aller relevanten nicht wertschöpfenden Tätigkeiten. Relevant sind Tätigkeiten, die im Rahmen der Produktmontage auf Basis der verfügbaren Informationen denkbar sind.

Für das Erkennen von relevanten Tätigkeiten in frühen Phasen der Produktentwicklung bieten sich die in Kap. 2.4.2 zusammengestellten Informationen sowie die Abgrenzung von wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten verfügbar. Darüber hinaus kann die Übersicht der als wesentlich identifizierten nicht wertschöpfenden Tätigkeiten (vgl. Abb. 5.2) verwendet werden.

nicht wertschöpfende Tätigkeit	mögliche Einflussgrößen			
Das Handhaben von Schutzmitteln / Einsätzen	Art des Schutzmittels	Hauptabmessungen (Schutzmittel)	Entfernung beim Handhaben von Arbeitsmitteln	
Das Öffnen von Transportverpackungen	Bauform	Hauptabmessungen (Transportverpackung)	Entfernung beim Handhaben von Arbeitsmitteln	
Der Transport innerhalb eines Mikro-Arbeitssystems	Transportentfernung	Hauptabmessungen (Produkt)	Produktgewicht	Bereitstellhöhe
Der Montageobjekttransport zwischen Arbeitssystemen	Transportentfernung	Fördermittel	Förderhilfsmittel	
Das Kontrollieren mit Prüfmitteln	Prüfart	Prüfmittel	Prüfumfang	Entfernung beim Handhaben von Arbeitsmitteln
Das Prüfen der Identität	Informationsaufnahme Bauteilseite	Form der Identitätsprüfung	Entfernung beim Handhaben von Arbeitsmitteln	
Das Reinigen	Reinigungsverfahren	zu reinigende Fläche	Grad der Verschmutzung	Entfernung beim Handhaben von Arbeitsmitteln
Das Justieren	Art der Justage	Entfernung beim Handhaben von Arbeitsmitteln		
Das Verwenden von Montagehilfen	Ausführung Schnittstelle Montagehilfe - Montageobjekt	Entfernung beim Handhaben von Arbeitsmitteln		
Das Rüsten von Betriebsmitteln	Anzahl Betriebsmittel	Umfang der Manipulation	Entfernung beim Handhaben von Arbeitsmitteln	
Das Anordnen von Material (beim Rüsten)	Anzahl Behälter	Art und Umfang des Anordnens		
Das Aufnehmen von Informationen (beim Rüsten)	Produktkomplexität	Detaillierungsgrad der Beschreibung	Entfernung beim Handhaben von Arbeitsmitteln	
Das Dokumentieren	Ort der Dokumentation	Informationsumfang	Art der Dokumentation	Entfernung beim Handhaben von Arbeitsmitteln

Abb. 5.2: Wesentliche nicht wertschöpfende Tätigkeiten und ihre möglichen Einflussgrößen

Analyse vorhandener Informationen

Aus den zustandsorientierten Informationen, insbesondere aus den Einzelteil- und den Zusammenbauzeichnungen, lassen sich Tätigkeiten wie das Justieren, das Handhaben von Montagehilfen oder das Verwenden von Schutzmitteln ableiten. Die Bauteilinformationen werden darüber hinaus für die Festlegung des jeweiligen Anlieferzustands genutzt. Aus bekannten Prüfanweisungen für Bauteile und Baugruppen können Kontrolltätigkeiten ermittelt werden. Aus dem Montagevorranggraph können, sofern dieser bereits vorliegt, nicht wertschöpfende Tätigkeiten aus dem Bereich der Sonderfunktionen entnommen werden, beispielsweise ein Erwärmen eines Lagers vor dem Aufschrumpfen. Das Erwärmen wird in diesem Fall als nicht wertschöpfende Tätigkeit eingestuft, da mit der Temperaturerhöhung keine dauerhafte Veränderung am Montageobjekt vorgenommen wird.

Des Weiteren kann durch die Analyse der wertschöpfenden Tätigkeiten die Art und die Anzahl von Betriebsmitteln als Informationsbasis für erforderliche Rüsttätigkeiten genutzt werden. Außerdem bietet die Analyse des geplanten Produktionsprogramms weitere Anhaltspunkte. Sind hier Produktvarianten aufgeführt, werden die Mikro- und die Makro-Arbeitsysteme in der Regel so ausgelegt, dass sie für das gesamte geplante Produktspektrum nutzbar sind. Dieses ist vielfach mit Rüstaufwand verbunden. Selbst wenn die Betriebsmittel und die Materialbereitstellung variantenunabhängig konzipiert werden, ist in der Regel eine Informationsaufnahme, welche ebenfalls dem Rüsten zugeordnet wurde, erforderlich.

Um festzustellen, ob nicht wertschöpfende Tätigkeiten wie das Transportieren relevant sind, bedarf es neben dem Produktionsprogramm insbesondere abgeleiteter Informationen zur geplanten Organisationsform. Sofern im Unternehmen Vorgaben und Richtlinien zur Arbeitsorganisation bzw. der Arbeit vorhanden sind, können diese hierzu genutzt werden. In der Regel ist dieses aber nur sinnvoll, wenn das zu planende Produkt in das bisherige Produktspektrum passt. Weicht es ab, sind Informationen zur Arbeitsorganisation erst zu erzeugen. Da eine detaillierte Beschreibung der angestrebten Arbeitsorganisation im Allgemeinen in frühen Phasen der Produktentwicklung noch nicht vorliegt, wird die Anwendung einer geeigneten Systematik vorgestellt. Durch die Analyse des Produkts unter Zuhilfenahme von Angaben zum geplanten Produktionsprogramm können erste Planungsinformationen zur Organisationsform als wesentliche Planungsinformation ermittelt werden.

Auswahl einer geeigneten Organisationsform

Mit der Auswahl von Organisationsformen auf Basis weniger Informationen in frühen Phasen der Produktentwicklung haben sich z. B. LANDAU und BULLINGER beschäftigt.

Der Ansatz von LANDAU /01, S. 31/ ist zur Unterstützung eines Montageplaners in diesem Anwendungsfeld nicht geeignet, da zwar die Haupteinflüsse auf die Organisationsform dargestellt werden, jedoch kein konkreter Vorschlag anhand der Ausprägungen der Einflüsse erfolgt.

Die Systematik von BULLINGER /94, S. 140/ bietet die Möglichkeit, in einer spezifischen betrieblichen Planungssituation eine geeignete Organisationsform durch die Bestimmung von drei Einflussgrößen festzulegen. Diese sind das Produktvolumen, die Jahresstückzahl sowie die Verkettung der Mikro-Arbeitsysteme. Produkte mit weniger als 100 dm³ werden als klein bezeichnet, sie können in der Regel vom Mitarbeiter gefahrlos gehandhabt und tischgebunden montiert werden. Die Grenze zwischen kleinen und großen Stückzahlen wird bei einem

Produktionsvolumen von 50.000 Stück pro Jahr gesetzt. Varianten werden dabei zu einer Produktfamilie zusammengefasst.

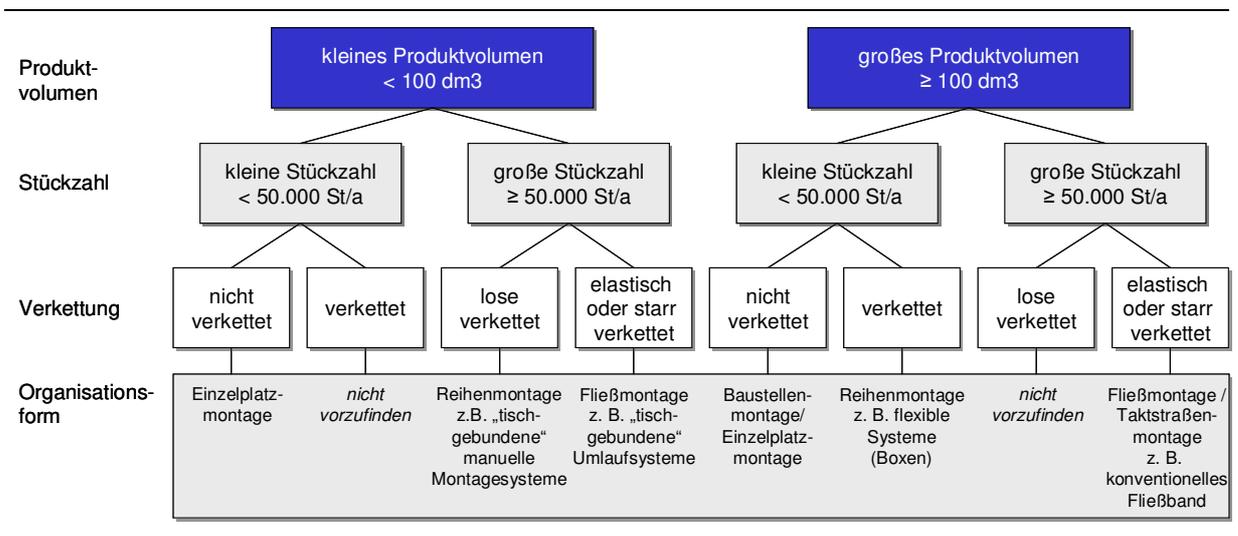


Abb. 5.3: Beispiel für eine Systematik zur Ermittlung einer geeigneten Organisationsform /nach BULLINGER 94, S. 140/

Während die Ausprägung der Einflussgrößen Produktvolumen und Stückzahl als wesentliche Bestandteile der Informationen zum geplanten Produktionsprogramm bereits bekannt sind, ist die Form der Verkettung im Allgemeinen bei einer Erstplanung nicht vorgegeben. Der Montageplaner muss eigenständig eine Entscheidung treffen. Die Entscheidungsfindung wird vereinfacht, indem bereits zwei Ausprägungen (kleines Produktvolumen – kleine Stückzahl – elastisch oder verkettet; großes Produktvolumen – große Stückzahl – lose verkettet) als nicht in der Praxis vorzufinden ausgeschlossen werden. Diese Aussage weist darauf hin, dass die ausgeschlossenen Organisationsformen in der Regel wirtschaftlich nicht tragfähig sind und daher in Unternehmen nicht realisiert werden.

Die Entscheidung, große Produkte in kleinen Stückzahlen verkettet oder unverkettet zu montieren, muss der Montageplaner eigenständig treffen. Hierbei sollten weitergehende Informationen zum Produkt und zum geplanten Produktionsprogramm genutzt werden. Wesentlich ist beispielsweise die Transporteignung des Produkts. Für Produkte, die nicht oder nur mit erheblichem Aufwand zu transportieren sind, sollte die Baustellenmontage favorisiert werden. Gleiches gilt, wenn die Stückzahl so gering ist, dass der Aufwand für die Planung einer elastisch verketteten Montage nicht gerechtfertigt ist.

Nach der Durchführung einer Planung mit der dargestellten Systematik kann beispielsweise Ergebnis sein, dass ein neues Produkt in einem lose verketteten Arbeitssystem montiert wird. Damit ist zum einen festgelegt, dass es mehrere Mikro-Arbeitssysteme gibt, zwischen denen ein Montageobjekttransport stattfindet, zum anderen wird es keine Wartezeiten aufgrund von Abtaktverlusten geben.

Erleichtert wird die Zusammenstellung der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten, wenn es sich nicht um eine Erstplanung sondern um die Vorbereitung einer erstmaligen Kalkulation von Sekundärzeiten für eine Anpassungs- oder Variantenkonstruktion handelt. In diesem Fall kann für die Ermittlung von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten auf die vorliegenden Montageabläufe vergleichbarer Produkte zurückgegriffen werden. Diese gilt unter der Voraussetzung, dass für das zu kalkulierende Produkt ein in seiner Struktur, Komplexität und Funktionalität vergleichbares Produkt bereits existiert und darüber hinaus die geplante Form der Arbeitsorganisation mit der derzeit ausgeprägten Form der Arbeitsorganisation übereinstimmt. Bei einer Neukonstruktion bzw. bei einer Erstplanung ohne Vergleichsmöglichkeiten kann hingegen nur auf die vorhandenen Planungsdaten zurückgegriffen werden.

5.2 Beschreibung der Tätigkeitsausprägungen

Im nächsten Schritt sind die Einflussgrößen der Tätigkeitsdauer und deren relevante Ausprägungen zu bestimmen. Hierbei sollte berücksichtigt werden, dass nicht jede mathematisch darstellbare Kombination von Ausprägungen der Einflussgrößen auch praxisrelevant ist. Nur diejenigen Kombinationen von Ausprägungen, die im Montagesystem bzw. für das Produkt denkbar und sinnvoll sind, sind mit Zeitdaten zu belegen, um den Erstellungsaufwand gering zu halten. Eine Tätigkeit mit definierten Ausprägungen aller Einflussgrößen wird als Tätigkeitsausprägung bezeichnet. Um geeignete Tätigkeitsausprägungen zu ermitteln, kann auch auf die in Kap. 4.2 erfolgte Beschreibung der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zurückgegriffen werden. Sie enthält neben Einflussgrößen auch mögliche Ausprägungen, sofern diese unternehmensübergreifend beschrieben werden können. Darüber hinaus sind Kombinationen von Ausprägungen, die in der Regel in der Montage angetroffen werden können, kenntlich gemacht. Diese Kombinationen stellen somit Beispiele für praxisrelevante Tätigkeitsausprägungen dar.

Die Entscheidung, welche der Tätigkeitsausprägungen für das zu kalkulierende Produkt zu nutzen ist, erfolgt auf der gleichen Informationsbasis, die für die Zusammenstellung der Tätigkeiten genutzt wurde. Allerdings sind auch für diesen Arbeitsschritt weiterführende Informationen erforderlich, die nur nach einer detaillierten Analyse der Arbeitsorganisation verfügbar sind. Daher werden Verfahren vorgestellt, mit denen aus direkt verfügbarem Wissen Informationen über die Form der Teilebereitstellung und der Verkettung als wesentliche Merkmale der Arbeitsorganisation erzeugt werden können, um speziell die Tätigkeitsausprägungen für das Transportieren beschreiben zu können.

Ermittlung der Materialbereitstellungsstrategie als Voraussetzung für die Beschreibung der Teilebereitstellung und des Ladungsträgerwechsels

Die Ermittlung des Transportaufwands für ein Montageobjekt bedarf zum einen einer Information zum geplanten Ladungsträger und zum anderen einer Information zum geplanten Bereitstellort des Ladungsträgers. Sofern im Unternehmen zur Entscheidungsfindung keine Richtlinien bestehen, kann z. B. auf eine Systematik von BULLINGER /94, S. 248/ zurückgegriffen werden, die die Wahl einer geeigneten Materialbereitstellungsstrategie auf Basis spezifischer Teilecharakteristika ermöglicht (vgl. Abb. 5.4).

flexible Systeme (Boxen) (großvolumig, kleine Stückzahl, verkettet)		[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
konventionelles Fließband (großvolumig, große Stückzahl, verkettet)		[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
Baustellenmontage (großvolumig, kleine Stückzahl, unverkettet)		[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
"tischgebundene" Umlaufsysteme (kleinvolumig, große Stückzahl, verkettet)		[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
"tischgebunden" manuelle Montagesysteme (kleinvolumig, große Stückzahl, unverkettet)		[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
Organisationsform		[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
Änderungshäufigkeit	gering	[Grid with circled X marks]										zusammengefasste Auftragskomm.	[Grid with circled X and X marks]										
	hoch	[Grid with circled X marks]											Gesamtauftragskommissionierung	[Grid with circled X and X marks]									
Wiederbeschaffungszeit	klein	[Grid with circled X marks]										Teilauftragskommissionierung		[Grid with circled X and X marks]									
	mittel	[Grid with circled X marks]											Einzelkommissionierung	[Grid with circled X and X marks]									
	groß	[Grid with circled X marks]												Zielsteuerung (JIT)	[Grid with circled X and X marks]								
Verbrauchscharakter	sporadisch	[Grid with circled X marks]										Periodische Bereitstellung	[Grid with circled X and X marks]										
	schwankend	[Grid with circled X marks]											KANBAN	[Grid with circled X and X marks]									
	gleichmäßig	[Grid with circled X marks]												Mehrbehältersystem	[Grid with circled X and X marks]								
Verwendungscharakter	Variantenteil	[Grid with circled X marks]										Handlager	[Grid with circled X and X marks]										
	Mehrfachverwendung Gleichteil	[Grid with circled X marks]											Materialbereitstellungsstrategie										
Verwechslungsgefahr	klein	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
	groß	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
Schutzbedürftigkeit	klein	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
	groß	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
Teilegewicht	gering	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
	mittel	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
	groß	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
Teilevolumen	Kleinteile	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
	mittelgroß	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
	Großteile	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
Teilewert	billig	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
	mittel	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
	teuer	[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											
Teilecharakteristika		[Grid with circled X marks]										[Grid with circled X and X marks]											

⊗ sinnvoll
X bedingt sinnvoll

[Grid with circled X and X marks] Beispiel für die Funktionsweise

Abb. 5.4: Zusammenhang zwischen Teilecharakteristika, Organisationsform in der Montage und Materialbereitstellungsstrategie /BULLINGER 94, S. 248/

Für die Ermittlung einer teilebezogenen Bereitstellstrategie werden Eigenschaften wie die Wiederbeschaffungshäufigkeit, die Verbrauchscharakteristik, die Verwendungscharakteristik, aber auch das Teilegewicht, das Teilevolumen und der Teilewert (im Sinne von Wiederbeschaffungskosten) genutzt, die in frühen Phasen der Produktentwicklung bereits bekannt sind (vgl. Abb. 2.12). Durch die unterschiedlich ausgeprägten Eigenschaften der Bauteile stellt die Zuordnung einer Bereitstellungsstrategie in einigen Fällen einen Kompromiss dar. Da jede Strategie mit organisatorischem Aufwand verbunden ist, wird die Anzahl unterschiedlicher Materialbereitstellungsstrategien in der Regel auf vier beschränkt /BULLINGER 94, S. 245/.

Weil im Allgemeinen für einzelne Teile unterschiedliche Strategien ähnlich gut geeignet sein können, ist die Einhaltung dieser Beschränkung auch aus wirtschaftlicher Sicht durchsetzbar.

Mit der Auswahl-Systematik ist es dem Montageplaner möglich, für alle Bauteile die Materialbereitstellung in einer für den Planungszeitpunkt ausreichenden Genauigkeit vorzunehmen. Zusammen mit der in Abb. 2.8 dargestellten Zuordnung von Strategien zu Bereitstellorten sowie unter Berücksichtigung der verfügbaren Fläche am Verbauort und der geplanten Größe der Mikro-Arbeitssysteme kann für jedes Bauteil ein voraussichtlicher Bereitstellort festgelegt werden.

Ermittlung der Verkettung

Die Verkettung beschreibt die materialflussmäßige Verknüpfung von Mikro-Arbeitssystemen. Für die Auswahl einer geeigneten Form der Verkettung kann eine Systematik von KONOLD /03, S. 44/ genutzt werden, die zusätzlich Vorschläge für die technische Gestaltung der Verkettung bereithält.

Neben Informationen zum Produkt und zum geplanten Produktionsprogramm (z. B. Stückzahl, Variantenvielfalt, Produktkomplexität) enthält die Systematik mit „Zeit je Einheit pro Produkt bzw. Baugruppe (Sek./Stck.)“ ein Entscheidungskriterium, welches sich nicht aus den Produktinformationen ergibt (Abb. 5.5). Für diese Eingangsgröße kann aber basierend auf einer geschätzten Gesamtmontagedauer eine mittlere Montagedauer je Teil und damit auch je Baugruppe ermittelt werden.

Nach dem Durchlauf der Systematik liegt als Ergebnis eine Charakterisierung eines Montagearbeitssystems vor, aus dem eine geeignete Organisationsform der Montage abgeleitet werden kann. Zusätzlich werden – sofern Verkettungsmittel vorgesehen werden – Vorschläge für die technische Gestaltung der Verkettung von Mikro-Arbeitsplätzen gemacht.

Anhand des Ergebnisses kann der Montageplaner die Verkettungsmittel für die produkt-spezifische Planung der Mikro-Arbeitssysteme festlegen. Dabei sollte er prüfen, ob es bereits technische Randbedingungen in der Montage gibt, die eine Lösungsalternative unterstützen, z. B. durch die Wiederverwendung zurzeit ungenutzter Verkettungsmittel.

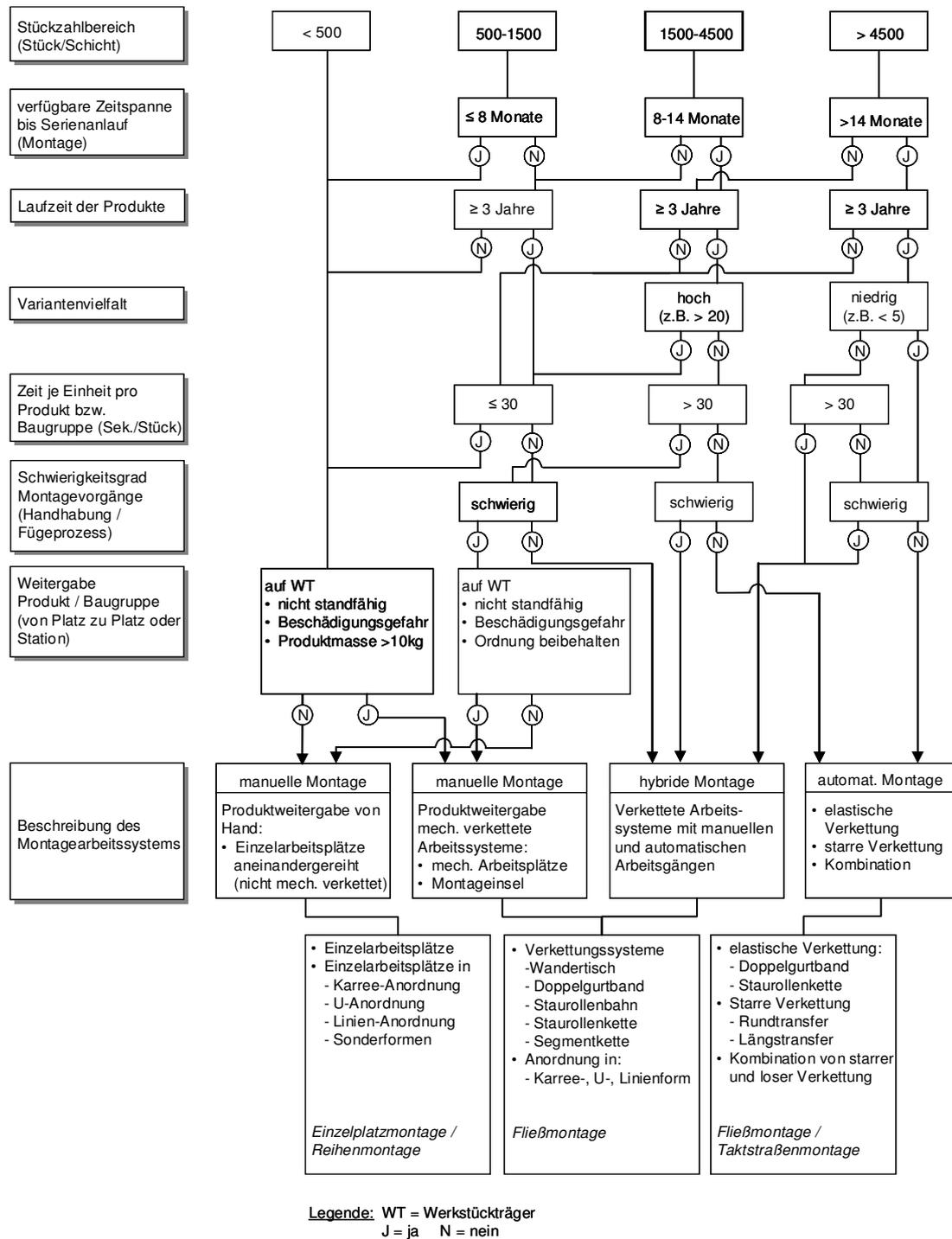


Abb. 5.5: Systematik zur Spezifizierung der Organisationsform und zur Vorauswahl von Verkettungsmitteln /in Anlehnung an KONOLD 03, S. 44/

Während für die Verkettung von Mikro-Arbeitssystemen sowohl Stetigförderer als auch Unstetigförderer genutzt werden, wird bei der materialflussmäßigen Verknüpfung von Makro-Arbeitssystemen fast immer auf Unstetigförderer zurückgegriffen, da diese sehr flexibel sind und in der Regel keiner baulichen Maßnahmen zwischen den Makro-Arbeitssystemen bedürfen, die die Nutzung der Fläche beschränken. Für die Nutzung von Stetigförderern

bieten sich – neben flurgebundenen Systemen wie Kettenförderern – vor allem flurungebundene Systeme wie Hängebahnen an, da diese die Nutzung der Fläche vergleichbar den Unstetigförderern nur gering einschränken. Stetigförderer haben Vorteile, wenn eine hohe Stückzahl von Montageobjekten mit großen Hauptabmessungen transportiert werden soll (z. B. in der Automobilindustrie). Ist dieses nicht der Fall, wird in der Regel den Unstetigförderern der Vorzug gegeben. Es werden dabei vor allem Handgabelhubwagen, Elektrohubwagen, Gabelstapler oder Krane, je nach Transportdistanz, Gewicht und Verfügbarkeit eingesetzt.

Bei der Beschreibung der Einflussgrößen sowie deren Ausprägungen ist darauf zu achten, dass beide bereits während früher Phasen der Produktentwicklung bestimmbar sind. Welche Informationen in der Regel über das Produkt bekannt sind, wurde bereits in Kap. 2.4.2 zusammengestellt.

Einflussgrößen sollten nur berücksichtigt werden, wenn sie als wesentlich (signifikant) erachtet werden. Mit der Signifikanzanalyse steht dem Montageplaner ein Werkzeug aus der Statistik zur Verfügung, um die Wichtigkeit einer Einflussgröße bestimmen zu können, sofern er nicht aufgrund seines Erfahrungswissens bereits eine Entscheidung fällen kann. Hat eine Einflussgröße nur eine Ausprägung, wird sie als konstanter Einfluss als Teil der Arbeitsbedingungen mit berücksichtigt. Bei variablen Einflussgrößen können qualitative Einflussgröße (z. B. Grad der Verschmutzung beim Reinigen: gering - hoch) und quantitative Einflussgrößen (z. B. Transportentfernung: 2 Meter, 6 Meter) unterschieden werden. Um den Aufwand für die Datenermittlung gering zu halten, sind in Anlehnung an die Vorgehensweise bei der Planzeitbildung nur die signifikanten Einflussgrößen sowie die wesentlichen Ausprägungen zu berücksichtigen. Dieses kann für quantitative Einflussgrößen beispielsweise bedeuten, dass Klassen gebildet werden (z. B. Transportentfernung: Klasse 1: bis 2 Meter, Klasse 2: 2 bis 5 Meter, Klasse 3: 5 bis 20 m, Klasse 4: über 20 Meter), um die Anzahl an Ausprägungen zu reduzieren. In welcher Form die Einflussgrößen und ihre Ausprägungen aufbereitet werden können, kann nur für den Einzelfall entschieden werden. Weiterführende Informationen zur Analyse von Einflussgrößen sowie zur Datenverdichtung können z. B. REFA /97, S. 348ff/ entnommen werden.

Nachdem die signifikanten nicht wertschöpfenden Tätigkeiten und ihre Tätigkeitsausprägungen ermittelt sind, können die Tätigkeitsausprägungen mit einem geeigneten Zeitdatenermittlungsverfahren bewertet werden.

5.3 Auswahl eines Zeitdatenermittlungsverfahrens

Für die Wahl eines geeigneten Zeitdatenermittlungsverfahrens besteht die Möglichkeit auf die vorgeschlagene multikriterielle Bewertung (vgl. Abb. 4.18) als Grundlage zurückzugreifen. Der Ergebniszusammenstellung ist zu entnehmen, welche Verfahren für die Erfassung nicht wertschöpfender Tätigkeiten grundsätzlich geeignet sind. Darüber hinaus werden die Verfahren durch die Kriterien Bewertungsumfang, Wiederholhäufigkeit und Organisationsgrad genauer charakterisiert. Hiermit ist eine verfeinerte, dem geplanten Produktionsprogramm und der Arbeitsorganisation angepasste Auswahl möglich.

Anhand einer Abschätzung der Gesamtmontagedauer auf Basis der Produktstruktur und der Produktkomplexität kann der Bewertungsumfang festgelegt werden. Als Gesamtmontagedauer wird die Summe von Primärzeit und Sekundärzeit eines Produkts verstanden. Ein kleiner Bewertungsumfang beschreibt eine Gesamtmontagedauer im Bereich bis einige Minuten, ein mittlerer Umfang liegt im Bereich zwischen Minuten und etwa einer Stunde, während ein großer Bewertungsumfang in der Regel oberhalb einer Stunde liegt. Die Grenzen zwischen den dargestellten Stufen sind aber nicht trennscharf, vielmehr gibt es Übergangsbereiche, in denen der Bewertungsumfang nicht immer eindeutig bestimmt werden kann.

