

Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg-Harburg
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing)
genehmigte Dissertation

von
Florian Tietze

aus
Delmenhorst

2017

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödging

2. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Kersten

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Februar 2017

Wissen schafft Innovation

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödning

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Hintze

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Christian Nedeß

Anschrift:

Technische Universität Hamburg-Harburg

Institut für Produktionsmanagement und -technik

Denickestr. 17

21073 Hamburg

Band 32:

Florian Tietze

Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion

1. Auflage

Hamburg 2017

ISSN 1613-8244

Copyright Florian Tietze 2017

Herstellung:

Elbepartner Breitschuh & Kock GmbH

Friesenweg 5b

22763 Hamburg

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionsmanagement und -technik der Technischen Universität Hamburg-Harburg.

Mein besonderer Dank gilt dem Leiter des Instituts, Professor Lödging, für die Betreuung meiner Arbeit, für das stets entgegengebrachte Vertrauen, die Unterstützung und die Freiräume, eigene Ideen einzubringen und umzusetzen. Professor Kersten möchte ich für das Interesse an meiner Arbeit und die Erstellung des Zweitgutachtens danken. Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes danke ich Professor Krüger. Darüber hinaus danke ich dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sowie der Technischen Universität Hamburg-Harburg für die sehr guten Rahmenbedingungen.

Ein großes Dankeschön gilt allen Kollegen des Instituts sowohl für die hervorragende fachliche Zusammenarbeit als auch die sehr positive Arbeitsatmosphäre. Besonders möchte ich Dr. Thomas Czumanski für die Unterstützung ab meinem ersten Tag am Institut und Martin Benter für die großartige Zusammenarbeit und seine direkten Worte danken – es hat mir viel Freude bereitet, zusammen mit euch die Modellfabrik und das Produktivitätsmanagement aufzubauen. Zudem möchte ich Dr. Fjodor Titov und Philipp Halata sowohl für die aufregende Zeit im Forschungsprojekt PROSPER als auch für die andauernde wertschätzende und freundschaftliche Zusammenarbeit danken. Es freut mich sehr, dass ich aus meiner Zeit am Institut viele Freundschaften mitnehme.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. Axel Friedewald, dem Oberingenieur des Instituts, für die unzähligen fachlichen Gespräche, die inhaltlichen Anmerkungen und sein Engagement für das Institut.

Darüber hinaus danke ich allen Studenten und Studentinnen, die mich während meiner Promotionszeit begleitet haben. Insbesondere gilt mein Dank Frau LeaNadine Schwede und Herrn Robert Rost, die mich bei der Gestaltung der Arbeit und der Evaluation der Ergebnisse mit viel Engagement unterstützt haben.

Mein persönlicher Dank gilt meiner Familie – meinen Eltern, Sabine und Manfred Tietze, und meiner Schwester Jennifer Tietze danke ich für den bedingungslosen Rückhalt und Vertrauen; meiner Freundin Anna Ziegra für ihre Unterstützung während der gesamten Zeit, ihrer Hilfe auch in schwierigen Zeiten und vielen wundervollen Momenten.

Hamburg, im Februar 2017

Florian Tietze

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung.....	1
1.3 Aufbau der Arbeit.....	2
2 Grundlagen und bestehende Ansätze.....	5
2.1 Unikatproduktion.....	5
2.1.1 Fertigungstypen.....	5
2.1.2 Merkmale der Unikatproduktion.....	6
2.1.3 Bedeutung der direkten und indirekten Bereiche.....	7
2.2 Arbeitsproduktivität.....	8
2.3 Grundlegende Zeitermittlungsmethoden.....	10
2.3.1 Überblick von Zeitermittlungsmethoden.....	10
2.3.2 Multimoment-Häufigkeitsverfahren.....	12
2.4 Methoden zur Analyse der Arbeitsproduktivität.....	18
2.4.1 Verfahren für die Unikatproduktion.....	18
2.4.2 Verfahren aus anderen Bereichen.....	20
2.5 Ansätze für die Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen.....	24
2.6 Fazit der Grundlagen und bestehenden Ansätze.....	28
2.6.1 Defizite und Chancen bestehender Ansätze.....	28
2.6.2 Anforderungen an die Analyse- und Verbesserungsmethodik.....	30
3 Modellierung der Arbeitsproduktivität.....	33
3.1 Modellierung der Arbeitszeit.....	33
3.1.1 Ziele der Modellierung.....	33
3.1.2 Definition von Mitarbeiterzuständen.....	34
3.1.3 Generischer Arbeitszyklus.....	35
3.1.4 Tätigkeitshierarchie für Arbeitsaufgaben.....	39
3.1.5 Objekthierarchie.....	45
3.1.6 Tätigkeits-Objekt-Matrix.....	47
3.1.7 Ausschluss von Tätigkeits-Objekt-Kombinationen.....	48
3.1.8 Arbeitsaufgabenunabhängige Mitarbeiterzustände.....	51
3.1.9 Bedingungsgrößen.....	51

3.2 Datenstruktur	54
3.2.1 Aufgaben der Datenstruktur	54
3.2.2 Strukturierung der Unikatproduktion	55
3.2.3 Bestandteile der bezahlten Arbeitszeit	57
3.2.4 Zustandsanteile und -dauern	58
3.2.5 Horizontale Datenaggregation	59
3.2.6 Vertikale Datenaggregation	61
3.2.7 Verursachungsgerechte Aggregation von Mitarbeiterzuständen	63
4 Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen	65
4.1 Erfassungsmethoden für Mitarbeiterzustände und Basisdaten	65
4.1.1 Übersicht der verwendeten Erfassungsmethoden	65
4.1.2 Multimoment-Häufigkeitsverfahren	66
4.1.3 Zeitaufnahmen	69
4.1.4 Betriebsdatenerfassung	70
4.1.5 Weitere Verfahren zur Datenerfassung	70
4.2 Vorgehensweise bei der Datenerhebung	73
4.2.1 Überblick der Schritte bei der Datenerhebung	73
4.2.2 Zieldefinition der Analyse	73
4.2.3 Strukturierung der Produktion	74
4.2.4 Auswahl des Analysebereichs	75
4.2.5 Zustandsdefinition	76
4.2.6 Festlegung der Datenerhebung	79
4.2.7 Erfassungsstrategien für Stichprobenverfahren	80
4.2.8 Datenerfassung	82
4.2.9 Handlungsleitfaden für die Einbeziehung weiterer Akteure	82
4.3 Einsatz moderner IT zur Datenerfassung	84
4.3.1 Anforderungen an eine Software zur Datenerfassung	84
4.3.2 Mobile Endgeräte für die Datenaufnahme mit Beobachtung	85
4.3.3 Aufnahmesoftware für Selbstaufschreibung	87
5 Analyse und Auswertung von Zustandsdaten	91
5.1 Analyse von Bedingungsgrößen	91
5.1.1 Einfluss der Bedingungsgrößen	91
5.1.2 Relevante Kombinationen von Bedingungsgrößen	95
5.2 Auswertung der Zustandsdaten	97

5.2.1 Kennzahlen	97
5.2.2 Darstellungen von Analysen	97
5.3 Beurteilung der Ergebnisgüte	103
5.4 Software-Demonstrator für die automatisierte Auswertung.....	105
6 Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen.....	107
6.1 Identifikation von Verbesserungspotenzialen.....	107
6.1.1 Ableitung verbesserungsrelevanter Zustände	107
6.1.2 Ansätze für die Berücksichtigung von Wechselwirkungen	110
6.2 Ableitung von Standardmethoden	111
6.2.1 Vorgehensweise	111
6.2.2 Definition von Handlungsfeldern	112
6.2.3 Methodenklassifikation und -katalog.....	114
6.2.4 Auswahl von Methoden.....	117
6.3 Verbesserung und Standardisierung eines Arbeitsablaufs.....	117
6.4 Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen.....	119
6.5 Einordnung in ein Produktivitätsmanagement.....	121
6.6 Fazit zur Gesamtmethodik.....	122
7 Anwendungsbeispiele.....	125
7.1 Ziele und Überblick	125
7.2 1. Anwendungsbeispiel für einen direkten Bereich – Montage.....	127
7.2.1 Beschreibung des Betrachtungsbereichs.....	127
7.2.2 Modellierung der Arbeitszeit	127
7.2.3 Erhebung von Zustandsdaten.....	129
7.2.4 Analyse und Auswertung der Zustandsdaten.....	129
7.2.5 Beurteilung der Ergebnisgüte	130
7.2.6 Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen	131
7.2.7 Fazit.....	134
7.3 2. Anwendungsbeispiel für einen indirekten Bereich – Konstruktion...	134
7.3.1 Beschreibung des Betrachtungsbereichs.....	134
7.3.2 Modellierung der Arbeitszeit	134
7.3.3 Erhebung von Zustandsdaten.....	136
7.3.4 Analyse von Bedingungsgrößen	137
7.3.5 Auswertung der Zustandsverteilung	140
7.3.6 Beurteilung der Ergebnisgüte	145

Inhaltsverzeichnis

7.3.7 Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen	147
7.3.8 Fazit	149
7.4 Weitere Anwendungen in der Industrie	150
7.5 Beurteilung der Gesamtmethodik	150
8 Schlussbetrachtung	153
8.1 Zusammenfassung	153
8.2 Ausblick	154
Literaturverzeichnis	157
Anhang	165

Abkürzungsverzeichnis

AG	Abdeckungsgrad
BDE	Betriebsdatenerfassung
BG	Bedingungsgröße
CSV	Comma-separated-values
HF	Handlungsfeld
IHP	Integrale handlungsorientierte Produktivitätsanalyse
IT	Informationstechnologie
GPS	Ganzheitliche Produktionssysteme
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
MMA	Multimomentaufnahmen
MMH	Multimoment-Häufigkeitsverfahren
MMZ	Multimoment-Zeitmessverfahren
MTM	Methods-Time Measurement
OEE	Overall Equipment Efficiency
PDCA	Plan Do Check Act
SQL	Structured-query-language
TOM	Tätigkeits-Objekt-Matrix
TPM	Total Productive Maintenance
XML	Extensible Markup Language

Verzeichnis der Formelzeichen

Beschreibende Größen

N	:	Stichprobenumfang [-]
N_b	:	Stichprobenumfang im Bereich b [-]
v	:	Prozentanteil des interessierenden Zustands [%]
y	:	Prozentanteil des interessierenden Zustands [%]
ZA_{erw}	:	erwarteter Zustandsanteil [-]

Berechnete Größen

AG_b	:	Abdeckung der bezahlten Arbeitszeit in Bereich b [%]
$P_{A,b}$	:	Arbeitsproduktivität in Bereich b [Stk./Std.]
$ZA_{i,anw,b}$	:	Zeitanteil des Zustands i an der Anwesenheitszeit in Bereich b [%]
$Z_{erf,b}$	:	erfasste Arbeitszeit in Bereich b [Std.]
$Z_{erf,kum,b}$	:	kumulierte Dauer der erfassten Arbeitszeit in Bereich b [Std.]
$Z_{EZ,kum,b}$	:	kumulierte Dauer der Einzelereignisse in Bereich b [Std.]
Z_i	:	Dauer des Mitarbeiterzustands i [Std.]
$Z_{i(t,o)}$	:	Dauer des Mitarbeiterzustands i , der durch eine Tätigkeit t und ein Objekt o definiert ist [Std.]
$Z_{i,b}$	:	Dauer des Zustands i in Bereich b [Std.]
$Z_{i,kum,b}$	:	kumulierte Dauer des Mitarbeiterzustands i in Bereich b [Std.]
$Z_{i,kum,p,b}$	:	kumulierte Dauer des Zustands i innerhalb eines Prozesses p in Bereich b [%]
Z_{NE}	:	nicht erfasste Zeit [Std.]
$Z_{tk,kum}$	:	kumulierte Dauer aller Zustände mit der Tätigkeitskategorie tk [Std.]

Messgrößen

$AB_{IST,b}$	:	<i>Ist-Abgang in Bereich b [Stk.]</i>
$H_{i,b}$	:	<i>Häufigkeit des Mitarbeiterzustandes i in Bereich b [-]</i>
$N_{p,b}$	:	<i>Häufigkeit des Prozesses p in Bereich b [-]</i>
ZA_{beo}	:	<i>beobachteter Zustandsanteil [%]</i>
$Z_{anw,b}$	:	<i>Anwesenheitszeit in Bereich b [Std.]</i>
$Z_{bez,b}$	:	<i>bezahlte Arbeitszeit in Bereich b [Std.]</i>

Statistische Größen

e	:	<i>geforderter Vertrauensbereich</i>
n	:	<i>Stichprobenumfang (Anzahl der notwendigen Beobachtungen)</i>
ReS_{stand}	:	<i>standardisierte Differenz zwischen aufgetretener und erwarteter Häufigkeitsverteilung [-]</i>
z	:	<i>z-Wert der Aussagewahrscheinlichkeit (1,96 bei einer Aussagewahrscheinlichkeit von 95%)</i>

Indizes

b	:	<i>Betrachtungsbereich</i>
E	:	<i>Betrachtungsebene [-]</i>
l	:	<i>Anzahl der gültigen Tätigkeits-Objekt-Kombinationen [-]</i>
o	:	<i>Objekt [-]</i>
p	:	<i>Prozess</i>
q	:	<i>Anzahl der verschiedenen Prozesse [-]</i>
t	:	<i>Tätigkeit [-]</i>
tk	:	<i>Tätigkeitskategorie bzw. Phase des generischen Arbeitszyklus [-]</i>

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1-1: Produktivitätsmanagementzyklus als Strukturgeber für den Konzeptteil der Arbeit
- Abb. 2-1: Einordnung und Abgrenzung von Fertigungsarten
- Abb. 2-2: Direkte und indirekte Bereiche in Produktionsunternehmen
- Abb. 2-3: Verteilung der Personalkapazitäten
- Abb. 2-4: Zeitermittlungsverfahren
- Abb. 2-5: Funktionsweise des Multimoment-Häufigkeitsverfahren
- Abb. 2-6: REFA-Standardprogramm für eine Multimomentaufnahme
- Abb. 2-7: Notwendige Stichprobengröße in Abhängigkeit von dem erwarteten Prozentanteil für einen Vertrauensbereich von $\pm 2,5\%$ und eine Aussagewahrscheinlichkeit von 95%
- Abb. 2-8: Beispielhafte Trichtercurve einer MMH-Kontrollkarte
- Abb. 2-9: Aufbau Ganzheitlicher Produktionssysteme
- Abb. 2-10: a) PDCA- und b) Produktivitätsmanagement-Zyklus
- Abb. 2-11: Schema für die Methodenklassifikation nach Czumanski
- Abb. 3-1: Beispiele für eine Gliederung der Arbeitszeit mit Tätigkeit und Objekt
- Abb. 3-2: Definition eines Mitarbeiterzustands
- Abb. 3-3: Herleitung des generischen Arbeitszyklus für die Unikatproduktion
- Abb. 3-4: Gegenüberstellung der Varianten des generischen Arbeitszyklus
- Abb. 3-5: Tätigkeitshierarchie für direkte Bereiche
- Abb. 3-6: Tätigkeitshierarchie für indirekte Bereiche
- Abb. 3-7: Auszug einer beispielhaften Tätigkeits-Objekt-Matrix
- Abb. 3-8: Tätigkeits-Objekt-Matrix als Vorlage für direkte Bereiche
- Abb. 3-9: Tätigkeits-Objekt-Matrix als Vorlage für indirekte Bereiche
- Abb. 3-10: Beispiel für a) klar strukturierte und b) Tätigkeits-Objekt-Matrix mit Ausnahmen
- Abb. 3-11: Arbeitsaufgaben in der Unikatproduktion
- Abb. 3-12: Schematische Darstellung der Aufnahmeverzögerung
- Abb. 3-13: Strukturierung der Unikatproduktion
- Abb. 3-14: Auswahl eines Raumbereichs in der Unikatproduktion
- Abb. 3-15: Logik der horizontalen Datenaggregation
- Abb. 3-16: Logik der vertikalen Datenaggregation
- Abb. 4-1: Übersicht der verwendeten Erfassungsmethoden
- Abb. 4-2: Beispiel für das Layout eines Untersuchungsbereichs
- Abb. 4-3: Beziehung der Elemente eines Mitarbeiterzustands
- Abb. 4-4: Beispiel für einen Datenerfassungsbogen
- Abb. 4-5: Datenübertragung bei der Applikation zur mobilen Datenerfassung
- Abb. 4-6: Benutzeroberfläche der Tablet-Applikation zur Erfassung von Mitarbeiterzuständen
- Abb. 4-7: Aufbau der Analyse bei der Selbstaufschreibung
- Abb. 4-8: Aufnahme Fenster der Desktop-Anwendung für eine beispielhafte Selbstaufschreibung