Für die Bewertung der Wiederholhäufigkeit ist die geplante Jahresstückzahl eine geeignete Größe. Bei Jahresstückzahl über 50.000 Stück pro Jahr wird von einer hohen Wiederholhäufigkeit ausgegangen, unterhalb dieser Grenze sind mittlere und geringe Wiederholhäufigkeiten anzusiedeln. Nach GEHART /91, S. 13 – 17/ liegt der Übergang zwischen einer geringen und der mittleren Wiederholhäufigkeit bei einem Wert von ca. 2000 Stück pro Jahr. Für die Bewertung des Organisationsgrads stehen Entscheidungshilfen von OLBRICH /93, S. 121ff/ und GEHART /91, S. 13 – 17/ zur Verfügung (vgl. Abb. 5.6). Demnach kann anhand der in der Regel verfügbaren Auftragsinformationen, der geforderten Fertigkeiten des Montagearbeiters, der Materialbereitstellung und der Arbeitsplatzgestaltung der Organisationsgrad festgelegt werden.

		Kriterien der Arbeitsorganisation			
		Auftrags- information	Fertigkeit	Material- bereitstellung	Arbeitsplatz
Organisationsgrad	hoch	Bewegungselemente	kurzzyklischer Arbeitsablauf	Bring-Prinzip (perfektioniert)	nur für einen Arbeitsablauf detailliert gestaltet
		Bewegungsfolgen	langzyklischer Arbeitsablauf	Bring-Prinzip	für Varianten detailliert gestaltet
	mittel	Arbeitsgänge	Arbeitsplatz mit geringen Variationen	Hol-Prinzip mit Bereitstellung	Standard-Arbeitsplatz
		Arbeitsauftrag	Arbeitsplatz vielseitig	Hol-Prinzip	Universal-Arbeitsplatz
	gering	komplette Fertigung	Fachbereich	Such-Prinzip	frei gestaltet

Abb. 5.6: Ermittlung des Organisationsgrads anhand von Kriterien der Arbeitsorganisation /nach GEHART 91, S. 13 – 17/

Eine Montage mit geringem Organisationsgrad zeichnet sich in der Regel durch qualifizierte Mitarbeiter aus. Nur diese sind in der Lage, mit wenig detaillierten Informationen zur auszuführenden Aufgabe ein breites Aufgabenspektrum auszuführen. Anzutreffen ist dieser Organisationsgrad insbesondere bei geringer Wiederholhäufigkeit der Aufgabe, so dass als Zeitdatenermittlungsverfahren für eine Erstplanung z. B. das Bausteinsystem der MEK-Grundvorgänge oder die Schätzverfahren geeignet sind. Für eine Ähnlichkeitsplanung können darüber hinaus auch Planzeiten aus Vergangenheitsdaten verwendet werden. Montagen mit höherer Wiederholhäufigkeit sind in der Regel bei der Reihenmontage oder der Fließmontage anzutreffen. Die Arbeitsaufgabe wird auf mehrere Mikro-Arbeitssysteme verteilt, die detaillierter geplant und aufgabenbezogen gestaltet werden. Die sich aus der Arbeitsaufgabe ergebenden Arbeitsabläufe finden zyklisch statt. Zur zeitlichen Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten in einem solchen Montagesystem kann entweder das Bausteinsystem der Standarddaten oder das Bausteinsystem der UAS-Grundvorgänge eingesetzt werden, wobei das Bausteinsystem der Standarddaten nur bei geringem Bewertungsumfang genutzt werden sollte, da sonst der Aufwand unangemessen hoch wird.

5.4 Bestimmung der Sekundärzeiten für die Tätigkeitsausprägungen

Nach der Bestimmung geeigneter Zeitdatenermittlungsverfahren sind für alle Tätigkeitsausprägungen Zeitdaten zu erstellen. Die Vorgehensweise ist dabei abhängig vom gewählten Verfahren (vgl. Kap. 3.1). Die Form der Datenaufbereitung kann hingegen wieder allgemein beschrieben werden. Jede Tätigkeitsausprägung ist eindeutig anhand der Ausprägungen ihrer Einflussgrößen beschreibbar. Dieses gilt nicht nur für die variablen, sondern insbesondere für die fixen Einflussgrößen. Während die Beschreibung der Ausprägung der variablen Einflussgrößen erforderlich ist, um die Tätigkeitsdarstellungen untereinander abgrenzen zu können, ist die Beschreibung der fixen Einflussgrößen erforderlich, um die Tätigkeit an sich bzw. ihren Umfang darzustellen. Die Beschreibung der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten anhand ihrer Tätigkeitsausprägungen ist damit auch von Außenstehenden nachvollziehbar, was zur Erhöhung der Akzeptanz des Ergebnisses beitragen kann. Dieses ist insbesondere für die Anwendung von Schätzverfahren oder Vergangenheitsdaten wichtig, da sonst das Wissen um die Informationsgrundlage auf der die Zeitdaten entstanden sind, verloren geht. Bei der Verwendung der MTM-Systeme wird bereits verfahrensimmanent eine Vielzahl von Informationen abgelegt. Aber auch hier fördert eine nachvollziehbare Datenaufbereitung Verständlichkeit und Akzeptanz.

Sofern MTM-Systeme zur Zeitdatenermittlung zum Einsatz kommen, besteht die Möglichkeit zumindest teilweise auf Datenkataloge zurückzugreifen, die bereits für unterschiedliche Tätigkeiten (zum Teil unternehmensübergreifend) erstellt worden sind. Für das Bausteinsystem der UAS-Grundvorgänge und das Bausteinsystem der MEK-Grundvorgänge sind z. B. ein Bausteinsystem der Standardvorgänge zu Tätigkeiten wie Kontrollieren und Reinigen vorhanden. Bausteinsysteme der Standardvorgänge stellen Zeitdaten im jeweiligen System dar, die bereits für einen bestimmten Anwendungszweck erstellt wurden. Darüber hinaus stellen die MTM-Logistikdaten UAS-Analysen für Transporttätigkeiten bereit.

5.5 Ermittlung der produktspezifischen Sekundärzeit

Nach der Analyse der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten und der Ermittlung der Tätigkeitsausprägungen mit einer dazugehörigen Sekundärzeit kann eine produktbezogene Sekundärzeit ermittelt werden. Um die Ergebnisse der ersten vier Arbeitsschritte für die Zeitdatenermittlung

verfügbar zu haben, wird ein Werkzeug konzipiert, welches diese Ergebnisse systematisiert und dokumentiert. Dieses verringert den Kalkulationsaufwand für Produkte, bei denen auf die Ergebnisse der ersten vier Arbeitsschritte zurückgegriffen werden kann. Darüber hinaus wird der Aufwand für die Kalkulation mit einem EDV-gestützten Werkzeug reduziert. Zusätzlich sind die Ergebnisse durch das standardisierte Vorgehen bei der Zeitdatenermittlung gut miteinander vergleichbar.

Ist weiterhin durch das Werkzeug die Genauigkeit des Planungsergebnisses beeinflussbar, kann auch der erforderliche Kalkulationsaufwand variiert werden, da sich Genauigkeit und Arbeitsaufwand des Montageplaners in der Regel bedingen. Durch gezielte Vorgaben steuert der Montageplaner somit seinen Aufwand bzw. die Genauigkeit seines Ergebnisses.

Durch eine geeignete Konstruktion des Werkzeugs können neben produktbezogenen Aussagen zu nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zusätzliche Erkenntnisse ohne Mehraufwand erzielt werden. Grundsätzlich liegen dem Montageplaner durch die Anwendung des Werkzeugs Zeitdaten für das Produkt und dessen Baugruppen vor. Hierauf aufbauend können Montagekosten kalkuliert werden und bei der Planung berücksichtigt werden. Durch einen geschickten Aufbau des Werkzeugs können dem Planer zusätzlich Informationen über die bei der Montage auszuführenden Prozesse aufbereitet werden. Nicht wertschöpfende Prozesse, die einen erheblichen zeitlichen Umfang ausmachen, werden identifiziert. Verbesserungen in der Montageplanung können somit gezielt auf diese nicht wertschöpfenden Tätigkeiten mit großem Optimierungspotenzial ausgerichtet werden.

Des Weiteren bietet die Umsetzung in einem Werkzeug die Möglichkeit, zusammen mit der Methode von Kief ein übergreifendes Werkzeug zu entwickeln, welches für die produktbezogene Ermittlung sowohl von Primärzeiten als auch von Sekundärzeiten geeignet ist. Der Montageplaner kann dann den gesamten Montageumfang zeitlich und damit hinsichtlich der Montagekosten bewerten.

6 Konzeption eines Werkzeugs zur produktspezifischen Sekundärzeitermittlung

Für die Ermittlung von produktbezogenen Zeitdaten für nicht wertschöpfende Tätigkeiten wird ein Werkzeug konzipiert, welches eine schnelle und eindeutige Datenerfassung und -verarbeitung gewährleistet. Das Werkzeug soll dabei unabhängig vom zu bewertenden Produkt und den nicht wertschöpfenden Tätigkeiten genutzt werden können. Es stellt damit einen Ordnungsrahmen dar, der für die aufwandsarme und strukturierte Ermittlung von Sekundärzeiten angewendet werden kann und innerhalb dessen die produktspezifische Verwendung von Zeitdaten erfolgt. Das Grundprinzip der Zeitdatenermittlung ist damit produktunabhängig, während die für die Kalkulation verwendeten Daten vom jeweiligen Produkt beeinflusst sind. Bei der Konzeption ist zu berücksichtigen, dass das Werkzeug in der Planungsphase eingesetzt werden soll. Hieraus ergeben sich zu berücksichtigende Anforderungen, die im Folgenden beschrieben werden.

6.1 Anforderungen an ein Werkzeug

Die Anforderungen an ein Werkzeug zur produktbezogenen Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten sind vergleichbar mit den Anforderungen, die an die Zeitermittlungsverfahren gestellt werden, mit denen nicht wertschöpfenden Tätigkeiten Zeitdaten zugeordnet werden (vgl. Kap. 3.2). Von den aufgeführten Anforderungen sind insbesondere die Kriterien Reproduzierbarkeit und Aufwand hervorzuheben. Die Reproduzierbarkeit beschreibt dabei die Vorgabe, dass unterschiedliche Planer für dasselbe Produkt das gleiche Ergebnis erlangen. Der Aufwand bezieht sich auf den Umfang an Mitarbeiterkapazität, die erforderlich ist, um ein Produkt zu bewerten. Eng verbunden mit dem Aufwand für die Werkzeugnutzung ist die Anforderung, Veränderungen der Planungsbasis einfach einpflegen und dokumentieren zu können. Für den produktübergreifenden Einsatz des Werkzeugs ist es erforderlich, den

Aufbau so zu wählen, dass er erweiterbar und damit anpassbar auf unterschiedliche Produkte und Montagesysteme in verschiedenen Unternehmen und deren Anforderungen an die Zusammenstellungen von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten ist.

6.2 Analyse der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten

Für die Zeitdatenermittlung ist es sinnvoll, die vorgestellten nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zu analysieren, um Ähnlichkeiten und Unterschiede herauszuarbeiten, die als Grundlage für die Struktur des Werkzeugs genutzt werden können. Die Analyse erfolgt dabei anhand der beiden Kriterien „*Beziehung zwischen dem Montageobjekt und den nicht wertschöpfenden Tätigkeiten*“ und „*Häufigkeit einer nicht wertschöpfenden Tätigkeit bei einem Montageobjekt*“. Bei der Analyse der Beziehung zwischen dem Montageobjekt und den nicht wertschöpfenden Tätigkeiten wird dargestellt, ob und wenn ja in welcher Form nicht wertschöpfende Tätigkeiten einem Bauteil, einer Baugruppe oder dem kompletten Produkt (allgemein Montageobjekt) zugeordnet werden können. Der Faktor Häufigkeit beschreibt den Anteil der nicht wertschöpfenden Tätigkeit je Montageobjekt. Während beispielsweise bei einer Funktionsprüfung in der Regel jeweils nur ein Montageobjekt geprüft wird, werden speziell Transporte zwischen Makro-Arbeitssystemen auch für eine zusammengefasste Menge von Montageobjekten durchgeführt.

6.2.1 Beziehung zwischen dem Montageobjekt und den nicht wertschöpfenden Tätigkeiten

Ziel der Analyse ist es zu ermitteln, in welcher Form ein Montageobjekt (Bauteil, Baugruppe oder fertiges Produkt) mit nicht wertschöpfenden Tätigkeiten in Bezug steht. Hierzu wird zuerst die Beziehung zwischen Montageobjekt und wertschöpfenden Tätigkeiten betrachtet und geprüft, ob sich hieraus auch Schlussfolgerungen für nicht wertschöpfende Tätigkeiten ergeben. Es zeigt sich, dass eine wertschöpfende Tätigkeit in der Montage im Allgemeinen durch das konstruktiv bedingte Zusammenspiel zweier (oder mehr) Bauteile/Baugruppen hervorgerufen wird. Beispielsweise sind für die Tätigkeit „Einlegen“ mindestens zwei Fügepartner erforderlich, ein (passives) Basisteil und ein weiteres (aktives) Teil, welches in das Basisteil eingelegt wird /vgl. KIEF 02, S. 101/. Wertschöpfende Tätigkeiten zeigen somit eine Beziehung zwischen Montageobjekten auf. Für nicht wertschöpfende Tätigkeiten ist

dieser Bezug nicht notwendigerweise vorhanden. Es existieren sowohl Tätigkeiten mit Bezug zum Montageobjekt wie beispielsweise das Kontrollieren als auch solche ohne Bezug wie das Rüsten, dessen Vorhandensein nicht aus der Beschreibung eines Montageobjekts abgeleitet oder begründet werden kann. Daher muss bei der Konzeption des Werkzeugs berücksichtigt werden, dass es nicht immer einen Zusammenhang zwischen charakteristischem Merkmal und einer nicht wertschöpfenden Tätigkeit gibt.

Nicht wertschöpfende Tätigkeiten mit Bezug zum Montageobjekt

Da sowohl wertschöpfende als auch nicht wertschöpfende Tätigkeiten mit Montagebezug vorkommen, ist eine weitere Abgrenzung vorzunehmen. Neben der inhaltlichen Abgrenzung anhand der Definition der Wertschöpfung bzw. Nicht-Wertschöpfung (s. Kap. 4) kann auch die Art der Beziehung zwischen Tätigkeit und Montageobjekt als Kriterium genutzt werden. Während wertschöpfende Tätigkeiten – wie oben dargestellt – im Allgemeinen zwei oder mehr Montageobjekte miteinander verknüpfen, entstehen durch nicht wertschöpfende Tätigkeiten keine Relationen zwischen Montageobjekten: Sie können eindeutig einem einzelnen Montageobjekt zugeordnet werden. So kann das Verwenden einer Montagehilfe, z. B. in Form einer Einbauschablone, immer mit einem bestimmten Bauteil in Bezug gesetzt werden. Das Gleiche gilt z. B. auch für Prüftätigkeiten, die als Sichtprüfung an einem Bauteil oder als Funktionsprüfung an einer Baugruppe durchgeführt werden können.

Eine nähere Analyse zeigt, dass für diese Tätigkeiten nicht nur ein Bezug zu dem Montageobjekt festgestellt werden, es kann darüber hinaus weiter eingeschränkt werden, ob diese in der Regel für ein Bauteil, eine Baugruppe oder das Produkt in Betracht kommt (vgl. Abb. 6.1).

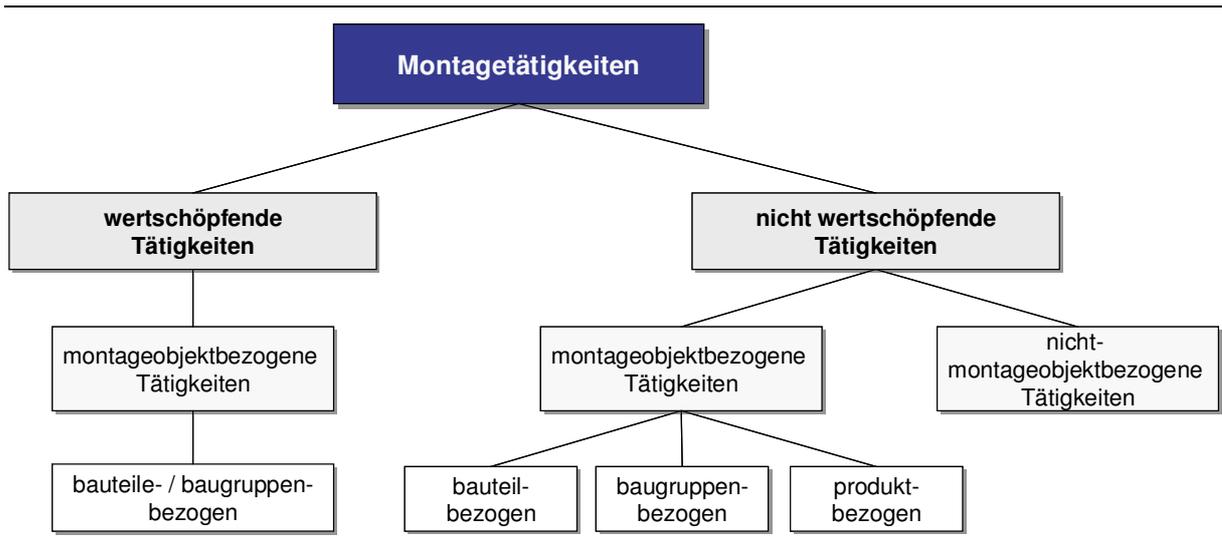


Abb. 6.1: Gliederung von Montagetätigkeiten anhand deren Beziehung zum Montageobjekt

Tätigkeiten wie das Bereitstellen von Teilen können beispielsweise nur in Verbindung mit einem Bauteil auftreten (Fremdgefertigte Baugruppen werden wie Einzelteile betrachtet. Das Bereitstellen von Baugruppen aus Mikro- oder Marko-Arbeitssystemen ist als Montageobjekttransport separat beschrieben.). Falls für einzelne Tätigkeiten dieser Bezug nicht eindeutig vorgenommen werden kann, ist zu prüfen, ob nicht zumindest die Tätigkeitsausprägungen bauteil-, baugruppen- oder produktspezifisch sind. Beispielsweise werden komplexere Prüfungen vielfach an Baugruppen oder Produkten durchgeführt, jedoch nicht an Bauteilen.

Wenn ein Bezug zwischen Montageobjekt und nicht wertschöpfender Tätigkeit vorliegt, ist es nahe liegend, zur Beschreibung der Tätigkeitsausprägungen insbesondere auch Produktinformationen zu nutzen. Von der zustandsorientierten Darstellung eines Produkts sind beispielsweise Zusammenbauzeichnungen und von der vorgangsorientierten Darstellung z. B. Vorranggraphen von Interesse. Das geplante Produktionsprogramm oder andere Informationsquellen sind hierfür in der Regel nur zweitrangig (vgl. Abb. 6.2 in Anlehnung an Abb. 2.13). Für die Ermittlung von Zeitdaten für wertschöpfende Tätigkeiten werden vornehmlich vorgangsorientierte Darstellungen des Produkts verwendet, während bei nicht wertschöpfenden Tätigkeiten der Schwerpunkt bei den zustandsorientierten Daten liegt.

Von den im Rahmen der Arbeit behandelten nicht wertschöpfenden Tätigkeiten (vgl. Abb. 4.6) können in der Regel das Handhaben von Verpackungen, der Transport innerhalb eines Mikro-Arbeitssystems, das Kontrollieren, das Reinigen, das Justieren, das Verwenden von Montagehilfen sowie das Dokumentieren Montageobjekten zugeordnet werden. Das Justieren wird dabei üblicherweise nur für Baugruppen oder Produkte angewendet.

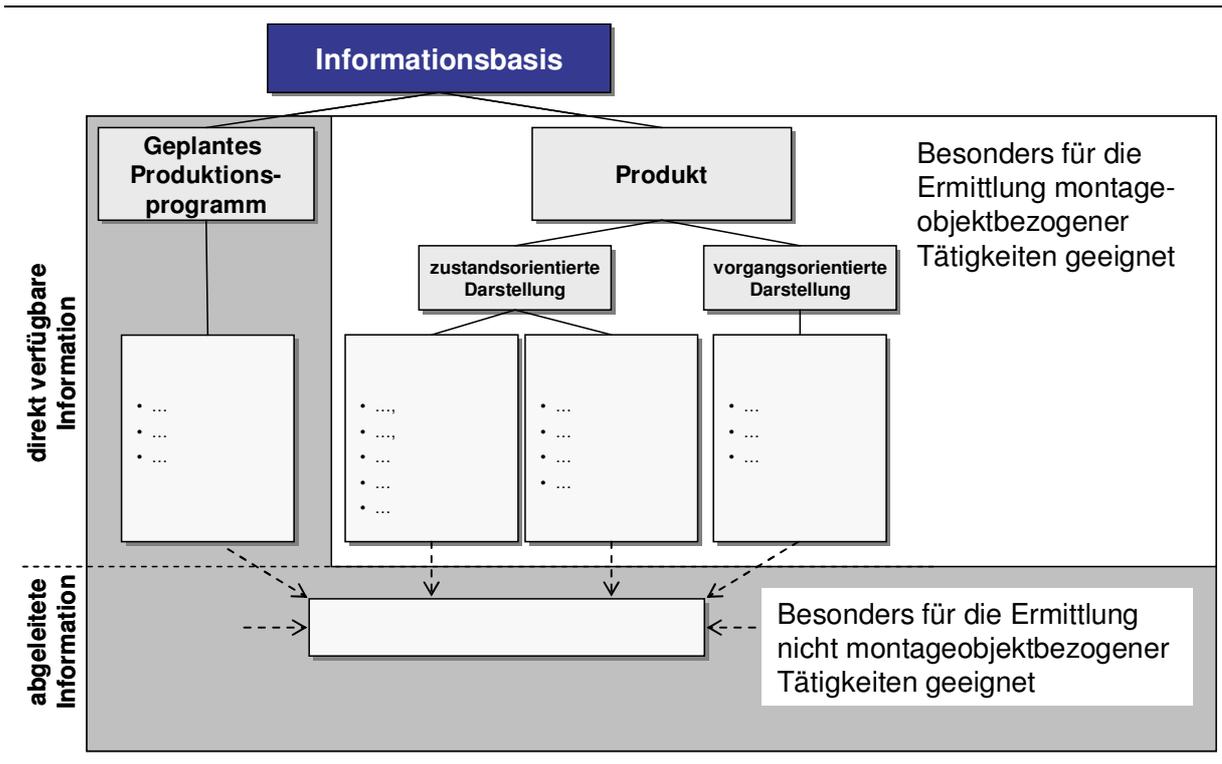


Abb. 6.2: Die Informationsgrundlage zur zeitlichen Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten

Nicht wertschöpfende Tätigkeiten ohne Bezug zum Montageobjekt

Nicht wertschöpfende Tätigkeiten, die nicht direkt mit dem Montageobjekt in Verbindung stehen, haben ihren Ursprung ausschließlich in der geplanten Arbeitsorganisation. Im Gegensatz zu montageobjektbezogenen Tätigkeiten, deren Auftreten im Allgemeinen aus Eigenschaften des Montageobjekts abgeleitet werden, ist dieses bei Tätigkeiten mit der Arbeitsorganisation als Ursprung nicht der Fall. Somit können diese Tätigkeiten auch ohne detaillierte Informationen zum Produkt bzw. zu dessen Baugruppen und Bauteilen beschrieben werden. Allerdings sind Produktinformationen zumindest mittelbar erforderlich, da für die Ermittlung der geplanten Form der Arbeitsorganisation auf sie zurückgegriffen wird (vgl. Abb. 6.2).

Als Beispiele für nicht wertschöpfende Tätigkeiten mit Bezug zur Arbeitsorganisation können der Transport eines Montageobjekts zwischen zwei Arbeitssystemen und das Rüsten genannt werden. Der Transport entsteht aufgrund der Organisationsform in der Montage bzw. der geplanten Form der Arbeitsteilung. Während bei der Baustellenmontage oder der Einzelplatzmontage das Produkt bis zu seiner Fertigstellung das Arbeitssystem nicht verlässt, sind Transporte normaler Bestandteil der Fließfertigung. Auch das Rüsten von Mikro-Arbeitssystemen lässt sich aus der Arbeitsorganisation ableiten. Nur bei einer Nutzung eines Arbeitssystems für unterschiedliche Montageobjekte entsteht ein Rüstaufwand. Aus der Gruppe der vorgestellten

nicht wertschöpfenden Tätigkeiten (vgl. Abb. 4.6) sind in der Regel das Transportieren zwischen Arbeitssystemen sowie das Rüsten ohne direkte Abhängigkeit vom Montageobjekt. Sofern Abtaktverluste und Nacharbeiten berücksichtigt werden sollen, würden diese auch dazuzählen.

6.2.2 Die Häufigkeit einer nicht wertschöpfenden Tätigkeit an einem Montageobjekt

Der Faktor Häufigkeit stellt ein Bindeglied zwischen der Sekundärzeit einer nicht wertschöpfenden Tätigkeit und der produktbezogenen Sekundärzeit dar. Bei der Beschreibung nicht wertschöpfender Tätigkeiten ist die Anzahl der Montageobjekte, für die diese Tätigkeit ausgeführt wird, nicht in jedem Fall von Bedeutung. Dementsprechend ist auch die Zeitdauer einer Tätigkeitsausprägung nicht immer auf die Anzahl der Montageobjekte bezogen. Beispielsweise ist für die zeitliche Bewertung des Wechsels eines Ladungsträgers die Anzahl im Ladungsträger befindlicher Bauteile in der Regel nicht entscheidend. Die Sekundärzeit wird hierbei vor allem vom zurückzulegenden Weg und vom verwendeten Ladungsträger beeinflusst.

Im Rahmen der produktbezogenen Zeitdatenermittlung, aber auch für die Kostenkalkulation eines Angebots ist es hingegen üblich, Zeit- und Kostendaten auf eine Referenzmenge von Produkten zu beziehen. Bei Zeitdaten wird vielfach die Referenzmenge „eins“ gewählt. Daher werden alle nicht wertschöpfenden Tätigkeiten auf diese Referenzmenge mit Hilfe des Faktors Häufigkeit normiert. Für die Ermittlung einer produktbezogenen Sekundärzeit in dem angeführten Beispiel ist der Gesamtaufwand daher nur partiell zu berücksichtigen, indem die Zeitdauer für das Wechseln des Ladungsträgers anteilig auf alle bewegten Teile verrechnet wird. In diesem Fall ist der Wert für α in Abb. 6.3 kleiner eins. Neben Tätigkeiten, die nur teilweise auf ein Produkt verrechnet werden, kann es auch vorkommen, dass eine nicht wertschöpfende Tätigkeit mehrfach je Montageobjekt auszuführen ist. Auch hierbei wird auf die Referenzmenge normiert, wobei die Tätigkeitsdauer in diesem Fall mehrfach zu berücksichtigen ist. Der Wert für α in Abb. 6.3 ist größer eins. Wird die Ausführungszeit für ein Sichtprüfen beispielsweise je Merkmal ermittelt, wobei bei einem Montageobjekt aber zwei Merkmale zu prüfen sind, so ist die Tätigkeit für das Montageobjekt doppelt zu bewerten.

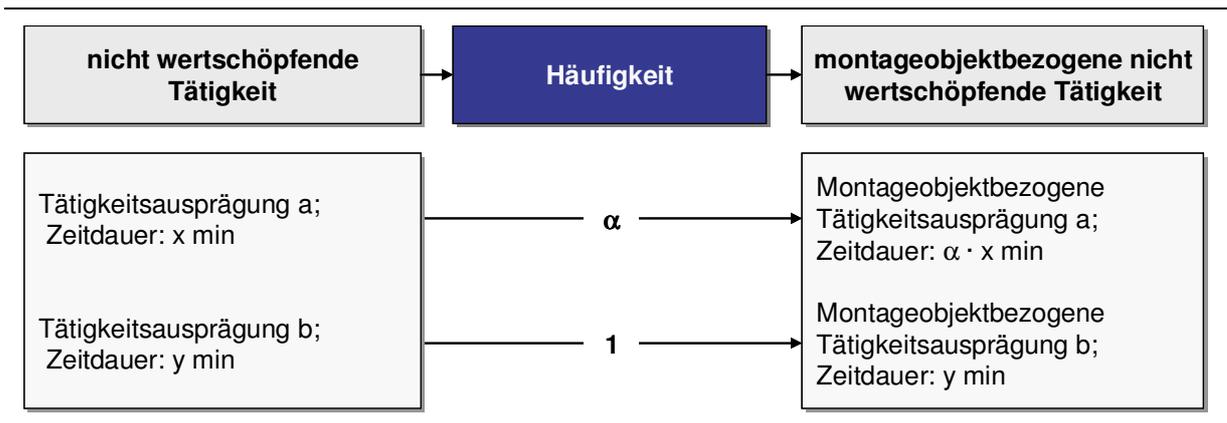


Abb. 6.3 Der Faktor Häufigkeit als verbindendes Element zwischen Tätigkeit und Referenzmenge

Der Faktor Häufigkeit, der die nicht wertschöpfende Tätigkeit mit der produktbezogenen nicht wertschöpfenden Tätigkeit verbindet, kann somit sowohl den Wert eins annehmen, aber auch größer oder kleiner sein. Mit ihm wird beschrieben, wie oft eine nicht wertschöpfende Tätigkeit für ein Montageobjekt auszuführen ist. Für das Beispiel der Teilebereitstellung ist der Faktor in der Regel kleiner oder gleich eins, während für das Beispiel des Sichtprüfens der Faktor in der Regel größer oder gleich eins ist. In der Mehrzahl der Fälle wird die Häufigkeit den Wert „eins“ annehmen, daher ist dieser Fall in Abb. 6.3 mit aufgenommen worden.