- Abb. 4-9: Hauptfenster der Desktop-Anwendung für eine beispielhafte Selbstaufschreibung
- Abb. 5-1: Beispiel für den Einfluss einer Bedingungsgröße auf die Zyklusverteilung
- Abb. 5-2: Einschränkung des Aggregationsbereichs bei Stichprobenverfahren
- Abb. 5-3: Beispiel für ein Kreisdiagramm mit Zyklusverteilung für eine Arbeitsaufgabe
- Abb. 5-4: Beispiel für ein Balkendiagramm mit Tätigkeiten
- Abb. 5-5: Verteilung auf die Phasen des generischen Arbeitszyklus am Beispiel von zwölf schiffbaulichen Bereichen (nicht erfasste Zeit 5%)
- Abb. 5-6: Vergleich von Tätigkeiten bei unterschiedlichen Gruppen
- Abb. 5-7: Auszug aus der Rangliste von Mitarbeiterzuständen
- Abb. 5-8: Kreuztabelle für die Auswertung von mehreren Bedingungsgrößen
- Abb. 6-1: Vorgehensweise für die Methodenauswahl in der Unikatproduktion
- Abb. 6-2: Ursache-Wirkungs-Diagramm mit Beispielzustand Sichten von Informationsmaterialien
- Abb. 6-3: Schema für die Klassifikation von Verbesserungsmethoden in der Unikatproduktion
- Abb. 6-4: Optimierung der Reihenfolge mit der Prozessablaufanalyse
- Abb. 6-5: Beispiel für ein Standardarbeitsblatt in der Unikatproduktion
- Abb. 6-6: Hypothese zur Verbesserung eines Prozessablaufs an einem Beispiel
- Abb. 6-7: Vorgehen für einen Produktivitätsmanagementregelkreis
- Abb. 7-1: Layout des Betrachtungsbereichs aus Anwendungsbeispiel 1
- Abb. 7-2: Tätigkeits-Objekt-Matrix des Anwendungsbeispiels 1
- Abb. 7-3: Zyklusverteilung von Anwendungsbeispiel 1 (mit einem Vertrauensbereich von $\pm 2,2\%$)
- Abb. 7-4: Rangliste der zehn häufigsten Mitarbeiterzustände von Anwendungsbeispiel 1
- Abb. 7-5: Kontrollkarte der Multimomentaufnahme von Anwendungsbeispiel 1
- Abb. 7-6: Potenzialabschätzung mit zustandsbezogenen Hypothesen und Ablaufbeschreibung
- Abb. 7-7: Vergleich der Gruppen über die Phasen des generischen Arbeitszyklus ($e_{\max} = \pm 2,5\%$)
- Abb. 7-8: Zustandsverteilung unter Berücksichtigung von den Gruppen und Arbeitsaufgabe
- Abb. 7-9: Verteilung auf die Arbeitsaufgaben der Gruppe Konstrukteure
- Abb. 7-10: Rangliste der Mitarbeiterzustände in der Gruppe der Konstrukteure
- Abb. 7-11: Kontrollkarte der Multimomentaufnahme von Anwendungsbeispiel 2
- Abb. 7-12: Bewertung der Modellierungsgüte von Anwendungsbeispiel

Tabellenverzeichnis

- Tab. 2-1: Eignung von Ansätzen zur Analyse der Arbeitsproduktivität
- Tab. 2-2: Eignung von Ansätzen zur Analyse der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion
- Tab. 2-3: Zustandskategorien nach Czumanski
- Tab. 2-4: Vorteilhafte und nachteilige Aspekte ausgewählter Verfahren für die Unikatproduktion
- Tab. 3-1: Zyklusphasen direkter Bereiche und Hauptelemente von Arbeitssystemen
- Tab. 3-2: Zyklusphasen indirekter Bereiche und Hauptelemente von Arbeitssystemen
- Tab. 3-3: Objekthierarchie für die Unikatproduktion
- Tab. 3-4: Beispiele für Bedingungsgrößen
- Tab. 3-5: Datenstruktur
- Tab. 4-1: Vor- und Nachteile der externen Beobachtung und Selbstaufschreibung
- Tab. 4-2: Einsatzszenarien für Zeitaufnahmen
- Tab. 4-3: Ergänzende Datenaufnahmeverfahren
- Tab. 4-4: Vorgeschlagenes Aufnahmeverfahren bei unterschiedlichen Zielsetzungen
- Tab. 4-5: Auswahl von Erfassungsstrategien für unterschiedliche Bereiche
- Tab. 4-6: Handlungsleitfaden für die Datenerhebung mit Einbeziehung der Mitarbeiter
- Tab. 5-1: Beispiel für die Auswertung des Einflusses von Bedingungsgrößen
- Tab. 5-2: Anteil an der Gesamtstichprobe bei Kombination von zwei Bedingungsgrößen
- Tab. 5-3: Vertrauensbereich bei Kombinationen von Bedingungsgrößen
- Tab. 5-4: Eignung von Darstellungsformen für unterschiedliche Auswertungen
- Tab. 6-1: Eignung von Auswertungsmerkmalen für Verbesserungsstrategien
- Tab. 6-2: Beispiele zur Identifizierung handlungsrelevanter Zustände
- Tab. 6-3: Übersicht der Handlungsfelder
- Tab. 6-4: Auswahl an klassifizierten Methode für die Unikatproduktion
- Tab. 7-1: Überblick über die Anwendungsbeispiele
- Tab. 7-2: Übersicht der Handlungsfelder
- Tab. 7-3: Auswahl an klassifizierten Methode für das Anwendungsbeispiel 1
- Tab. 7-4: Bedingungsgrößen für das Anwendungsbeispiel 2
- Tab. 7-5: Parameter des Multimoment-Häufigkeitsverfahrens für Anwendungsbeispiel 2
- Tab. 7-6: Anteil und Residuen der Gruppenzugehörigkeit von Anwendungsbeispiel 2
- Tab. 7-7: Stichprobenanteil und Vertrauensbereich bei Teilung nach relevanten Bedingungsgrößen
- Tab. 7-8: Übersicht der Handlungsfelder
- Tab. 7-9: Auswahl an klassifizierten Methode für die Unikatproduktion
- Tab. 7-10: Weitere Anwendungen der Analyse in der Industrie

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Der langjährige Trend zur Produktindividualisierung steigert die Bedeutung von Einzel- und Unikatproduktionen mit ihrem hohen Anteil an manuellen Tätigkeiten und hoch qualifiziertem Personal [Jaco15, S. 277ff.]. Für diese Unternehmen ist die Arbeitsproduktivität ein wichtiger Stellhebel, um die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern.

Jedoch haben die gängigen Analysemethoden und Verbesserungsmaßnahmen ihren Ursprung in der Serienfertigung. Aufgrund der vielfältigeren Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität, die in der Regel nur schwer zu identifizieren sind, entsteht ein hoher Anpassungs- oder Entwicklungsaufwand für den Einsatz in der Unikatproduktion. Erkennbar ist diese Herausforderung bereits an der Schwierigkeit, die Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion zu definieren: In den Fertigungs- und Montagebereichen fehlt es aufgrund des Unikatcharakters an einem einheitlichen Output, der aufwandsarm mess- und zählbar ist. Gleichzeitig sind in der Unikatproduktion die Konstruktionsbereiche und die Arbeitsvorbereitung von hoher Bedeutung. In diesen Bereichen wird die Definition der Arbeitsproduktivität dadurch erschwert, dass es keine materiellen Erzeugnisse gibt. Stattdessen sind immaterielle Informationen das Arbeitsergebnis.

Zwar gibt es eine Reihe von Ansätzen, die Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion zu messen und zu analysieren. Jedoch sind weder globale Verfahren noch Ansätze aus dem Projektcontrolling für die gezielte Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen geeignet. Spezifische Analysen, die häufig auf Multimomentaufnahmen basieren, können Produktivitätspotenziale identifizieren. Sie sind jedoch häufig nur mit hohem Aufwand auf weitere Anwendungsfälle übertragbar.

Für die Serienfertigung gibt es Ansätze, die eine durchgehende Gesamtmethodik bereitstellen, um die Arbeitsproduktivität umfassend zu analysieren und zielgerichtet Verbesserungsmaßnahmen auszuwählen. Diese eignen sich jedoch nicht für die Unikatproduktion.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es folglich, eine Gesamtmethodik zur Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion zu entwickeln. Diese soll die Einflussgrößen sowohl in direkten (Fertigung und Montage) als auch in indirekten Bereichen (z. B. Arbeitsvorbereitung und Konstruktion) möglichst vollständig erfassen. Zudem soll sie das Produktionsmanagement befähigen, Verbes-

1. Einleitung

serungsmaßnahmen zielgerichtet auszuwählen. Die Methodik soll folgende Kriterien erfüllen:

1. Allgemeingültigkeit für die Unikatproduktion: Die Methodik soll in der Lage sein, sowohl die direkten Fertigungs- und Montagebereiche als auch die vorgelagerten indirekten Bereiche in einer Unikatproduktion zu analysieren.

2. Hohe Erfassungsbreite: Die vielfältigen Arbeitsaufgaben und der hohe Anteil an Nebenzeiten erfordern, dass sich die Analyse nicht auf die Durchführungstätigkeiten der Mitarbeiter im Arbeitsprozess beschränkt. Sie soll auch die Zeitanteile berücksichtigen, die nicht wertschöpfend sind, um die verschiedenen Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität miteinander vergleichen zu können.

3. Verbesserungsorientierung: Ein weiteres Ziel ist es, aus den Analyseergebnissen systematisch geeignete Verbesserungsmaßnahmen ableiten zu können, um die Arbeitsproduktivität zu steigern. Ein Verfahren für die Zuordnung von gängigen Verbesserungsmethoden zu den erfassten Zustandsarten soll die Anwender dabei unterstützen. Unternehmensspezifischen Anpassungen und Aggregationsmöglichkeiten dienen dazu, die Auswahl um weitere Verbesserungsmaßnahmen zu ergänzen.

4. Praxistauglichkeit: Damit Unternehmen die Analysemethodik in der industriellen Praxis einsetzen, muss sie Vorteile gegenüber bestehenden Verfahren aufweisen. Dies gelingt vor allem durch eine Reduzierung des Anpassungs- und Aufwands, eine einheitliche Modellierung sowie eine verständliche Auswertung der Mitarbeiterzeit. Wenn auf Grundlage dieser Auswertung zielgerichtet Verbesserungsmaßnahmen ausgewählt werden, die wiederholbare Produktivitätsgewinne erzielen, vervielfacht sich der Nutzen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in acht Kapitel. Das folgende zweite Kapitel stellt die Unikatproduktion mit ihren besonderen Eigenschaften vor. Die sich daraus ergebenden Probleme bei der Definition, Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität werden anschließend sowohl für die direkten als auch für die indirekten Bereiche aufgezeigt und münden in Anforderungen an die Gesamtmethodik.

Die entwickelte Modellierung der Arbeitsproduktivität für die Unikatproduktion in Kapitel 3 formuliert den Mitarbeiterzustand als zentrales Element der Methodik. Es ist ein Schwerpunkt dieser Arbeit, da es die Grundlage für die weitere Analyse und Auswertung bildet.

1. Einleitung

Damit die Methodik eine zielgerichtete Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen ermöglicht, orientiert sie sich an einem Verbesserungszyklus zur Produktivitätssteigerung (Abbildung 1-1). Kapitel 4, 5 und 6 beschreiben deshalb die Phasen Datenerhebung, Datenanalyse und -auswertung sowie Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen.

Kapitel 4 entwickelt und kombiniert Erfassungsmethoden zu einer Vorgehensweise für die Datenerhebung, um mit möglichst geringem Aufwand die bezahlte Arbeitszeit vollständig zu erfassen.

Kapitel 5 beinhaltet Verfahren, um die verschiedenen Einflussgrößen zu analysieren und die erhobenen Zustandsdaten zu bewerten.

Kapitel 6 beinhaltet Vorschläge, um verbesserungsrelevante Mitarbeiterzustände zu identifizieren, die Zustandsverteilung zu optimieren und damit die Produktivität zu steigern. Der Verbesserungszyklus endet mit der Maßnahmenumsetzung.

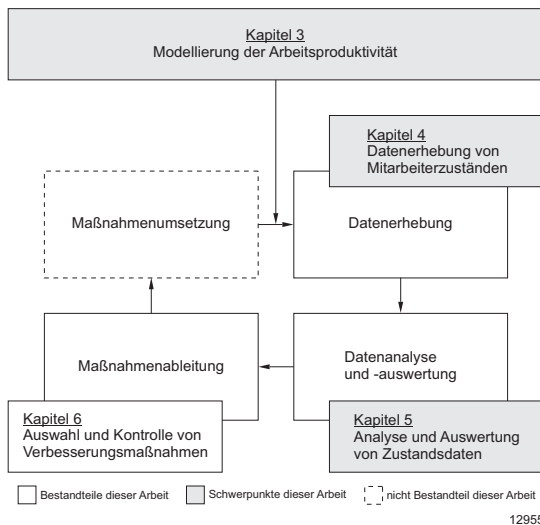


Abb. 1-1: Produktivitätsmanagementzyklus als Strukturgeber für den Konzeptteil der Arbeit

Kapitel 7 überprüft die Praxistauglichkeit und die Zielerreichung anhand von zwei Anwendungsbeispielen.

Eine Zusammenfassung und ein Ausblick schließen in Kapitel 8 die Arbeit ab.

2 Grundlagen und bestehende Ansätze

Dieses Kapitel erläutert die Grundlagen und bestehenden Ansätze zur Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion. Es verfolgt damit das Ziel, grundlegende Begriffe festzulegen und die Methodik thematisch einzuordnen. Abschnitt 2.1 gibt zunächst einen Überblick über die Eigenschaften von Unikatproduktionen, die bereits zu Herausforderungen bei der Definition des Produktivitätsbegriffes führen (Abschnitt 2.2). Da die Arbeitsproduktivität als Zielgröße von besonderer Bedeutung ist, stellt sich die Frage, wie man diese mit gängigen Verfahren messen (Abschnitt 2.3) und analysieren kann (Abschnitt 2.4) und welche Verbesserungskonzepte für die Unikatproduktion geeignet sind (Abschnitt 2.5). Aus dieser Diskussion ergeben sich Defizite, aus denen sich die Anforderungen an die Methodik ableiten lassen (Abschnitt 2.6).

2.1 Unikatproduktion

2.1.1 Fertigungstypen

Produzierende Unternehmen unterscheiden sich in der Auflagenhöhe (Losgröße) und der Wiederholhäufigkeit ihrer Erzeugnisse und lassen sich nach der produzierten Stückzahl in verschiedene Fertigungstypen klassifizieren (Abbildung 2-1): Einzelfertigung, Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung und Massenfertigung.

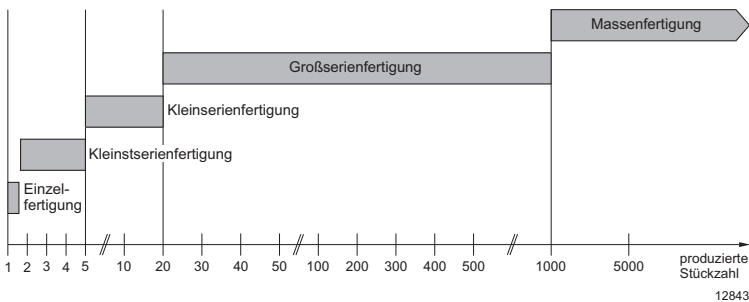


Abb. 2-1: Einordnung und Abgrenzung von Fertigungsarten (in Anlehnung an [Hirs92, S. 4])

Die Massenfertigung zeichnet sich durch eine sehr hohe Stückzahl aus [Jodl08, S. 12]. Die fortwährende Produktion des gleichen Produkts sorgt für eine Wiederkehr von Tätigkeiten und bietet die Möglichkeit von standardisierten Abläufen. Dies wird häufig durch einen hohen Automatisierungsgrad und Fließfertigung erreicht [Hirs92, S. 6f.].