6.3 Das Werkzeug zur Sekundärzeitermittlung

Ausgehend von den beschriebenen Eigenschaften der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten wird ein Konzept für ein Werkzeug erstellt, welches sich für die Ermittlung produktbezogener Sekundärzeiten eignet. Aufgrund des unterschiedlichen Bezugs zwischen den nicht wertschöpfenden Tätigkeiten und den Montageobjekten wird ein zweiteiliges Werkzeug konzipiert. Die Bewertung von Tätigkeiten mit bzw. ohne Montageobjektbezug erfolgt in getrennten Matrizen, da unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Zeitdatenermittlung erforderlich sind. Eine Matrix stellt in der Mathematik eine Anordnung von Objekten in Tabellenform dar. Sie eignet sich besonders zur übersichtlichen Darstellung großer Datenmengen und erleichtert damit Rechen- und Gedankenvorgänge /DUDEN 99/. Die kompakte Schreibweise sowie das rechteckige Zahlenschema sind weitere Vorteile. Die Matrix in zweidimensionaler Darstellungsform bietet sich daher besonders für die produktbezogene Ermittlung von Sekundärzeiten an.

6.3.1 Matrix zur produktbezogenen Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten mit Montageobjektbezug

Für das Aufstellen einer Matrix zur Ermittlung von Sekundärzeiten sind Tätigkeiten und Montageobjekte die zu betrachtenden Größen. Durch die Struktur der Matrix wird der Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen klar ersichtlich. Zu dieser Struktur ist eine Vorgehensweise zu erstellen, die die fehlerfreie Ermittlung von produktbezogenen Sekundärzeiten gewährleistet.

6.3.1.1 Struktur der Matrix

Die Struktur der Matrix beschreibt die Zuordnung von Informationen von Zeilen zu Spalten. Das Produkt wird in einer Dimension (Zeilen) und die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten in der anderen Dimension (Spalten) dargestellt. Jedes Element der Matrix ist als Schnittpunkt zwischen einer Zeile und einer Spalte definiert und stellt somit die Beziehung zwischen einem Montageobjekt und einer nicht wertschöpfenden Tätigkeit dar.

Zur Beschreibung des Produkts in der Planungsphase sind sowohl Informationen zur zustandsorientierten wie auch zur vorgangsorientierten Darstellung verfügbar (Abb. 2.13). Da die Zuordnung von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten für jedes Montageobjekt separat erfolgt, wird für die Darstellung des Produkts in der Matrix eine zustandsorientierte Sichtweise verwendet. Dieses schließt jedoch nicht aus, dass bei der Bewertung der Montageobjekte auch Informationen zum Montagevorgang beispielsweise in Form einer Montageablaufbeschreibung genutzt werden. Als Informationsträger für eine zustandsorientierte Produktbeschreibung bieten sich beispielsweise Stücklisten an. Sie beinhalten eine vollständige Aufstellung aller Teile und Baugruppen und reduzieren somit das Risiko, Montageobjekte bei der Bewertung zu vergessen.

Da in der vorangegangenen Analyse nicht wertschöpfende Tätigkeiten identifiziert wurden, die sich nicht nur auf Bauteile sondern auch auf Baugruppen oder das Produkt beziehen können, ist für die Darstellung des Produkts die alleinige Aufführung aller seiner Bauteile nicht ausreichend. Baugruppen, die sich aus der Montage von Bauteilen (oder anderen Baugruppen) ergeben, sind zusätzlich aufzuführen und kenntlich zu machen. Die Matrix muss somit für eine vollständige Zeitdatenermittlung die gesamte Produktstruktur widerspiegeln. Die Produktstruktur, auch Produktgliederung genannt, stellt die Strukturbeziehungen von

Bauteilen und Baugruppen dar, die diese zu einem Produkt werden lassen. Es bietet sich an, für die Beschreibung des Produkts Baukasten- oder Strukturstücklisten (vgl. /DIN 199/) zu verwenden, da diese bereits die Produktstruktur dokumentieren. Aus den Stücklisten lassen sich somit für alle Produktbestandteile Angaben über die Hierarchieebene, in der die Baugruppe oder das Einzelteil verwendet werden, machen.

Der Bezug zwischen Montagobjekt und nicht wertschöpfender Tätigkeit in der Matrix wird in Abb. 6.4 nur qualitativ dargestellt. Das „x“ ist als Platzhalter für eine komplexere Beziehung zwischen Montageobjekt und Tätigkeit zu betrachten, während in Felder ohne „x“ bei diesem Produkt keine Beziehung zwischen dem Montageobjekt und der entsprechenden Tätigkeit besteht. Für die produktbezogene Ermittlung der Sekundärzeit sind alle Feld mit einem „x“ mit einem Zeitwert für die montageobjektbezogene Tätigkeitsausprägung für dieses Montageobjekt zu belegen. Der Zeitwert ergibt sich dabei aus dem Produkt der Zeitdauer der nicht wertschöpfenden Tätigkeit und der in Kap. 6.2.2 eingeführten Häufigkeit.

	Tätigkeit 1				Tätigkeit 2				...				Tätigkeit j			
	Tätigkeitsausprägung 1	Tätigkeitsausprägung 2	...	Tätigkeitsausprägung q	Tätigkeitsausprägung 1	Tätigkeitsausprägung 2	...	Tätigkeitsausprägung q	...	...	...	...	Tätigkeitsausprägung 1	Tätigkeitsausprägung 2	...	Tätigkeitsausprägung q _j
Montageobjekt 1		x														
Montageobjekt 2								x						x		
⋮																
Montageobjekt i																
⋮																
Montageobjekt n								x					x			

Legende: x = Platzhalter für auszuführende Tätigkeitsausprägungen

Abb. 6.4: Allgemeine Form der Matrix zur Kalkulation montageobjektbezogener Sekundärzeiten

Die Zuordnung einer Tätigkeitsausprägung zu einem Montageobjekt erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird die nicht wertschöpfende Tätigkeit ermittelt (z. B. Tätigkeit 1 = Reinigen), im Anschluss wird die Tätigkeitsausprägung festgelegt (z. B. Tätigkeitsausprägung 2 = kleine Fläche mit einem Lappen reinigen) und damit der Platzhalter „x“ gesetzt.

Da die Ermittlung von Sekundärzeiten zeilenweise für jeweils ein Montageobjekt durchgeführt wird, Produkte und Baugruppen aber durchaus mehrere gleiche Teile beinhalten können

(z. B. Schrauben, Muttern, Lager), wird, wie in der Stückliste, die Menge gleicher Teile mit aufgenommen. In der Matrix geschieht dieses durch den Faktor Anzahl, der im Gegensatz zur Mengenangabe in der Stückliste nicht einmalig, sondern für jede nicht wertschöpfende Tätigkeit anzugeben ist. Dieses ist erforderlich, da der Wert für Anzahl bei der Ermittlung von Sekundärzeiten nicht zwingend mit der in der Stückliste angegebenen Menge übereinstimmen muss, sondern tätigkeitsabhängig variieren kann. So ist beispielsweise davon auszugehen, dass bei mehreren identischen Bauteilen nur für das erste Teil eine Identitätsprüfung im Sinne einer Stichprobenprüfung vorgenommen wird, während ein Reinigen der gleichen Bauteile vor der Montage in der Regel an allen Teilen ausgeführt wird. Da der Faktor Anzahl – ähnlich wie der Faktor Häufigkeit – auf die montageobjektbezogene Sekundärzeit wirkt, ist dieser ebenfalls bei der Sekundärzeitermittlung zu berücksichtigen. Für das weitere Vorgehen werden die Faktoren Anzahl und Häufigkeit als so genannte Spezifizierungsfaktoren bezeichnet, da beide zusammen die Beziehung zwischen einem Montageobjekt und einer nicht wertschöpfenden Tätigkeit spezifizieren.

Ein Ausschnitt einer Matrix mit beispielhaften Tätigkeiten und Tätigkeitsausprägungen ist in Abb. 6.5 dargestellt.

		Bauteilbezogene nicht wertschöpfende Tätigkeiten																								
		Das Öffnen von Transportverpackungen						Das Handhaben von Schutzmitteln und Einsätzen					...													
Bezeichnung	Menge	Anzahl	Häufigkeit	Faltschachtel ohne Werkzeug		Faltschachtel mit Werkzeug		Beutel ohne Werkzeug		Beutel mit Werkzeug		Zwischenergebnis	Anzahl	Häufigkeit	Zwischenlage		Einschlagpapier/Folie		Schutzkappe/Schutzstopfen	Zwischenergebnis	Anzahl	Häufigkeit	...			Zwischenergebnis
				klein	groß	klein	groß	klein	groß	klein	groß				klein	groß	klein	groß					...	...	...
				80 TMU	90 TMU	215 TMU	250 TMU	95 TMU	140 TMU	50 TMU	75 TMU				115 TMU	210 TMU	60 TMU	115 TMU					...	...	...
Produkt	1																									
Baugruppe 1	1																									
Bauteil 1	2	2	0.1				250 TMU				50 TMU															
Bauteil 2	1	1	1	80 TMU							80 TMU	1	1			115 TMU				115 TMU						
Bauteil 3	1																									
Baugruppe 2	1																									
Bauteil 1	1	1	0.1				250 TMU				25 TMU	1	0.2	50 TMU						10 TMU						
Bauteil 4	5	5	0.1					95 TMU			48 TMU															
Bauteil 5	1																									
Baugruppe 3	1																									
Bauteil 7	1																									
Bauteil 8	1											1	1							60 TMU	60 TMU					

Abb. 6.5: Beispielhafter Ausschnitt einer produktbezogenen Matrix zur Sekundärzeitermittlung

Als Tätigkeiten sind in dem Beispiel zwei der bereits in Abb. 4.6 zusammengefassten nicht wertschöpfenden Tätigkeiten dargestellt. Die dazugehörigen Tätigkeitsausprägungen sind aus der in Kap. 4.2.3 durchgeführten Analyse der Einflussgrößen exemplarisch abgeleitet worden. Die Einflussgröße Hauptabmessung ist in dem Beispiel durch die Ausprägungen „groß“ und „klein“ charakterisiert. Der Platzhalter „x“ aus Abb. 6.4 wurde durch den Zeitwert für die

Tätigkeitsausprägung für ein Montageobjekt sowie die Werte für die Faktoren Anzahl und Häufigkeit ersetzt. Alle Zeitdaten sind in TMU (Time Measurement Unit, 28 TMU = 1 s) angegeben, eine Zeiteinheit, die von den MTM-Analysiersystemen genutzt wird. Das Zwischenergebnis je Tätigkeit beinhaltet die Sekundärzeit eines Montageobjekts für eine bestimmte nicht wertschöpfende Tätigkeit unter Beachtung der Faktoren Anzahl und Häufigkeit. An einem Beispiel kann dieses verdeutlicht werden. Das Bauteil 4, welches bei der Montage fünffach verwendet wird, wird in einem Beutel angeliefert. Der Faktor Anzahl hat somit den Wert fünf. Da dieser Beutel zehn Bauteile enthält, ist je Bauteil nur ein Zehntel der Tätigkeitsdauer für die nicht wertschöpfende Tätigkeit des Öffnens einer Transportverpackung zu berücksichtigen. Entsprechend wird für den Faktor Häufigkeit der Wert 0,1 verwendet worden. Für das Öffnen eines Beutels ohne Werkzeug ist bauteilunabhängig eine Zeit von 95 TMU ermittelt worden. Mit den Faktoren und der Tätigkeitsdauer für das Öffnen ergibt sich eine auf 48 TMU gerundete Sekundärzeit als Zwischenergebnis. Das Zwischenergebnis beschreibt somit die Sekundärzeit, die das Bauteil 4 für die betrachtete Tätigkeit zur Sekundärzeit des Produkts beiträgt. Werden alle Zwischenergebnisse eines Bauteils summiert, ergibt sich der bauteilbezogene Sekundärzeitanteil am Produkt.

6.3.1.2 Vorgehensweise zur produktspezifischen Ermittlung einer Sekundärzeit mit der Matrix

Würde das dargestellte Werkzeug als papiergestützte Matrix verwendet, ergäbe sich ein erheblicher Aufwand für die Ermittlung der produktbezogenen Sekundärzeit. Da die Umsetzung der Matrix z. B. in einem Tabellenkalkulationsprogramm heutzutage kaum Mehraufwand bedeutet, wird im Weiteren eine Vorgehensweise vorgestellt, mit der die Sekundärzeit eines Produkts rechnerunterstützt aufwandsärmer ermittelt werden kann, indem Rechenoperationen automatisiert durchgeführt werden.

Das Ausfüllen der Matrix kann prinzipiell zeilenweise oder spaltenweise erfolgen. Für die Ermittlung der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten wird empfohlen, die Matrix zeilenweise zu bearbeiten, da in der Regel die verfügbaren Informationen montageobjektbezogen vorliegen. Das Abarbeiten aller zu einem Montageobjekt vorliegenden Informationen ist im Allgemeinen weniger aufwändig und fehleranfällig als die tätigkeitsorientierte Durchsicht aller Informationsträger.

Bei einer papiergestützten Kalkulation – also von Hand ausgeführt – müsste der Montageplaner für jedes Montageobjekt entscheiden, ob eine der aufgeführten nicht wertschöpfende Tätigkeiten auftritt, wie die Faktoren Anzahl und Häufigkeit ausgeprägt sind und welche Tätigkeitsausprägung vorliegt. Liegen alle Informationen vor, ist die produktbezogene Sekundärzeit zu errechnen. Durch eine rechnergestützte Variante kann der Aufwand reduziert werden. Einerseits indem das Berechnen automatisiert abläuft, wichtiger ist aber, dass andererseits mit der Rechnerunterstützung eine Vorgehensweise realisiert werden kann, die den Aufwand für die Informationsbeschaffung reduziert. Durch mathematische Operationen kann nach der Ermittlung von Basisinformationen bestimmt werden, welche weiterführenden Informationen für die Sekundärzeitermittlung erforderlich sind und auf welche verzichtet werden kann, ohne die Vorgabe an die Genauigkeit des Ergebnisses zu verletzen. Möglich ist dieses, da in der Planungsphase die Genauigkeitsanforderung an das Ergebnis eine Abweichung von bis zu zwölf oder dreizehn Prozent vom realen Zeitwert durchaus erlaubt ist (vgl. Abb. 3.5). Dieser Spielraum kann vor allem dann genutzt werden, wenn die Tätigkeitsausprägungen mit MTM-Systemen zeitlich bewertet werden, da diese Systeme eine geringe Streuung des systemimmanenten Fehlers aufweisen. Die Summe aus systemimmanentem Fehler und Anwendungsfehler bildet den Gesamtfehler für den die oben aufgeführte Genauigkeitsanforderung gilt. Ein geringer systemimmanenter Fehler erlaubt demnach eine hohe Streuung des Anwendungsfehlers bei einem vorgegebenen maximalen Gesamtfehler. Bei geschätzten Zeitdaten ist die Streuung des systemimmanenten Fehlers größer als bei den MTM-Systemen, so dass die Genauigkeit bei der Verwendung einer vereinfachten Kalkulation reduziert ist. Der systemimmanente Fehler, auch Systemfehler genannt, bezeichnet die durch die Methode zur Zeitdatenermittlung an sich bedingte Unschärfe bzw. Streuung des Ergebnisses. Der Systemfehler entsteht, indem z. B. Vereinfachungen vorgenommen werden, beispielsweise durch die Vernachlässigung von weniger bedeutenden Einflussgrößen. Die unterschiedlichen Methoden zur Zeitdatenermittlung weisen dabei eine unterschiedlich starke Streuung des Systemfehlers auf.

Ausgangspunkt für vereinfachte Sekundärzeitermittlung ist die Frage, in welcher Form die produktbezogene Sekundärzeit beeinflusst wird, sofern zur Reduzierung des Aufwands nicht alle Informationen erhoben werden. Da die Faktoren Anzahl und Häufigkeit in der Regel einfacher zu ermitteln sind als die konkrete Tätigkeitsausprägung, gilt es insbesondere deren Ermittlungsaufwand zu reduzieren. Würde für die Montageobjekte zwar eine Tätigkeit benannt, aber die Tätigkeitsausprägung nicht festgelegt sein, ist kein definierter Zeitwert mehr

verfügbar, sondern nur noch ein Zeitintervall. Die Zeitwerte der Intervallgrenzen sind von der Dauer der unterschiedlichen Tätigkeitsausprägungen einer Tätigkeit abhängig. Da sowohl die Tätigkeitsdauern der Tätigkeitsausprägungen unterschiedlicher Tätigkeiten verschieden sind als auch die Spezifizierungsfaktoren je Montageobjekt und Tätigkeit variieren, ergeben sich in der Matrix als Zwischenergebnisse unterschiedliche Zeitintervalle (vgl. Abb. 6.6).

Bezeichnung		Menge		Bauteilbezogene nicht wertschöpfende Tätigkeiten																
				Das Öffnen von Transportverpackungen								...								
				Anzahl	Häufigkeit	Faltschachtel ohne Werkzeug		Faltschachtel mit Werkzeug		Beutel ohne Werkzeug		Beutel mit Werkzeug		Zwischenergebnis	Anzahl	Häufigkeit	...			Zwischenergebnis
						klein	groß	klein	groß	klein	groß	klein	groß				
		80 TMU	90 TMU	215 TMU	250 TMU	95 TMU	140 TMU													
Produkt	1																			
Baugruppe 1	1																			
Bauteil 1	2	2	0.1	80 TMU - 250 TMU						16 TMU - 50 TMU										
Bauteil 2	1	1	1	80 TMU - 250 TMU						80 TMU - 250 TMU										
Bauteil 3	1																			
Baugruppe 2	1																			
Bauteil 1	1	1	0.1	80 TMU - 250 TMU						8 TMU - 25 TMU										
Bauteil 4	5	5	0.1	80 TMU - 250 TMU						40 TMU - 125 TMU										
Bauteil 5	1																			
Baugruppe 3	1																			
Bauteil 7	1																			
Bauteil 8	1																			

Abb. 6.6: Ausschnitt eines Beispiels für montageobjektbezogenen Zeitintervalle einer Tätigkeit

Werden die jeweils kleinsten bzw. größten Werte der einzelnen Zeitintervalle summiert, ergeben sich die minimale bzw. maximale Sekundärzeit für ein Produkt, für das keine Tätigkeitsausprägungen ermittelt wurden. Da die Abweichung zwischen diesen beiden Zeiten erheblich ist – der maximale Wert stellt in der Regel ein Mehrfaches des minimalen Wertes dar (vgl. Abb. 6.6) – kann festgestellt werden, dass die ausschließliche Beschreibung der Tätigkeiten nicht ausreicht, um die geforderte Genauigkeit zu erreichen. Es sind zusätzliche Informationen zu den Tätigkeitsausprägungen erforderlich.

Im Weiteren wird ein Lösungsansatz vorgestellt, der es erlaubt, nur für einen Teil der Tätigkeiten die Tätigkeitsausprägungen bestimmen zu müssen und trotzdem eine produktbezogene Sekundärzeit zu ermitteln, die den Genauigkeitsanforderungen genügt. Um dieses zu erreichen ist ein Kriterium zu entwickeln; anhand dessen festgelegt werden kann, für welche Tätigkeiten weitergehende Informationen erforderlich sind. Hierzu wird die Streuung der Tätigkeitsdauer als geeignete Größe verwendet. Wesentlich für die Genauigkeit einer Zeitdatenermittlung ist die Abweichung zwischen dem ermittelten Wert und dem wahren Wert. Diese Abweichung

kann umso größer ausfallen je mehr der einzelne Zeitwert innerhalb einer Tätigkeit streut, d. h. je größer das Zeitintervall für eine Tätigkeit ist. Genauer zu betrachten sind demnach die Montageobjekte und deren Tätigkeiten, die aufgrund einer großen Streuung innerhalb ihrer Tätigkeitsdauer einen erheblichen Einfluss auf die Streuung der produktbezogenen Sekundärzeit haben. D. h. nicht die Zeitdauer unterschiedlicher Tätigkeitsausprägungen ist zu betrachten; sondern die Streuung dieser Zeiten ist das entscheidende Merkmal.

Aus dem Beispiel in Abb. 6.6 kann entnommen werden, dass das Bauteil 4 einen Streubereich von 170 TMU (zwischen 40 TMU und 125 TMU) besitzt, während das Bauteil 1 der Baugruppe 2 nur einen Streubereich von 17 TMU (zwischen 8 TMU und 25 TMU) aufweist. Für die Genauigkeit des Ergebnisses ist es somit wichtiger für das Bauteil 4 die Tätigkeitsausprägung zu bestimmen als für das Bauteil 1. Würde für Bauteil 1 der Mittelwert der Intervallgrenzen als Schätzer für eine Sekundärzeit verwendet, läge der maximale Fehler bei 8,5 TMU während dieser bei Bauteil 4 42,5 TMU betrüge. Für Montageobjekte mit geringem Einfluss auf die Abweichung des zu ermittelnden Zeitwerts vom wahren Wert kann zugunsten eines reduzierten Aufwands und unter Inkaufnahme eines ungenaueren Ergebnisses darauf verzichtet werden, weitere Informationen zu ermitteln.

Aus diesem Lösungsansatz ergibt sich die folgende Vorgehensweise: Zu Beginn werden für alle Montageobjekte nur die Faktoren Anzahl und Häufigkeit sowie die erforderlichen nicht wertschöpfenden Tätigkeiten ausgewählt. Es werden zunächst keine Tätigkeitsausprägungen sondern nur der minimale und der maximale Zeitwert pro Tätigkeit ermittelt. Mit den vorliegenden Informationen werden Montageobjekte identifiziert, die einen wesentlichen Beitrag zur Streuung der produktbezogenen Sekundärzeit liefern. Für diese werden die Tätigkeitsausprägungen und hierauf aufbauend der exakte Beitrag zur produktbezogenen Sekundärzeit ermittelt. Für die übrigen Montageobjekte wird ein statistischer Schätzer für die Zeitwerte der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten verwendet. Dadurch kann die produktbezogenen Sekundärzeit mit geringem Aufwand in der Planungsphase hinreichend genau ermittelt werden.

1. Ermittlung der maximalen Streuung je Montageobjekt

Zur Festlegung der Montageobjekte, die für eine Zeitdatenermittlung detaillierter anhand ihrer Tätigkeitsausprägungen zu beschreiben sind, ist im ersten Schritt für jedes Montageobjekt mit den Spezifizierungsfaktoren sowie der Streuung der Zeitdaten für die unterschiedlichen Tätigkeiten die Streuung seiner Sekundärzeit zu bestimmen.

Hierzu wird zu Beginn für jedes Montageobjekt geprüft, welche der in den Spalten der Matrix aufgeführten nicht wertschöpfenden Tätigkeiten auszuführen sind. Für diese Tätigkeiten sind im nächsten Schritt die Faktoren Anzahl und Häufigkeit zu spezifizieren. Die Bestimmung der Faktoren ist in der Regel mit vertretbarem Aufwand durchführbar, da beispielsweise aus Stücklisten bereits Mengenangaben entnommen werden können, Prüfvorschriften Informationen über Prüfumfänge enthalten und Vorgaben zu den verschiedenen Anlieferungszuständen die Behältergrößen festlegen.

Ergebnis ist, welche nicht wertschöpfenden Tätigkeiten in welcher Anzahl und Häufigkeit für das jeweilige Montageobjekt auszuführen sind. Da für alle in der Matrix aufgeführten Tätigkeitsausprägungen (Schritt 2 der Systematik; s. Kap. 5.2) Zeitdaten verfügbar sind bzw. ermittelt werden können (Ergebnis des Schritts 4 der Systematik, S. Kap. 5.4), kann für jede Tätigkeit die Streuung der Tätigkeitsdauer in Abhängigkeit der unterschiedlichen Tätigkeitsausprägungen und deren Zeiten ermittelt werden. Die Streuung ist ein Maß für die Stärke des Einflusses, die die Auswahl einer konkreten Tätigkeitsausprägung innerhalb einer Tätigkeit auf die Dauer der Tätigkeit und damit auf die Dauer des Produkts hat. Da die Menge der Zeitdaten der Tätigkeitsausprägungen innerhalb einer Tätigkeit aus diskreten Zeitwerten besteht (vgl. z. B. Abb. 6.6; 80 TMU, 90 TMU, 95 TMU, 140 TMU, 215 TMU, 250 TMU) die nicht durch eine geschlossene Verteilungsfunktion beschrieben werden kann, ist die Spannweite ein geeignetes Maß für die Streuung der Zeitdaten der Tätigkeitsausprägungen innerhalb einer Tätigkeit verwendet. Dieses gilt gleichfalls für die Streuung der Zeitdaten eines Montageobjekts und des Produkts. Die Spannweite ist nicht nur ein Maß für die Stärke der Streuung, sie liefert auch Werte für die maximal mögliche Streuung. Diese Eigenschaft ist insbesondere bei der Fehlerbetrachtung von Interesse. Bei der Verwendung der Spannweite werden auch das Vorhandensein und die Höhe von extremen Werten für die Tätigkeitsdauer, so genannte Ausreißer, berücksichtigt. Ausreißer beschreiben Tätigkeitsausprägungen, die sich von ihrer Zeitdauer stark von den übrigen Tätigkeitsausprägungen innerhalb einer Tätigkeit unterscheiden. Weil in der Matrix nur Tätigkeitsausprägungen aufgeführt sind, die für die Kalkulation einer produktbezogenen Sekundärzeit geeignet sind, muss davon ausgegangen werden, dass auch diese Extremwerte Teil der Sekundärzeit des Produkts sein können.

Im Allgemeinen stellen Ausreißer bei statistischen Anwendungen ein Problem dar. In diesem Fall liefern Ausreißer allerdings eine wichtige Information, da sie erheblichen Einfluss auf die Streuung der Tätigkeitszeit haben können. Damit wirken sie entsprechend stark auf die

Zeitdatenermittlung im Rahmen des vorzustellenden Lösungswegs ein und sind somit im Weiteren zu berücksichtigen. Aufgrund der Ausreißer wird der Handlungsbedarf bei der Zeitdatenermittlung lokalisiert. Sollen Ausreißer nicht vernachlässigt werden, ist insbesondere die Spannweite ein geeignetes Maß, während bei den meisten anderen Maßen für die Variabilität Ausreißer auf deren Höhe keinen oder nur geringen Einfluss haben und somit gar nicht bzw. kaum sichtbar sind.

Für die Ermittlung der Spannweiten der Tätigkeitsdauern eines Montageobjekts sind für alle Tätigkeiten eine minimale und eine maximale Ausführungsdauer zu ermitteln, da jede Tätigkeit in Abhängigkeit der Tätigkeitsausprägungen eine unterschiedliche Dauer hat. Bei der Berechnung wird die Zeitdauer für die Tätigkeitsausprägung k_j innerhalb der Tätigkeit j für das Montageobjekt i mit x_{ijk_j} bezeichnet, mit

$$i = 1, \dots, n$$

$$j = 1, \dots, p$$

$$k_j = 1, \dots, q_j.$$

Die verschiedenen Felder der Matrix und ihre Indices sind in Abb. 6.7 zum besseren Verständnis dargestellt.

Montage- objekt	Tätigkeit j			Zwischen- ergebnis
	A	H	Ausprägungen	
			1 ... (k _j) ... q _j	
1 ⋮ (i) ⋮ n	a _{ij}	h _{ij}	x _{ijk_j}	a _{ij} h _{ij} x _{ijk_j}

Legende: A = Anzahl H = Häufigkeit

Abb. 6.7: Darstellung der verschiedenen Felder der Matrix

Auf dieser Basis lassen sich unabhängig vom Montageobjekt die minimale und die maximale Tätigkeitsdauer innerhalb einer Tätigkeit j ermitteln. Die minimale Tätigkeitszeit für eine Tätigkeit j ($x_{ijk_{m(j)}}$) wird definiert durch:

$$\min (x_{ij1}, \dots, x_{ijq_j}) =: x_{ijk_{m(j)}} \quad \text{mit} \quad x_{ijk_{m(j)}} = x_{i'jk_{m(j)}} \quad \forall i, i' \in \{1, \dots, n\}.$$

Die maximale Tätigkeitszeit für eine Tätigkeit j ($x_{ijk_{M(j)}}$) mit den Tätigkeitsausprägungen k_j wird definiert durch:

$$\max(x_{ij1}, \dots, x_{ijq_j}) =: x_{ijk_{M(j)}} \quad \text{mit} \quad x_{ijk_{M(j)}} = x_{i'jk_{M(j)}} \quad \forall \quad i, i' \in \{1, \dots, n\}.$$

Die Tätigkeitszeiten sind unabhängig von dem Montageobjekt, daher kann auch die Streuung der Tätigkeitszeiten montageobjektübergreifend ermittelt werden. Für eine produktbezogene Kalkulation ist es allerdings erforderlich, die minimalen und die maximalen Zeitwerte einer Tätigkeit für jedes Montageobjekt einzeln zu berechnen, da diese Zeiten durch die jeweils ermittelten Spezifizierungsfaktoren voneinander abweichen können. Die Streuung in der Zeitdauer einer Tätigkeit für ein Montageobjekt berechnet sich somit aus der Streuung der Tätigkeitsdauern und den Spezifizierungsfaktoren, dargestellt durch die Anzahl (a_{ij}) und die Häufigkeit (h_{ij}).