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

Für die Serienfertigung gelten die meisten der für die Massenfertigung genannten Merkmale. Wichtigster Unterschied ist, dass die vorhandenen Betriebsmittel eine gewisse Flexibilität besitzen, da Serienprodukte eine höhere Variantenanzahl aufweisen. Es ist erforderlich, die Produktion je nach Losgröße mittel- bis kurzfristig umzustellen. Durch das Umrüsten entstehen Stillstandzeiten, die in der Serienfertigung durch Methoden wie *Single Minute Exchange of Die* (SMED) [vgl. Shin85] oder technische Ansätze minimiert werden [Jodl08, S. 12].

Das Produkt der Einzelfertigung wird immer in der Losgröße eins gefertigt. Eine wiederholte Einzelfertigung zeichnet sich dadurch aus, dass die Stückzahl größer eins ist. Der Produktentwurf liegt in diesem Fall bereits im Unternehmen vor und das Produkt wird wiederkehrend in unterschiedlichen zeitlichen Abständen hergestellt [Grus10, S. 70]. Wenn das Produkt nur einmal gefertigt wird, handelt es sich um eine Unikatfertigung, so dass sich die Entwicklungs- und Konstruktionsaufwände nicht auf mehrere Produkte abschreiben lassen. Im Gegensatz zur Massen- und Serienfertigung kommt aufgrund des flexiblen Ablaufs als Organisationsprinzip vor allem die Baustellen- sowie die Werkstattfertigung in Frage [Hirs92, S. 10]. Mit erheblichen Aufwand können auch Ansätze einer Fließfertigung umgesetzt werden [Mach15, S. 356ff.].

2.1.2 Merkmale der Unikatproduktion

Die Unikatfertigung ist eine Einzelfertigung, bei der in der Regel ein Produkt kein zweites Mal gebaut wird [Hirs92, S. 9]. Typische Beispiele sind der Spezialmaschinenbau, der Anlagenbau oder der Schiffbau. Bezieht man neben der Fertigung und Montage auch die vorgelagerten indirekten Bereiche Konstruktion und Arbeitsvorbereitung mit ein, spricht man von Unikatproduktion.

In der Unikatproduktion wiederholen sich identische Prozessen nur selten [Hein15, S.13]. Häufig werden unterschiedliche Fertigungsprinzipien kombiniert, wie z. B. die Werkstatt- und Baustellenfertigung, um bestimmte Komponenten zunächst vorzufertigen und später auf der Baustelle zu montieren [Hirs92, S. 10]. In der Werkstattfertigung werden die Fertigungseinrichtungen nach dem Verrichtungsprinzip räumlich und organisatorisch angeordnet. Dabei ist der Transport der Werkstücke abhängig von der Bearbeitungsfolge. In der Baustellenfertigung werden in der Regel große Produkte mit hoher Komplexität hergestellt, bei denen der Transport technisch schwierig realisierbar und damit nur selten wirtschaftlich ist.

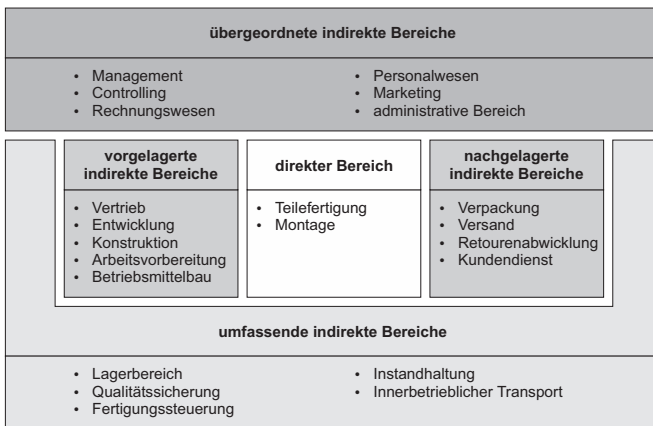
Insgesamt unterscheidet sich die Arbeitsweise von Mitarbeitern in der Unikatproduktion deutlich von der in der Serienfertigung: Erstens sind der Umfang der Arbeitspakete und der Grad der Standardisierung in der Regel sehr unterschiedlich. Dadurch haben die Mitarbeiter in der Unikatproduktion meist eine höhere Aufgabenvielfalt und Autonomie bei der Erfüllung ihrer Arbeitsaufgabe. Zweitens sind die Arbeitsabläufe durch einen hohen Anteil an Nebenzeiten geprägt, z. B. Such-

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

und Holtätigkeiten. Die Mitarbeiter benötigen insbesondere einen hohen Zeitanteil für die Beschaffung und Verarbeitung von fertigungsrelevanten Informationen [Tiet14, S. 3]. Drittens sind die indirekten Bereiche von größerer Bedeutung, da konstruktive und planerische Tätigkeiten einen höheren Anteil an den Produktkosten haben und für jedes Produkt erneut anfallen [Kuhl94, S. 66].

2.1.3 Bedeutung der direkten und indirekten Bereiche

Nach *Thomas* gliedern sich Bereiche eines Produktionsunternehmens nach Funktionen in direkte und indirekte Bereiche [Thom81, S. 433]. In den direkten Bereichen wie der Fertigung und Montage erfolgen Tätigkeiten, die unmittelbar zur Leistungserstellung für den Kunden beitragen. Die indirekten Bereiche beinhalten somit Tätigkeiten, die nur mittelbar zur Leistungserstellung beitragen. Sie sind jedoch notwendig, um die Tätigkeiten in den direkten Bereichen durchführen zu können. Die verschiedenen Bereiche in Produktionsunternehmen zeigt Abbildung 2-2.



12844

Abb. 2-2: Direkte und indirekte Bereiche in Produktionsunternehmen [Hein89, S.7]

Die direkten und indirekten Bereiche unterscheiden sich vor allem durch das Arbeitsergebnis, den Arbeitsprozess und die Arbeitsweise der Mitarbeiter. In den Fertigungs- oder Montageprozessen erzeugen Werker ein stoffliches Produkt mit materiellen Eigenschaften als Arbeitsergebnis. Angestellte in indirekten Bereichen produzieren hingegen vor allem Informationen und damit immaterielle Ergebnisse, die in Form von Zeichnungen, Texten oder Listen festgehalten werden. Das hat zur Folge, dass auch der Arbeitsprozess kaum sichtbar und nur schwierig nachvollziehbar ist im Vergleich zu den häufig an den Materialströmen leicht zu fol-

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

genden Fertigungsprozessen. Mangelnde Arbeitsplatz- und Aufgabenbeschreibungen verstärken in der Regel die Intransparenz des Arbeitsprozesses. Eine hohe Autonomie und Aufgabenvielfalt sowie unterschiedliche Aufgabendauern prägen die Arbeitsweise in vielen indirekten Bereichen [Mese04, S.4]. Im Gegensatz zu Mitarbeitern in direkten Bereichen unterbrechen Angestellte in indirekten Bereichen häufig ihre Arbeitsprozesse für eine längere Dauer und bearbeiten mehrere Vorgänge parallel [Mage14, S. 18f.].

Miehler verdeutlicht den hohen Stellenwert von vorgelagerten indirekten Bereichen in einer Studie [vgl. Miehl98]. Sie umfasst 34 Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus, vornehmlich mit einer Einzel- oder Kleinserienfertigung. Abbildung 2-3 zeigt die Ergebnisse.

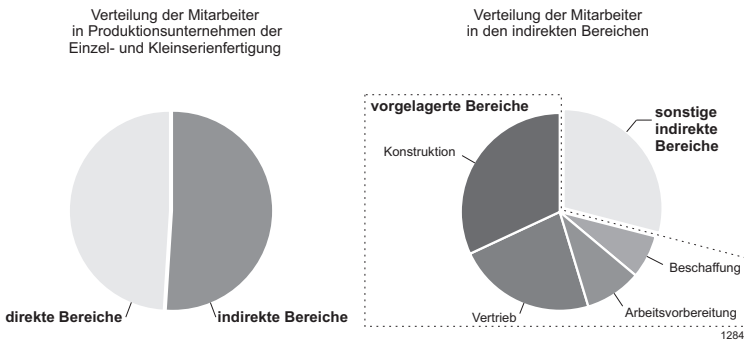


Abb. 2-3: Verteilung der Personalkapazitäten (in Anlehnung an [Miehl98, S. 62])

Die Studie aus dem Jahr 1998 zeigt, dass etwa die Hälfte der Mitarbeiter in indirekten Bereichen arbeitet, davon ein Großteil in vorgelagerten Bereichen.

2.2 Arbeitsproduktivität

Die Produktivität ist als das Verhältnis von Output und Input eines Prozesses oder Unternehmensbereichs definiert [Bokr06, S. 41] [West06, S. 65]. Abhängig vom Anwendungsfall und von den Output- bzw. Inputgrößen existieren unterschiedliche Produktivitätskennzahlen. Die Anwendungsfälle reichen von verschiedenen volks- und betriebswirtschaftlichen Definitionen bis zum Einsatz in unterschiedlichen Wirtschafts- und Unternehmensbereichen [Fren63, S. 12] [Tang04, S. 35f.].

Die Produktivität eines Produktionsprozesses kann in Arbeits-, Maschinen- und Materialproduktivität, sogenannte Teilproduktivitäten, differenziert werden [Webe98, S. 90]. Anhand der von Bokranz entwickelten Kriterien Ressourcenbezug,

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

Situationsbezug und Bezugseinheit wird der Produktivitätsbegriff für diese Arbeit definiert [Bokr06, S. 43].

Ressourcenbezug

In der Unikatproduktion ist wegen des hohen Personaleinsatzes insbesondere die Arbeitsproduktivität von Bedeutung (s. Formel 2-1).

$$P_{A,b} = \frac{AB_{IST,b}}{Z_{bez,b}} \quad (2-1)$$

$P_{A,b}$: Arbeitsproduktivität in Bereich b [Stk./Std.]

$AB_{IST,b}$: Ist-Abgang in Bereich b [Stk.]

$Z_{bez,b}$: bezahlte Arbeitszeit in Bereich b [Std.]

Die Arbeitsproduktivität bezieht den Output auf die Ressource Mensch. Dazu umfasst der Input alle Mitarbeiter, die einem Untersuchungsbereich zugeordnet sind. Dies können sowohl Mitarbeiter in den Fertigungs- und Montageprozessen als auch Mitarbeiter mit unterstützenden und koordinierenden Funktionen sein, beispielsweise Materialbereitsteller und Vorarbeiter.

Situationsbezug

Um die Arbeitsproduktivität zu analysieren und zu verbessern, ist es notwendig, die Ist-Situation zu betrachten. Eine Analyse von Soll-Werten ist für dieses Ziel nur selten sinnvoll.

Bezugseinheit

Zudem ist festzulegen, in welchen Einheiten Input und Output gemessen werden (*Bezugseinheiten*) [Bokr06, S. 43]. Eine einfache Möglichkeit ist es, die Anwesenheitszeit in Stunden als Input zu definieren. Sind auch Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität relevant, die außerhalb der Produktionsumgebung wirken, so sind die bezahlten Arbeitsstunden als Input heranzuziehen. Bei deutlich unterschiedlichen Stundenlöhnen kann zudem eine Multiplikation mit dem jeweiligen Stundensatz sinnvoll sein. Dies gilt insbesondere für Analysen, die sowohl direkte als auch indirekte Bereiche betreffen.

Beschränkung auf die Analyse des Inputs

Der Output in der Unikatproduktion lässt sich in der Regel nur schwer messen. Zwischenerzeugnisse sind in der Unikatproduktion häufig sehr unterschiedlich, so

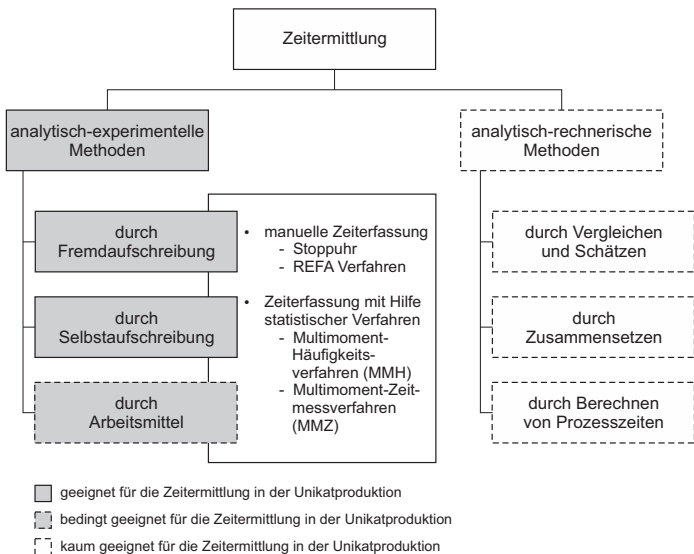
2. Grundlagen und bestehende Ansätze

dass es schwierig ist, diese einheitlich zu zählen. In den indirekten Bereichen lassen sich die immateriellen Erzeugnisse kaum anfassen. Eine Gewichtung der unterschiedlichen Erzeugnisse oder eine monetäre Bewertung verbessern zwar die Vergleichbarkeit, verschlechtern jedoch die absolute Schärfe der Ergebnisse und erfordern einen hohen Erhebungsaufwand. Letztlich beträgt der finale Output immer eins, ist damit kaum aussagekräftig und kann von den Produktionsverantwortlichen in der Regel nicht beeinflusst werden. Somit ist eine Analyse des Inputs in Form der bezahlten Arbeitszeit ausreichend.

2.3 Grundlegende Zeitermittlungsmethoden

2.3.1 Überblick von Zeitermittlungsmethoden

Für die Analyse der bezahlten Arbeitszeit in der Unikatproduktion ist es notwendig, die verschiedenen Zeitanteile von Tätigkeiten der Mitarbeiter zu ermitteln. In der Regel ist nur auf dieser Grundlage eine weiterführende Analyse möglich. Abbildung 2-4 gibt einen Überblick der vorhandenen Zeitermittlungsverfahren. Um einen möglichst vollständigen Überblick zu erhalten, orientiert sich die Struktur an der Einteilung von Zeitdatenermittlungsverfahren für die Bestimmung von Vorgabezeiten.



14848

Abb. 2-4: Zeitermittlungsverfahren (in Anlehnung an [Lucz97, S. 658] [REFA02, S. 247])

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

Die analytisch-rechnerischen Methoden eignen sich nur bedingt für die Zeitermittlung in der Unikatproduktion: Beim Vergleichen wird der Arbeitsablauf mit ähnlichen Arbeitsabläufen verglichen. Die Zeiten können auch aus der Erinnerung (bei sich wiederholenden Arbeitsabläufen) oder aufgrund von Erfahrung geschätzt werden. Aufgrund der Vielzahl an Arbeitsaufgaben und der sehr unterschiedlichen Arbeitsinhalte sind diese Ansätze in der Unikatproduktion kaum geeignet. Sollen Zeiten durch Zusammensetzen bestimmt werden, wird in der Regel der Aufwand aufgrund der vielfältigen Aufgaben sehr hoch sein. Wegen der nur geringen Anzahl an Wiederholungen von Abläufen in der Unikatproduktion ist dieses Vorgehen daher meistens nicht wirtschaftlich. Auch die Berechnung von Prozesszeiten ist in der Regel in der Unikatproduktion aufgrund des geringen Grades der Standardisierung nicht möglich.

Die analytisch-experimentellen Methoden können durch eine Fremd- oder Selbstaufschreibung sowie mit Hilfe von Arbeitsmitteln durchgeführt werden:

- *Fremdaufschreibung*: Externe Beobachter nehmen bei der Fremdaufschreibung Zeiten entweder manuell auf oder erfassen sie mit Hilfe von statistischen Verfahren. Generell ist es für direkte Bereiche geeignet [Schl10, S. 672]. Bei diesem Verfahren besteht jedoch das Risiko, dass der Mitarbeiter sich von der Beobachtung gestört fühlt und anders arbeitet als üblich, um das Analyseergebnis zu beeinflussen. Zudem kann der Beobachter nur leicht erkennbare Zeitarten aufnehmen. Dieser Umstand und die häufig unterbrochenen Arbeitsabläufe in indirekten Bereichen führen dazu, dass die Fremdaufschreibung dort in der Regel nicht anwendbar ist [Schl10, S. 677].
- *Selbstaufschreibung*: Wenn der Mitarbeiter mit einer Selbstaufschreibung Zeiten ermitteln soll, notiert er selbst den Anfangs- und den Endpunkt seiner Tätigkeit oder führt eine Liste mit unterschiedlichen Zeitarten. Vorteilhaft ist, dass die Mitarbeiter detailliertere Angaben zu dem Arbeitsablauf treffen können [Schl10, S. 677]. Häufig unterstützen Vorlagen mit eindeutigen Auswahlmöglichkeiten die Aufnahme. Jedoch besteht das Risiko, dass die Mitarbeiter die Zustände nicht neutral aufnehmen, um ungünstige Zeitarten zu vermeiden. Ebenfalls ist die Kontrolle der Daten schwierig.
- *Mit Hilfe von Arbeitsmitteln*: Informationen zu Anwesenheits- oder Krankheitszeiten lassen sich sehr gut durch Arbeitsmittel der Betriebsdatenerfassung bestimmen. Die meisten Unternehmen nehmen diese grundlegenden Daten bereits auf und können sie aufwandsarm für eine Produktivitätsanalyse zur Verfügung stellen. Allerdings ist es kaum möglich, arbeitsablaufspezifische Zeitarten mit Arbeitsmitteln in der Unikatproduktion zu erfassen. Dafür ist die Arbeitsumgebung zu flexibel und die Arbeitsaufgaben sind zu vielfältig, so dass sich diese Erfassungsmethode nur als Ergänzung eignet.