Die minimale Tätigkeitszeit für eine Tätigkeit j für alle Montageobjekt i mit den Tätigkeitsausprägungen k_j ergibt sich durch:

$$\min(a_{ij}h_{ij}x_{ij1}, \dots, a_{ij}h_{ij}x_{ijq_j}) = a_{ij}h_{ij} \min(x_{ij1}, \dots, x_{ijq_j}) = a_{ij}h_{ij}x_{ijk_{m(j)}}$$

$$\text{mit} \quad x_{ijk_{m(j)}} = x_{i'jk_{m(j)}} \quad \forall \quad i, i' \in \{1, \dots, n\}.$$

Entsprechend ergibt sich die maximale Tätigkeitszeit für alle Tätigkeit j an einem Montageobjekt i mit den Tätigkeitsausprägungen k_j durch:

$$\max(a_{ij}h_{ij}x_{ij1}, \dots, a_{ij}h_{ij}x_{ijq_j}) = a_{ij}h_{ij} \max(x_{ij1}, \dots, x_{ijq_j}) = a_{ij}h_{ij}x_{ijk_{M(j)}}$$

$$\text{mit} \quad x_{ijk_{M(j)}} = x_{i'jk_{M(j)}} \quad \forall \quad i, i' \in \{1, \dots, n\}.$$

Da einem Montageobjekt mehrere nicht wertschöpfende Tätigkeiten zugeordnet werden können, sind die minimalen und maximalen Werte für alle Tätigkeiten eines Montageobjekts zu berücksichtigen. Diese berechnen sich – wie dargestellt – aus den minimalen bzw. den maximalen montageobjektunabhängigen Tätigkeitsdauern und den Spezifizierungsfaktoren. Die Summe der minimalen und maximalen Tätigkeitsdauern eines Montageobjekts stellen die minimale und die maximale Sekundärzeit für ein Montageobjekt dar. Die minimale Tätigkeitszeit für ein Montageobjekt i (M_i^m) berechnet sich durch:

$$M_i^m := \sum_{j=1}^p a_{ij}h_{ij}x_{ijk_{m(j)}}.$$

Die Berechnung der maximalen Tätigkeitszeit für ein Montageobjekt i (M_i^M) erfolgt entsprechend:

$$M_i^M := \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{M(j)}} .$$

Aus der minimalen und der maximalen Tätigkeitszeit eines Montageobjekts lässt sich die Spannweite als Maß für die Streuung dessen Sekundärzeit ermitteln. Die Spannweite beschreibt ein Intervall, innerhalb dessen die Sekundärzeit für ein Montageobjekt liegt, sofern nur Tätigkeiten und Spezifizierungsfaktoren, nicht aber die einzelnen Tätigkeitsausprägungen bekannt sind.

Die Spannweite aller Tätigkeitszeiten für ein Montageobjekt i (V_i^M) berechnet sich durch:

$$V_i^M = M_i^M - M_i^m .$$

Für die Vereinfachung der Kalkulation der Sekundärzeit des Produkts sollen Montageobjekte ermittelt werden, die einen besonders starken Einfluss auf die Streuung der Sekundärzeit des Produkts, im Weiteren auch Gesamtstreuung genannt, haben. Um diese sicher auswählen zu können, sind alle Montageobjekte eines Produkts miteinander zu vergleichen. Voraussetzung für einen Vergleich ist eine einheitliche Bezugsbasis. Diese wird geschaffen, indem die Spannweite jedes Montageobjekts auf die Spannweite des Produkts bezogen wird. Daher wird im Folgenden die Gesamtstreuung (des Produkts) (V^P) bestimmt, indem die Streuungen aller Sekundärzeiten aller Montageobjekte summiert werden:

$$\begin{aligned} V^P &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} \max(x_{ij1}, \dots, x_{ijk_j}) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} \min(x_{ij1}, \dots, x_{ijk_j}) \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{M(j)}} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{m(j)}} . \end{aligned}$$

Wird die Spannweite der Sekundärzeit eines Montageobjekts i (V_i^M) in das Verhältnis zur Gesamtstreuung (V^P) gesetzt, ergibt sich eine Kennzahl (S_i^M), die ein gutes Maß für die Stärke des Einflusses der Streuung der Sekundärzeit eines einzelnen Montageobjekts an der Streuung der Sekundärzeit des Produkts darstellt:

$$S_i^M = \frac{\sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{M(j)}} - \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{m(j)}}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{M(j)}} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{m(j)}}} = \frac{V_i^M}{V^P} .$$

Zur Visualisierung kann die Kennzahl für alle Montageobjekte in einem Diagramm dargestellt werden (vgl. Abb. 6.8). Im Allgemeinen ergeben sich für die verschiedenen Montageobjekte unterschiedlich starke Einflüsse auf die Streuung der Sekundärzeit des Produkts.

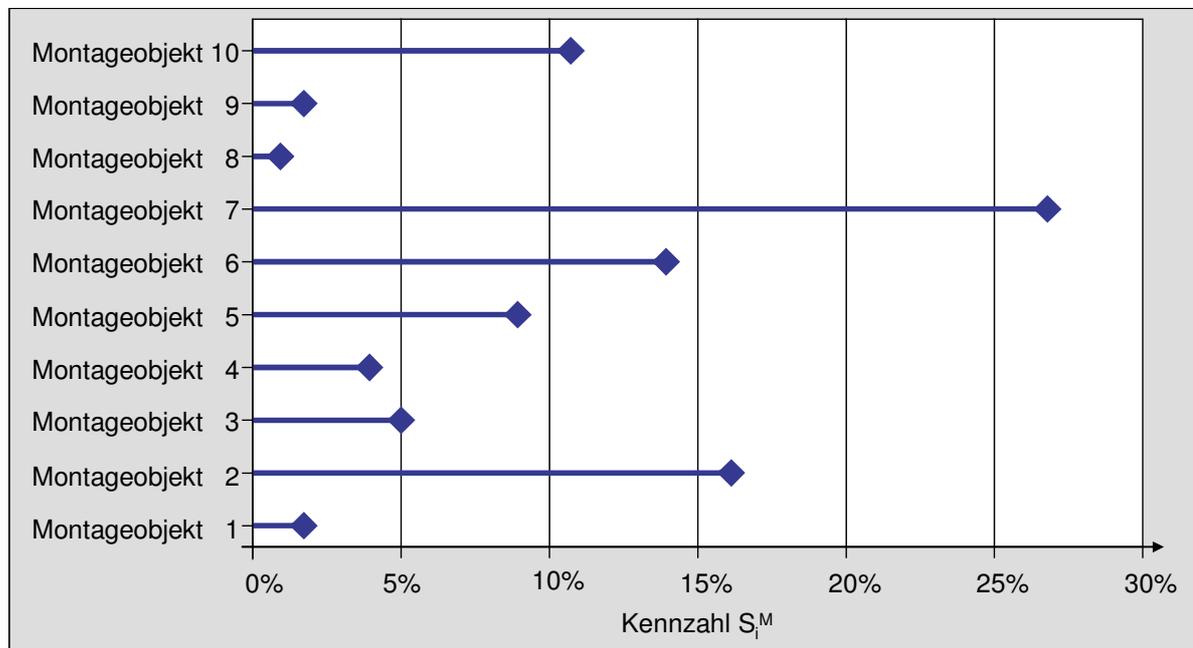


Abb. 6.8: Beispiel für die Größe der Kennzahlen S_i^M innerhalb eines Produkts

2. Reduzierung der Streuung

Da die Kennzahl S_i^M die Stärke des Einflusses auf die Streuung der Sekundärzeit des Produkts angibt, besitzen Montageobjekte mit einer höheren Kennzahl einen stärkeren Einfluss auf die Streuung des Kalkulationsergebnisses. Daraus folgt, je höher der Wert für S_i^M ist, desto stärker vermindert sich die Streuung der produktbezogenen Sekundärzeit wenn die Streuung der Sekundärzeit des Montageobjekts reduziert wird. Die Reduktion der Streuung eines Montageobjekts erfolgt, indem für eine Tätigkeit eine Tätigkeitsausprägung bestimmt wird. Die Streuung für eine Tätigkeit wird mit diesem Schritt auf Null reduziert, da aus der Menge der möglichen Tätigkeitsausprägungen die zu verwendende ermittelt wird. Die Dauer der Tätigkeit ist damit über die gewählte Tätigkeitsausprägung eindeutig definiert. Werden für alle Tätigkeiten eines Montageobjekts die Tätigkeitsausprägungen ermittelt, ist die Streuung für das Montageobjekt gleich Null. D.h. für dieses Montageobjekt liegt eine exakte Sekundärzeit ohne Streubereich vor. Die Streuung der Sekundärzeit des Produkts sinkt mit dieser Maßnahme um den durch das Montageobjekt verantworteten Anteil an der Gesamtstreuung. Wird die Streuung für alle Montageobjekte durch die Bestimmung der Tätigkeits-

ausprägungen eliminiert, so ist auch die Sekundärzeit des Produkts exakt bestimmt. In diesem

Fall gilt: $\text{var}(x_{ij}) = 0 \quad \forall \quad i, j \in \{(1,1), \dots, (n,p)\}$

und damit $V^P = 0$,

wobei x_{ij} definiert ist als die Zeit der Tätigkeit j des Montageobjekts i.

Grundsätzlich kann festgestellt werden: je kleiner die Summe der Streuungen $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \text{var}(x_{ij})$

über alle Montageobjekte i und alle Tätigkeiten j ist, desto genauer kann die Sekundärzeit eines Produkts angegeben werden.

Da die Kennzahl S_i^M zwischen den Montageobjekten aufgrund der verschiedenen nicht wertschöpfenden Tätigkeiten und der möglichen Unterschiede in den Spezifizierungsfaktoren variiert, können die Montageobjekte anhand der Größe dieser Kennzahl sortiert werden, um diejenigen Montageobjekte zu ermitteln, die für den größten Teil der Streuung der Sekundärzeit des Produkts verantwortlich sind.

Um die Sekundärzeit des Produkts genauer zu bestimmen, sind zunächst die Montageobjekte auszuwählen, die einen starken Einfluss auf die Gesamtstreuung besitzen, da dadurch die Genauigkeit der Sekundärzeit des Produkt erheblich steigt, sofern die Streuung der Sekundärzeit der Montageobjekte eliminiert wird. Dazu werden, beginnend mit dem Montageobjekt mit dem höchsten Wert für S_i^M , die Tätigkeiten der Montageobjekte mit Tätigkeitsausprägungen belegt, bis die Summe der Streuungen der Sekundärzeiten über alle Montageobjekte ausreichend klein und damit die Sekundärzeit des Produkts ausreichend genau bestimmt ist. Es wird davon ausgegangen, dass die Summe der Streuungen der Sekundärzeiten über alle Montageobjekte ausreichend klein ist, wenn die Menge der Montageobjekte, für die die Tätigkeitsausprägungen bestimmt werden, mindestens 90% der Gesamtstreuung umfassen. Diese Menge wird gebildet, indem eine Reihe der Montageobjekte, nach der Größe von S_i^M sortiert ($S_{(1)}^M, \dots, S_{(n)}^M$), erstellt und – beginnend beim größten Wert für S_i^M – die S_i^M summiert wird, bis die Summe mindestens 90 Prozent beträgt. Der Wert 90 Prozent wurde gewählt, weil Praxisbeispiele gezeigt haben, dass mit dieser Vorgabe der Fehler innerhalb der angegebenen Grenze von zwölf bis dreizehn Prozent liegt (s. Kap. 6.3.2.1). Die Festlegung kann in Analogie zur Ermittlung des Bestimmtheitsmaßes (z. B. ≥ 80 Prozent) bei multipler

Regressionsrechnung im Rahmen der Planzeitermittlung gesehen werden. Bei diesem Anwendungsfall wird ebenfalls eine Grenze definiert, um eine allgemeine Anwendung des Verfahrens zu ermöglichen.

Für das Summieren der Kennzahl S_i^M können zwei Indexmenge G_1 und G_2 beschrieben werden, die definiert sind durch:

$$G_1 = \left\{ \tilde{i} : \sum_{\tilde{i}=(1)}^{(\tilde{i})} S_{M_i} \geq 0,9 \right\} \text{ und}$$

$$G_2 = \left\{ \tilde{i} = (1), \dots, (n); \tilde{i} \notin G_1 \right\}.$$

Aus diesen Indexmengen resultieren zwei Gruppen von Montageobjekten: für Montageobjekte mit Indizes aus G_1 werden die Tätigkeitsausprägungen bestimmt, während für Montageobjekte mit Indizes aus G_2 nur die Tätigkeiten bestimmt werden. Für die erste Gruppe werden die Sekundärzeiten der Montageobjekte somit exakt berechnet, für die zweite Gruppe wird die Sekundärzeit hingegen für jedes Montageobjekt anhand eines statistischen Schätzers gesetzt.

Durch die Gruppierung der Montageobjekte anhand der Indexmengen G_1 und G_2 und der damit verbundenen unterschiedlichen Form der Sekundärzeitermittlung ergibt sich eine Verringerung des Aufwands für die Zeitdatenermittlung, da die Gruppe mit Indizes aus G_1 je nach Anwendungsfall nur etwa 50 Prozent bis 70 Prozent aller Montageobjekte umfasst. Für alle Montageobjekte aus der Gruppe mit Indizes aus G_2 ergibt sich durch die Verwendung eines Schätzers ein deutlich geringerer Ermittlungsaufwand. Für diese Montageobjekte braucht keine Tätigkeitsausprägung festgelegt zu werden.

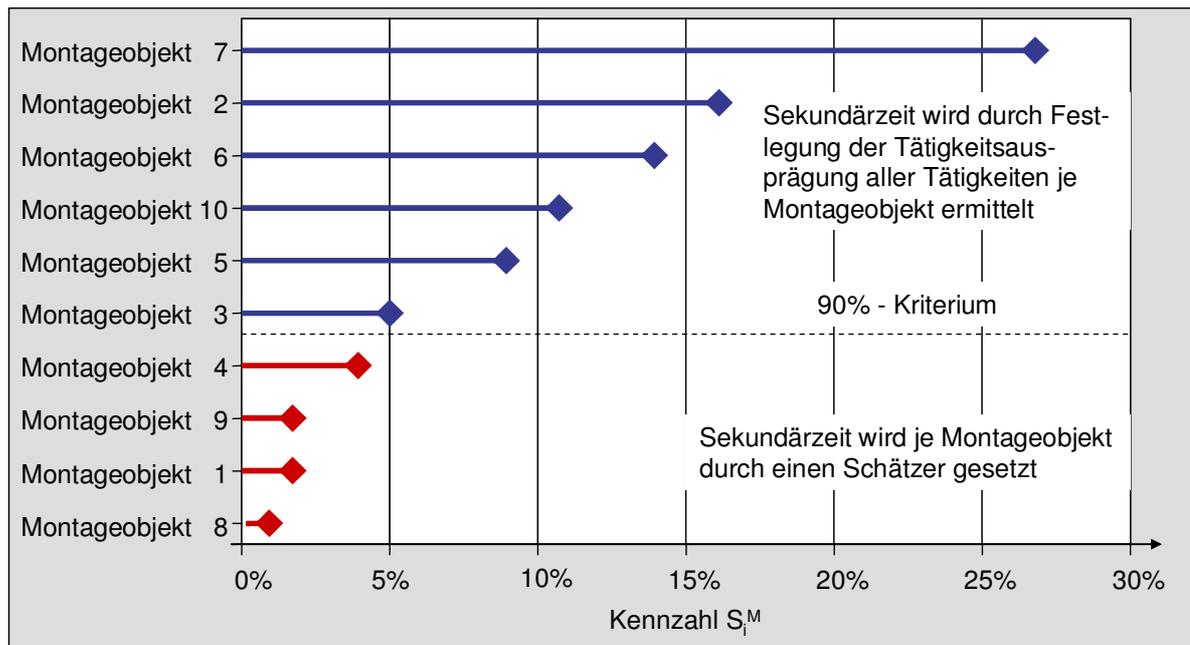


Abb. 6.9: Beispiel für die Auswahl von Montageobjekten anhand des 90%-Kriteriums

3. Ermittlung der Sekundärzeit

Die Sekundärzeit des gesamten Produkts setzt sich aus Sekundärzeiten von zwei Gruppen von Montageobjekten zusammen. Zum einen die Montageobjekte mit Indices aus G_1 , für die Tätigkeitsausprägungen bestimmt wurden und deren Sekundärzeit daher keine Streuung aufweist, zum anderen die Montageobjekte mit Indices aus G_2 , für die nur die Spezifizierungsfaktoren und die Tätigkeiten ohne Tätigkeitsausprägungen bekannt sind, deren Sekundärzeit daher eine Streuung besitzt.

Für die Montageobjekte mit Indizes aus G_1 ist durch die Spezifizierungsfaktoren sowie die Tätigkeitsbeschreibungen die Sekundärzeit exakt bestimmbar. Da die Tätigkeitsdauer für eine Tätigkeit j mit einer definierten Tätigkeitsausprägung unter Berücksichtigung von Anzahl und Häufigkeit definiert ist durch $a_{ij} h_{ij} x_{ij}$, berechnet sich die Sekundärzeit für ein Montageobjekt i (F_i) dieser Gruppe der Montageobjekte des Produkts durch:

$$F_i = \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ij} .$$

Werden die Sekundärzeiten aller Montageobjekte aus der Gruppe mit Indizes aus G_1 addiert, so ergibt sich dieser Teil der Sekundärzeit des Produkts:

$$P_1 = \sum_{i \in G_1} F_i .$$

Für die verbleibenden Montageobjekte (Indizes aus G_2), für die nur Tätigkeiten jedoch keine Tätigkeitsausprägungen bestimmt werden, wird jeweils eine Sekundärzeit mit Hilfe eines statistischen Schätzers gesetzt. Der Einfluss der Sekundärzeiten dieser Montageobjekte auf die Sekundärzeit des Produkts ist gering, wie der Wert der Kennzahl S_i^M zeigt, so dass es in der Planungsphase ausreichend ist, einen Schätzer für die Zeitdauern zu verwenden. Als Schätzer für die Dauer von Tätigkeiten können z. B. der Median, das arithmetische Mittel oder das geometrische Mittel verwendet werden. Zur Auswahl eines geeigneten Schätzverfahrens ist es erforderlich, die Zeitdaten der Tätigkeitsausprägungen genauer zu betrachten.

Da der Wertebereich für die Zeitdauer der Tätigkeitsausprägung einseitig begrenzt ist, d. h. negative Tätigkeitszeiten oder auch Tätigkeiten ohne Zeitwert (Null Zeiteinheiten) nicht vorkommen, ist die Mehrzahl der Ausreißer weit größer als die übrigen Werte. Ausreißer beschreiben Zeitdauern für Tätigkeitsausprägungen, die einen großen positiven oder negativen Abstand zu den übrigen Zeitdauern einer Tätigkeit haben und damit nicht den „Erwartungen“ entsprechen. Ausreißer können das Ergebnis fehlerhafter Datenermittlung sein. Wie fehlerhafte Daten aber nicht zwingend Ausreißer darstellen, müssen Ausreißer auch nicht zwingend auf fehlerhaften Daten beruhen. Ausreißer, bei denen es sich um verlässliche und echte Ergebnisse handelt, können in der Regel aus den Rahmenbedingungen erklärt werden und stellen somit eine korrekte Beschreibung der analysierten Situation dar.

Bei der Schätzung einer Tätigkeitsdauer sind die Ausreißer mit zu berücksichtigen, da sie nicht auf Fehler in der Datenermittlung zurückzuführen sind und das Gesamtergebnis wesentlich beeinflussen. Der Median kommt daher als Schätzwert nicht in Frage, da mit ihm – wie bei allen robusten Schätzern – Ausreißer nicht beachtet werden.

Hingegen berücksichtigen sowohl das arithmetische Mittel als auch das geometrische Mittel diese, allerdings unterschiedlich stark. Das arithmetische Mittel bewertet einseitige Ausreißer stärker als das geometrische Mittel (vgl. Abb. 6.10), es ist allerdings nur bei symmetrischen Verteilungen erwartungstreu. Durch die Begrenzung der Verteilung liegt in dieser Anwendung in der Regel eine linksschiefe Verteilung vor. Da Tätigkeitsausprägungen mit einer langen

Tätigkeitsdauer nicht nur zeitlich betrachtet Ausreißer darstellen, sondern vielfach auch inhaltlich der Gestalt sind, dass sie in der Regel weniger oft Verwendung finden als die übrigen Tätigkeitsausprägungen, wird das geometrische Mittel gewählt. Es berücksichtigt die Ausreißer in einer für diese Anwendung angebrachten Form. Darüber hinaus ist das geometrische Mittel bei vielen Verteilungen erwartungstreu, d. h. das geometrische Mittel entspricht dem wahren Wert für eine hinreichend große Stichprobe.

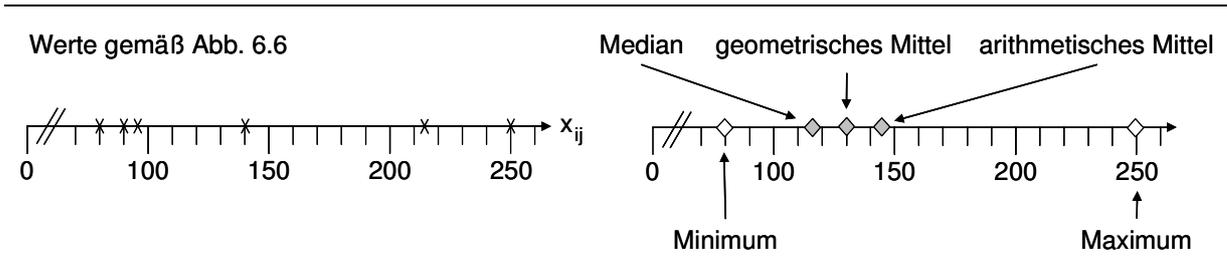


Abb. 6.10: Beispiel für verschiedene Schätzer anhand der Zeitwerte der Tätigkeit „Öffnen von Transportverpackungen“

Das geometrische Mittel der Zeiten der Tätigkeitsausprägungen von Tätigkeit j an Montageobjekt i (x_{ij}^g) ist definiert durch:

$$\sqrt[q_j]{\prod_{k_j=1}^{q_j} x_{ijk_j}} =: x_{ij}^g \quad \text{mit} \quad x_{ij}^g = x_{i'j}^g \quad \forall i, i' \in \{1, \dots, n\}.$$

Als Sekundärzeit für eine Tätigkeit j an einem Montageobjekt i (\hat{x}_{ij}^g) wird dieses geometrische Mittel als so genannter Schätzer verwendet:

$$\hat{x}_{ij}^g = a_{ij} \cdot h_{ij} \cdot x_{ij}^g \quad \text{mit} \quad x_{ij}^g = x_{i'j}^g \quad \forall i, i' \in \{1, \dots, n\}.$$

Die geschätzte Sekundärzeit für ein Montageobjekt i (\hat{F}_i) berechnet sich durch:

$$\hat{F}_i = \sum_{j=1}^p \hat{x}_{ij}^g.$$

Der weitere Teil der Sekundärzeit des Produkt (\hat{P}_2) berechnet sich damit durch:

$$\hat{P}_2 = \sum_{i \in G_2} \hat{F}_i.$$

Eine gute Näherung für die Sekundärzeit eines Produkts (P) ergibt sich somit aus der Summe der Sekundärzeiten der Montageobjekte mit Indizes aus G_1 und der Summe der Schätzer für die Sekundärzeiten mit Indizes aus der Menge G_2 :

$$P = P_1 + \hat{P}_2.$$

6.3.1.3 Bewertung des Werkzeugs anhand einer Fehlerbetrachtung

Für die Bewertung des Werkzeugs sind zwei unterschiedliche Betrachtungsweisen möglich. Zum einen kann der Fehler für eine einzelne Produktkalkulation berechnet werden, zum anderen kann das Werkzeug an sich analysiert werden. Je nach Blickwinkel sind dabei unterschiedliche Kennzahlen für die Bewertung von Interesse.

Bei der Analyse eines Ergebnisses einer einzelnen Zeitdatenermittlung sind vor allem der tatsächliche Fehler und der maximale Fehler interessant. Der tatsächliche Fehler gibt die Abweichung des ermittelten Zeitwerts von dem wahren (tatsächlichen) Zeitwert an. Der maximale Fehler beschreibt die obere und untere Grenze für den tatsächlichen Fehler.

Bei der Bewertung des Werkzeugs – also der grundsätzlichen Vorgehensweise – ist hingegen statt dem maximalen Fehler der mittlere Fehler der Kalkulationsmethode Betrachtungsgegenstand. Wird bei der Ermittlung eines statistischen Schätzers ein erwartungstreuer Schätzer genutzt, so wird der mittlere Fehler bei einer hinreichend großen Stichprobe Null sein. D. h. durch die Verringerung des Aufwands wird die Genauigkeit des Ergebnisses nicht negativ beeinflusst. Obwohl der mittlere Fehler des Verfahrens durchaus gegen Null geht, kann der Fehler in jedem Einzelfall immer noch in beliebiger Größe kleiner dem maximalen Fehler auftreten.

Welche der beiden Sichtweisen für die Bewertung des Verfahrens angewendet werden sollte, ist zumindest teilweise anwendungsspezifisch. Die Sichtweise, bei der das Verfahren im Vordergrund steht, kann nur genutzt werden, wenn hinreichend viele Zeitdaten verwendet werden, so dass der mittlere Fehler gegen Null geht. Das kann z. B. der Fall sein, wenn mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Kalkulationsergebnissen die Personalbedarfsplanung durchgeführt wird. Ist ein Ergebnis auf wenigen Kalkulationen aufgebaut, so wird auch der mittlere Fehler nicht mehr bei Null liegen. Für Anwendungsfälle, bei denen also nur wenige Zeitwerte oder nur ein Zeitwert vorliegt, sollte daher der Einzelfall betrachtet werden. Typische Anwendungen sind die Abgabe von Angeboten oder der Verfahrensvergleich. In

dieser Situation kann nicht zwingend davon ausgegangen werden, dass es zu einem Ausgleich der Streuung über die Summe der Anwendungen kommt (Abgegebene Angebote mit zu gering kalkulierten Zeiten haben beispielsweise eine größere Realisierungschance als solche bei denen der Aufwand oberhalb des wahren Werts liegt. Der Kunde sucht sich in der Regel aus verschiedenen vorliegenden Angeboten immer dasjenige aus, welches für ihn bei gleicher Funktionalität die geringsten Kosten verursacht.). Bei diesen Anwendungen ist somit die Betrachtung des Ergebnisses einer einzelnen Kalkulation relevant.

Für die Analyse des Einzelfalls ist das verwendete Kriterium „maximaler Fehler“ ein gutes Maß, da es die Grenze für den Fehler eindeutig definiert. Wenn der maximale Fehler innerhalb der gewünschten Vorgaben liegt, ist sichergestellt, dass das Ergebnis ebenfalls den Vorgaben entspricht, da der tatsächliche Fehler immer kleiner oder gleich dem maximalen Fehler ist. In den meisten Fällen ist der tatsächliche Fehler deutlich kleiner als der maximale Fehler. Allerdings kann dieser für den Einzelfall statistisch nicht bestimmt werden, da keine geschlossene Verteilung vorliegt.

Grundsätzlich kann durch die Vorgabe eines maximalen Fehlers der Aufwand für die Zeitdatenermittlung beeinflusst werden. Je größer der erlaubte maximale Fehler ist, desto niedriger kann der Grenzwert angesetzt werden, ab dem die Sekundärzeit eines Montageobjekts über einen statistischen Schätzer ermittelt werden kann.

6.3.1.4 Interpretation der Ergebnisse und Ausblick

Mit der dargestellten Vorgehensweise ist es möglich, die Sekundärzeit eines Produkts aufwandsarm und mit einer ausreichenden Genauigkeit zu berechnen, wenn die dargestellten Lösungsschritte in einem rechnergestützten Werkzeug umgesetzt werden. Durch die Verwendung der Spannweite als Grundlage für die Kennzahl S_i^M kann der Aufwand für die Informationsgewinnung und Informationszusammenstellung erheblich reduziert werden, indem Montageobjekte identifiziert werden, denen bei der Zeitdatenermittlung in der Planungsphase weniger Aufmerksamkeit zukommen kann. Mit der dargestellten Vorgehensweise wird darüber hinaus sichergestellt, dass die ermittelte produktbezogene Sekundärzeit trotz weniger Informationen die Genauigkeitsanforderungen für die Zeitdaten erfüllt. Dieses wird gewährleistet durch die Verwendung des maximalen Fehlers als Maß für die Abweichung vom wahren Wert.

Neben der möglichst genauen Bestimmung der Sekundärzeit eines Produkts können die Ergebnisse auch Impulsgeber für die Verbesserung der Montageplanung sein. Ziel ist es in diesem Fall eine möglichst geringe Sekundärzeit für das Produkt zu erreichen. Durch die strukturierte Gliederung von Produkt und Tätigkeiten in Zeilen und Spalten lassen sich leicht Bauteile und Tätigkeiten identifizieren, die Potenzial für Verbesserungen bieten.