Manuelle Zeiterfassung

Bei manuellen Zeitaufnahmen nimmt der Anwender den gesamten Arbeitsablauf möglichst standardisiert auf und notiert die Zeitauern und die Reihenfolge der Zeitarten. Dazu ist es notwendig, den gesamten Arbeitsablauf zu begleiten, so dass der Anwender einerseits ein besseres Verständnis des Arbeitsablaufs erlangt, andererseits einen relativ hohen Aufwand hat [Schl10, S. 672ff.]. Häufig helfen Zeitmessgeräte, den Erhebungsaufwand zu reduzieren. Aufgrund der geringen Anzahl an Wiederholungen und des geringen Grades an Standardisierung in der Unikatproduktion ist es fraglich, ob die so ermittelten Zeiten repräsentativ sind.

Zeiterfassung mit Hilfe von statistische Verfahren

Die bekanntesten Vertreter der statistischen Zeiterfassung sind Multimomentaufnahmen. Diese unterteilen sich in das Multimoment-Häufigkeitsverfahren (MMH) und das Multimoment-Zeitmessverfahren (MMZ). Bei dem MMZ wird die Dauer durch stichprobenartige Beobachtungen ermittelt. Dabei erfasst der Anwender auf Rundgängen, zu welchem Zeitpunkt eine neue Zeitart eingetreten ist. Aus den gemittelten Start- und Endwerten lassen sich mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit die Zeitauern bestimmen [Simo87, S. 9ff.]. Damit ist das MMZ für große Bereiche mit langandauernden Tätigkeiten geeignet [Mese04, S. 20]. Für die Analyse der Arbeitsproduktivität und deren Einflussgrößen ist jedoch besonders die Erfassung von kurzzyklischen Tätigkeiten relevant. Unter diesen Bedingungen steigt der Aufwand des MMZ stark an, da mehrere Aufnahmen pro Tätigkeit notwendig sind, oder die Aussagewahrscheinlichkeit nimmt ab, so dass der Einsatz in der Unikatproduktion kaum sinnvoll ist [Schl10, S. 677].

Heute ist insbesondere das MMH ein fester Bestandteil des Arbeitsstudiums und in der Industrie weit verbreitet [vgl. Alm11] [vgl. Jenk04] [vgl. Khal16] [Sche15, S. 59ff.] [vgl. Skek15] [vgl. Sund12] [vgl. Thom83] und wird im folgenden Abschnitt gesondert beschrieben.

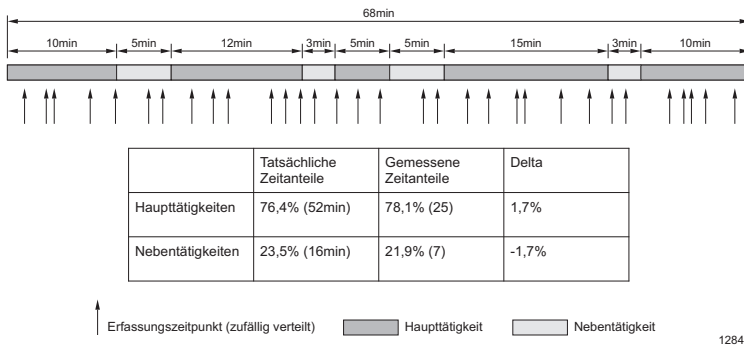
2.3.2 Multimoment-Häufigkeitsverfahren

Die ersten Multimomentaufnahmen wurden bereits Anfang des 20. Jahrhunderts durchgeführt [Refa97, S. 232]. Im Jahr 1954 hat der *REFA-Verband* erstmals den Begriff Multimomentaufnahme in einer Schrift erwähnt und ihn als „Erfassen der Häufigkeit zuvor festgelegter Ablaufarten an einem oder mehreren gleichartigen Arbeitssystemen mit Hilfe stichprobenmäßig durchgeführter Beobachtungen“ [Refa97, S. 232] definiert.

Bei dem MMH werden zu vorher festgelegten Zeitpunkten auf Rundgängen durch den Untersuchungsbereich die Zeitarten notiert. Das Verfahren muss statistische Anforderungen erfüllen, um die Gültigkeit der mittels Stichproben getroffenen

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

Aussagen auf die Grundgesamtheit übertragen zu können [Hall69, S. 16ff.]. Die Multimomentaufnahme liefert Zeitanteile bezogen auf den Aufnahmezeitraum ohne allerdings einen Rückschluss auf die Reihenfolge der Mitarbeiterzustände zu ermöglichen. Abbildung 2-5 verdeutlicht, dass das MMH im Gegensatz zur Zeitmessung nicht fortlaufend die Zeiten misst, sondern auf einer stichprobenmäßigen Erfassung beruht. In diesem Beispiel wurde ein Arbeitsablauf mit einer Gesamtdauer von 68 Minuten aufgenommen. Während das MMH mit insgesamt 32 Stichproben einen Anteil der Haupttätigkeiten von 78,1% ergibt, liegt der mit einer Zeitaufnahme gemessene tatsächliche Anteil bei 76,4%. Der Aufwand für die Stichprobenerfassung ist dabei geringer als bei einer konstanten Zeitmessung. Gleichzeitig wird der Unterschied von 1,7% zwischen den tatsächlichen und gemessenen Zeitanteilen umso geringer, je mehr Stichproben erfasst werden.



12849

Abb. 2-5: Funktionsweise des Multimoment-Häufigkeitsverfahren (in Anlehnung an [Hall69, S. 25ff.] [Lödd16, S. 251])

Das MMH eignet sich auch für große Untersuchungsbereiche, wie sie in der Unikatproduktion üblich sind und kann sowohl bei der Fremdaufschreibung als auch bei einer Selbstaufschreibung verwendet werden [Bund15, S. 218]. Es setzt voraus, dass die zu beobachtenden Tätigkeiten leicht identifizierbar sind. Außerdem müssen die Tätigkeiten zufällig auftreten und die Verhältnisse im Untersuchungsbereich dürfen sich während der Beobachtungen nicht von den typischen Verhältnissen unterscheiden [Bund15, S. 218ff.] [Simo87, S. 12ff.]. Wenn diese Bedingungen gelten und eine ausreichend große Stichprobe vorliegt, kann man Aussagen über die Anteile einzelner Ereignisse treffen. Der ermittelte Anteil unterliegt hierbei zwei wesentlichen statistischen Ungenauigkeiten:

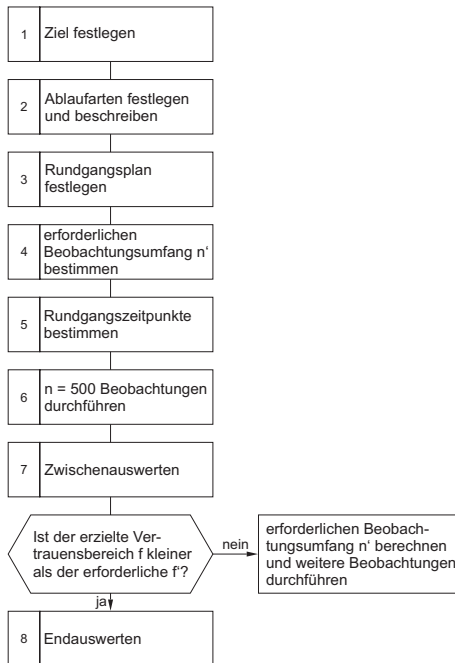
- Die Aussagewahrscheinlichkeit gibt an, in wie vielen Fällen das Stichprobenverfahren richtige Ergebnisse liefert. Eine in der Praxis etablierte Aussagewahrscheinlichkeit liegt bei 95% [Bund15, S. 221].

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

- Der Vertrauensbereich verdeutlicht die Genauigkeit der Anteile an der Gesamtheit und gibt einen Bereich an, für den die Aussagewahrscheinlichkeit gilt. Ein Prozentwert von $\pm 2,5\%$ ist ein guter Richtwert [Hall69, S. 39ff.].

Vorgehen beim Multimoment-Häufigkeitsverfahren

Es gibt Verfahrensbeschreibungen, die den Ablauf in mehrere Schritte einteilen und den Anwender unterstützen [REFA97, S. 237ff.] [Simo87, S. 13ff.] [Bund15, S. 219ff.]. In der Praxis hat sich das in Abbildung 2-6 dargestellte Vorgehen bewährt und wird im Folgenden näher erläutert.



12853

Abb. 2-6: REFA-Standardprogramm für eine Multimomentaufnahme [Refa97, S. 237]

Schritt 1: Ziel festlegen

Zunächst ist es erforderlich, die Zielsetzung der Aufnahme zu formulieren, also z. B. die Ermittlung von betrieblichen Kennzahlen, die Untersuchung von Arbeitsabläufen oder die Bestimmung von Vorgabezeiten. Davon hängt die Auswahl des

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

Teilnehmerkreises, die zu beobachtenden Merkmale, der Zeitraum, die Art der Auswertung und der Vertrauensbereich ab. Bei der Planung der Aufnahme ist es vorteilhaft, mehrere Arbeitssysteme einzubeziehen, um einerseits den Untersuchungsaufwand auf viele Arbeitssysteme zu verteilen sowie die Anzahl der Rundgänge zu reduzieren und andererseits die Aussagekraft der Daten zu erhöhen.

Schritt 2: Festlegung und Beschreibung der Ablaufarten

Nach der Spezifikation des Untersuchungsziels werden die Ablaufarten festgelegt und beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass die einzelnen Ablaufarten eindeutig erkennbar sind. Zudem müssen sie differenziert genug sein, um das Ziel der Aufnahme zu unterstützen. Sammelbegriffe wie *Sonstiges* können zu einer Unschärfe führen und sind möglichst zu vermeiden. Ein Katalog mit eindeutigen Merkmalen der Ablaufarten und Abkürzungen oder Codierungen unterstützen die schnelle Erfassung.

Schritt 3: Erstellung des Rundgangsplans

Ein Rundgangsplan definiert die Beobachtungspunkte. Gut gewählte Beobachtungspunkte stören einerseits die Mitarbeiter kaum und erlauben es andererseits, die Ablaufarten eindeutig zu erkennen. Bei der Selbstaufschreibung entfällt dieser Schritt, da die Mitarbeiter selber die Notierung durchführen.

Schritt 4: Berechnung des erforderlichen Beobachtungsumfangs

Die Anzahl der notwendigen Beobachtungen hängt von der gewünschten Genauigkeit der Ergebnisse ab. Je höher die gewünschte Aussagewahrscheinlichkeit ist und je enger der geforderte Vertrauensbereich sein soll, desto mehr Stichproben sind notwendig. Der erforderliche Beobachtungsumfang berechnet sich mit Formel 2-2 [REFA97, S. 243].

$$n = \frac{z^2 \cdot y \cdot (100 - y)}{e^2} \quad (2-2)$$

- n : Stichprobenumfang (Anzahl der notwendigen Beobachtungen)
- z : z -Wert der Aussagewahrscheinlichkeit (1,96 bei einer Aussagewahrscheinlichkeit von 95%)
- y : geschätzter Prozentanteil des interessierenden Zustands
- e : geforderter Vertrauensbereich

Die mit Formel 2-2 berechnete Stichprobengröße für einen Vertrauensbereich von $\pm 2,5\%$ und eine Aussagewahrscheinlichkeit von 95% ist in Abbildung 2-7 dargestellt.

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

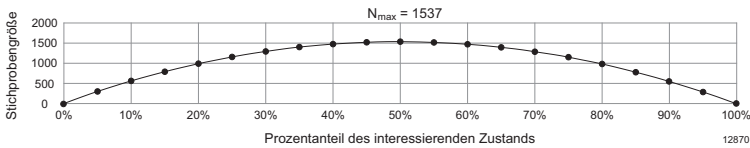


Abb. 2-7: Notwendige Stichprobengröße in Abhängigkeit von dem erwarteten Prozentanteil für einen Vertrauensbereich von $\pm 2,5\%$ und eine Aussagewahrscheinlichkeit von 95%

Schritt 5: Bestimmung der Rundgangszeitpunkte

Die Anzahl der erforderlichen Rundgänge ergibt sich aus dem geforderten Stichprobenumfang und den Beobachtungen pro Rundgang. Um statistische Bedingungen zu erfüllen und eine unbewusste Beeinflussung zu vermeiden, erfolgen die Rundgänge zu zufälligen Zeitpunkten. Spätestens in diesem Schritt sollten die Mitarbeiter der Untersuchungsbereiche informiert werden, da eine frühzeitige Information über die Ziele und Vorgehensweise der Aufnahme sowie konkrete Informationen wie z. B. die festgelegten Beobachter oder die erstellten Aufnahmeformulare die Akzeptanz fördern.

Schritt 6: Durchführung von $n = 500$ Beobachtungen

Der Anwender führt die Aufnahme durch. Dabei notiert er zu den vorgesehenen Zeitpunkten die beobachteten Ablaufarten in dem dafür vorgesehen Formular oder mit Hilfe eines Aufnahmegeräts. Wechselt die Ablaufart genau in dem Zeitpunkt der Beobachtung, so wird grundsätzlich die erste Ablaufart festgehalten. Damit wird vermieden, dass der Anwender unbewusst die Beobachtung verzögert, um einen favorisierten Zustand aufzunehmen. Auffälligkeiten sollten gesondert aufgenommen werden, da sie eine spätere Interpretation der Ergebnisse unterstützen. Bei fehlenden oder ungenau definierten Ablaufarten wird die Aufnahme unterbrochen und nach einer Verbesserung wieder neu gestartet.

Schritt 7: Zwischenauswerten

Bei der Zwischenauswertung nach $n \approx 500$ Stichproben wird geprüft, ob der in Schritt vier festgelegte Beobachtungsumfang zutrifft. Dazu vergleicht man den geschätzten Anteil der interessierten Ablaufart mit dem tatsächlich beobachteten Anteil. Wenn die Werte stark voneinander abweichen, ist eine Korrektur des Stichprobenumfangs oder der Genauigkeitsanforderung notwendig.

Für die industrielle Praxis einer Produktivitätsanalyse ist häufig ein Stichprobenumfang von $n = 500$ bereits ausreichend. Der sich ergebende Vertrauensbereich von $\pm 3\%$ und die Aussagewahrscheinlichkeit von 80% reichen in der Regel, um ein Verständnis für die Verteilung der Mitarbeiterzustände zu erhalten. Die hohen Anforderungen an die Aussagewahrscheinlichkeit und den Vertrauensbereich gel-

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

ten insbesondere, wenn Vorgabezeiten ermittelt werden sollen, was in der Unikatproduktion in diesem Detaillierungsgrad unüblich ist.

Schritt 8: Endauswerten

Nach den Beobachtungen findet die Endauswertung der erfassten Daten statt. Man ermittelt die Anteile der Ablaufarten anhand ihrer Beobachtungszahlen und errechnet die erreichte Genauigkeit. Liegt die Genauigkeit außerhalb des geforderten Bereichs, müssen weitere Beobachtungen erfolgen. Das MMH liefert die Häufigkeitsanteile für die Ablaufarten. Aus diesen können nun, je nach Zielsetzung des MMH, andere Bezugsgrößen abgeleitet werden.

Kontrolle des Multimoment-Häufigkeitsverfahrens

Neben der Frage nach der notwendigen Stichprobengröße sollte der Anwender die Homogenität der aufgenommenen Vorgänge überprüfen, um die Repräsentativität innerhalb des Betrachtungszeitraums sicherzustellen. Dies kann mit Hilfe einer MMH-Kontrollkarte geschehen [Hall69, S. 78ff.]. Dabei zeichnet man den bisher erzielten Anteilswert eines interessierenden Ereignisses über die bisher ausgeführten Beobachtungen auf. Zusätzlich werden eine Ober- und eine Untergrenze auf Basis des jeweiligen bisher erreichten Anteilswertes und des Vertrauensbereichs verzeichnet. Die Grenzbereiche ergeben aufgrund der stetig steigenden Stichprobengröße eine Trichterkurve, die sich dem finalen Anteilswert annähert (s. Abbildung 2-8).

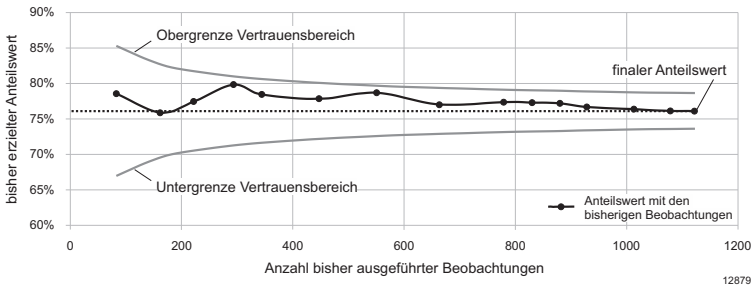


Abb. 2-8: Beispielhafte Trichterkurve einer MMH-Kontrollkarte

Eine Multimomentaufnahme ist unter Kontrolle, wenn der Kurvenzug zu jeder Beobachtung zwischen den Grenzbereichen liegt [Refa97, S. 261]. Verlässt er diesen Bereich, ist dies ein Indiz für eine Störung oder einen Fehler im Untersuchungsbereich.

2.4 Methoden zur Analyse der Arbeitsproduktivität

2.4.1 Verfahren für die Unikatproduktion

In der Unikatproduktion werden verschiedene Verfahren eingesetzt mit dem Ziel, die Arbeitsproduktivität zu messen, zu analysieren und zu verbessern. Aufgrund der Vielzahl von unterschiedlichen Bereichen werden vor allem globale Verfahren, die Earned-Value-Analyse und spezifische Analysen, die vor allem auf dem Multimomentaufnahmen basieren, benutzt. Tabelle 2-1 gibt einen Überblick, ob diese Verfahren die Ziele dieser Arbeit (s. Abschnitt 1.2) für eine Analyse der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion unterstützen.

Tab. 2-1: Eignung von Ansätzen zur Analyse der Arbeitsproduktivität

Verfahren	Ziele			
	Allgemein-gültigkeit	hohe Erfassungs-breite	Ver-besserungs-orientierung	Praxis-tauglichkeit
globale Verfahren	+	-	-	o
Earned-Value-Analyse	o	-	-	o
spezifische Analysen mit Multimomentaufnahmen	abhängig vom Anwendungsfall			

+ unterstützt das Ziel o unterstützt das Ziel teilweise - unterstützt das Ziel nicht

Globale Verfahren

Globale Verfahren wie funktionsbasierte Produktivitätsanalysen [Cant07, S. 61ff.] [Sing00, S. 237ff.] [Wan08, S. 6567ff.] oder das Benchmarking [Harb04, S. 36ff.] [Hüb98, S. 229] [Neb102, S. 41f.] erlauben es, die Produktivität von Produktionsbereichen zu beurteilen. Allerdings dienen sie aufgrund des geringen Detaillierungsgrades vorwiegend für die mittel- bis langfristige Anpassung von Produktionsprozessen. Außerdem erschweren die abstrakten Ergebnisse die Verständlichkeit beim operativen Produktionsmanagement und die Datenerhebung ist häufig mit einem hohen Aufwand verbunden [Czum13, S. 15]. Damit ist weder eine Verbesserungsorientierung noch eine hohe Praxistauglichkeit gegeben. Diese Verfahren sind damit kaum geeignet, die Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion zu steigern.

Earned-Value-Analyse

Aufgrund des Projektcharakters der Unikatproduktion werden häufig Methoden des Projektmanagements adaptiert. Ein bekanntes Verfahren ist die Earned-Value-Analyse. Sie benötigt zur Fortschrittsbewertung Planwerte, Istkosten und Fertig-

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

stellungswert, die in der Unikatproduktion nicht immer aufwandsarm messbar sind [Kerz08, S. 587ff.]. Da dieses Werkzeug eher dem Controlling zuzuordnen ist, mangelt es an der notwendigen Erfassungsbreite, um gezielt Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten.

Spezifische Analysen mit Multimomentaufnahmen

Statt eines einheitlichen Vorgehens werden häufig spezifische Analysen durchgeführt, die eine bestimmte Fragestellung beantworten sollen. Aufgrund der großen Bereiche, der langzyklischen Prozesse, der vielen unregelmäßig auftretenden Zuständen, dem geringen Grad an Standardisierung und der geringen Anzahl an Wiederholungen in der Unikatproduktion wird als Grundlage für diese Analysen häufig eine Multimomentaufnahme gewählt.

Vor allem im Bauwesen werden regelmäßig Multimomentaufnahmen durchgeführt, um die Produktivität zu ermitteln und mit dem Baufortschritt zu vergleichen [vgl. Jenk04] [vgl. Khal16] [vgl. Thom83]. Darüber hinaus versuchen diese Ansätze, weiteres Produktivitätspotenzial zu erschließen. Da jedoch in der Regel nur zwischen zwölf oder weniger Kategorien unterschieden wird, ist eine zielgerichtete Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen schwierig.

Einen breiteren Ansatz wählt *Almström* mit seiner Methode zur Bestimmung der Produktivitätspotenzials [vgl. Alms11]. Hierbei wird eine Multimomentaufnahme mit weiteren Kennzahlen (z. B. Overall Equipment Effectiveness) oder Interviews im Betrieb kombiniert, um Verbesserungspotenzial zu identifizieren. Dieses Vorgehen wird auch in der Unikatproduktion eingesetzt [vgl. Sund12]. Die Qualität der Ergebnisse ist jedoch stark abhängig von der Erfahrung des Anwenders, da er die relevanten zusätzlichen Kennzahlen auswählt und für die Erhebung verantwortlich ist. Verschiedene Aufnahmen lassen sich gut miteinander vergleichen, jedoch ist die Aussagekraft beschränkt, da bei der Multimomentaufnahme nur zwischen sehr wenigen Zuständen unterschieden wird.

Auch in den vorgelagerten indirekten Bereichen, die einen großen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion haben, werden bereits Multimomentaufnahmen für spezifische Fragestellungen durchgeführt. Häufig werden Tätigkeitsstrukturanalysen durchgeführt, um einen Überblick über die verschiedenen Mitarbeiterzustände zu erhalten [Sche15, S. 59ff.]. Nachteilig ist jedoch, dass alle Tätigkeiten fallspezifisch definiert werden, so dass kaum Vergleiche möglich sind und auch der Vorbereitungsaufwand recht hoch ist. Darüber hinaus wird häufig die Multimomentaufnahme durch eine subjektive Schätzung ersetzt, wodurch die Ergebnisse weniger aussagekräftig sein können. Es gibt jedoch auch Ansätze, die Tätigkeiten in Konstruktionsbereichen mit einer Multimomentaufnahme analysieren [vgl. Skec15]. Vorteilhaft ist, dass versucht wird, die gesamte Arbeitszeit und damit einen Großteil der Einflussgrößen zu erfassen. Nachteilig ist jedoch, dass

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

der Vorbereitungsaufwand häufig recht hoch ist, da die vielen verschiedenen Einflussgrößen fallspezifisch definiert werden müssen. Der Aufnahmearbeit kann zwar durch den Einsatz moderner Informationstechnologie reduziert werden: Es werden dafür jedoch in der Regel individuelle Software-Lösungen benötigt.

2.4.2 Verfahren aus anderen Bereichen

Es finden sich in der Literatur und in der Praxis noch weitere Verfahren, um die Arbeitsproduktivität zu analysieren und zu verbessern. Tabelle 2-2 zeigt eine Bewertung der bekanntesten Verfahren oder Verfahrensgruppen, um die Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion zu analysieren.

Tab. 2-2: Eignung von Ansätzen zur Analyse der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion

Verfahren	Ziele			
	Allgemeingültigkeit	hohe Erfassungsbreite	Verbesserungsorientierung	Praxistauglichkeit
Systeme vorbestimmter Zeiten	nicht für eine Produktivitätsanalyse geeignet			
simulationsbasierte Ansätze	nicht für eine Produktivitätsanalyse geeignet			
Integrale handlungsorientierte Analyse nach Czumanski	o	+	+	o
Rüstablaufanalyse nach Frühwald	o	-	+	+
Produktivitätsbestimmung indirekter Bereiche	nur für indirekte Bereiche geeignet			

+ unterstützt das Ziel o unterstützt das Ziel teilweise - unterstützt das Ziel nicht

Systeme vorbestimmter Zeiten

Die Systeme vorbestimmter Zeiten mit Methods-Time Measurement (MTM) als bekanntestem Vertreter haben sich im operativen Produktionsmanagement bewährt [Bokr06, S64ff.], eignen sich jedoch nur bedingt für eine Produktivitätsanalyse in der Unikatproduktion: Zum einen erfassen sie die Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität nicht vollständig, so dass die verschiedenen Einflussgrößen kaum miteinander vergleichbar sind und nicht nach ihrer relativen Einflussstärke beurteilt werden können. Zum anderen erfordern sie detaillierte Zeitdaten und erzeugen bei der hohen Anzahl zu untersuchender Tätigkeiten einen hohen Erfas-

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

sungsaufwand. Darüber hinaus sind viele der Verfahren nicht für den Einsatz in indirekten Bereichen geeignet, weil sie sich fast ausschließlich auf mechanisch-motorische Tätigkeiten beschränken.

Simulationsbasierte Ansätze

Simulationsbasierte Ansätze modellieren Geschäftsprozesse über die Bildung von Objekten, welche Personen darstellen und Operationen, die aus verketteten Aktivitäten bzw. Teilschritten bestehen [Hube05, S. 45] [vgl. Matt98]. Die Prozessreihenfolge ergibt sich in diesem Ansatz aus der Reihenfolge der Abarbeitung von Operationen durch die Objekte. Somit ist es möglich, auch abteilungsübergreifende Leistungsbeziehungen aufzunehmen und Produktivitäten zu modellieren. Die hohe Komplexität und die abstrakte Vorgehensweise erschweren jedoch den praktischen Einsatz. Außerdem ist der Aufwand einer Simulation für die komplexe Unikatproduktion sehr hoch.

Integrale handlungsorientierte Produktivitätsanalyse nach Czumanski

Eine erfolgreiche Methodik für die Analyse der Arbeitsproduktivität in der Serienfertigung hat *Czumanski* entwickelt [vgl. Czum13]. Mit dieser Methode können wesentliche Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität mit geringem Aufwand analysiert werden. Den Kern der Arbeit stellt dabei die Datenerhebung mit reduzierten Zeitaufnahmen dar. Die Mitarbeiterzustände werden in vier Zustandskategorien – zyklusgebunden, losgebunden, periodisch und unregelmäßig – eingeteilt (Tabelle 2-3).

Tab. 2-3: Zustandskategorien nach Czumanski [Czum13, S. 45]

Zustandskategorie	Beschreibung	Beispiel
zyklusgebunden	bei der Produktion eines bestimmten Produktes auftretender Zustand innerhalb eines Arbeitszyklus	manuelle Montage in einer getakteten Linie
losgebunden	bei der Produktion eines bestimmten Produktes auftretender Zustand je produziertem Los	Materialtransport vor und nach der Produktion eines Loses
periodisch	innerhalb des Auswertungszeitraums periodisch auftretende Zustände	Gruppengespräche oder geplante Pausen
unregelmäßig	innerhalb des Auswertungszeitraums unregelmäßig auftretende Zustände	Wartezeit bei Störungsbehebung oder ungeplante Abwesenheit

Infolge der Serienfertigungsstruktur lässt sich einem Großteil der Mitarbeiterzustände Multiplikatoren zuordnen, wodurch der Gesamtaufwand der Datenerhe-

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

bung erheblich reduziert wird. Die Modellierung der Mitarbeiterzeit mit Hilfe einer generischen Zustandshierarchie ermöglicht eine weitere Aufwandsreduzierung durch eine horizontale und vertikale Datenaggregation. Anschließend identifiziert *Czumanski* produktivitätshindernde Faktoren, vergleicht sie und bildet diese in einer Rangliste ab.

Die Methode nach *Czumanski* hat eine hohe Erfassungsbreite und bietet die Möglichkeit, die Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität umfassend zu analysieren und zielgerichtet zu verbessern. Jedoch ist es aufgrund der Unterschiede zur Serienfertigung (s. Abschnitt 2.1) nicht möglich, seine Vorgehensweise in der Unikatproduktion anzuwenden:

- Die Modellierung der Mitarbeiterzustände in der Serienfertigung ist nicht aufwandsarm in der Unikatfertigung anwendbar. Die Mitarbeiter haben in der Unikatfertigung eine deutlich größere Aufgabenvielfalt. Dadurch steigt die Zahl der möglichen Mitarbeiterzustände.
- Die Multiplikation von Zustandsdauern, beispielweise mit der produzierten Stückzahl, reduziert bei *Czumanski* den Erfassungsaufwand. In der Unikatfertigung ist dies kaum möglich, da nur wenige zyklus- und losgebundene Tätigkeiten auftreten. Daher ist die Methode nur in der Serienfertigung praxistauglich.
- Um eine hohe Allgemeingültigkeit zu erhalten, sollen indirekte Bereiche in der Unikatproduktion aufgrund des hohen Kostenanteils mitberücksichtigt werden. Die Tätigkeiten in diesen Bereichen können mit der bisherigen Methode nicht abgebildet werden. Eine Analyse der Wechselbeziehungen zu den direkten Bereichen ist ebenfalls nicht gegeben.

Die Methode nach *Czumanski* bietet einen guten Ansatz, da die Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität umfassend analysiert werden. Für die Unikatproduktion ist es jedoch erforderlich, die Modellierung der Mitarbeiterzeit anzupassen und auf Multiplikatoren weitestgehend zu verzichten.

Rüstablaufanalyse nach Frühwald

Frühwald hat eine Analysemethodik entwickelt, die produktionstechnische Rüstabläufe analysiert und eine Rüstablaufplanung ermöglicht [vgl. Früh90]. Dazu beschreibt er Rüstabläufe mit Rüstelemente, die sich aus vorgegebenen Rüsttätigkeiten und Rüstobjekten ergeben. Anschließend bringt er diese Rüstelemente mit Hilfe von Rüstabschnitten in eine optimale Reihenfolge. Für eine umfassende Analyse der Arbeitsproduktivität ist dieses Vorgehen nicht geeignet, da es sich auf Rüstabläufe spezialisiert hat. Die Erfassungsbreite ist gering, da nur für Rüsten relevante Zustände erfasst werden. Dafür ist das Vorgehen verbesserungsorientiert und die hohe Anzahl an Anwendungen in der Industrie zeugen von einem hohen

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

Praxistauglichkeit. Besonders die Modellierung der vielfältigen Rüstabläufe ist aus drei Gründen besonders gut gelungen:

- Die Beschreibung der Rüstelementen durch eine Kombination einer Tätigkeit und eines Objekts erlaubt es, die vielfältigen Schritte detailliert aufzunehmen.
- Die Verwendung von vorgegebenen Tätigkeiten und Objekten standardisiert und vereinheitlicht dabei das Vorgehen.
- Die Zuordnung der Rüstelemente zu logisch aufeinander aufbauenden Rüstabschnitten ermöglicht es, dieselben Rüstelemente für die Verbesserung zu benutzen.

Produktivitätsbestimmung indirekter Bereiche

Ein großes Potenzial bei der Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion wird in den indirekten Bereichen vermutet. Besonders zwei Ansätze haben sich dazu als Grundlage etabliert.

Michaelis entwickelte eine Methode für die Bestimmung der Arbeitsproduktivität in indirekten Bereichen [vgl. Mich91]. Die Basis für die Methode ist die allgemeingültige Definition der Produktivität von Output durch Input. Die Produktivitätsmessung erfolgt prozessbezogen. Durch eine Untergliederung in Teil- und Einzelprozesse erlaubt das Konzept, den Detailgrad der Produktivitätsanalyse anzupassen. Dabei bezieht er mehrere produktivitätsrelevante Faktoren mit ein und erweitert sie um den Faktor der Qualität und der Rahmenbedingungen im Unternehmen.