So kann durch die Struktur aufwandsarm festgestellt werden, welches Montageobjekt zur Streuung der Sekundärzeit des Produkts einen besonders hohen Anteil beiträgt. Damit können Montageobjekte identifiziert werden, für die die Wahl der Tätigkeitsausprägung einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Sekundärzeit des Produkts haben. Für diese Montageobjekte sollte daher die gewählte Tätigkeitsausprägung analysiert werden, um gegebenenfalls durch Verbesserungsmaßnahmen die Tätigkeitsdauer und damit die Montagedauer des gesamten Produkts zu reduzieren.

Neben der Streuung der Sekundärzeit je Montageobjekt kann auch die Sekundärzeit an sich von Interesse sein. Wird die Sekundärzeit eines Montageobjekts i (F_i) in das Verhältnis zur Sekundärzeit des Produkts (P) gesetzt, so ergibt sich eine Kennzahl R_i^M bzw. \hat{R}_i^M , die darstellt, welchen Anteil die Sekundärzeit eines Montageobjekts i an der Sekundärzeit des Produkts (P) einnimmt:

$$R_i^M = \frac{F_i}{P} \quad \forall i \in G_1 \quad \text{und} \quad \hat{R}_i^M = \frac{\hat{F}_i}{P} \quad \forall i \in G_2.$$

Im Gegensatz zur Kennzahl S_i^M , die für die genaue Bestimmung der Sekundärzeit eines Produkts genutzt wird, liefert die Kennzahl R_i^M bzw. \hat{R}_i^M Anhaltspunkte zur Reduzierung des Umfangs der Sekundärzeit des Produkts. Anhand der Kennzahl können Montageobjekte mit großen Werten für R_i^M bzw. \hat{R}_i^M bestimmt werden, für die eine Verringerung der nicht wertschöpfenden Tätigkeitszeiten besonders ergebniswirksam ist. Es gilt zu beachten, dass Montageobjekte, die einen großen Beitrag zur Sekundärzeit des Produkts haben, nicht zwingend eine große Streuung in den Tätigkeitszeiten aufweisen; d. h. Montageobjekte die bei der Analyse dieser Kennzahl im Fokus stehen, können bei der Ermittlung der Sekundärzeit durchaus von untergeordnetem Interesse gewesen sein.

Neben einer montageobjektbezogenen Auswertung kann auch eine Auswertung zu den einzelnen nicht wertschöpfenden Tätigkeiten erstellt werden. Hierbei sollen Tätigkeiten identifiziert werden, die erheblich zur Sekundärzeit des Produkts beitragen und damit ein

hohes Optimierungspotenzial im Rahmen der Montageplanung aufweisen. Wird die Zeit einer Tätigkeit über alle Montageobjekte summiert und ins Verhältnis zur Sekundärzeit des Produkts (P) gesetzt, kann eine Aussage über die Stärke des Beitrages einer Tätigkeit j an der Sekundärzeit des Produkts gemacht werden. Hierzu wird zuerst die Tätigkeitszeit (berechnet und als Schätzer vorliegend) für eine Tätigkeit j über alle Montageobjekte i ($x_{\bullet j}$) ermittelt; sie ist definiert durch:

$$x_{\bullet j} = \sum_{i=1}^n x_{ijk_j} \quad \text{mit } k_j \text{ berechnet oder geschätzt.}$$

(Der Punkt in $x_{\bullet j}$ ist als Platzhalter zu verstehen. Er zeigt an, dass das Ergebnis die Summe über alle Werte i darstellt und damit unabhängig vom Laufindex i ist.) Wird diese Zeit in Bezug zur Sekundärzeit des Produkts gesetzt, kann eine Kennzahl $Q_{x_{\bullet j}}$ berechnet werden, die den Beitrag einer Tätigkeit j an der Sekundärzeit des Produkts beschreibt:

$$Q_{x_{\bullet j}} = \frac{x_{\bullet j}}{P}$$

Nicht wertschöpfende Tätigkeiten mit hohen Werten für $Q_{x_{\bullet j}}$ sollten mit Vorrang analysiert werden, um hieraus Maßnahmen für die Montageplanung abzuleiten. Es sollte geprüft werden, ob durch übergeordnete Planungsmaßnahmen das Auftreten dieser Tätigkeit wirtschaftlich reduziert werden kann. Hat beispielsweise die Tätigkeit Reinigen einen im Vergleich zu anderen Tätigkeiten hohen Wert für $Q_{x_{\bullet j}}$ bedeutet dieses, dass das Reinigen einen großen Anteil an der Sekundärzeit des Produkts besitzt. Durch zusätzliche Schutzmittel kann der Aufwand für das Reinigen verringert werden, allerdings zu Lasten erhöhter Handhabungsaufwände für die Schutzmittel. Da bei dem Vergleich der beiden Alternativen für beide Tätigkeiten die jeweilige Tätigkeitsdauer $x_{\bullet j}$ verfügbar ist, kann leicht der zeitliche Mehraufwand beim Handhaben der Schutzmittel gegen die Zeitersparnis beim Reinigen gegenübergestellt werden. Es besteht somit die Möglichkeit unterschiedliche Planungsszenarien schnell zeitlich zu bewerten.

6.3.2 Matrix zur produktbezogenen Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten ohne Montageobjektbezug

Für Montageobjekte ohne Montageobjektbezug wird ebenfalls eine Matrix als Struktur für die Sekundärzeitermittlung genutzt. Die Grundstruktur ist damit für beide Teile des Werkzeugs vergleichbar. Im Weiteren werden die Unterschiede, die die Zweiteilung erfordert, sowie die für diesen Teil modifizierte Vorgehensweise dargestellt.

6.3.2.1 Struktur der Matrix

Die Struktur des zweiten Teils des Werkzeugs ist an die bereits Kap. 6.3.1.1 vorgestellte Matrix angelehnt. Die Beschreibung der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten mit den denkbaren Tätigkeitsausprägungen und der dazugehörigen Zeitdauern kann übernommen werden. Anstelle der Produktbeschreibung sind in der zweiten Dimension allerdings Informations-träger zu benennen, anhand derer alle nicht montageobjektbezogenen Tätigkeiten ermittelt werden können. Da diese Tätigkeiten, wie dargestellt, alle auf die geplante Arbeitsorganisation zurückgehen, sind als charakterisierende Größen die Arbeitssysteme geeignet. Hierbei werden sowohl die Mikro-Arbeitssysteme, welche als reale Arbeitssysteme vorliegen, als auch Makro-Arbeitssysteme, die die organisatorische Struktur beschreiben, genutzt. Im Gegensatz zu montageobjektbezogenen nicht wertschöpfenden Tätigkeiten, bei denen es einen direkten Bezug zwischen Objekt und Tätigkeit gibt, ist dieses für die nicht montageobjektbezogenen Tätigkeiten nicht der Fall. Nicht montageobjektbezogene Tätigkeiten können einerseits für einzelne Mikro-Arbeitssysteme ermittelt werden, beispielsweise beim Rüsten, andererseits werden Tätigkeiten erst durch die Beziehung zweier Mikro- oder Makro-Arbeitssysteme ausgelöst, beispielsweise bei Montageobjekttransporten. Das zweite Beispiel weist Parallelen zu den wertschöpfenden Tätigkeiten auf, bei denen eine Primärzeit auch auf Interaktion zurückgeführt werden konnte.

Arbeitssysteme		Transport zwischen Arbeitssystemen							Rüsten Betriebsmittel					
		Anzahl	Häufigkeit *	ohne Gehen und ohne Fördermittel	Gehen 2 Meter ohne Fördermittel	Gehen 2 Meter mit Transportwagen	Gehen 10 Meter mit Transportwagen	Zwischenergebnis	Anzahl	Häufigkeit **	Werkzeug-aufsatz wechseln	Werkzeug-aufnahme an Vorrichtung wechseln	Vorrichtung komplett austauschen	Zwischenergebnis
				60 TMU	120 TMU	350 TMU	750 TMU				100 TMU	1800 TMU	10000 TMU	
Makro-Arbeitssystem 1	1	1	0.05											
Mikro-Arbeitssysteme 1 - 5	5	4	1	60 TMU				240 TMU	5	0.01	100 TMU	1800 TMU		95 TMU
Makro-Arbeitssystem 2	1		0.05											
Mikro-Arbeitssysteme 6 - 9	4	3	0.1		120 TMU			36 TMU	4	0.01			10000 TMU	400 TMU
Makro-Arbeitssystem 3	1													
Mikro-Arbeitssysteme 10 - 15	6	5	1			350 TMU		1750 TMU	6	0.01	100 TMU			6 TMU

Legende: * Wird aus der Anzahl der Montageobjekte je Ladungsträger ermittelt
 ** Entspricht dem Kehrwert der mittleren Losgröße

Abb. 6.11: Ausschnitt eines Beispiels für die montageobjektunabhängige Sekundärzeitermittlung

Diese Variabilität erschwert die Darstellung innerhalb der Matrix, da sowohl die strukturorientierte Darstellung in den Zeilen (Mikro-Arbeitssystem 1, Mikro-Arbeitssystem 2, usw.) als auch die vorgangsorientierte Darstellung (Interaktion zwischen Mikro-Arbeitssystem 1 und 2, Interaktion zwischen Mikro-Arbeitssystem 2 und 3) dargestellt werden soll. Um die Matrix nicht weiter zu gliedern und damit die Übersichtlichkeit zu vermindern, wird festgelegt, dass bei Tätigkeiten, die erst durch die Kenntnis von zwei Arbeitssystemen beschreibbar sind, die Zeitdauer für die Ausführung einer nicht wertschöpfenden Tätigkeit immer dem demjenigen Arbeitssystem zugeordnet wird, welches die Eingabe des nächsten Systems bereitstellt.

Da bei der Planung von Mikro-Arbeitssystemen diese in der Regel zumindest innerhalb eines Makro-Arbeitssystems vergleichbar aufgebaut sind, können Mikro-Arbeitssysteme vielfach zusammengefasst werden. Daher wird der Faktor Anzahl für die Arbeitssysteme eingeführt. Er ist vergleichbar mit dem Faktor Menge bei den Montageobjekten (vgl. Abb. 6.6).

Durch die Strukturierung des Montagesystems in Makro-Arbeitssysteme und deren Gliederung in Mikro-Arbeitssysteme, ist der Aufwand für die Zeitdatenermittlung vergleichsweise gering.

Dieses zeigt sich beispielsweise bei der Bewertung von Transporten. Da zwischen den Mikro-Arbeitssystemen eines Makro-Arbeitssystems in der Regel vergleichbare technische Lösungen für die Verkettung der Arbeitssysteme genutzt werden, reicht eine Tätigkeitsausprägung zur Beschreibung des Transports.

6.3.2.2 Vorgehensweise zur produktspezifischen Ermittlung einer Sekundärzeit mit dem Kalkulationsblatt

Im Gegensatz zur Matrix im ersten Teil des Werkzeugs kommt der Vorgehensweise beim Ausfüllen der Matrix weniger Bedeutung zu. Sowohl ein zeilenweises als auch ein spaltenweises Ausfüllen ist sinnvoll. Beim spaltenweisen Ausfüllen werden die einzelnen nicht wertschöpfenden Tätigkeiten anhand des Montagefortschritts beschrieben, was zum Beispiel für den Transport des Montageobjekts durch das Montagesystem gut geeignet ist. Beim zeilenweisen Bearbeiten wird jedes Arbeitssystem erst vollständig beschrieben, bevor entlang des Materialflusses weiter vorgegangen wird. Das spaltenweise Vorgehen richtet sich nach dem Montagevorranggraph, während das zeilenweise Vorgehen objektorientiert ist.

Die Ermittlung des Spezifizierungsfaktors für die jeweilige Tätigkeiten zur Berechnung der produktspezifischen Sekundärzeit ist aufwändiger als im ersten Teil des Werkzeugs, da die Anzahl der Mikro- und Makro-Arbeitssysteme nicht direkt aus den bereits vorliegenden Informationen ermittelt werden kann. Erste Anhaltswerte lassen sich allerdings aus diesen Daten sowie der Erfahrung der Montageplaners ableiten. Bei der vorläufigen Ermittlung der erforderlichen Arbeitsplätze sind zwei verschiedene Werte zu unterscheiden. Zum einen kann der Bedarf an Mikro-Arbeitssystemen bzw. Mitarbeitern ermittelt werden, der für die Montage des geplanten Produktionsprogramms erforderlich ist. Grundlage ist der Abgleich zwischen Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot. Aber nur bei arteiliger Organisation der Arbeit sind auch alle diese Arbeitsplätze in den Montageablauf eines Produkts eingebunden. Bei mengen- teiliger oder gemischter Arbeitsteilung ist nur ein Teil aller Arbeitssysteme eingebunden. Die Anzahl dieser Arbeitssysteme kann durch die Ermittlung nicht identischer Arbeitssysteme bestimmt werden. Für die produktbezogene Ermittlung der in die Montage involvierten Mikro-Arbeitssysteme sind daher zuerst der Kapazitätsbedarf und danach die Form der Kapazitätsteilung zu bestimmen.

6.3.2.2.1 Ermittlung des Kapazitätsbedarfs

Für die Ermittlung der Anzahl von Mikro-Arbeitssystemen für ein geplantes Produktionsprogramm sind neben der geplanten Jahresstückzahl die ungefähre Gesamtmontagedauer sowie weitere allgemeine Planungsdaten erforderlich. Dieses sind beispielsweise die Arbeitszeit je Mitarbeiter und Tag, die Anzahl der Schichten oder der durchschnittliche Zeitgrad der Mitarbeiter. Die Anzahl der Mikro-Arbeitssysteme errechnet sich nach der in Kap. 2.3

vorgestellten Formeln, wenn davon ausgegangen werden kann, dass alle Arbeitssysteme durch die Mitarbeiter durchgehend genutzt werden.

$$n_{MA} = \frac{N \cdot t_e}{t_{MA} \cdot ZG \cdot n_s}$$

In der Großserienmontage ist die geplante Jahresstückzahl eines Produkts im Allgemeinen identisch mit der Ausbringung des Montagearbeitssystems. Bei der Montage von kleinen und mittleren Serien werden Mikro- bzw. Makro-Arbeitssysteme in der Regel für verschiedene, aber ähnliche Produkte konzipiert. Die Auslegung der Arbeitsorganisation erfolgt bei dieser Art der Montage nicht anhand eines einzelnen Produkts, sondern anhand der gesamten Produktfamilie. Entsprechend muss dieses bei der Planung berücksichtigt werden.

Die Zeit je Einheit als zweite Einflussgröße ist zum Zeitpunkt der Planung nicht bekannt und muss daher geschätzt werden. Zur Vereinfachung können die bereits ermittelten montageobjektbezogenen Sekundärzeiten und falls vorhanden ermittelte Primärzeiten genutzt werden.

Die realisierte Anzahl von Mikro-Arbeitssystemen kann größer als die berechnete Anzahl sein, wenn Mikro-Arbeitssysteme in der Nutzungsphase nicht voll ausgelastet werden. Dieses tritt insbesondere bei lose verketteten Mikro-Arbeitssystemen auf. Ursache für diese zusätzlichen Mikro-Arbeitssysteme ist in der Regel die Tatsache, dass nicht alle für die vollständige Auslastung erforderlichen Betriebsmittel in einem Arbeitssystem angeordnet werden können. Hinweise über die Art und die Anzahl der zur Montage erforderlichen Betriebsmittel können beispielsweise aus dem Montagevorranggraph oder sofern vorhanden aus bestehenden Arbeitssystemen abgeleitet werden. Diese Informationen zu den Betriebsmitteln können ebenfalls für die Bewertung der Rüstumfänge genutzt werden.

6.3.2.3 Bestimmung der Kapazitätsteilung

Eine detaillierte Ermittlung der Kapazitätsteilung ist in frühen Phasen der Produktentwicklung noch nicht möglich, da ein Teil der Informationen, um z. B. die Leitlinie zur Planung der Kapazitätsteilung nach DITTMAYER /81, S. 85/ anzuwenden, fehlt. Anhand der zum Zeitpunkt der Planung vorliegenden Informationen kann aber eine grundsätzliche Entscheidung für eine Artteilung, eine gemischte Kapazitätsteilung oder eine Mengenteilung vorgenommen werden.

Zur Unterstützung einer vorläufigen Auswahl der Kapazitätsteilung können die in Abb. 6.12 zusammengestellten Merkmale und deren Erfüllungsgrad durch die verschiedenen Formen der Kapazitätsteilung genutzt werden.

Merkmale	Arteilung	Gemischte Kapazitätsteilung	Mengenteilung
Auswirkungen von Störungen im Mikro-Arbeitssystem auf andere Mikro-Arbeitssysteme	tendenziell hoch	guter Kompromiss	tendenziell gering
Anlernzeiten / Aufwand für Einarbeitung	tendenziell gering	guter Kompromiss	tendenziell hoch
Flächenbedarf je Mikro-Arbeitssystem	tendenziell gering	guter Kompromiss	tendenziell hoch
Handlungs- und Entscheidungsspielraum	tendenziell gering	guter Kompromiss	tendenziell hoch
Qualifikationsniveau	tendenziell gering	guter Kompromiss	tendenziell hoch
Transportaufwand zwischen Mikro-Arbeitssystemen	tendenziell hoch	guter Kompromiss	tendenziell gering
Aufwand für die Teilebereitstellung im Mikro-Arbeitssystem	tendenziell gering	guter Kompromiss	tendenziell hoch
Flexibilität zur Anpassung an Stückzahlschwankungen (Kapazitätsbedarf)	tendenziell gering	guter Kompromiss	tendenziell hoch
Flexibilität zur Anpassung an die Mitarbeiterverfügbarkeit (Kapazitätsangebot)	tendenziell gering	guter Kompromiss	tendenziell hoch
Eignung zur Trennung von Typen/Varianten mit großer Variation der Zeit je Einheit	nicht geeignet	geeignet	gut geeignet
Eignung zur Trennung von universellen und variantenspezifischen Teilaufgaben	nicht geeignet	gut geeignet	nicht geeignet
Eignung für kostenintensive Betriebsmittel	gut geeignet	geeignet	nicht geeignet
Eignung für kostenintensive Verkettungsmittel	nicht geeignet	geeignet	gut geeignet

Abb. 6.12: Bewertung von Merkmalen für unterschiedliche Formen der Kapazitätsteilung
/in Anlehnung an DITTMAYER 81, S. 84 und BULLINGER 86, S. 134/

Die gemischte Kapazitätsteilung stellt dabei in der Regel einen Kompromiss zwischen Art- und Mengenteilung dar, wobei auch bei gemischter Kapazitätsteilung Tendenzen zur einen oder zur anderen Seite feststellbar sind. Arteilige Systeme bieten sich insbesondere bei hohem Produktionsvolumen an, Einzweckbetriebsmittel können optimal genutzt werden, außerdem ist das erforderliche Qualifikationsniveau im Vergleich zu mengenteiligen Strukturen geringer und damit in der Regel auch das Entgelt der Mitarbeiter. Mengenteilung hat Vorteile, wenn Flexibilität in Bezug auf Stückzahlschwankungen und Variantenfertigung im Vordergrund steht. Erforderlich sind hierfür in der Regel aber qualifizierte Mitarbeiter, die aufwändig einzuarbeiten sind. Bei arteiliger Kapazitätsplanung sind alle im Rahmen der Kapazitätsbedarfsrechnung ermittelten Mikro-Arbeitssysteme erforderlich, bei Mengenteilung nur ein Mikro-Arbeitssystem. Bei gemischter Kapazitätsteilung liegt der Wert dazwischen und muss im Einzelfall abgeschätzt werden.

Als Ergebnis liegt somit die für die Montage eines Produkts erforderliche Anzahl an Mikro-Arbeitssystemen sowie die für die Montage eines Produkts erforderliche Anzahl vor. Anhaltspunkte zum Zusammenfassen von Mikro-Arbeitssystemen zu Makro-Arbeitssystemen ergeben sich in der Regel aus der Produktstruktur. Eine geeignete Gliederung in Makro-Arbeitssysteme kann aber nur produktspezifisch erfolgen, da hier unter anderem auch unternehmensspezifische Randbedingungen (z. B. verfügbare Fläche für Vor- und Endmontagen, produktübergreifende Verwendung teurer Betriebsmittel) zu berücksichtigen sind.

Zur Ermittlung einer Sekundärzeit für die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten ohne Montageobjektbezug kann die gleich Vorgehensweise wie bei den Tätigkeiten mit Objektbezug genutzt werden. Da es sich in der Regel um vergleichsweise wenig Arbeitssysteme und Tätigkeiten handelt, werden alle Tätigkeiten vollständig beschrieben. Auf eine Verwendung von statistischen Schätzern zur Aufwandsreduktion wird verzichtet. Die verschiedenen Felder der Matrix und ihre Indices sind in Abb. 6.13 zum besseren Verständnis dargestellt.

Arbeits- system	Tätigkeit j			Zwischen- ergebnis
	A	H	Ausprägungen	
			1 ... (k _j) ... q _j	
1 ⋮ (s) ⋮ u	a _{sj}	h _{sj}	y _{sjk_j}	a _{ij} h _{ij} y _{sjk_j}

Legende: A = Anzahl H = Häufigkeit

Abb. 6.13: Darstellung der verschiedenen Felder der Matrix

Für die Berechnung wird die Zeitdauer für die Tätigkeit k_j innerhalb der Tätigkeit j für das Arbeitssystem s mit y_{sjk_j} bezeichnet, mit:

$$s = 1, \dots, u.$$

Die Sekundärzeit für ein Arbeitssystem s berechnet sich durch:

$$AS_s = \sum_{j=1}^p a_{sj} h_{sj} y_{sjk_j}.$$

Werden die Sekundärzeiten aller Arbeitssysteme addiert, so ergibt sich ein Teil der montageobjektunabhängigen Sekundärzeit des Produkts durch:

$$P_3 = \sum_{s=1}^u AS_s .$$

Neben der mit der Matrix ermittelten montageobjektunabhängigen Sekundärzeit gibt es mit der Nacharbeit und dem Taktausgleich zwei weitere Anteile, die nicht in der dargestellten Form erfasst werden können und daher separat zu ermitteln sind. Anstelle von Tätigkeitsausprägungen mit definierter Zeitdauer kann für den Taktausgleich eine Berechnungsformel angegeben. Der Sekundärzeitanteil ist abhängig von der Zeitdauer der im Makro-Arbeitsystem ausgeführten Montagetätigkeiten und dem geschätzten Bandwirkungsgrad. Für die Montagedauer kann in einem ersten Schritt die Summe der Primärzeit und der montageobjektbezogenen Sekundärzeit angenommen werden (Falls keine Primärzeit vorliegt, ist diese durch Vergleichen und Schätzen zu ermitteln.). Unter Berücksichtigung aller für die Montage eines Produkts einbezogenen Mikro-Arbeitssysteme (entspricht der Summe aller Mikro-Arbeitssysteme in der Matrix) kann eine mittlere Montagedauer je Mikro-Arbeitssystem als Taktdauer t_T ermittelt werden. Voraussetzung ist, dass alle Mikro-Arbeitssysteme einen vergleichbaren Arbeitsinhalt besitzen. Der Taktausgleich ermittelt sich somit aus der Anzahl elastisch oder starr verketteter Mikro-Arbeitssysteme, einer durchschnittlichen Tätigkeitsdauer und einem vorgegebenen Bandwirkungsgrad:

$$T = D \cdot \frac{P_{\text{primär}} + P}{F} \cdot (1 - E) .$$

T = Taktausgleich (vgl. 4.2.12)

D = Anzahl elastisch verketteter Mikro-Arbeitssysteme

$P_{\text{primär}}$ = Primärzeit eines Produkts

P = montageobjektbezogene Sekundärzeit eines Produkts (vgl. Kap. 6.3.1.2)

F = Anzahl Mikro-Arbeitssysteme

E = Bandwirkungsgrad (vgl. 4.2.12)

Die Ermittlung des Aufwands für die Nacharbeit stellt sich schwieriger da. Es gibt keine direkten Anhaltspunkte anhand derer der Aufwand bestimmt werden kann. Dem Montageplaner nur die Möglichkeit, aufgrund seines Erfahrungswissens die relevanten Montageobjekte zu ermitteln und die mit der Nacharbeit erforderlichen Montagetätigkeiten sowie die wiederholt auszuführenden nicht wertschöpfenden Tätigkeiten im Einzelfall zu bewerten und zu dem Ergebnis der beiden Matrizen zu addieren.

6.3.2.4 Interpretation der Ergebnisse

Die Ermittlung von Sekundärzeiten für nicht montageobjektbezogene Tätigkeiten ist mit der Zeitermittlung für montageobjektbezogene Tätigkeiten vergleichbar. Im Gegensatz zu letzteren Tätigkeiten liegt der Hauptaufwand bei der Zeitdatenermittlung nicht in der Zuordnung von Tätigkeiten zu Arbeitssystemen sondern in der Ermittlung des Kapazitätsbedarfs und der Kapazitätsteilung. D. h. nicht das Zuordnen von Tätigkeiten bestimmt den Aufwand sondern die korrekte Bestimmung der Arbeitsorganisation, dargestellt durch die geplanten Makro- und Mikro-Arbeitssysteme in den Zeilen der Matrix. Eine vereinfachte Kalkulation ist aufgrund der vielfach geringen Anzahl von Zeilen innerhalb der Matrix und einer vergleichsweise aufwandsarmen Zuordnung von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zu Arbeitssystemen im Allgemeinen nicht erforderlich.

Liegen Sekundärzeiten für die geplante Form der Arbeitsorganisation vor, können diese mit den montageobjektbezogenen Sekundärzeiten verglichen werden. Dominieren die montageobjektunabhängigen Tätigkeiten, so ist dem Montageplaner zu empfehlen die Arbeitsorganisation bei der Montageplanung angemessen zur berücksichtigen. Die Ursache hierfür liegt zum Teil nur mittelbar in der geplanten Arbeitsorganisation, unmittelbare Ursache sind dann meistens die räumlichen Gegebenheiten, die lange Wege und damit hohe Transportaufwände hervorbringen.

7 Fallbeispiel zu der Sekundärzeitermittlung

Die Vorgehensweise zur Ermittlung von Sekundärzeiten in der Montage wurde mittels der zeitwirtschaftlichen Daten eines Herstellers von Industripumpen erprobt. Das sehr variable und dynamische Produktspektrum macht es erforderlich, sich regelmäßig mit der Planung der Montage zu befassen. Da es sich bei neuen Pumpen in der Regel um Anpassungskonstruktionen handelt, steht bei der Montageplanung die Ähnlichkeitsplanung im Vordergrund. Für die Anwendung der Vorgehensweise zur Sekundärzeitermittlung bedeutet dieses, dass neben Planungsinformationen auch die Analyse der derzeitigen Montage als Informationsbasis genutzt werden kann.

Neben der zeitlichen Bewertung neuer Produkte können mit dem Werkzeug zur Zeitdatenermittlung auch Verbesserungsmaßnahmen bewertet werden, bzw. kann das Ergebnis einer Sekundärzeitermittlung auch Impuls für Verbesserungen sein. Darüber hinaus können bei Bedarf auch gezielt Vergleiche unterschiedlicher Montageprozesse durchgeführt werden.

Das Produktspektrum des Herstellers umfasst verschiedene Baureihen von Radialpumpen, die vom Kunden nach einem Baukastensystem bestellt werden können. Spezielle Kundenwünsche werden durch Sonderkonstruktionen innerhalb des Baukastens berücksichtigt. Das Produktspektrum wird regelmäßig auf die Bedürfnisse der Kunden abgestimmt und aktualisiert. Für eine neue Pumpe (mit einer Gesamtlänge von etwa 800 mm) wird beispielhaft die Ermittlung einer Sekundärzeit durchgeführt. Es handelt sich hierbei um eine Radialpumpe, wie sie als Grundbaumuster in DIN 24250 genormt ist.

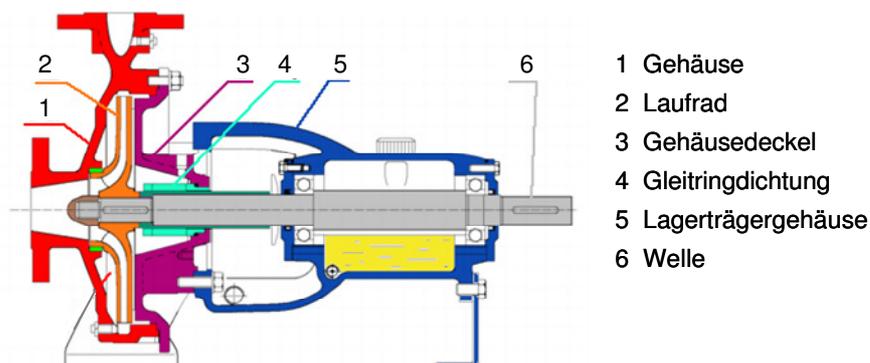


Abb. 7.1: Schematische Darstellung einer Radialpumpe nach DIN 24250

Nach der in Kap. 5 vorgestellten Vorgehensweise erfolgt im Weiteren die Ermittlung der Sekundärzeit für die ausgewählte Radialpumpe (vgl. Abb. 7.2). Aufgrund der beschriebenen Rahmenbedingungen kann von einer Ähnlichkeitsplanung für die Montage ausgegangen werden. Da es sich um die erstmalige Sekundärzeitermittlung handelt, sind die Schritte eins bis vier vergleichbar einer Neuplanung auszuführen. Für weitere Sekundärzeitermittlungen im Unternehmen kann auf die im Rahmen der Validierung entstandenen Daten zurückgegriffen werden, so dass sich der Erhebungsaufwand reduziert.

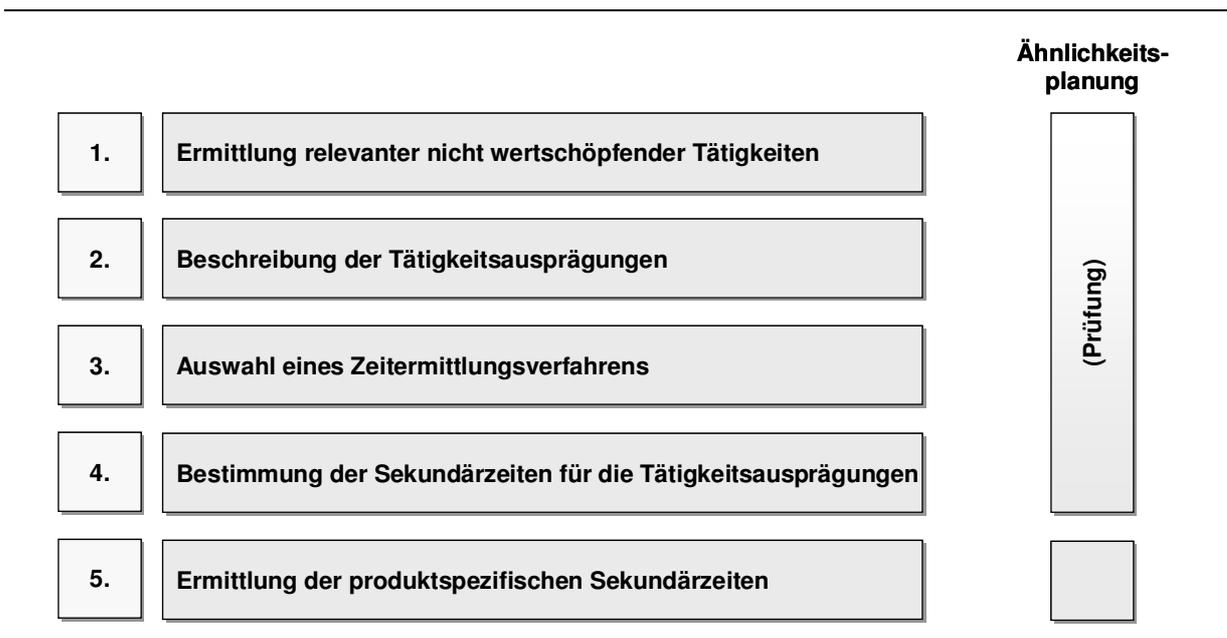


Abb. 7.2: Vorgehensweise zur Sekundärzeitermittlung im Rahmen des Fallbeispiels (in Anlehnung an Abb. 5.1)

7.1 Ermittlung relevanter nicht wertschöpfender Tätigkeiten

Die Ermittlung relevanter nicht wertschöpfender Tätigkeiten basiert auf den vorliegenden Produktinformationen (Stücklisten, Zusammenbauzeichnungen, Montagevorranggraph), dem geplanten Produktionsprogramm, sowie auf Informationen, die aus der bereits bestehende Montage und deren Organisation abgeleitet werden können. Darüber hinaus liegen strategische Überlegungen vor, die Fertigungssteuerung der Teilefertigung und der Montage nach dem Pull-Prinzip zu gestalten. Auswirkungen dieser Strategie auf die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten in der Montage sind ebenfalls zu berücksichtigen. Die geplante Umsetzung des Pull-Prinzips bedeutet beispielsweise, dass Pumpen, aber auch Vormontagegruppen und Bau-

teile, nur produziert werden, sofern ein Kundenauftrag vorliegt. Bei einer konsequenten Umsetzung werden Pumpen ausschließlich auftragsgebunden in der vom Kunden gewünschten Losgröße produziert. Eine Zusammenfassung von verschiedenen Aufträgen zu Montagelosen ist nicht mehr erwünscht. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass das Rüsten der Montagearbeitsplätze aufgrund der zu erwartenden geringeren mittleren Losgröße für die Sekundärzeitermittlung an Bedeutung gewinnen wird. Mit der Planung des Pull-Prinzips sind auch Veränderungen bei der Materialbereitstellung vorgesehen. Das gesamte Material für einen Auftrag wird vorkommissioniert und im Arbeitssystem bereitgestellt. Aufgrund der Bauteilabmessungen wird es nicht möglich sein, sämtliche Bauteile an den Verbauort zu bringen, so dass sowohl Aufwände für das Bereitstellen der Teile als auch für das Entpacken aus Transportverpackungen bei Zukaufteilen (z. B. Lagern) und für das Handhaben von Schutzmitteln zu erwarten sind. Aus der Analyse der bestehenden Montage geht hervor, dass unabhängig vom Pumpentyp Bauteile mit besonderer Schutzbedürftigkeit Verwendung finden. Da die Fertigungstiefe unverändert bleibt, wird erwartet, dass auch weiterhin Zukaufteile in der Montage anzutreffen sind.

Neben den organisatorischen Rahmenbedingungen der Montageplanung haben das Produkt und das Produktspektrum Einfluss auf die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten. Da das Produktspektrum sehr variabel ist, besteht beispielsweise die Vorgabe für die Montageplanung, alle Variantenbauteile vor der Montage eindeutig durch den Mitarbeiter identifizieren zu lassen (Tätigkeit: „Identität prüfen“). Eine Verwechslungsgefahr besteht insbesondere bei kleineren Bauteile und Normteilen, da durch das breite Produktspektrum beispielsweise Lager, Wellendichtringe, O-Ringe oder Flachdichtungen in Abstufungen von wenigen Millimetern in der Montage eingesetzt werden.

Daneben können auch anhand der Zusammenbauzeichnungen weitere Tätigkeiten abgeleitet werden, so die Vorgabe, das Anzugsmoment der meisten Schrauben zu prüfen (Tätigkeit: „Kontrollieren mit Prüfmitteln“) oder die Anforderung die Lager zu erwärmen, um sie von Hand aufzuschieben zu können. Das Aufschumpfen von Lagern hat sich bei den bestehenden Pumpentypen bewährt, so dass dieser Montageprozess auch für neue Pumpen beibehalten wird. Die meisten Schraubverbindungen bei der Montage von Pumpen werden mit einem definierten Anzugsmoment ausgeführt, damit die Bauteile gleichmäßig miteinander verspannt werden. So werden beispielsweise Leckagen zwischen Gehäuse und Gehäusedeckel zu vermeiden. Neben dem Anzugsmoment wird in der Regel auch festgelegt, in welcher Reihenfolge das Anziehen der Schrauben zu erfolgen hat. Diese Vorgabe hat aber keinen wesent-

lichen Einfluss auf die Tätigkeitsdauer. Weitere Prüfungen, die in der Montage standardmäßig ausgeführt werden, sind visuelle und haptische Prüfungen, um den Anlieferungszustand von Bauteilen zu kontrollieren und den Verschmutzungsgrad festzustellen.

Nach Beendigung einer Montage wird derzeit die ausgeführte Montage dokumentiert, indem der Auftrag fertiggemeldet wird, auftragsbegleitende Unterlagen vervollständigt werden und die Pumpe ihre Identifikationsnummer erhält. Dieser Ablauf wird auch zukünftig beibehalten.

Die Organisationsform nimmt, wie in Kap. 5.1 dargestellt, ebenfalls Einfluss auf die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten. Aufgrund der Produktgröße sowie der geplanten Jahresstückzahl wird mit lose verketteten Mikro-Arbeitssystemen geplant. Zwischen den Mikro-Arbeitssystemen werden Transporte stattfinden, die ohne Fördermittel oder mit Unstetigförderern geplant sind.

Nachfolgend sind die dargestellten Tätigkeiten in einer Matrix zusammengefasst. In ihr sind den nicht wertschöpfenden Tätigkeiten die ermittelten Ursachen gegenübergestellt.

nicht wertschöpfende Tätigkeit	Ursache				
	Produktinformationen	Produktionsprogramm	Arbeitsorganisation	unternehmensspezifische Randbedingungen	Erfahrungswissen aus der bestehenden Montage
Das Handhaben von Verpackungen	Empfindlichkeit der Bauteile beschrieben (z. B. Korrosionsempfindlichkeit der Lager)		Anlieferungszustand der Bauteile vorgegeben (z.B. Einschlag in Ölpapier bei Lagern)		geeignete Transportverpackungen und Schutzmittel
Das Bereitstellen von Teilen	aufgrund der Hauptabmessungen der Bauteilgröße erforderlich		aufgrund der geringen Losgrößen erforderlich	Vorkommissionierung als Teil der Pull-Prinzips vorgegeben	
Das Kontrollieren mit Prüfmitteln	konstruktive Vorgabe (z. B. Anzugsmoment für Schrauben), Prüfanweisungen				Bauteilkontrolle
Das Prüfen der Identität		Baukasten mit ähnlichen Produkten	zur Abgrenzung von Variantenteilen erforderlich		
Das Reinigen			undefinierte Anlieferungszustände bzgl. Sauberkeit		Verschmutzungen aus vorgelagerte Prozesse nicht ausschließbar
Das Erwärmen	Aufschumpfen als Fügeverfahren festgelegt				
Das Verwenden von Montagehilfen	Empfindlichkeit von Bauteilen (z. B. Beschädigung bei Wellendichtringen vorbeugen)				
Das Dokumentieren	Protokolle erstellen, Identifikationsnummer auf Pumpe		Rückmeldung für die Fertigungssteuerung		
Der Montageobjekttransporte zwischen Arbeitssystemen			aufgrund der geplanten Organisationsform		
Das Rüsten		Baukasten mit ähnlichen Produkten		kein Zusammenfassen von Losen zur Rüstminimierung	

Abb. 7.3: Relevante nicht wertschöpfende Tätigkeiten und ihr Ursache

7.2 Beschreibung der Tätigkeitsausprägungen

Bei der Beschreibung der Tätigkeiten zu Ermittlung der Tätigkeitsausprägungen kann im Rahmen der Montageplanung zumindest teilweise auf Erfahrungen aus dem bestehenden Montagearbeitssystem zurückgegriffen werden. Dieses ist insbesondere für die montageobjektbezogenen Tätigkeiten möglich, da die geplanten Veränderungen in der Fertigungssteuerung gegenüber dem derzeitigen Stand nur bedingt Einfluss auf die Tätigkeiten und deren Ausprägung nimmt. Für die nicht montageobjektbezogenen Tätigkeiten sind die Entfernungen anhand eines ersten Entwurfs (vgl. Abb. 7.4) für die Anordnung der Makro- und der Mikro-Arbeitssysteme abzuschätzen.

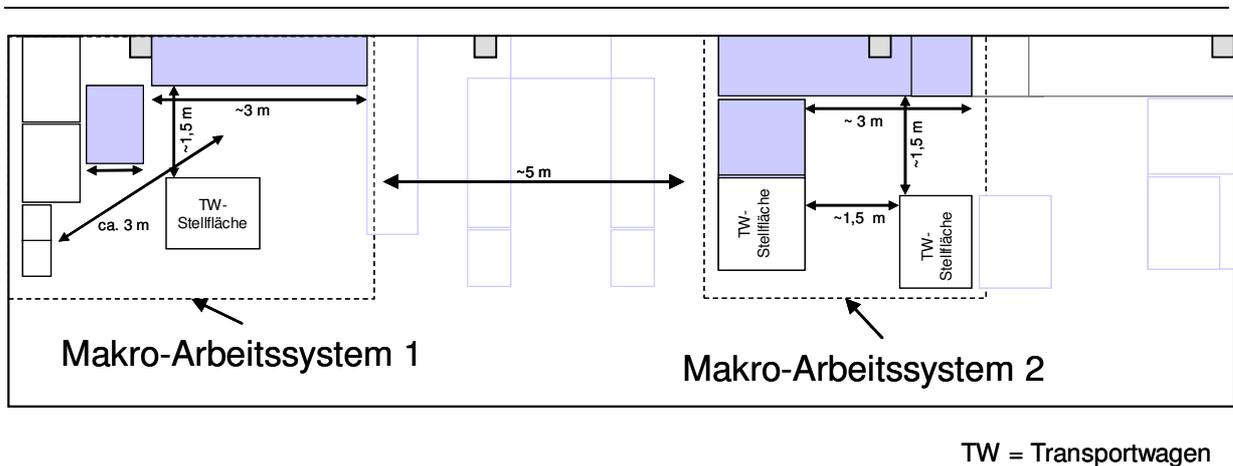


Abb. 7.4: Geplante Anordnung der Makro- und der Mikro-Arbeitssysteme

Für die Ermittlung von Entfernungen beim Handhaben von Werkzeugen kann darüber hinaus eine weitere Planungsvorgabe genutzt werden, nach der alle Werkzeuge so anzuordnen sind, dass der Mitarbeiter sie ohne größeren Aufwand verwenden kann. Dieses schließt zum einen aus, dass die Werkzeuge vermischt in einer Werkzeugkiste liegen, was ein Suchen erfordern würde, zum anderen sollten alle Werkzeuge durch Bewegungen des Arms erreicht werden können, damit Körperbewegungen entfallen. Die geplante (und nach Abschluss der Montageplanung) realisierte Anordnung der Werkzeuge ist in Abb. 7.5 dargestellt.



Abb. 7.5: Werkzeuganordnung in einem geplanten (und nach Abschluss der Montageplanung realisierten) Mikro-Arbeitssystem

Die im ersten Schritt ermittelten nicht wertschöpfenden Tätigkeiten sind für die weitere Vorgehensweise zu detaillieren, indem die im Rahmen der Montage zu erwartenden Tätigkeitsausprägungen hinzugefügt werden. Hierbei kann zum einen auf die Beschreibung der Tätigkeiten und ihrer unternehmensübergreifenden Einflussgrößen (vgl. 4.2) und zum anderen auf Erfahrungen aus dem bestehenden Montagesystem zurückgegriffen werden.

Aufgrund der auftragsbezogenen Montage der Pumpen mit einer hohen Variabilität werden Zukaufteile unregelmäßig und in kleineren Stückzahlen bezogen, so dass der Einsatz von Mehrwegtransportverpackungen nicht wirtschaftlich ist. Zukaufteile werden daher im Allgemeinen in Einwegtransportverpackungen wie Faltschachteln oder Beuteln angeliefert. Da es sich bei den Zukaufteilen in der Regel um kleinere Bauteile handelt (z. B. Lager, Wellendichtringe, Dichtungen), wurde auf die Einflussgröße „Hauptabmessungen der Verpackung“ (vgl. Kap.4.2.3) verzichtet. Neben der Transportverpackung sind in der Pumpenmontage unterschiedliche Schutzmittel anzutreffen. So sind Bauteile in Einschlagpapier oder Folien eingewickelt und Schutzkappen sowie Stopfen verhindern ein Verschmutzen von Gehäusen und vergleichbaren Bauteilen.

Durch die neue Form der Materialbereitstellung als auftragsbezogener vorkommissionierter Teilesatz sind aufgrund der Hauptabmessungen der großen Bauteile sowie der Vielzahl der kleineren Teile und Normteile sowohl das Handhaben von Sammelbehältern wie z. B. Tablett als auch das Bereitstellen einzelner Teile über unterschiedliche Entfernungen zu erwarten.

Zur Detaillierung der Kontrolltätigkeiten kann auf bestehende Abläufe zurückgegriffen werden. Neben Maßband und Messschieber sind Messuhr, Mikrometerschraube und Drehmomentschlüssel gängige Prüfmittel in der Montage. Darüber hinaus werden visuelle und haptische Prüfungen durch den Mitarbeiter ausgeführt, um Bauteile zu kontrollieren oder die Korrektheit eines Montageprozesses sicherzustellen. In der Montage sind demnach sowohl Attribut- als auch Variablenprüfungen mit unterschiedlichen Prüfmitteln bzw. in verschiedenen Ausprägungen anzutreffen (vgl. 4.2.6).

Messmittel werden in der Montage teilweise auch eingesetzt, um Bauteile eindeutig zu identifizieren, sofern eine Entscheidung aufgrund der hohen Ähnlichkeit nicht ohne Messmittel erfolgen kann (z. B. Wellendichtringe mit Durchmesser 68 mm und 70 mm) und sonst keine anderen eindeutigen Unterscheidungsmerkmale vorliegen. Bei Bauteilen mit Identifikationsnummer wird diese zum Abgleich mit dem Auftrag vorgezogen. Es sind somit sowohl Merkmale als auch Datensätze zu erfassen (vgl. Kap. 4.2.6). Da die einzelnen Arbeitsplätze derzeit nicht mit einer elektronischen Datenerfassung ausgestattet sind und dieses auch mittelfristig nicht geplant ist, können beim Erfassen und Verarbeiten von Daten Tätigkeitsausprägungen mit elektronischer Unterstützung vernachlässigt werden.

Für das Reinigen bei der Pumpenmontage sind zwei Formen anzutreffen, das Reinigen mit Druckluft und das Reinigen mit einem Lappen. Weitere für die Montage typische Reinigungsverfahren (vgl. 4.2.7) sind von untergeordneter Bedeutung. Da der Grad der Verschmutzung in der Regel über alle Bauteilen vergleichbar ist, kann auf diese Einflussgröße verzichtet werden, so dass nur die Fläche als Einflussgröße bestehen bleibt. Druckluft wird im Allgemeinen verwendet, um Späne und größere Anhaftungen zu entfernen, während der Lappen für das Entfernen der Rückstände von Hilfsstoffen und kleineren Anhaftungen genutzt wird.

Beim Erwärmen spielt die Bauteilgröße eine wesentliche Rolle. Da ausschließlich Lager erwärmt werden und diese alle eine vergleichbare Größe haben, erfolgt keine weitere Gliederung der Tätigkeit.

Wie in Kap. 4.2.9 dargestellt, wird der Aufwand für das Verwenden von Montagehilfen insbesondere durch die Schnittstelle zwischen Montagehilfe und Montageobjekt definiert. Für die Montage der verschiedenen Pumpentypen sind nur wenige Montagehilfen erforderlich. Sie können anhand ihrer Fixierung unterschieden werden. Während die eine Gruppe durch ein einfaches Aufschieben oder Aufstecken bereits einsatzbereit ist, bedarf es bei der anderen Gruppe verschiedener Spann- und Fixiertätigkeiten.

Das Dokumentieren stellt im Rahmen der Montage eine Tätigkeit mit sehr unterschiedlichen Tätigkeitsausprägungen dar. Es sind alle in Kap. 4.2.11 angeführten Einflussgrößen (Ort der Dokumentation, Informationsumfang, Art der Dokumentation) anzutreffen. Ursache hierfür ist zum einen die Arbeitsorganisation, die von dem Mitarbeiter verschiedene Dokumentationen verlangt. Zum anderen sind an der Pumpe verschiedene Kennzeichnungen anzubringen, die die Durchführung einzelner Montageschritte bestätigt.

Der Transport von Montageobjekten zwischen Arbeitssystemen wird aufgrund der Arbeitsorganisation (lose verkettete Mikro-Arbeitssysteme) sowie der geringen Jahresstückzahl im Wesentlichen mit Unstetigförderern oder ganz ohne technische Unterstützung ausgeführt.

Das Rüsten der Mikro-Arbeitssysteme beschränkt sich für die Betriebsmittel auf den Wechsel von Werkzeugaufsätzen und von Aufnahmen an Vorrichtungen, da aufgrund der Variabilität der Pumpen die Einrichtung eines Universalarbeitsplatzes sinnvoll ist. Die Tätigkeit des Anordnens von Material ist durch die Vorgabe der auftragsbezogenen Vorkommissionierung bereits stark in seinen Ausprägungen limitiert, so dass die Transportentfernung in diesem Fall als Einflussgröße übrig bleibt. Aufwändig bleibt das Aufnehmen von Informationen beim Rüsten. Aufgrund der Komplexität des Produkts sind verschiedenste Tätigkeitsausprägungen bei der Verarbeitung von Informationen anzutreffen.

Eine Zusammenstellung aller Tätigkeitsausprägungen der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zeigt Abb. 7.6.

<u>Tätigkeit</u>	<u>Tätigkeitsausprägung</u>	<u>Tätigkeit</u>	<u>Tätigkeitsausprägung</u>
Das Öffnen von Transportverpackung	Faltschachtel ohne Werkzeug Faltschachtel mit Werkzeug Beutel ohne Werkzeug Beutel mit Werkzeug	Das Verwenden von Montagehilfen	ohne aufwendige Fixierung ohne aufwendige Fixierung - mit Auswahl einer geeigneten Montagehilfe
Das Handhaben von Schutzmitteln	Einschlagpapier/Folie klein Einschlagpapier/Folie groß Schutzhülle/Schutzstopfen	Das Dokumentieren	Abzeichnen am Montageobjekt Körnung am Montageobjekt Stempeln Etikett Schlagzahl am Montageobjekt Wort / Code auf separater Unterlage
Der Behälterwechsel	KLT ohne Weg KLT mit Weg Tableau mit Weg	Der Montageobjekttransport zwischen Arbeitssystemen	ohne Fördermittel; Entfernung: 2 m ohne Fördermittel; Entfernung: 5 m mit Transportwagen; Entfernung: 2 m mit Transportwagen; Entfernung: 5 m mit Transportwagen; Entfernung: 10 m mit Transportwagen; Entfernung: 15 m
Das Bereitstellen von Teilen	Entfernung: 1 Meter Entfernung: 2 Meter Entfernung: 4 Meter	Das Rüsten von Betriebsmittel	Drehmoment einstellen u. Aufsatz / Nuss wechseln Werkzeugaufsatz (Nuss etc.) wechseln Aufnahme an Vorrichtung wechseln
Das Kontrollieren mit Prüfmitteln	Skalenmessgerät mit beweglichen Teilen Skalenmessgerät ohne bewegliche Teile Sichtprüfen Flächen / Kanten Sichtprüfen Merkmal haptische Prüfung - Fläche haptische Prüfung - Gängigkeit Drehmoment prüfen	Das Anordnen von Material	Tablett bereitstellen; Entfernung : 2 m mit Transportwagen; Entfernung: 2 m mit Transportwagen; Entfernung: 5 m mit Transportwagen; Entfernung: 10 m
Das Prüfen der Identität	Variable als Merkmal - manueller Abgleich Attribut als Merkmal - manueller Abgleich Datensatz lesen - manueller Abgleich	Das Aufnehmen von Information	Information aufnehmen; 1/4 Seite Text lesen Information aufnehmen; 1/2 Seite Text lesen Information aufnehmen; 1/1 Seite Text lesen Information ablegen; abhaken Information ablegen; stempeln Information ablegen; Wort / Code schreiben Information ablegen; 10 Wörter / Code schreiben Information ablegen; umfangreiche EDV-Eingabe
Das Reinigen	Lappen - abwischen Punkt Lappen - abwischen Fläche klein Lappen - abwischen Fläche groß Druckluft - Punkt Druckluft - kleine Fläche Druckluft - große Fläche Sauger		
Das Erwärmen	Bauteile bis 4 dm ² Grundfläche		

Abb. 7.6: Zusammenstellung aller relevanten Tätigkeiten und deren Tätigkeitsausprägungen

7.3 Auswahl eines Zeitermittlungsverfahrens

Für die Auswahl des geeigneten Verfahrens zur Ermittlung der Tätigkeitszeiten sind neben den relevanten Tätigkeiten der Bewertungsumfang, die Wiederholhäufigkeit und der Organisationsgrad der Montagetätigkeit zu ermitteln. Während der Bewertungsumfang und die Wiederholhäufigkeit durch Vergangenheitsdaten und das geplante Produktionsprogramm beschreibbar sind, ist der Organisationsgrad anhand charakteristischer Merkmale der Arbeitsorganisation festzulegen. Der Bewertungsumfang, also der Arbeitsinhalt je Mikro-Arbeits-system, kann anhand der Komplexität des Produkts in Verbindung mit der geplanten Jahresstückzahl als „mittel“ eingestuft werden. Der Arbeitsinhalt je Mitarbeiter liegt oberhalb einiger weniger Minuten, umfasst aber in der Regel nicht mehr als eine Stunde. Aufgrund des

geplanten Produktionsprogramms wird die Wiederholhäufigkeit ebenfalls als „mittel“ bewertet. Der Organisationsgrad kann anhand der Beschreibung der Arbeitsorganisation (vgl. Abb. 5.6) ermittelt werden. Durch die Vorgaben zur auftragsbezogenen Montage der Pumpen wird sowohl die Gestaltung der Arbeitsplätze als auch die Materialbereitstellung (auftragsbezogene Vorkommissionierung) beeinflusst. Die Mikro-Arbeitssysteme sind standardisiert gestaltet und erhalten ihr Material nach dem Hol-Prinzip mit Bereitstellung, d. h. die vorkommissionierten Gesamtaufträge werden im Mikro-Arbeitssystem bereitgestellt, so dass der jeweilige Mitarbeiter sein Material jeweils an definierten Bereitstellorten abholen kann. Darüber hinaus sind auch die Auftragsinformationen so ausgeführt, dass insgesamt von einem mittel ausgeprägten Organisationsgrad ausgegangen werden kann.

Als Zeitdatenermittlungsverfahren ist hiermit das Bausteinsystem der UAS-Grundvorgänge, ein Unterteiltes Schätzen oder ein Schätzen mit Zeitklassen möglich. Aufgrund der höheren systemimmanenten Genauigkeit wird bei allen nicht wertschöpfenden Tätigkeiten, sofern möglich, das Bausteinsystem der UAS-Grundvorgänge bevorzugt. Der größere Aufwand wird für eine bessere Reproduzierbarkeit bzw. eine bessere Dokumentation der Planungsergebnisse in Kauf genommen.

7.4 Bestimmung der Sekundärzeiten für die Tätigkeitsausprägungen

Aufbauend auf den Tätigkeitsbeschreibungen können für alle Tätigkeitsausprägungen MTM-Analysen erstellt werden. Neben der eigentlichen Ablaufbeschreibung wird zusätzlich der Tätigkeitsumfang im Kopf der Analyse dargestellt. Sofern Einschränkungen bei der Verwendung der Analyse bestehen, werden diese ebenfalls aufgeführt. Durch die Beschreibung des Arbeitsablaufes inklusive der Kodierungen kann die für die Zeitdatenermittlung angenommene Bewegungsabfolge klar nachvollzogen werden. Ein Beispiel für eine Analyse ist in Abb. 7.8 dargestellt.

	Prozessbaustein		Seite(n): 1 / 1	
	Öffnen von Transportverpackungen		gedruckt am:	
			gedruckt vom:	
Kode: Transportverpackung_FS_m_Wkz		Datum: 22.02.06		
Ersteller:		Tätigkeitszeit:		0.17 MIN
Tätigkeitsausprägung: Faltschachtel mit Werkzeug				
Beginn: zum Faltschachtel hinlangen Inhalt: Schachtel aufnehmen und mit Werkzeug öffnen, Teil entnehmen und ablegen, Schachtel ablegen/entfernen Ende: nach dem Ablegen Begrenzung: Gewicht: < 8 daN				
Nr.	Beschreibung	Kode	Faktor	TMU
1	Karton aufnehmen	AA3	0.5	25
2	Karton aufnehmen	AD3	0.5	30
3	Werkzeug aufnehmen	HB3	1	75
4	Klebeband zerschneiden (Weg < 20 cm)	ZA1	0.3	2
5	Klebeband zerschneiden (Weg < 50 cm)	ZA2	0.7	11
6	4 Laschen öffnen	AA1	2	40
7	Laschen knicken	ZA1	1	5
8	Teil entnehmen und ablegen	AA2	0.5	18
9	Teil entnehmen und ablegen	AD3	0.5	30
10	Karton ablegen	AA3	1	50

Abb. 7.7: Beispiel einer MTM-UAS-Analyse für eine Tätigkeitsausprägung des „Transportverpackung handhaben“

Grundsätzlich sind für alle Tätigkeitsausprägungen diese Analysen zu erstellen. Zur Vereinfachung der Analysen wurde, sofern sinnvoll, auf das Bausteinsystem der UAS-Standardvorgänge sowie den MTM-Logistikdaten-Datenkatalog zurückgegriffen. Beide lassen sich auf das Bausteinsystem der UAS-Grundvorgänge zurückführen.

7.5 Kalkulation der produktspezifischen Sekundärzeit

Für die Ermittlung der produktspezifischen Sekundärzeit sind zum einen die Tätigkeiten mit Montageobjektbezug und zum anderen die ohne Bezug zu ermitteln. Hierzu wird das in Kap. 6.3 vorgestellte Werkzeug genutzt. In zwei getrennten Matrizen werden die jeweiligen Sekundärzeiten für die Pumpe ermittelt.

Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten mit Montageobjektbezug

Für die zeitliche Bewertung der montageobjektbezogenen Sekundärzeiten wird die aufwandsreduzierte Vorgehensweise angewendet. In den Zeilen der Matrix ist die Produktstruktur auf Basis der gegebenen Stückliste aufgetragen, in den Spalten die relevanten Tätigkeiten mit ihren zeitlich bewerteten Tätigkeitsausprägungen. Im ersten Schritt werden nur die Faktoren

Anzahl und Häufigkeit bestimmt, die die Montageobjekte mit den Tätigkeiten verbinden (vgl. Abb. 7.8). Mit Hilfe dieser Werte kann die minimale Tätigkeitszeit für ein Montageobjekt i (M_i^m) und die maximale Tätigkeitszeit für ein Montageobjekt i (M_i^M) berechnet werden:

$$M_i^m = \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{m(j)}} ; \quad M_i^M = \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{M(j)}} .$$

Neben den Faktoren sind in der Matrix weiterhin die minimale und die maximale Tätigkeitszeit einer Tätigkeit eines Montageobjekts als Zwischenergebnis angegeben.

		Bauteilbezogene nicht wertschöpfende Tätigkeiten															
		Das Kontrollieren mit Prüfmitteln							Das Prüfen der Identität								
		...	Anzahl	Häufigkeit	Skalenmessgerät		Sichtprüfen		haptische Prüfung Fläche	Drehmoment	Zwischenergebnis	Anzahl	Häufigkeit	Variable als Merkmal	Attribut als Merkmal	Datensatz lesen	Zwischenergebnis
					mit beweglichen Teilen	ohne bewegliche Teile	Flächen/Kanten	Merkmal						manueller Abgleich	manueller Abgleich	manueller Abgleich	
Montageobjekt	Menge	...															
Pumpe	1 Stck																
Spiralgehäuse	1 Stck										1	1					368 TMU - 658 TMU
Verschlusschraube	1 Stck																
Dichtring	1 Stck																
Stiftschrauben	8 Stck										1	1					368 TMU - 658 TMU
Mutter	8 Stck		8	1						160 TMU - 2024 TMU							
ZSB Läufer	1 Stck																
LaufRad	1 Stck		1	1						20 TMU - 253 TMU	1	2					736 TMU - 1316 TMU
LaufRadmutter	1 Stck		1	1						20 TMU - 253 TMU							
Dichtung	1 Stck																
Passfeder	1 Stck																
ZSB Lagerung	1 Stck																
Spritzring	1 Stck										1	1					368 TMU - 658 TMU
ZSB Gehäusedeckel	1 Stck																
Gehäusedeckel	1 Stck		1	2						40 TMU - 506 TMU	1	1					368 TMU - 658 TMU
O-Ring	1 Stck																
Lagerträgerlaterne	1 Stck		1	1						20 TMU - 253 TMU							
Verschlusschraube	1 Stck										1	1					368 TMU - 658 TMU
Dichtung	1 Stck										1	1					368 TMU - 658 TMU
Kerbstift	1 Stck		1	1						20 TMU - 253 TMU							
Stiftschraube	4 Stck										1	1					368 TMU - 658 TMU
Mutter	4 Stck		4	1						80 TMU - 1012 TMU	1	1					368 TMU - 658 TMU
...	... Stck																

Abb. 7.8: Ausschnitt aus der Matrix zur Ermittlung der montageobjektbezogenen Sekundärzeit

Aus den minimalen und der maximalen Tätigkeitszeiten eines Montageobjekts lässt sich dessen Spannweite als Maß für dessen Streuung angeben, wobei die Spannweite aller Tätigkeitszeiten für ein Montageobjekt i (V_i^M) definiert wurde als:

$$V_i^M = \sum_{j=1}^p a_i h_{ij} x_{ijk_{M(j)}} - \sum_{j=1}^p a_i h_{ij} x_{ijk_{m(j)}} = M_i^M - M_i^m.$$

Für die Pumpe mit ihren Bauteilen und Baugruppen lassen sich diese Werte berechnen und in einer Übersicht zusammenstellen.

Montageobjekt	Menge	M_i^m	M_i^M	V_i^M
		minimale Tätigkeitszeit	maximale Tätigkeitszeit	Spannweite
Pumpe	1 Stck	240 TMU	1663 TMU	1423 TMU
Spiralgehäuse	1 Stck	533 TMU	1643 TMU	1110 TMU
Verschlusschraube	1 Stck	0 TMU	0 TMU	0 TMU
Dichtring	1 Stck	0 TMU	0 TMU	0 TMU
Stiftschrauben	8 Stck	368 TMU	658 TMU	290 TMU
Mutter	8 Stck	160 TMU	2024 TMU	1864 TMU
<i>ZSB Läufer</i>	1 Stck	0 TMU	0 TMU	0 TMU
Laufrad	1 Stck	1104 TMU	3522 TMU	2418 TMU
Laufradmutter	1 Stck	20 TMU	253 TMU	233 TMU
Dichtung	1 Stck	0 TMU	0 TMU	0 TMU
Passfeder	1 Stck	0 TMU	0 TMU	0 TMU
<i>ZSB Lagerung</i>	1 Stck	0 TMU	0 TMU	0 TMU
Spritzring	1 Stck	368 TMU	658 TMU	290 TMU
<i>ZSB Gehäusedeckel</i>	1 Stck	0 TMU	0 TMU	0 TMU
Gehäusedeckel	1 Stck	858 TMU	4444 TMU	3586 TMU
O-Ring	1 Stck	0 TMU	0 TMU	0 TMU
Lagerträgerlaterne	1 Stck	280 TMU	2003 TMU	1723 TMU
Verschlusschraube	1 Stck	368 TMU	658 TMU	290 TMU
Dichtung	1 Stck	368 TMU	658 TMU	290 TMU
Kerbstift	1 Stck	20 TMU	253 TMU	233 TMU
Stiftschraube	4 Stck	368 TMU	658 TMU	290 TMU
Mutter	4 Stck	448 TMU	1670 TMU	1222 TMU
...	... Stck	...	...	...

Abb. 7.9: Minimale und maximale Tätigkeitsdauern sowie die Spannweite für unterschiedliche Montageobjekte

Werden die Werte für V_i^M für alle Montageobjekte i summiert, ergibt sich die Gesamtstreuung der Sekundärzeit der Pumpe (V^P):

$$V^P = \sum_{i=1}^n V_i^M.$$

In diesem Beispiel liegt der Wert für V^P bei ca. 25.000 TMU, was in etwa 15 Minuten entspricht.

Für die angestrebte Vereinfachung der Zeitdatenermittlung sind solche Bauteile oder Baugruppen der Pumpe zu identifizieren, die einen besonders starken Einfluss auf die Sekundärzeit der Pumpe haben. Hierfür wurde die Kennzahl S_i^M definiert, anhand derer die Bauteile und Baugruppen in zwei Gruppen aufgeteilt werden können. Die Kennzahl S_i^M beschreibt das Verhältnis der Streuung der Sekundärzeit eines Montageobjekts i zur Gesamtstreuung V^P des Produkts.

$$S_i^M = \frac{\sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{M(j)}} - \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{m(j)}}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{M(j)}} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p a_{ij} h_{ij} x_{ijk_{m(j)}}} = \frac{V_i^M}{V^P}$$

Die Kennzahl S_i^M wurde für alle Montageobjekte der Pumpe bestimmt. Für einen Teil der Baugruppen und Bauteile ist die Größe der Kennzahl in einem Diagramm dargestellt (vgl. Abb. 7.10). Es ist zu erkennen, dass die Kennzahl für die ausgewählten Montageobjekte zwischen einem Prozent und vierzehn Prozent variiert, wobei es wenige Montageobjekte mit hohen Werten und viele Montageobjekte mit geringen Werten für die Kennzahl S_i^M gibt.

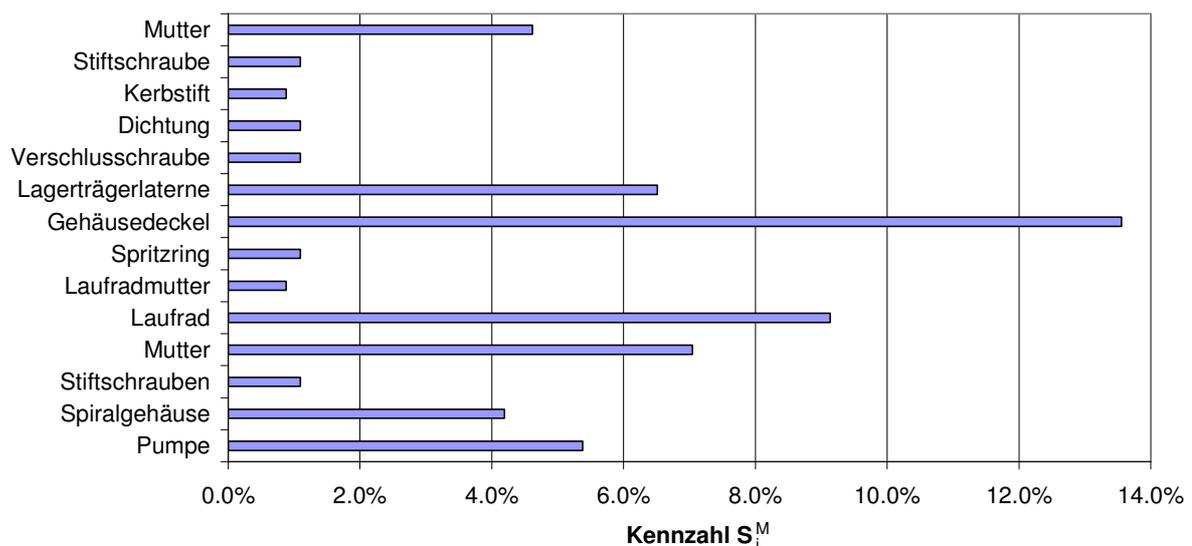


Abb. 7.10: Die Größe der Kennzahl S_i^M für beispielhafte Montageobjekte

Die Kennzahl S_{M_i} wird als Entscheidungskriterium genutzt, um die Montageobjekte in zwei Gruppen für das weitere Vorgehen zu unterteilen. Bauteile und Baugruppen mit einem hohen

Wert für S_{M_i} werden in der Menge G_i zusammengefasst, bis die Summe der Kennzahl oberhalb von 90 Prozent liegt. Bei Erreichen dieser Grenze kann davon ausgegangen werden, dass der Fehler der Zeitdatenermittlung unterhalb der Grenze von zwölf bis dreizehn Prozent liegt, die für die Zeitdatenermittlung in der Montageplanung angenommen werden soll. Die Aufteilung der Montageobjekte in die beiden Gruppen ist in Abb. 7.11 dargestellt.

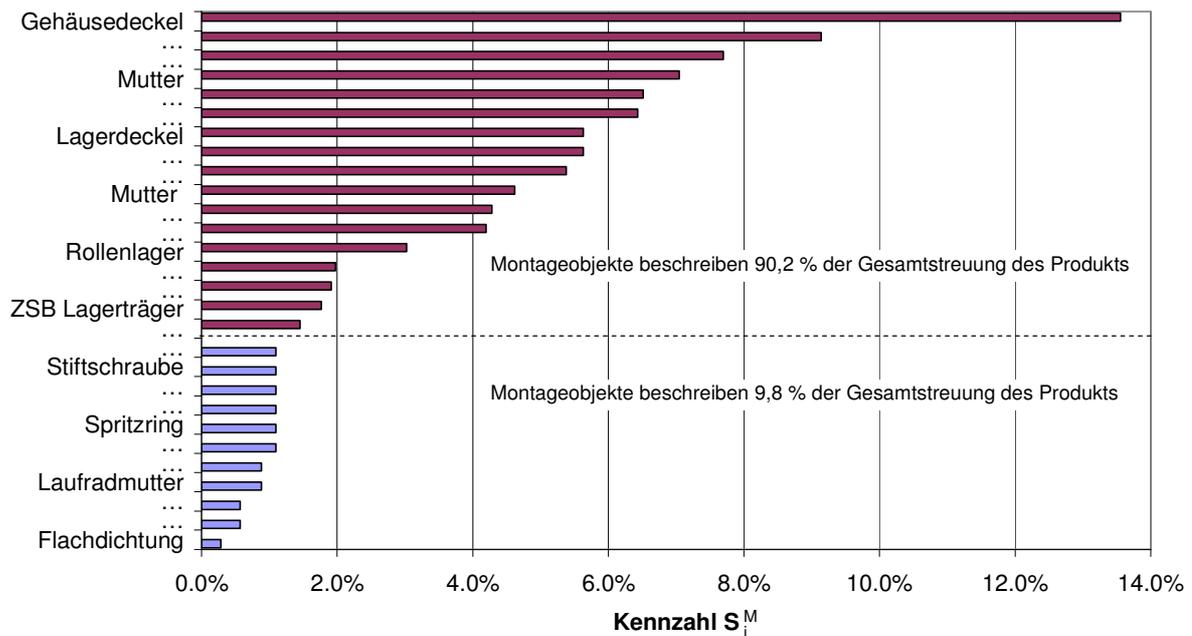


Abb. 7.11: Die Gruppierung der Montageobjekte anhand des 90 % -Kriteriums

Für die betrachtete Pumpe sind etwa 60 Prozent der Montageobjekte Teil von G_1 mit einem Anteil von 90,2 Prozent der Gesamtstreuung des Produkts. Die übrigen 40 Prozent der Montageobjekte tragen nur 9,8 Prozent zur Gesamtstreuung des Produkts bei.

Für die Montageobjekte aus G_1 werden im nächsten Schritt die Tätigkeitsausprägungen festgelegt und in die Matrix übertragen. Somit kann für diese Montageobjekte der Sekundärzeitanteil P_1 bestimmt werden, der für die betrachtete Pumpe bei 15 Minuten liegt.

Für die Montageobjekte aus G_2 wurde das geometrische Mittel als Schätzer für eine Tätigkeitsdauer verwendet. Summiert über alle Montageobjekte aus G_2 ergibt sich für \hat{P}_2 ein Wert von etwa 2 Minuten.

Um zu validieren, ob das geometrische Mittel als Schätzer besser geeignet ist als das arithmetische Mittel, werden auch für Montageobjekte aus G_2 die Tätigkeitsausprägungen festgelegt, so dass für diese ebenfalls eine exakte Tätigkeitsdauer als Referenz vorliegt.

Außerdem wird zusätzlich zum Schätzer auf Basis der geometrischen Mittels ein Schätzer auf Basis des arithmetischen Mittels bestimmt. Auf Grundlage dieser Informationen stellt sich folgendes Ergebnis dar:

Bei der Verwendung der geometrischen Mittels weicht die Sekundärzeit eines Produkts P (mit $P = P_1 + \hat{P}_2$) um 1,8 Prozent von dem Wert ab, der ermittelt wird, sofern alle Tätigkeitsausprägungen festgelegt werden und von der Verwendung von statistischen Schätzern abgesehen wird. Würde das arithmetische Mittel genutzt, um einen Wert für \hat{P}_2 zu ermitteln, so läge die Abweichung in diesem Beispiel bei fünf Prozent. Es konnte somit exemplarisch gezeigt werden, dass das geometrische Mittel dem arithmetischen Mittel vorzuziehen ist.

Dem Ergebnis kann ebenfalls entnommen werden, dass durch die Verwendung von Schätzern zur Vereinfachung der Zeitdatenermittlung mit 1,8 Prozent Abweichung ein Fehler eingetreten ist, der weit unterhalb der Vorgabe von zwölf bis dreizehn Prozent liegt. Die Vorgehensweise zur Aufwandsminimierung hat sich somit als für die Praxis geeignet erwiesen.

Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten ohne Montageobjektbezug

Für die Ermittlung der nicht montageobjektbezogenen Sekundärzeiten wurde von insgesamt vier Mikro-Arbeitssystemen in zwei Makro-Arbeitssystemen ausgegangen. Grundlage dieser Werte war die Bestimmung einer minimalen Anzahl von Mikro-Arbeitssystemen auf Basis des geplanten Produktionsprogramms und einer ungefähren Montagedauer für eine Pumpe. Demnach sind insgesamt drei Mitarbeiter erforderlich, um die geplante Stückzahl zu montieren. Aufgrund der auftragsorientierten, variantenreichen Montage wurde eine mengen- teilige Arbeitsorganisation favorisiert. In einem vorgelagerten Makro-Arbeitssystem sind weniger aufwändige Vormontagen geplant, die Endmontage soll in zwei gleichen Makro-Arbeitssystemen erfolgen. Die Vormontage versorgt abwechselnd beide Endmontagen. Aufgrund der erforderlichen Vorrichtungen sind je Makro-Arbeitssystem mehrere Mikro-Arbeitssysteme vorgesehen, die alle von einem Mitarbeiter genutzt werden und damit nicht voll ausgelastet sind. Nach Analyse der Montagevorgänge werden für das Makro-Arbeitssystem „Vormontage“ zwei Mikro-Arbeitssysteme und für die beiden Makro-Arbeitssysteme „Endmontage“ jeweils zwei Mikro-Arbeitssysteme vorgesehen. Die Teilebereitstellung erfolgt jeweils durch eine Gesamtauftragskommissionierung, wobei die Teile jeweils im Makro-Arbeitssystem bereitgestellt werden. Das Material wird mit den vormontierten Baugruppen zum nächsten Makro-Arbeitssystem transportiert.

Durch das variantenreiche Produktspektrum ist eine Spezialisierung der Arbeitsplätze auf bestimmte Produkte oder Prozesse nur bedingt sinnvoll. Es werden daher Standardmontagearbeitsplätze geplant, die schnell und einfach umgerüstet werden können. Im Wesentlichen sind Werkzeuge und Vorrichtungsaufnahmen an die veränderten Produkte anzupassen. Das Rüsten des Materials wird durch die auftragsweise Bereitstellung auf Kommissionierwagen minimiert. Aufwendig bleibt das Aufnehmen von Informationen, da der Montagemitarbeiter für jede Variante eine Vielzahl von Informationen verarbeiten muss (Arbeitsanweisung und Prüfanweisung lesen, Messprotokolle erstellen und den Auftragsdaten zuordnen etc.).

Ein Ausschnitt aus der Matrix zur Ermittlung von Sekundärzeiten für die nicht montageobjektbezogenen Tätigkeiten bei der Montage einer Pumpe sind in Abb. 7.12 dargestellt.

Arbeitssysteme		Der Montageobjekttransport zwischen Arbeitssystemen								Das Rüsten vom Betriebsmitteln						
		Anz.	Anzahl	Häufigkeit	ohne Fördermittel	Ohne Fördermittel	Transportwagen	Transportwagen	Transportwagen	Zwischenergebnis	Anzahl	Häufigkeit	Drehmoment einstellen u. Aufsatz / Nuss wechseln	Werkzeugaufsatz (Nuss etc.)	Vorrichtung (Adapter)	Zwischenergebnis
					bis 2 Meter	2 bis 5 Meter	bis 2 Meter	2 bis 5 Meter	5 bis 10 Meter				10 bis 15 Meter	600 TMU	120 TMU		180 TMU
Makro-Arbeitssystem "Vormontage"	1	1	1						1210 TMU	1210 TMU						
Mikro-Arbeitssystem 1	1	1	1	120 TMU						120 TMU	1	1	120 TMU			120 TMU
Mikro-Arbeitssystem 2	1															
Makro-Arbeitssystem "Endmontage"	1	1	1					920 TMU		920 TMU						
Mikro-Arbeitssystem 3	1	1	1		270 TMU					270 TMU	1	1			180 TMU	180 TMU
Mikro-Arbeitssystem 4	1										1	4	600 TMU			2400 TMU

Abb. 7.12: Ausschnitt aus der Matrix zur Ermittlung der nicht montageobjektbezogenen Sekundärzeit

Wie der Matrix zu entnehmen ist, erfolgt der Transport des Montageobjekts zwischen den Makro-Arbeitssystemen auf Transportwagen, während zwischen den Mikro-Arbeitssystemen keine Fördermittel eingesetzt werden. Das Rüsten von Betriebsmitteln beschränkt sich im Wesentlichen auf das Wechseln von Werkzeugaufsätzen und Adaptern. Die Informationsverarbeitung beim Rüsten gestaltet sich hingegen umfangreicher, und stellt einen wesentlichen Teil des gesamten Rüstaufwands dar.

Ausgehend von der durchgeführten Bewertung ist für die Pumpe eine Zeit P_3 von etwa 10 Minuten für die nicht wertschöpfenden organisationsbedingten Tätigkeiten ermittelt worden. Da die Arbeitssysteme nicht starr verkettet sind, entstehen keine weiteren Zeitanteile für das Warten in den einzelnen Mikro-Arbeitssystemen. Eine Betrachtung von Nacharbeiten wurde zum Zeitpunkt der Zeitdatenermittlung als nicht erforderlich erachtet.

Interpretation der Ergebnisse

Für die geplante Radialpumpe wurden sowohl die Tätigkeiten mit Montageobjektbezug als auch die ohne zeitlich bewertet. Die Sekundärzeit für die betrachteten Montagevorgänge der Pumpe liegt insgesamt bei 27 Minuten. Der Anteil der montageobjektbezogenen Sekundärzeit an dieser Gesamtzeit ist etwas höher als der Anteil, der durch die Arbeitsorganisation hervorgerufen wird. Ein Vergleich mit der Primärzeit für die betrachteten Montagevorgänge, die einen ähnlichen Umfang aufweist, zeigt, dass der Sekundärzeitanteil – in Kap. 1.1 für den Apparate und Gerätebau ausgeführt – nicht zu vernachlässigen ist. Dementsprechend ist die Ermittlung der Sekundärzeit ein wesentliches Element der Zeitdatenermittlung während der Montageplanung.

Neben der Bereitstellung von Zeitdaten kann das Werkzeug aber auch zur Optimierung der Planung genutzt werden. Im Rahmen einer kontinuierlichen Verbesserung sollten die gewonnenen Ergebnisse analysiert werden, um Anhaltspunkte für eine optimierte Montage zu erhalten. Aus der Matrix kann beispielsweise für jedes Montageobjekt der Beitrag an der Sekundärzeit des Produkts ermittelt werden, um Bauteile zu identifizieren, die besonders umfangreich zur Gesamtsekundärzeit betragen. Dieses sind für die Radialpumpe vor allem große Bauteile wie das Laufrad oder das Spiralgehäuse. Organisatorische Maßnahmen, die einen Teil der Tätigkeiten entfallen lassen oder in ihrem Umfang reduzieren, wirken entsprechend stark auf das Gesamtergebnis.

Ansatzpunkte für eine optimierte Montageplanung lassen sich auch aus der tätigkeitsbezogenen Aufstellung der Sekundärzeiten mit Montageobjektbezug ableiten (vgl. Abb. 7.13).

Mehr als 35 Prozent dieser Sekundärzeit entfällt auf das „Identität prüfen“, also dem Sicherstellen, dass die richtigen Bauteile montiert werden. Ursache ist die Planungsleitlinie, nach der alle Bauteile, sofern eine Verwechslungsgefahr besteht, vor der Montage eindeutig zu identifizieren sind. Hieraus ergibt sich die Überlegung, die Teile nach dem Kommissionieren nicht in einen Sammelbehälter abzulegen, sondern den Ordnungszustand zu erhalten. Als weitere Tätigkeiten mit möglichem Verbesserungspotenzial sind das Reinigen und das Kontrollieren mit Prüfmitteln erkannt worden. Insbesondere beim Reinigen sollte hinterfragt werden, ob durch die Verwendung von Schutzmitteln der Aufwand nicht reduziert werden kann. Bei Bauteilen, die für die unternehmensinterne Teilefertigung eingeplant sind, könnte geprüft werden, ob nicht während der Maschinenlaufzeit von CNC-Maschinen diese Reinigungsarbeiten kostenneutral durchgeführt werden könnten.

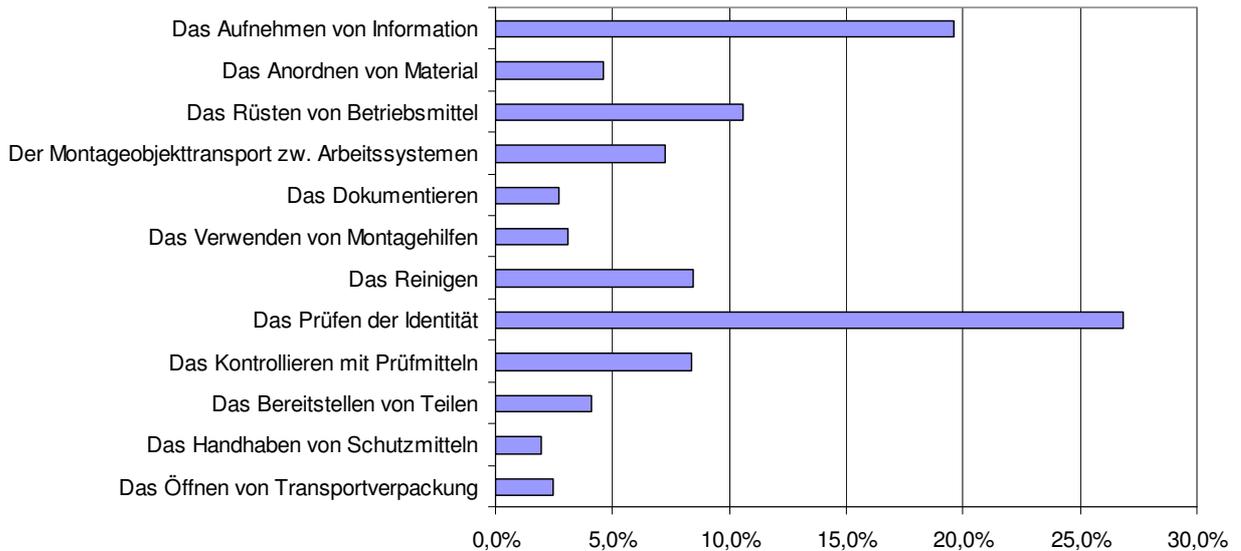


Abb. 7.13: Prozentualer Anteil der Zeitdauer einzelner Tätigkeit an der Sekundärzeit der kalkulierten Pumpe

Neben den montageobjektbezogenen Sekundärzeiten, die ca. 60 Prozent der Sekundärzeit des Produkts ausmachen, sind die nicht montageobjektbezogenen Sekundärzeiten ebenfalls zu analysieren. Von diesen 40 Prozent an der Gesamtzeit entfallen ca. 85 Prozent (bzw. 35 Prozent der Sekundärzeit eines Produkts) auf Rüstvorgänge. Dieses ist darauf zurückzuführen, dass die Pumpen in der Regel auftragsbezogen in sehr kleinen Losen gefertigt werden, so dass ein nicht zu vernachlässigender Anteil an Tätigkeiten mit dem Rüsten des Arbeitssystems verbunden ist. Aufgrund der Komplexität des Produkts sind beim Rüsten insbesondere umfangreiche Informationsverarbeitungsprozesse zu erwarten. Eine Vereinfachung dieser Prozesse sollte als erste Maßnahme betrachtet werden, da das Potenzial am größten ist. Der Transport von Montageobjekten zwischen Arbeitssystemen bzw. das Rüsten von Material nimmt zusammen nur ca. acht Prozent der Sekundärzeit des Produkts ein. Eine Reduzierung der Sekundärzeit durch Verkürzung der Wegstrecken ist damit sicherlich möglich, das Potenzial dieser Maßnahmen sollte allerdings nicht überschätzt werden.

Das aufgeführte Fallbeispiel zeigt, dass sowohl die Vorgehensweise als auch das Konzept für ein Kalkulationswerkzeug für die zeitliche Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten geeignet sind. Die Ergebnisse bieten dabei nicht nur Zeitdaten für die Kalkulation. Diese sind darüber hinaus Ansatzpunkt für die weitere Verbesserung der Montageplanung. Die Vorgehensweise bietet damit nicht nur die Möglichkeit zur Zeitdatenermittlung sondern kann zur Verbesserung der Planungsergebnisse beitragen.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Bedeutung der Faktors „Zeit“ für den Unternehmenserfolg ist unbestritten. Zeitdaten werden in allen Phasen des Produktlebenszyklus benötigt. Sie sind besonders in der Planung wichtig, da in dieser Phase der wirtschaftliche Erfolg eines Produkts wesentlich mitbestimmt wird. Zeitdaten geben z. B. Auskunft über Montageaufwände für die Kalkulation von Zeiten und Kosten für Angebote oder werden für die Bewertung von Planungsalternativen eingesetzt. Bei der Ermittlung von Montagezeiten wurde in der Vergangenheit der Fokus auf eine aufwandsarme Bestimmung von Zeitdaten für wertschöpfende Tätigkeiten gelegt, da die Wertschöpfung den wesentlichen Inhalt der Montage darstellen sollte. Übersehen wird dabei vielfach, dass es – neben den wertschöpfenden Tätigkeiten – nicht wertschöpfende Tätigkeiten gibt, die unter bestimmten Randbedingungen sogar zeitlich umfangreicher sein können als die wertschöpfenden Tätigkeiten in der Montage. Sie haben aber immer einen nicht unbedeutenden Umfang. Für eine sachgerechte Bestimmung der Montagedauer eines Produkts in der Phase der Montageplanung sind Methoden der Primärzeitermittlung nicht ausreichend.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Vorgehensweise entwickelt, mit der nicht wertschöpfende Tätigkeiten ermittelt und zeitlich bewertet werden können. Durch die produktbezogene Aufbereitung der Zeitdaten ist eine vielseitige Nutzung bei der Montageplanung gegeben. Zu berücksichtigen war dabei die Einhaltung einer ausreichenden Genauigkeit der ermittelten Zeitdaten bei möglichst geringem Aufwand. Durch die verwendete Vorgehensweise ist das Verfahren zur Zeitdatenermittlung allerdings nicht auf die Planungsphase beschränkt, sie kann auch bei laufender Montage für die kontinuierliche Verbesserung eingesetzt werden.