Er erfasst die quantitativen Input-Größen mit Datenermittlungsverfahren wie dem Interview, um den Produktionsfaktor Arbeit in normalen Zeiteinheiten zu ermitteln. Für die Erhebung des quantitativen Outputs verwendet er die Anzahl der erstellten Einheiten, z. B. Anzahl der Unterlagen. Zudem kommen qualitative Faktoren hinzu: Für den Input findet eine Bestimmung der Mitarbeiterqualifikation anhand von Kriterien statt. Für den Output entwickelt *Michaelis* unterschiedliche Qualitätsfaktoren: den Richtigkeitsfaktor, den Vollständigkeitsfaktor und den Formgerechtigkeitsfaktor. Als dritte Messgrößenkategorie führt *Michaelis* die Bedingungsdaten ein. Sie geben Rahmenbedingungen zu einzelnen Prozessen an, die in der Auswertung bzw. bei der Findung von Verbesserungsmaßnahmen Beachtung finden und ebenfalls während der Prozessdatenaufnahme erfasst werden. Nach der Erfassung diverser Prozesszyklen von mehreren Mitarbeitern entsteht eine Häufigkeitsverteilung der ermittelten Kennzahlen. Durch statistische Signifikanztests können diese Verteilungen auf Korrelation zu den ebenfalls erfassten Bedingungen untersucht und diese interpretiert werden.

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

Ein Nachteil dieser Methode ist, dass viele Wiederholungen der einzelnen Prozesse benötigt werden, was in der Unikatproduktion selten gegeben ist. Ferner ist die strikte Trennung einzelner Prozesse häufig schwierig und die Datenaufnahme ist aufgrund der Verwendung von Selbstaufschrieben und Schätzungen zumindest teilweise subjektiv. Positiv ist jedoch, dass die Einführung von Bedingungsdaten eine detaillierte Analyse der Einflussgrößen ermöglicht.

Groth und *Kluge* beziehen in ihrer Analyse die Auswirkungen der indirekten Bereiche auf die nachfolgenden Arbeitsprozesse mit ein, um mögliche Schwachstellen in den direkten Bereichen auf vorgelagerte Bereiche zurückzuführen [vgl. Grot88]. Für die Produktivitätsbestimmung setzen sie den Aufwand in den indirekten Bereichen in Beziehung zur Fertigungsproduktivität. Sie entwickeln hierzu unterschiedliche Teilproduktivitäten: die Bearbeitungs-, Organisations- und Informationsproduktivität. Die Bearbeitungsproduktivität ermittelt sich aus dem Quotienten der Anzahl der erstellten Unterlagen und der bezahlten Mitarbeiterzeit. Um die Qualität der Unterlagen zu bewerten, findet eine Erfassung der fehlenden, unvollständigen und fehlerhaften Unterlagen statt. Die Organisationsproduktivität setzt die Bearbeitungszeiten der Aufträge ins Verhältnis zur Durchlaufzeit. Nachteilig ist, dass der Erfassungsaufwand hoch ist und keine systematischen Rückschlüsse für die Verbesserung der Produktivität in den indirekten Bereichen erlaubt. Die Berücksichtigung von Wechselbeziehungen hat jedoch den Vorteil, die Arbeitsproduktivität umfassend analysieren zu können.

2.5 Ansätze für die Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen

Unternehmen sind daran interessiert die Produktivität zu verbessern. Dazu müssen sie geeignete Verbesserungsmaßnahmen ergreifen. Für die Auswahl der Verbesserungsmaßnahmen können Unternehmen unterschiedlichen Philosophien verfolgen. Diese lassen sich in Top-Down- und Bottom-Up-Ansätze einteilen.

Top-Down-Ansatz am Beispiel von Ganzheitlichen Produktionssystemen

Ein bekanntes Vorgehen für die Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen sind Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS) [vgl. Ohno09]. Dombrowski definiert GPS als ein „unternehmensspezifisches, methodisches Regelwerk zur umfassenden und durchgängigen Gestaltung der Produktion“ [Domb06, S. 115]. Sie dienen in der Praxis den Unternehmen häufig als „Regelwerk und Handlungsanleitung“ [Spat03, S. 11] für ein Produktivitätsmanagement und den kontinuierlichen Verbesserungsprozess. Neben dem Ziel, die Kosten zu senken, sollen GPS auch die weiteren Zielgrößen des Produktionsmanagement verbessern [Baum06, S. 61] [Uygu09, S. 138]. Den Hauptbestandteil eines GPS bildet dabei eine Methodensammlung, die in der Regel nach Konzepten, Methoden und Hilfsmitteln hierarchisch strukturiert ist. So sind mehrere Methoden, die durch Hilfsmittel realisiert werden, zu Konzepten zusammengefasst. Die Verbindung mit den generellen Un-

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

ternehmenszielen erfolgt über spezifische Teilziele, die den einzelnen Konzepten zugeordnet sind [Domb06, S. 116]. Abb. 2-9 stellt einen generischen Aufbau ganzheitlicher Produktionssysteme nach *Dombrowski* dar.

Entscheidend für eine erfolgreiche Wirkung eines GPS sind die Abstimmung der Konzepte und Methoden sowie deren Anpassung an die Unternehmenskultur, -organisation und die entsprechende Fertigungsart. Eine Kopie vorhandener GPS führt nur selten zum Erfolg [Barg14, S. 9]. Damit einher geht auch die grundsätzliche Kritik an diesem Ansatz: Der Entwicklungsaufwand ist sehr hoch und das operative Produktionsmanagement akzeptiert die abstrakten Ergebnisse nur selten [Rupp15, S. 39]. Die Anwendung von GPS in der Unikatproduktion wird zusätzlich dadurch erschwert, dass GPS ursprünglich für die Automobilindustrie, eine Serienfertigung, entwickelt wurden. Erfolgreiche Umsetzungen, die als Orientierung dienen können, sind kaum vorhanden [Grus10, S. 2f.]. Zudem fehlen aufgrund der spezifischen Merkmale der Unikatproduktion grundsätzliche Voraussetzungen für zentrale Konzepte (z. B. Orientierung am Kundentakt) etablierter GPS.

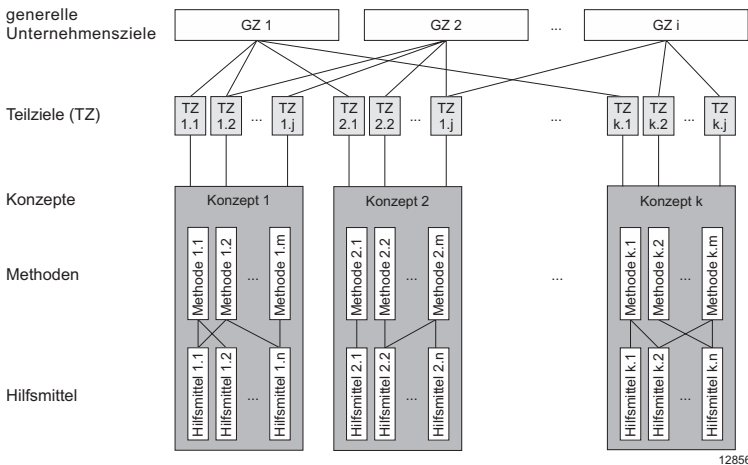


Abb. 2-9: Aufbau Ganzheitlicher Produktionssysteme [Domb06, S. 116]

Das grundlegende Problem besteht jedoch darin, dass die Auswahl der vorgegebenen Methoden sich in der Regel an den zu erfüllenden Teilzielen orientiert. Dadurch kann es sein, dass die ausgewählte Verbesserungsmaßnahme die Produktivität nicht verbessert, da die relevanten Einflussgrößen unbekannt bleiben.

Bottom-Up-Ansatz am Beispiel des PDCA-Zyklus

Wenn die Ziele nicht durch das Management vorgegeben werden, wird das Produktivitätsmanagement in der betrieblichen Praxis häufig in Form eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) durchgeführt. Dieser zielt darauf ab, Vorgänge schrittweise zu verbessern und dadurch Verschwendung und nicht-wertschöpfende Tätigkeiten zu vermeiden [Brun11, S. 45f.] [Stow10, S. 12f.]. Zentrales Element der kontinuierlichen Verbesserung ist der PDCA-Zyklus in Anlehnung an *Deming* [Demi86, S. 88f.]. Er enthält vier Phasen, um Verschwendung systematisch zu beseitigen [Roth09, S. 141]: Plan, Do, Check und Act. Häufig mangelt es jedoch dem operativen Produktionsmanagement an ausreichendem Fachwissen, die Produktionsabläufe umfassend zu analysieren und so die geeignetsten Verbesserungsmaßnahmen auszuwählen. Obwohl dann die Verbesserungsmaßnahme ideal umgesetzt wird, adressiert diese vielleicht nicht das wichtigste Verbesserungspotenzial.

Ansatz für eine Entscheidungsunterstützung für die Methodenauswahl

Um dieses Dilemma aufzulösen, nutzt *Czumanski* ausgehend vom PDCA-Zyklus einen Produktivitätsmanagementzyklus für die Analyse der Arbeitsproduktivität in der Serienfertigung [Czum13, S. 3]. Dieser baut auf dem Phasenmodell von *Sumanth* auf und zielt auf die Verbesserung der Produktivität ab [Suma84, S. 48]. Dabei steht die Datenanalyse im Vordergrund, um sicherzustellen, dass die wichtigsten Probleme erkannt werden. Abbildung 2-10 stellt beide Zyklen gegenüber.

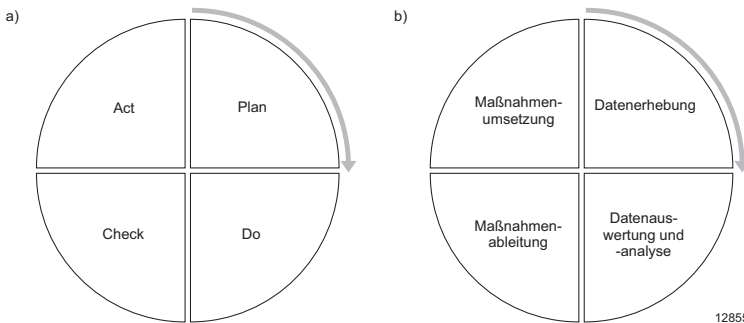


Abb. 2-10: a) PDCA- [Roth09, S. 141] und b) Produktivitätsmanagement-Zyklus [Czum13, S. 25]

Dieser Produktivitätsmanagementzyklus dient für diese Arbeit als Orientierung, damit die entwickelte Methode zur Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität ein Produktivitätsmanagement in der Unikatproduktion unterstützt. Er beinhaltet folgende Aufgaben [Czum13, S. 25]:

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

- *Datenerhebung*: Erfassung und Aggregation produktivitätsrelevanter Daten im Untersuchungsbereich
- *Datenauswertung und -analyse*: Aufbereitung der Daten zu Kennzahlen und Grafiken sowie Identifikation von Schwachstellen
- *Maßnahmenableitung*: Planung und Vorbereitung von Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung
- *Maßnahmenumsetzung*: Durchführung der geplanten Maßnahmen

Czumanski entwickelt weiterhin ein Verfahren, das es erlaubt, geeignete Methoden zur Steigerung der Produktivität abzuleiten, und damit den dritten Schritt des Produktivitätsmanagementzyklus unterstützt [Czum13, S. 98ff.]. Das Vorgehen beruht zum einen auf der Definition von Handlungsfeldern und zum anderen auf der Klassifikation von Methoden. Ein Abgleich des so definierten Methodenbedarfs mit dem Methodenangebot führt zu einer zielgerichteten Methodenauswahl. *Czumanski* verwendet dazu in Anlehnung an *Pavnaskar* ein Klassifikationsschema mit fünf Merkmalen, das in Abbildung 2-11 dargestellt ist [vgl. Pavn03].

Beschreibung	Klassifikationselemente					Methodenmerkmale	
Die Methode/ das Hilfsmittel...	identifiziert	misst	vermeidet	reduziert		Wirkung	
...den/die...	Eintritt		Dauer			Art des Einflusses	
...des Zustands...	Wertschöpfung	Handhaben	Rüsten	Störungs- behebung	Nacharbeit	Krankheit	Zustand
...hervorgerufen durch den Einflussfaktor...	Mensch	Maschine	Material	Methode	Management	Umwelt	Ursachen- kategorie
...auf Arbeits- systemebene...	Arbeitsstation		Linie	Segment	Werk		Anwendungs- ebene

12857

Abb. 2-11: Schema für die Methodenklassifikation nach *Czumanski* [Czum13, S. 101]

Der Ansatz von *Czumanski* für die Zuordnung von Methoden wurde in der Serienfertigung erfolgreich umgesetzt. Da er neben der Steigerung der Arbeitsproduktivität auch zu einer Verbesserung weiterer Zielgrößen, der Reduzierung des Umsetzungsaufwandes sowie der Bewertung von Produktionssystemen führen kann, wird das Verfahren auch für diese Arbeit als sinnvoll erachtet. Es besteht jedoch ein Anpassungsbedarf, da die Definition der Handlungsfelder und die Klassifikation der Methoden sehr eng auf die von *Czumanski* entwickelte Analyse zugeschnitten sind (s. Abschnitt 2.4.2).

2.6 Fazit der Grundlagen und bestehenden Ansätze

2.6.1 Defizite und Chancen bestehender Ansätze

Unternehmen müssen sich aufgrund begrenzter Ressourcen die Frage stellen, welche Verbesserungsmaßnahme und eventuell vorher notwendigen Analysen sie mit welcher Priorität durchführen. Ziel muss es sein, die zur Verfügung stehenden Instrumente des Produktionssystems dort einzusetzen, wo sie den größten produktivitätssteigernden Effekt erzeugen [Czum13, S. 27]. Es existieren jedoch nur wenige durchgängige Verfahren, die auf Basis einer Analyse geeignete Methoden vorschlagen [vgl. Moha10] [vgl. Saur11] [vgl. Thaw08]. Häufig bedienen sie lediglich die Konzeptebene und führen zu Richtungsentscheidungen, anstatt einen konkreten Methodenbedarf zu ermitteln [Czum13, S. 27].

Die in der Industrie häufig eingesetzten globalen Methoden eignen sich nicht für eine umfassende Analyse der Arbeitsproduktivität, da die Erfassungstiefe zu gering ist [Czum13, S. 29f.]. Auch Verfahren, die auf vorbestimmten Zeiten oder Simulationen basieren, sind für die Analyse der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion ungeeignet, da das fehlende repetitive Moment zu einem hohem Aufwand führt. Die in der Unikatproduktion verbreitete Earned-Value-Analyse gibt keine Hinweise auf die Einflussgrößen.

Spezifischen Analysen, die Multimomentaufnahmen verwenden, werden erfolgreich in der Unikatproduktion eingesetzt und können sowohl die Arbeitsproduktivität analysieren als auch verbessern. Es fehlt jedoch ein einheitliches Vorgehen: Bisher wird für jede Fragestellung ein individuelles Vorgehen benutzt, so dass keine Vergleichbarkeit gegeben ist oder ein hoher Aufwand für die Anpassungen der Ablaufarten an die jeweiligen Arbeitsabläufe entsteht.

Zwar hat *Czumanski* für die Serienfertigung eine Methode entwickelt, die dort allen Ansprüchen an eine umfassende, handlungsorientierte Produktivitätsanalyse erfüllt [vgl. Czum13], aufgrund der geringen Anzahl an Wiederholungen und den damit fehlenden Multiplikatoren für die reduzierten Zeitaufnahmen scheidet dieses Vorgehen jedoch für die Unikatproduktion aus.

Die Rüstablaufanalyse nach *Frühwald* [vgl. Früh90] ist aufgrund ihrer Fokussierung auf Rüstabläufe nicht für eine umfassende Analyse der Arbeitsproduktivität geeignet. Jedoch zeigt die Modellierung, dass auch vielfältige Vorgänge einheitlich modelliert werden können.

Auch Ansätze, die ihren Fokus auf den indirekten Bereichen haben [vgl. Grot88] [vgl. Mich91], lassen sich kaum für direkte Bereiche adaptieren und sind damit nicht für eine Analyse der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion geeignet.