Ausgangspunkt der Betrachtung waren Struktur, Funktion und Hierarchie der Montage, da nicht wertschöpfende Tätigkeiten im Gegensatz zu den wertschöpfenden Tätigkeiten eng mit der Organisation der Montage verbunden sind. Für die Ermittlung von Zeitdaten bei der Montageplanung sind nur begrenzt Informationen verfügbar, die gezielt zu analysieren und aufzubereiten sind. Für nicht wertschöpfende Tätigkeiten beschränken sich die erforderlichen Informationen dabei nicht nur auf das Produkt und dessen geplantes Produktionsvolumen, auch die Arbeitsorganisation ist für die vollständige Zeitdatenermittlung zu analysieren.

Vor der Bestimmung von Zeitdaten war eine Setzung zur Abgrenzung von wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten erforderlich, da diese in der Literatur nicht eindeutig definiert sind. So wird gewährleistet, dass die im Rahmen dieser Arbeit erstellte Vorgehensweise zur Sekundärzeitermittlung mit bereits bekannten Methoden zur Primärzeitermittlung kombiniert werden kann. Mit dieser Abgrenzung und der detaillierten Beschreibung der wesentlichen nicht wertschöpfenden Tätigkeiten ist der Weg zu einer integrierten Zeitdatenermittlung bereitet.

Die Vorgehensweise setzt sich aus der eigentlichen Sekundärzeitermittlung für ein Produkt und den vorgelagerten Schritten zusammen. In den ersten vier Arbeitsschritten werden die Grundlagen für die Zeitdatenermittlung gelegt. Es werden anhand der verfügbaren Informationen nicht wertschöpfende Tätigkeiten ermittelt und mit geeigneten Zeitdatenermittlungsverfahren zeitlich bewertet. Im fünften Schritt werden die Tätigkeiten in einer Matrix in Bezug zum Produkt gesetzt. Hierfür ist ein Werkzeug konzipiert worden, welches nach der Eingabe von grundlegenden Informationen durch die Analyse der Streuung von Tätigkeitszeiten für Bauteile und Baugruppen diejenigen Bauteile und Baugruppen des Produkts identifiziert, die besonders viel oder besonders wenig Einfluss auf die Genauigkeit der Sekundärzeit des Produkts nehmen. Für Bauteile und Baugruppen mit geringem Einfluss auf die Genauigkeit wird vorgeschlagen, auf eine Ermittlung detaillierter Informationen zu verzichten und stattdessen einen statistischen Schätzer für die Sekundärzeit zu nutzen.

Die Eignung von Vorgehensweise und Werkzeug zur aufwandsarmen und praxisgerechten Ermittlung von produktbezogenen Sekundärzeiten konnte mit einem Fallbeispiel belegt werden. Für die Angebotskalkulation einer weiterentwickelten Industriepumpe wurden die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten der Montage aufgenommen und ihre Einflussgrößen ermittelt. Mit dem Bausteinsystem der UAS-Grundvorgänge sind die verschiedenen Ausprägungen der Tätigkeiten zeitlich bewertet worden. Es konnte gezeigt werden, dass auch das aufwandsreduzierte Verfahren die vorgegebenen Genauigkeitsanforderungen erfüllt. Darüber hinaus konnten Anhaltspunkte für die Verbesserung der Montageplanung und Reduzierung der Sekundärzeit gefunden werden.

Die Vorgehensweise zur Sekundärzeitermittlung erlaubt somit in der Praxis eine prospektive Ermittlung von Zeitdaten, die für die Bewertung des Planungsstands der Montage genutzt werden können. Für die praktische Anwendung ist es des Weiteren hinaus vorteilhaft, dass durch die erfolgte Aufbereitung der Zeitdaten mit wenig Mehraufwand weitere Informationen verfügbar sind, mit denen die Planung der Montage optimiert werden kann.

Aufbauend auf den gewonnen Erkenntnissen kann in einem nächsten Schritt die Zeitdatenermittlung weiter verbessert werden, indem für Bauteile und Baugruppen mit einem geringen Einfluss auf die Genauigkeit der Sekundärzeit des Produkts nicht mehr ein Schätzer verwendet wird, der sich aus den produktspezifischen Tätigkeiten ergibt, sondern auch ein Schätzer, der produktübergreifend ermittelt wird.

Einerseits wird dadurch der Aufwand für die Zeitdatenermittlung weiter reduziert, andererseits kann die Genauigkeit des Ergebnisses weiter verbessert werden. Speziell für Norm- und Standardteil ist zu erwarten, dass die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten und deren Ausprägung nicht produktspezifisch sind sondern produktübergreifend definiert werden können. Durch die Trennung wird dem wahrscheinlich nicht vorhandenen Einfluss eines spezifischen Produkts auf die Sekundärzeit von Norm- und Standardteilen Rechnung getragen.

Wird dieser Ansatz weiter verfolgt, können möglicherweise weitere Bauteilgruppen identifiziert werden, die für die Sekundärzeitermittlung zumindest für Produktgruppen oder Produktfamilien übergreifend definiert werden können.

Grundsätzlich ist das Werkzeug – unabhängig vom verwendeten Vorgehen zur Gewinnung von Schätzern – mit einem Werkzeug zur Primärzeitermittlung zusammenzuführen. Eine integrierte Lösung wird dem Montageplaner die prospektive Zeitdatenermittlung weiter vereinfachen. Darüber hinaus sind Synergieeffekte zu erwarten, da Teile der verwendeten Informationen sowohl für die Primär- als auch für die Sekundärzeitermittlung verwendet werden. Mit einem übergreifenden Werkzeug besteht auch die Möglichkeit das Verhältnis von Primärzeit zu Sekundärzeit zu berücksichtigen, indem variabel festgelegt wird welcher Zeitanteil die höhere oder niedrigere Genauigkeit haben darf, ohne dass das Gesamtergebnis außerhalb der Vorgabe liegt. Für Produkte, bei denen die Primärzeit dominieren wird, würde bei der Sekundärzeit in größerem Umfang mit Schätzern gearbeitet werden, dominieren die Sekundärzeiten, kann die Ermittlung der Primärzeiten vereinfacht werden.

9 Literaturverzeichnis

AHREND 96

Ahrend, H.-W.; Tabatzki, M.; Schmidt, C.; Zenß, F.: *Hybride Montagesysteme – Grundlösungen und Planungssystematik*. In: Produktion und Management, 86 (1996) 04, S 186-188.

ALBERT 99

Albert, T.; Westkämper, E.: *Optimierung manuelle Montageprozesse*. In: Werkstattstechnik, 89 (1999) 09, S 426-428.

AMMER85

Ammer, E.-D.: *Rechnerunterstützte Planung von Montageablaufstrukturen für Erzeugnisse der Serienfertigung*. Berlin: Springer Verlag, 1985.

ANTIS 69

Antis, W.; Honeycutt, J. M.; Koch, E. N.: *Die MTM Grundbewegungen*. Bremen: Druckerei Humburg, 1969.

BÄBLER 88

Bäbler, R.: *Integration der montagegerechten Produktgestaltung in den Konstruktionsprozeß*. Berlin: Springer Verlag, 1988.

BECKS 93

Becks, C.: *Investitionsarme Rationalisierung mit MTM*. In: VDI (Hrsg.): Management in der Rezession. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993, S. 257-288.

BECKS 98

Becks, C.: *MTM – Werkzeug zur Gestaltung und Quantifizierung von Montageprozessen*. In: Seminarbericht 36. Moderne Methoden zur Montageplanung: Schlüssel für eine effiziente Produktion, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaft. München: Herbert Utz Verlag, 1998, S.2-1 - 2-24.

BERNHART 93

Bernhart, W.: *Beitrag zur Bewertung von Montagevarianten*. Dissertation Universität Karlsruhe, 1993.

BOOTHROYD 92

Boothroyd, G.; Alting, L.: *Design for Assembly and Disassembly*. In: Annals of the CIRP, Vol. 41/2, 1992, S. 625-636.

BOOTHROYD 94

Boothroyd, G.; Dewhurst, P.: *Product design for manufacture and assembly*. New York: Mark Dekker Inc., 1994.

BRAUN 95

Braun, W. J.: *Beitrag zur Festlegung der Arbeitsteilung in manuellen Montagesystemen*. Dissertation Universität Karlsruhe, 1995.

BROCKHAUS 99

Brockhaus: *Die Enzyklopädie: in 24. Bänden*. 20. neu bearbeitete Auflage, Mannheim: Brockhaus Verlag, 1996 – 1999.

BRUNNER 90

Brunner, W.: *Ein Beitrag zur Produkt-Produktionsoptimierung am Beispiel der Planung von teilautomatisierten Montagesystemen*. Dissertation Universität Bochum, 1990.

BULLINGER 86

Bullinger, H. J.: *Systematische Montageplanung: Handbuch für die Praxis*. München: Hanser Verlag, 1986.

BULLINGER 93

Bullinger, H. J.; Rieth, D.; Euler, H. P.: *Planung entkoppelter Montagesysteme*. Stuttgart: Teubner Verlag, 1993.

BULLINGER 94

Bullinger, H. J.; Lung, M.: *Planung der Materialbereitstellung in der Montage*. Stuttgart: Teubner Verlag, 1994.

BULLINGER 95

Bullinger, H.-J.: *Arbeitsgestaltung: Personalorientierte Gestaltung marktgerechter Arbeitssysteme*. Stuttgart: Teubner Verlag, 1995.

COLDIZ 97

Coldiz, N.; Sowa, T.: *Mehrweg-Transportverpackungen*. Frankfurt: Deutscher Fachverlag, 1997.

DAENZER 92

Daenzer, W. F.; Huber, F.: *Systems engineering: Methoden und Praxis*. 7. neu bearbeitete und ergänzte Auflage, Zürich: Verlag Industrielle Organisation, 1992.

DEUSE 05

Deuse, J.; Wischniewski, S.; Fischer, H.: *Renaissance des Industrial Engineering*. In: wt Werkstattstechnik online, 96 (2006) 1/2, S. 57-60.

DIN 199

DIN 199 Teil 2: *Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen: Stücklisten*. Berlin: Beuth Verlag, 1977.

DIN 8580

DIN 8580: *Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung*. Berlin: Beuth Verlag, 2003.

DIN 8592

DIN 8592: *Fertigungsverfahren Reinigen – Einordnung, Unterteilung, Begriffe*. Berlin: Beuth Verlag, 2003.

DIN 8593

DIN 8593, Teil 0: *Fertigungsverfahren Fügen – Einordnung, Unterteilung, Begriffe*. Berlin: Beuth Verlag, 2003.

DIN 24250

DIN 24250: *Kreiselpumpen – Benennung und Benummerung von Einzelteilen*. Berlin: Beuth Verlag, 1984.

DIN EN 1325

DIN EN 1325 Teil 1: *Value Management – Wertanalyse – Funktionsanalyse – Teil 1: Wertanalyse und Funktionsanalyse*. Berlin: Beuth Verlag, 1996.

DIN EN ISO 6385

DIN EN ISO 6385: *Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen*. Berlin: Beuth Verlag, 2004.

DITTMAYER 81

Dittmayer, S.: *Arbeits- und Kapazitätsteilung in der Montage*. Berlin: Springer Verlag, 1981.

DREYER 03

Dreyer, T.: *Steigerung der Produktivität mithilfe von automatisierten Auswertungen nach SEMI E10*. In: Industrie Management 19 (2003) 2, S. 19-22.

DUDEN 99

Duden: *Das große Wörterbuch der deutschen Sprache in 10 Bänden*. 3. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage Mannheim: Dudenverlag.

EHRENSPIEL 95

Ehrlenspiel, K.: *Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion*. München: Hanser Verlag, 1995.

EVERSHEIM 89

Eversheim, W.: *Simultaneous Engineering – eine organisatorische Chance!* In: VDI-Berichte 758: Simultaneous Engineering, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989, S. 1-26.

EVERSHEIM 95

Eversheim, W.; Bochtler, W.; Laufenberg, L.: *Simultaneous Engineering – Erfahrungen aus der Industrie für die Industrie*. Berlin: Springer Verlag, 1995.

EVERSHEIM 96

Eversheim, W.: *Organisation der Produktionstechnik – Bd. 4 Fertigung und Montage*. 2. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996.

FELDMANN 96

Feldmann, C.: *Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung*. Berlin: Springer Verlag, 1996, zugl. Dissertation Technische Universität München.

FRECH 98

Frech, J.: *Ein Verfahren zur integrierten, prozeßbegleitenden Vorkalkulation für die kostengerechte Konstruktion*. Berlin: Springer Verlag, 1998, zugl. Dissertation Universität Stuttgart.

FREMEREY 93

Fremerey, F.: *Erhöhung der Variantenflexibilität in Mehrmodell-Montagesystemen durch ein Verfahren zur Leistungsabstimmung*. Berlin: Springer Verlag, 1993.

GEHART 91

Gehart, H.: *Planzeiten in der Praxis*. In: Personal MTM-Report `91/92, 1991, S. 13-17.

GRÜNZ 04

Grünz, L.: *Ein Modell zur Bewertung und Optimierung der Materialbereitstellung*. Aachen: Shaker Verlag, 2004, zugl. Dissertation Universität Dortmund.

GRUNWALD 02

Grunwald, S.: *Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung*. München: Utz Verlag, 2002, zugl. Dissertation Technische Universität München.

GROB 82

Grob, R.; Haffner, H.: *Planungsleitlinie Arbeitsstrukturierung*. Berlin: Siemens AG, 1982.

HARTEL 00

Hartel, M.; Matt, D.: *Wertschöpfung in der Fahrzeugmontage steigern*. In: VDI-Z, 142 (2000) 3/4, S. 28 - 30.

HARTMANN 88

Hartmann, M.: *Entwicklung eines Kostenmodells für die Montage*. Aachen: Shaker Verlag, 1988, zugl. Dissertation RWTH Aachen.

HEINZ 89

Heinz, K.; Olbrich, R.: *Zeitdatenermittlung in indirekten Bereichen*. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1989.

HEINZ 01

Heinz, K.; Mesenhöller, E.: *Zeitdaten zur Gestaltung der Montage*. In: Landau, Luczak (Hrsg.): *Ergonomie und Organisation in der Montage*. München: Hanser Verlag, 2001, S. 572-580.

HELMS 80

Helms, W.: *Neuentwicklung und Aktivitäten der Deutschen MTM-Vereinigung*. In: *Angewandte Arbeitswissenschaft* (1980) 85, S. 1-56.

HELMS 91

Helms, W.: *MTM – Ein Verfahren vorbestimmter Zeiten*. In: *Personal MTM-Report '91/92*, 1991, S. 33-39.

HERING 93

Hering, E.; Triemel, J.; Blank, H.-P.: *Qualitätsmanagement für Ingenieure*. 5. Auflage, Berlin: Springer Verlag, 2003.

HILLECKE 02

Hillecke, M.: *Ergonomische Gestaltung von Montagearbeitsplätzen in der Motorenproduktion der DaimlerChrysler AG*. In: *Konferenz-Einzelbericht: Arbeitswissenschaftlicher Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft*, 48 (2002), S. 195 - 198.

HIRSCHLE 05

Hirschle, C.: *BPS-Erfahrungsbericht*. In: Schuh (Hrsg.): 2. Lean Management Summit, 16.-18. November 2005, Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL) der RWTH Aachen, Tagungsband, S. 1-16.

HOLLE 02

Holle, W.: *Rechnergestützte Montageplanung*. München: Hanser Verlag, 2002.

ISHII 88

Ishii, K.; Adler, R.; Barkan, P.: *Application of Design Compatibility Analysis to Simultaneous Engineering*. In: AI EDAM, 2 (1988) 1, S. 53-65.

JESCHKE 97

Jeschke, A.: *Beitrag zur wirtschaftlichen Bewertung von Standardisierungsmaßnahmen am Beispiel der Einzel- und Kleinserienfertigung durch die Konstruktion*. Dissertation TU Braunschweig, 1997.

JONAS 00

Jonas, C.: *Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen*. München: Utz Verlag, 2000, zugl. Diss. TU München.

KAST 72

Kast, F. E.; Rosenzweig, J. E.: *General Systems Theory: Applications for Organization and Management*. In: The Academy of Management Journal, 15 (1972) 4, S. 447-465.

KIEF 02

Kief, L.: *Eine Methode zur Ermittlung statistisch abgesicherter Montagezeiten im Produktentwicklungsprozess*. Dortmund: Verlag Praxiswissen, 2002 zugl. Dissertation Universität Dortmund.

KOETHER 83

Koether, R.: *Prinzipien zur Verringerung von Modell-Mix-Verlusten bei gemischter Fließmontage*. In: Industrieanzeiger 105 (1983) 79, S. 33-34.

KOETHER 01

Koether, R.; Kurz, B.; Seidel, U.; Weber, F.: *Betriebsstättenplanung und Ergonomie*. München: Hanser Verlag, 2001.

KONOLD 80

Konold, P.; Kern, H.; Reger, H.: *Arbeitssystem-Elemente-Katalog. Hilfsmittel zur Planung von Arbeitssystemen*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1980.

KONOLD 03

Konold, P.; Reger, H.: *Praxis der Montagetechnik*. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2003.

KORGE 04

Korge, A.; Scholtz, O.: *Ganzheitliche Produktionssysteme – Produzierende Unternehmen innovativ organisieren und führen*. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 1/2, S 2-6.

LANDAU 01

Landau, K.; Wimmer, R.; Luczak, H.: *Die Arbeit im Montagebetrieb*. In: Landau, Luczak (Hrsg.): *Ergonomie und Organisation in der Montage*. München: Hanser Verlag, 2001, S. 1-8.

LAUFENBERG 96

Laufenberg, L.: *Methodik zur integrierten Projektgestaltung für die situative Umsetzung des Simultaneous Engineering*. Aachen: Shaker Verlag, 1996, zug. Dissertation RWTH Aachen.

LINß 02

Linß, G.: *Qualitätsmanagement für Ingenieure*. München: Hanser Verlag, 2002.

LOTTER 98

Lotter, B.; Schilling, W.: *Manuelle Montage – wirtschaftlich gestalten*. Renningen: Expert-Verlag, 1998.

LOTTER 99

Lotter, B.: *Sicherung der Montage am Standort Deutschland*. Schlussbericht zum BMBF-Verbundprojekt HYMOS – Hybride Montagesysteme, Dortmund: Verlag der Gesellschaft für Arbeitsschutz- und Humanisierungsforschung mbH (GfAH), 1999.

LOTTER 02

Lotter, B.: *Primär-Sekundär-Analyse*. Renningen: Expert-Verlag, 2002.

LUCZAK 86

Luczak H.: *Manuelle Montagesysteme*. In: G. Spur (Hrsg.): *Handbuch der Fertigungstechnik*. Band 5. Fügen, Handhaben und Montieren, München: Hanser Verlag, 1986, S. 620-682.

MATZ 98

Matz, J.: *Verkürzung der Innovationsdauer durch Simultaneous Engineering*. Dissertation Universität Mannheim, 1998.

MERZ 87

Merz, K.-P.: *Entwicklung einer Methode zur Planung der Struktur automatisierter Montagesysteme*. Aachen: Shaker Verlag, 1987.

MESENHÖLLER 04

Mesenhöller, E.: *Zeitdatenermittlung in indirekten Bereichen bei Einsatz von Workflow-Management-Systemen*. Aachen: Shaker Verlag, 2004, zugl. Dissertation Universität Dortmund.

MICHAEL 79

Michael, R.: *Untersuchung über die Auswirkungen unterschiedlicher Vorgehensweisen der Datenverdichtung*. Dissertation RWTH Aachen, 1979.

MIYAWAKA 87

Miyawaka, S; Ohashi, T.: *The Hitachi Assembly Evaluation Method (AEM)*. In: Int. Conf. Product Design for Assembly, Newport, Rhode Island, USA, 9-13 August 1987.

MÖNIG 05

Mönig, O.: *Ermittlung von Tätigkeitszeiten mit unscharfen Informationen am Beispiel der manuellen Demontage*. Aachen: Shaker Verlag, 2005, zugl. Dissertation Universität Dortmund.

MUSSBACH-WINTER 03

Mussbach-Winter, U.; Wiendahl, H.-H.: *Was leisten MES-Lösungen heute?* In: *Industrie Management* 19 (2003) 2, S. 14-18.

OELTJENBRUNS 00

Oeltjenbruns, H.: *Organisation der Produktion nach dem Vorbild Toyotas*. Aachen: Shaker Verlag, 2000, zugl. Dissertation Universität Clausthal.

OLBRICH 93

Olbrich, R.: *Aufbau einer Zeitwirtschaft*. Köln: Wirtschaftsverlag Bachem, 1993, zugl. Dissertation Universität Dortmund.

PAHL 97

Pahl, G.; Beitz, W.: *Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung*. 4. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin: Springer, 1997.

PAPENFUß 88

Papenfuß, R.; Theis, K.-D.: *Die WORK-FACTOR-Verfahren*. In: *Angewandte Arbeitswissenschaft* (1988) 117, S. 3-18.

PFEIFFER 01

Pfeiffer, T.: *Qualitätsmanagement – Strategien, Methoden, Techniken*. 3. Auflage, München: Hanser Verlag, 2001.

PICKER 02

Picker, C.; Kief, L.: *Zeitdatenermittlung für Montageabläufe*. In: VDI-Z (2002) 9/10, S. 67-70.

REFA 91

REFA (Hrsg.): *Arbeitsgestaltung in der Produktion*. München: Hanser Verlag, 1991.

REFA 93

REFA (Hrsg.): *Ausgewählte Methoden des Arbeitsstudiums*. München: Hanser Verlag, 1993.

REFA 97

REFA (Hrsg.): *Zeitdatenermittlung*. München: Hanser Verlag, 1997.

REINHART 95

Reinhart, G.; Feldkamp, C.: *Gemeinsam geht's besser*. In: AV 32 (1995) 5, S. 360-364.

REINHART 01

Reinhart, G.; Mosandl, T.; Gartner, J.: *Fügeverfahren für die marktnahe Produktion*. In: wt Werkstattstechnik online 91 (2001) 8, S. 474-478.

ROPOHL 79

Ropohl, G.: *Eine Systemtheorie der Technik*. München: Hanser Verlag, 1979.

SALWICZEK 82

Salwiczek, P.: *Rechnerunterstützte Planung und Gestaltung manueller Arbeitsmethoden auf der Basis eines Systems vorbestimmter Zeiten*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1982, zugl. Dissertation Universität Dortmund.

SANZENBACHER 04

Sanzenbacher, G.: *„Von Anfang an richtig beginnt mit PROKON“*. In: MTM aktuell 3/2004, S. 20.

SCHAD 86

Schad, G.: *Entwicklung und Einsatz eines interaktiven Verfahrens zur Leistungsabstimmung von Montagesystemen*. Berlin: Springer Verlag, 1986.

SCHÄFER 92

Schäfer, G.: *Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung*. München: Hanser Verlag, 1992.

SCHMIDT 90

Schmidt, V.: *Entwicklung und Planung gruppenorientierter Arbeitsstrukturen für die Montage komplexer und variantenreicher Produkte in der Automobilproduktion*. Dissertation Universität Braunschweig, 1990.

SCHMIGALLA 95

Schmigalla, H.: *Fabrikplanung – Begriffe und Zusammenhänge*. München: Hanser Verlag, 1995.

SCHNEPF 95

Schnepf, P.: *Zielkostenorientierte Montageplanung*. München: Hanser Verlag, 1995, zugl. Dissertation Universität Erlangen.

SCHUSTER 92

Schuster, G.: *Rechnergestützte Planungssystematik für die flexibel automatisierte Montage*. Berlin: Springer Verlag, 1992, zugl. Dissertation Technische Universität München.

SEKINE 95

Sekine, K.: *Produzieren ohne Verschwendung: der japanische Weg zur schlanken Produktion*. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 1995.

SENGOTTA 02

Sengotta, M.: *Einführung eines Produktionssystems*. In: FB/IE 51 (2002) 6, S. 256-260.

SHINGO 93

Shingo, S.: *Das Erfolgsgeheimnis der Toyota-Produktion*. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 1993.

SIMONS 87

Simons, B.: *Das Multimomentzeitmessverfahren*. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1987, zugl. Dissertation Universität Dortmund.

SPATH 03

Spath, D.: *Ganzheitlich produzieren – Innovative Organisation und Führung*. Stuttgart: LOG_X Verlag, 2003.

SPATH 97

Spath, D.; Lotter, B.; Hartel, M.: *Bevorratungsfreie Großgerätemontage*. In: Schweizer Technische Zeitschrift (STZ) (1997) 3, S. 34-37.

SPUR 86

Spur, G. (Hrsg.): *Handbuch der Fertigungstechnik. Band 5. Fügen, Handhaben und Montieren*. München: Hanser Verlag, 1986.

STOLZ 88

Stolz, N. W.: *Ein Beitrag zum Aufbau einer anforderungsgerechten Materialbewirtschaftung der Montage in Unternehmen mit Einzel- und Kleinserienproduktion*. Dissertation RWTH Aachen, 1988.

TAYLOR 85

Taylor T.: *Handbook of electronics industry cost estimating data*. Jon Wiley & Sons Inc., New York, 1985.

THOMAS 05

Thomas, M.: *Das Mercedes-Benz Produktionssystem*. In: Schuh (Hrsg.): 2. Lean Management Summit, 16.-18. November 2005. Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL) der RWTH Aachen, Tagungsband, S. 219-232.

VDI 2221

Richtlinie VDI 2221: *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Berlin: Beuth Verlag, 1993.

VDI 2222

Richtlinie VDI 2222 Blatt 1: *Konstruktionsmethodik, Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien*. Berlin: Beuth Verlag, 1982.

VDI 2234

Richtlinie VDI 2234 : *Wirtschaftliche Grundlagen für den Konstrukteur*. Berlin: Beuth Verlag, 1990.

VDI 2860

Richtlinie VDI 2860: *Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole* . Berlin: Beuth Verlag, 1990.

VIETHEN 94

Viethen, U.: *Systematik zum Prüfen in Flexiblen Fertigungssystemen*. Berlin: Springer, 1994, zugl. Dissertation Technische Universität München.

WESSELMANN 01

Wesselmann, J.; Heinz, K.: *EDV-gestützte Bewertung der Montagefreundlichkeit in der Konstruktionsphase*. In: Landau, Luczak (Hrsg.): *Ergonomie und Organisation in der Montage*, München: Hanser Verlag, 2001, S. 139-146.

WARNECKE 86

Warnecke H.-J.: *Ablauf der Montage*. In: G. Spur (Hrsg.): *Handbuch der Fertigungstechnik*. Band 5. Fügen, Handhaben und Montieren, Hanser Verlag, München, Wien, 1986.

WESTKÄMPER 98

Westkämper, E.; Sautter, K.: *Mehr Erfolg durch professionellen Methodeneinsatz – Eine Empirische Untersuchung zum Methodeneinsatz in Produzierenden Unternehmen*. In: Tagungsband Fachtagung, 18. Juni 1998. Stuttgart, 1998, S. 1-91.

WIEHND AHL 97

Wiehndahl, H.-P.: *Betriebsorganisation für Ingenieure*. 4. vollständig überarbeitete Auflage, München: Hanser Verlag, 1997.

WOMACK 97

Womack, J; Jones, D.: *Auf dem Weg zum perfekten Unternehmen*. Frankfurt am Main: Campus Verlag, 1997.

ZÜLCH 92

Zülch, G; Waldhier, T.: *Integrierte Produktentwicklung und Montageplanung*. In: Scheer (Hrsg.): *Simultane Produktentwicklung*, St. Gallen: gfmt – Gesellschaft für Management und Technologie, 1992, S. 517-549.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Christoph Picker
Geburtsdatum/-ort: 28. Februar 1972 in Ahaus (Westfalen)
Familienstand: ledig

Schulbildung

1978-1982 Grundschule St. Andreas, Ahaus-Wüllen
1982 - 1991 private bischöfliche Canisiusschule, Ahaus
Juni 1991 Allgemeine Hochschulreife

Bundeswehr

1991 – 1992 Grundwehrdienst

Studium

Oktober 1992 – November 1997 Studium des Maschinenbaus an der Universität Dortmund mit der Vertiefungsrichtung „Technische Betriebsführung“
1996 Auslandssemester an der Technical University of Denmark in Lyngby

Berufstätigkeit

November 1997 – Oktober 1999 Sachbearbeiter Arbeitsvorbereitung / Produktanlauf bei der Mannesmann VDO AG, Dortmund
November 1999 – März 2006 Wissenschaftlicher Angestellter am Lehrstuhl für Fertigungsvorbereitung und am Nachfolgelehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme, Universität Dortmund, von Juni 2003 bis März 2006 als Oberingenieur
April 2006 – Dezember 2006 Leiter Industrial Engineering bei der BenQ Mobile GmbH, Kamp-Lintfort
Seit Januar 2007 Corporate Personnel Germany, Arbeitsbeziehungen, Arbeitsrecht, bei der Siemens AG, München