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

Der Verbesserung der Arbeitsproduktivität widmen sich unterschiedliche Konzepte (s. Abschnitt 2.5). Ein durchgehendes Verfahren bis zur zielgerichteten Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen können ganzheitliche Produktionssysteme ermöglichen. Der hohe Entwicklungsaufwand und fehlende erfolgreiche Umsetzungen in der Unikatproduktion erschweren deren Etablierung jedoch. Zusätzlich fehlt es an einer Klassifizierung der Methoden zu den Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität, die es dem Produktionsmanagement ermöglicht, effektive Methoden auszuwählen. Der Ansatz von *Czumanski* für die Zuordnung von Methoden wurde in der Serienfertigung bereits erfolgreich umgesetzt [Czum13, S. 98ff.]. Es besteht jedoch Anpassungsbedarf, da die Definition der Handlungsfelder und die Methodenklassifikation auf die Serienfertigung zugeschnitten sind.

Tabelle 2-4 fasst die positiven Aspekte der vorgestellten Methoden und Verfahren zusammen, die als Baustein für eine Methode zur Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion dienen können.

Tab. 2-4: Vorteilhafte und nachteilige Aspekte ausgewählter Verfahren für die Unikatproduktion

Verfahren	Vorteilhaft	Nachteilig
Integrale handlungsorientierte Analyse (IHP) nach <i>Czumanski</i>	+ Vergleichbarkeit und geringer Anpassungsaufwand durch generische Zustandshierarchie + gezielte Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen	- benötigt Multiplikatoren bzw. Prozesswiederholungen - keine Berücksichtigung von indirekten Bereichen
Rüstablaufanalyse nach <i>Frühwald</i>	+ einfache Modellierung vielfältiger Rüstelemente + beinhaltet Verbesserungsvorgehen	- nur für spezifischen Anwendungsfall geeignet - basiert auf Zeitaufnahmen
Bestimmung des Produktivitätspotenzial nach <i>Almström</i>	+ geringer Erfassungsaufwand + Kombination von mehreren Einflussgrößen + Vergleichsmöglichkeiten	- geringer Detaillierungsgrad - keine Berücksichtigung von indirekten Bereichen
Spezifische Tätigkeitsanalysen mit MMH in der Unikatproduktion	+ relativ geringer Erfassungsaufwand + für vielseitige Fragestellungen einsetzbar	- mangelnde Übertragbarkeit - häufig Fokussierung auf nur eine Einflussgröße
Produktivitätsbestimmung indirekter Bereiche nach <i>Michaelis</i>	+ flexibler Detaillierungsgrad + gezielte Auswertung durch Verwendung von Rahmenbedingungen	- zählbarer Output notwendig - benötigt Multiplikatoren bzw. Prozesswiederholungen
Produktivitätsanalyse indirekter Bereiche nach <i>Groth/Kluge</i>	+ Berücksichtigung von Wechselwirkungen zu den direkten Bereichen	- hoher Erfassungsaufwand - kaum Hinweise auf Verbesserungspotenzial
Methodenklassifikation nach <i>Czumanski</i>	+ Entscheidungsunterstützung + Basiert auf Analyseergebnissen	- spezifisch für die IHP - Fokus auf Verbesserungsmethoden der Serienfertigung

2.6.2 Anforderungen an die Analyse- und Verbesserungsmethodik

Aus dem übergeordneten Ziel dieser Arbeit – eine Methode zur Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion zu entwickeln – und den Defiziten bestehender Ansätze ergeben sich folgende Anforderungen an die Methode, die sich an den vier Teilzielen (s. Abschnitt 1.2) orientieren:

Allgemeingültigkeit für die Unikatproduktion

Die Methodik soll in der Lage sein, sowohl die direkten Fertigungsbereiche als auch die vorgelagerten indirekten Bereiche in einer Unikatproduktion analysieren zu können. Schwerpunkte bilden damit einerseits große Produktionsbereiche, in denen die Mitarbeiter flexibel eingesetzt werden. Andererseits sollen vorgelagerte Bereiche wie die Arbeitsvorbereitung oder Konstruktion mit einbezogen werden, um die Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität umfassend zu analysieren. Dabei soll die Analyse unabhängig vom Fertigungsprinzip sein und zudem eine Strukturierungsmöglichkeit bieten, um trotz der flexiblen Organisation in der Unikatproduktion den Betrachtungsumfang einer Analyse auf bestimmte Bereiche eingrenzen zu können sowie vergleichende Analysen zu ermöglichen.

Hohe Erfassungsbreite

Die vielfältigen Arbeitsaufgaben und der hohe Anteil an Nebenzeiten führen zu einer Vielzahl von Tätigkeiten. Um wichtige Anteile zu erkennen, ist es erforderlich, dass sich die Analyse nicht auf die durchführenden Tätigkeiten der Mitarbeiter im Herstellungsprozess beschränkt. Sie soll Zeitanteile berücksichtigen, die nicht-wertschöpfend sind, um alle Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität darstellen zu können. Dabei soll es möglich sein, die Einflüsse von vorgelagerten indirekten Bereichen auf direkte Bereiche bzw. umgekehrt die Einflüsse der Fertigung auf die Arbeitsproduktivität in den indirekten Bereichen aufzuzeigen.

Verbesserungsorientierung

Neben der möglichst vollständigen Erfassung der Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität muss die Analyse so detailliert sein, dass sich eine sinnvolle Verbindung zu Verbesserungsmaßnahmen ergibt. Ein Verfahren für die Zuordnung von gängigen Methoden soll die Anwender dabei unterstützen. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist, dass der Anwender die Analyse an das Unternehmen anpassen kann. Ebenfalls dient eine offene Methodenklassifikation dazu, eigene Methoden zu ergänzen. Aufgrund der nur geringen Anzahl an erfolgreichen Umsetzungen von gängigen Methoden zur Methodenauswahl, die größtenteils ihren Ursprung in der Serienfertigung haben, soll ein weiteres Verfahren entstehen, das Prozessabläufe in der Unikatproduktion verbessert.

Praxistauglichkeit

Damit Unternehmen die Analysemethodik in der industriellen Praxis einsetzen, muss sie Vorteile gegenüber bestehenden Verfahren aufweisen. Dies gelingt vor allem durch eine Reduzierung des Aufnahmeaufwands. Wünschenswert ist eine generische Beschreibung der Mitarbeiterzeit, um den unternehmens- und bereichsspezifischen Anpassungsaufwand gering zu halten. Idealerweise sind Analysen mit variablem Detaillierungsgrad möglich. Um die benötigte Zeit für die Analyse und den Aufnahmeaufwand zu reduzieren, ist zu untersuchen, ob eine Verbindung von mehreren Datenerfassungsverfahren sinnvoll ist und inwiefern IT-gestützte Lösungen den Anwender unterstützen können.

Um den Analyseaufwand zu rechtfertigen, muss die Methodik wiederholbare Produktivitätsgewinne erzeugen. Dazu muss eine Übertragbarkeit von prozessspezifischen Einflussgrößen der Arbeitsproduktivität auf andere Arbeitsabläufe gewährleistet werden. Entscheidend ist, dass sowohl die Anwender als auch die Entscheidungsträger und die betroffenen Mitarbeiter die Methodik akzeptieren. Eine einheitliche und verständliche Modellierung der Mitarbeiterzeit unterstützt diesen Vorsatz. Ebenfalls soll die Methodik in bestehende Vorgehensweisen des Produktivitätsmanagements integrierbar sein. Zum Schutz der Mitarbeiter sollen keine personenbezogenen Leistungsdaten erhoben werden. Deshalb ist eine Fokussierung auf Bereiche und nicht auf Personen wünschenswert.

3 Modellierung der Arbeitsproduktivität

Dieses Kapitel beinhaltet die grundlegenden Definitionen und Zusammenhänge für eine Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion. Dazu wird die Arbeitszeit der Mitarbeiter sowohl in den direkten als auch in den indirekten Bereichen modelliert (Abschnitt 3.1). Alle benötigten Informationen werden mit Hilfe einer Datenstruktur zusammengefasst, um die bezahlte Arbeitszeit mit Mitarbeiterzuständen zu beschreiben (Abschnitt 3.2). Diese umfasst auch eine Logik zur Datenaggregation, so dass die bezahlte Arbeitszeit aufwandsarm und vollständig erfasst wird und höher aggregierte Analysen möglich sind.

3.1 Modellierung der Arbeitszeit

3.1.1 Ziele der Modellierung

Ein Unternehmen muss wissen, auf welche Bestandteile sich die bezahlte Arbeitszeit seiner Mitarbeiter verteilt, um die Arbeitsproduktivität systematisch verbessern zu können. Eine präzise Modellierung dieser Zusammensetzung ist maßgebend für die Qualität der Analyseergebnisse. Bei einer missverständlichen oder lückenhaften Modellierung weichen die Analyseergebnisse von der Realität ab: Entweder wird nicht die gesamte Zeit erfasst oder die falsche Zuordnung einer aufgenommenen Aktivität verzerrt die Ergebnisse. Daher hat die Modellierung der Arbeitszeit folgende Ziele, die teilweise konkurrieren:

- *Vollständigkeit*: Es soll möglich sein, alle Mitarbeiterzustände zu beschreiben, so dass die bezahlte Arbeitszeit vollständig erfasst wird.
- *Eindeutigkeit*: Es soll möglich sein, die Mitarbeiterzustände eindeutig zu beschreiben, so dass bei der Aufnahme und Auswertung keine Verwechslungen von Aktivitäten auftreten.
- *Einheitlichkeit*: Es soll möglich sein, die Mitarbeiterzustände einheitlich zu beschreiben, so dass man trotz der vielfältigen Arbeitsaufgaben in der Unikatproduktion Analyseergebnisse zusammenführen kann.
- *Geringer Erfassungsaufwand*: Die Anzahl der definierten Mitarbeiterzustände sollte so gering wie möglich sein, um den Erfassungs- und Auswertungsaufwand zu reduzieren und die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen.
- *Flexibler Detaillierungsgrad*: Die Mitarbeiterzustände sollen unterschiedlich detailliert erfassbar sein, um den Erfassungsaufwand zu reduzieren und dennoch verbesserungsrelevante Zustände sowie deren Ursachen zu identifizieren.
- *Zyklusorientierung*: Die Mitarbeiterzustände sollen in einem Zyklus strukturiert sein, so dass repetitive Produktivitätsgewinnen über mehrere Arbeitsaufgaben möglich sind.

3.1.2 Definition von Mitarbeiterzuständen

Analog zu der Methode von *Czumanski* eignen sich auch in der Unikatproduktion Mitarbeiterzustände dazu, die Arbeitszeit allgemein zu gliedern [Czum13, S. 34ff.]. Ein Mitarbeiterzustand beschreibt dazu eindeutig die ausgeführte Aktivität eines Mitarbeiters. Die Aktivitäten der Mitarbeiter lassen sich dabei grundsätzlich unterscheiden, ob sie der Erfüllung einer konkreten Arbeitsaufgabe dienen oder unabhängig von einer Arbeitsaufgabe sind. Arbeitsaufgaben sind z. B. die Bearbeitung eines Fertigungsauftrages oder die Erfüllung einer Aufgabe der Qualitätssicherung. Eine Analyse der Arbeitsaufgaben gibt zwar den Grund der Verrichtung an, gibt aber noch keinen Hinweis auf die konkreten Einflussgrößen. Dazu müssen die Verrichtungszeiten der Arbeitsaufgaben detailliert analysiert werden.

Ein in der Organisationspraxis bekanntes Vorgehen definiert einen Prozess mit Hilfe einer Tätigkeit und eines Objekts [Schm14, S. 216ff.]. Diese beiden Merkmale sind notwendig und hinreichend, um eine Arbeitsaufgabe zu definieren [Bett01, S. 3f.] oder spezifische Arbeitsprozesse zu beschreiben [vgl. Früh90]. Abbildung 3-1 zeigt beispielhaft, wie sich eine Arbeitsaufgabe mit Tätigkeiten und Objekten beschreiben lässt.

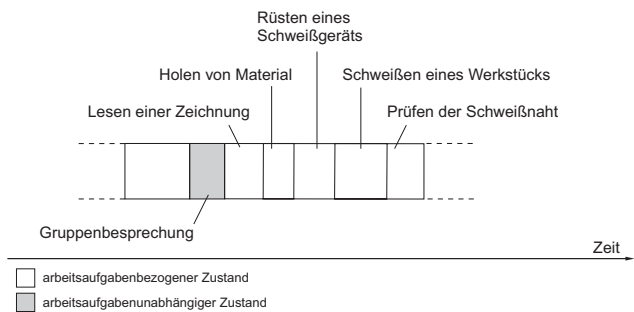


Abb. 3-1: Beispiele für eine Gliederung der Arbeitszeit mit Tätigkeit und Objekt

Die hohe Aufgabenvielfalt in der Unikatproduktion erschwert es, alle relevanten Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität nur durch eine Tätigkeit und ein Objekt zu beschreiben. So kann z. B. auch die Qualifikation eines Mitarbeiters einen Einfluss auf die Produktivität haben. Wenn man weitere Einflussgrößen berücksichtigen möchte und nur bei einer Beschreibung mit Tätigkeiten und Objekten bleibt, würde die Anzahl der benötigten Tätigkeiten und Objekte aufgrund der hohen Aufgabenvielfalt in der Unikatproduktion stark ansteigen. Gleichzeitig reduziert sich die Eindeutigkeit der Modellierung, da der Aufwand einer klaren Abgrenzung mit der Anzahl der Mitarbeiterzustände steigt. Daher ist eine zusätzliche Berücksichtigung von Bedingungsgrößen (s. Abschnitt 3.1.9) sinnvoll.

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

Die so definierte Beschreibung mit Tätigkeit, Objekt und ggf. Bedingungsgröße(n) wird hier *Mitarbeiterzustand* genannt. Diese Mitarbeiterzustände ermöglichen es, die Aktivitäten der Mitarbeiter vollständig und eindeutig zu beschreiben. Abbildung 3-2 stellt zusammenfassend die Definition eines Mitarbeiterzustands sowie mögliche Bedingungsgrößen dar.

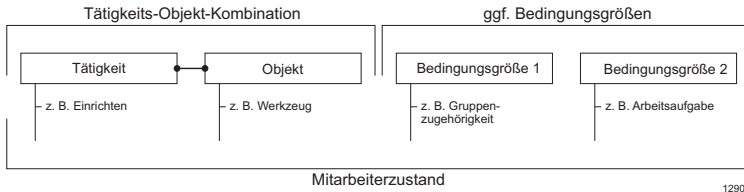


Abb. 3-2: Definition eines Mitarbeiterzustands

3.1.3 Generischer Arbeitszyklus

In der Serienfertigung führt der Einsatz einer Verbesserungsmethode bei jeder Wiederholung und damit im Idealfall bei jedem produzierten Stück zu einem Produktivitätsgewinn. Dadurch amortisiert sich der Aufwand für die Umsetzung einer Verbesserungsmaßnahme häufig sehr schnell. In der Unikatproduktion mit ihren vielen unterschiedlichen Prozessen, die nur zu einem geringen Grad standardisiert sind, fehlt dieses repetitive Moment. Dadurch wird ein spezifischer Prozess nur selten wiederholt und der Aufwand für eine Verbesserungsmaßnahme amortisiert sich häufig nicht.

Um dieses Dilemma zu lösen, werden die spezifischen Arbeitsprozesse in der Unikatproduktion verallgemeinert. Das Ergebnis ist ein allgemeiner Arbeitszyklus, der einen idealtypischen Ablauf darstellt. Er besteht zunächst aus den drei Phasen Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung und ist so allgemein, dass er auf verschiedene Arbeitsaufgaben anwendbar ist. Da die Arbeitsabläufe in der Unikatproduktion sehr informationsintensiv sind und sich Verbesserungsmaßnahmen für informatorische und mechanisch-manuelle Tätigkeiten stark unterscheiden, werden die Vor- und Nachbereitungsphase jeweils differenziert in einen informatorischen und einen materiellen Teil (s. Abbildung 3-3).

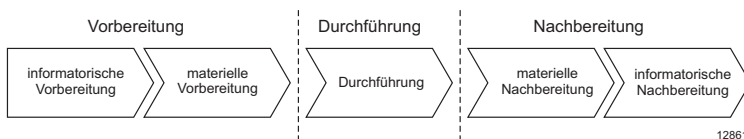


Abb. 3-3: Herleitung des generischen Arbeitszyklus für die Unikatproduktion

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

Dieser Grundaufbau erlaubt es, auch in der Unikatproduktion wiederholbare Abläufe zu definieren und repetitive Produktivitätsgewinne zu erzielen. Wird eine Arbeitsaufgabe in einer Phase verbessert, kann sich dies auf weitere Arbeitsabläufe mit den gleichen Tätigkeiten positiv auswirken. Relevant ist an dieser Stelle, dass der Zyklus nicht zwangsläufig linear durchlaufen wird.

Die Arbeitsabläufe in direkten und indirekten Bereichen unterscheiden sich jedoch erheblich. Um diese Abläufe gezielter zu analysieren, wird auf Grundlage des generischen Arbeitszyklus eine Variante für direkte und eine Variante für indirekte Bereiche abgeleitet, die sich in zwei Punkte unterscheiden:

- *Materielle Vorbereitung:* Durch die Abtrennung der informatorischen Vorbereitung entsteht eine *materielle Vorbereitung*, die für die indirekten Bereiche ausreichend eindeutig ist. In den direkten Bereichen existiert jedoch eine hohe Anzahl an unterschiedlichen Materialien, Arbeitsmitteln und Arbeitsgegenständen, die auf unterschiedliche Weise vorbereitet werden müssen. Gleichzeitig nehmen aufgrund der häufig vorhandenen Baustellenfertigung logistische Tätigkeiten einen hohen Zeitanteil ein, die spezifischen Verbesserungsmaßnahmen erfordern. Daher wird für die direkten Bereiche die materielle Vorbereitung in die Phasen *Material- und Hilfsmittelbeschaffung* sowie *Bauteil- und Bauplatzvorbereitung* weiter unterteilt.
- *Informatorische Nachbereitung:* Speziell in den indirekten Bereichen ist das Arbeitsergebnis in der Regel eine Information, die an nachgelagerte Bereiche weitergereicht wird. Daher ist eine Abspaltung der Informationsweitergabe sinnvoll, um gezielt diese Tätigkeiten zu analysieren und zu verbessern. Diese Tätigkeiten sind in den direkten Bereichen kaum vorhanden und nur schwer zu identifizieren, so dass eine Unterteilung der Nachbereitungsphase bei diesen entfällt.

Abbildung 3-4 stellt die beiden Varianten des generischen Arbeitszyklus gegenüber, die im Folgenden näher erläutert werden.

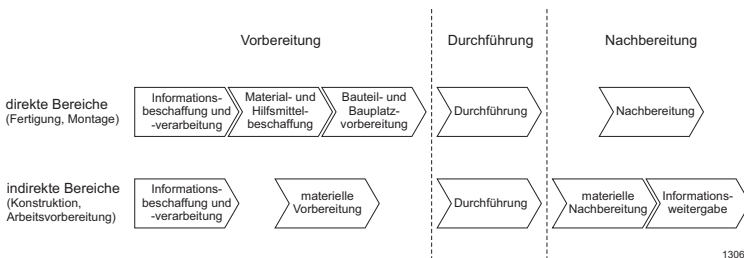


Abb. 3-4: Gegenüberstellung der Varianten des generischen Arbeitszyklus

Direkte Bereiche

Laut der traditionellen Ansicht verrichten Mitarbeiter in direkten Bereichen hauptsächlich Arbeitsprozesse mit einem Schwerpunkt auf mechanischen und motorischen Tätigkeiten [Rohm83, S. 20]. Um eine einheitliche und möglichst vollständige Beschreibung von Arbeitsprozessen zu erhalten, wird eine von *Schlick* entwickelte allgemeingültige Form der Arbeitssystembeschreibung herangezogen [Schl10, S. 35]: Die Arbeitsperson interagiert mit *Arbeitsmitteln* und *Arbeitsobjekten*, um den Input in Form von *Informationen* und *Material* in ein *Arbeitsergebnis* umzuwandeln. Diese Beschreibung eines Arbeitssystems in Kombination mit dem idealtypischen Arbeitszyklus stellt sicher, dass die beschriebenen Elemente und die erforderlichen Interaktionen der Mitarbeiter in einer logischen Reihenfolge und vollständig sind.

1. *Informationsbeschaffung und -verarbeitung*: Jede Arbeitsaufgabe startet damit, dass der Mitarbeiter seine Arbeitsaufgabe klärt und alle benötigten Informationen beschafft. Typische Tätigkeiten dieser ersten Phase sind das *Lesen eines Arbeitsplans* oder das *Sprechen mit einem Vorgesetzten*.
2. *Material- und Hilfsmittelbeschaffung*: Die zweite Phase umfasst alle Aufgaben, die der Material- und Hilfsmittelbeschaffung dienen, z. B. das *Transportieren von Werkzeug*.
3. *Bauteil- und Bauplatzvorbereitung*: Wenn alle Gegenstände am benötigten Einbauort sind, beginnt der Mitarbeiter mit der Vorbereitung seiner Arbeitsaufgaben. Diese dritte Phase ist bspw. geprägt durch *Rüstvorgänge*, *Mess-* oder *Ausrichtttätigkeiten*.
4. *Durchführung*: Nach Abschluss aller vorbereitenden Tätigkeiten kann der Mitarbeiter mit der eigentlichen Durchführung seiner Arbeitsaufgabe beginnen, z. B. dem *Schweißen eines Werkstücks*.
5. *Nachbereitung*: In die abschließende Phase der *Nachbereitung* fallen z. B. *Kontroll-* und *Nacharbeitstätigkeiten*, die aufgrund ihrer teilweise nicht eindeutigen Zuordnung in Abschnitt 3.2.7 nochmals aufgegriffen werden.

Die Zuordnung der Hauptelemente eines Arbeitssystems zu den Phasen des generischen Arbeitszyklus stellt Tabelle 3-1 dar. Es ist damit sichergestellt, dass alle wesentlichen Elemente eines Arbeitsprozesses berücksichtigt sind. Es stellt sich jedoch die Frage, warum die zweite und dritte Phase nicht vereint wurde, da sie dieselben Hauptelemente berücksichtigen: Die Aktivitäten während der *Material- und Hilfsmittelbeschaffung*, die hauptsächlich durch logistische Tätigkeiten geprägt sind, unterscheiden sich deutlich von den Aktivitäten der *Bauteil- und Bauplatzvorbereitung*. Das führt auch zu unterschiedlichen Verbesserungsansätzen. Eine Trennung in zwei Phasen hat somit den Vorteil, dass sich Arbeitsprozesse gezielter aufnehmen und auswerten lassen und die Phasen der sehr unterschiedlichen Aktivitäten eindeutig unterscheidbar sind.

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

Tab. 3-1: Zyklusphasen direkter Bereiche und Hauptelemente von Arbeitssystemen

Nr.	Name	Hauptelement des Arbeitssystems
1	Informationsbeschaffung und -verarbeitung	Information
2	Material- und Hilfsmittelbeschaffung	Arbeitsmittel, Material
3	Bauteil- und Bauplatz Vorbereitung	Arbeitsmittel, Material
4	Durchführung	Arbeitsobjekt
5	Nachbereitung	Arbeitsergebnis

Indirekte Bereiche

In den indirekten Bereichen der Unikatproduktion verrichten die Mitarbeiter hauptsächlich informatorische Arbeit, indem sie Informationen kombinieren und erzeugen. Innerhalb des allgemein beschriebenen Arbeitssystems nimmt dadurch die Bedeutung des physischen Materials ab. Gleichzeitig sind Informationen sowohl als Input als auch in Form eines Arbeitsergebnisses relevanter. Daher bietet sich eine Modifikation des generischen Arbeitszyklus für indirekte Bereiche an, um die geringe Bedeutung der physischen Arbeitsmittel und des Materials sowie die höhere Bedeutung der Informationen zu berücksichtigen:

1. *Informationsbeschaffung und -verarbeitung:* Jede Arbeitsaufgabe startet auch hier damit, dass der Mitarbeiter seine Arbeitsaufgabe klärt und sich alle benötigten Informationen beschafft. Typische Tätigkeiten der ersten Phase sind das *Lesen von Arbeitsanweisungen* oder das *Sprechen mit einem Vorgesetzten*.
2. *Materielle Vorbereitung:* In der zweiten Phase sind alle weiteren vorbereitenden Aktivitäten sowie logistische Tätigkeiten zusammengefasst, da diese in den indirekten Bereichen nur schwach ausgeprägt sind. Tätigkeiten wie z. B. das *Einrichten von Soft- oder Hardware* oder auch das *Gehen zum Drucker* finden in dieser Phase statt.
3. *Durchführung:* In der Durchführungsphase erstellen die Mitarbeiter Arbeitsunterlagen, indem sie z. B. an *CAD-Modellen* oder *Zeichnungen arbeiten*.
4. *Materielle Nachbereitung:* Nachdem die immaterielle Leistung erstellt wurde, schließt sich eine Nachbereitungsphase an. In dieser *prüft* z. B. ein anderer Kollege das *Arbeitsergebnis* oder es werden *Arbeitsunterlagen ausgedruckt*.
5. *Informationsweitergabe:* Da indirekte Bereiche in der Regel immaterielle Arbeitsergebnisse erzeugen, findet in der letzten Phase die Informationsweitergabe statt. Dazu *erklären* die Mitarbeiter entweder *schriftlich* oder *mündlich* ihre Arbeitsergebnisse.

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

Auch für die indirekten Bereiche stellt der generische Arbeitszyklus in Kombination mit der Arbeitssystembeschreibung sicher, dass alle wesentlichen Elemente eines Arbeitssystems abgedeckt sind. Die Zuordnung der Hauptelemente eines Arbeitssystems zu den Phasen des generischen Arbeitszyklus zeigt Tabelle 3-2.

Tab. 3-2: Zyklusphasen indirekter Bereiche und Hauptelemente von Arbeitssystemen

Nr.	Name	Hauptelement des Arbeitssystems
1	Informationsbeschaffung und -verarbeitung	Information
2	materielle Vorbereitung	Arbeitsmittel, Material
3	Durchführung	Arbeitsobjekt (v. a. Information)
4	materielle Nachbereitung	Arbeitsergebnis, Arbeitsmittel, Material
5	Informationsweitergabe	Arbeitsergebnis (i. d. R. Information)

3.1.4 Tätigkeitshierarchie für Arbeitsaufgaben

Der generische Arbeitszyklus erlaubt es, die vielen unterschiedlichen Prozesse in der Unikatproduktion zu beschreiben. Er bleibt jedoch zu allgemein, um Verbesserungsmaßnahmen gezielt abzuleiten. Dies erfordert eine Detaillierung der einzelnen Phasen. Dazu müssen entweder Tätigkeiten oder Objekte – die zusammen einen Mitarbeiterzustand definieren – den einzelnen Phasen zugeordnet werden. Da die Mitarbeiter mit demselben Objekt in unterschiedlichen Phasen interagieren können, entfällt die Möglichkeit einer eindeutigen Zuordnung von Objekten zu den einzelnen Phasen. Gleichzeitig bieten sich die Tätigkeiten an, da in den Namen der einzelnen Phasen bereits Tätigkeiten enthalten sind: Verarbeiten, Beschaffen, Vorbereiten, Durchführen, Nachbereiten, Weitergeben.

Allerdings sind diese Tätigkeiten für eine detaillierte Analyse noch zu allgemein. Für die Detaillierung könnte man für jede Analyse fallspezifische Tätigkeiten definieren und diese den einzelnen Phasen des generischen Arbeitszyklus zuordnen. Dies würde jedoch einen hohen Vorbereitungsaufwand erfordern und gleichzeitig eine einheitliche Auswertung verschiedener Analyse erschweren. Sinnvoller ist es, auf den allgemeinen Tätigkeiten aufzubauen und einheitliche Tätigkeiten zu definieren, die für jede Analyse wieder benutzt werden können. Da die Tätigkeiten in der Unikatproduktion eine große Vielfalt aufweisen, kann die Anzahl der Tätigkeiten sehr umfangreich werden. Dabei steigt mit zunehmender Anzahl der Tätigkeiten der Erhebungsaufwand und gleichzeitig die Gefahr, dass die Tätigkeiten nicht mehr eindeutig voneinander abgegrenzt sind. Eine hierarchische Anordnung der Tätigkeiten bewirkt, dass die Tätigkeiten strukturiert werden und somit eindeutig voneinander abgegrenzt sind. Gleichzeitig reduziert sich die Anzahl der Tätigkei-

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

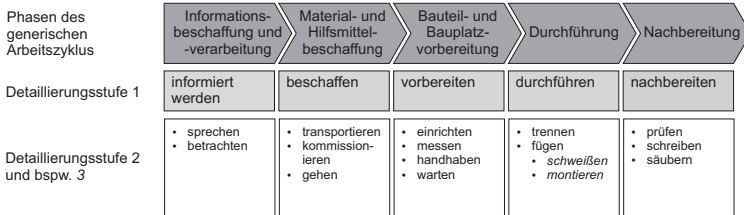
ten, indem die Tätigkeiten auf unterschiedlichen Detaillierungsstufen erfasst und ausgewertet werden können. So lassen sich z. B. die Tätigkeiten der *Informationsbeschaffung und -verarbeitung* sehr detailliert erfassen und gleichzeitig alle Tätigkeiten der letzten Phase nur mit *Nachbereiten* beschreiben. Folglich hat die Verwendung einer Tätigkeitshierarchie die Vorteile, dass:

- alle Arbeitsprozesse einheitlich beschrieben werden
- und je nach Zielvorgabe die Arbeitsabläufe unterschiedlich detailliert erfasst werden können.

Dabei müssen jedoch zwei Bedingungen beachtet werden:

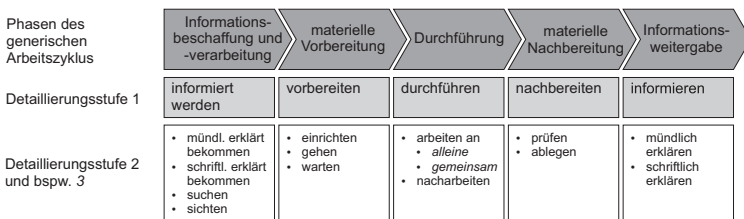
- Alle Tätigkeiten müssen eindeutig voneinander abgegrenzt sein, um die Aussagekraft der Analyse sicherzustellen.
- Die Tätigkeiten sollten so differenziert werden, dass sich auch die Verbesserungspotenziale gut voneinander abgrenzen lassen.

Abbildung 3-5 stellt die verwendete Tätigkeitshierarchie für die Unikatproduktion für die direkten und Abbildung 3-6 für die indirekten Bereiche dar, die im Folgenden jeweils für die erste und zweite Detaillierungsstufe beschrieben werden.



13073

Abb. 3-5: Tätigkeitshierarchie für direkte Bereiche



13074

Abb. 3-6: Tätigkeitshierarchie für indirekte Bereiche

Tätigkeitshierarchie für direkte Bereiche

Die erste Phase des generischen Arbeitszyklus wird mit der Tätigkeit *Informiert werden* auf der ersten Detaillierungsstufe beschrieben. Da die Informationsverarbeitung in der Unikatproduktion vor allem visuell mit Zeichnungen und akustisch in Form von Gesprächen geschieht, bilden die Tätigkeiten *Betrachten* und *Sprechen* die zweite Detaillierungsstufe. Falls notwendig können diese Tätigkeiten weiter detailliert werden, um entweder Aktivitäten der Mitarbeiter eindeutiger zu unterscheiden oder gezielter Verbesserungspotenziale zu identifizieren. Vor allem bei der Tätigkeit *Sprechen* kann dies sinnvoll sein, da bei einer Kommunikation eine Person mit zwei Objekten – dem Kommunikationspartner und dem Kommunikationsinhalt – interagiert. Da ein externer Beobachter kaum den Kommunikationsinhalt identifizieren kann, ohne die Mitarbeiter zu stören, ist z. B. eine Unterteilung in *Sprechen* und *Sprechen über eine Zeichnung* möglich. Da Gespräche, die über eine Zeichnung gebeugt stattfinden, in der Regel fachlicher Natur sind, wird zusätzlich zu dem Objekt des Gesprächspartners somit auch ein Hinweis gegeben, ob es sich wahrscheinlich um ein fachliches Gespräch handelt.

Beschaffen beschreibt die zweite Phase des generischen Arbeitszyklus. Sie lässt sich auf der zweiten Detaillierungsebene mit den Tätigkeiten *Transportieren*, *Kommissionieren* und *Gehen* unterteilen:

- *Transportieren* beschreibt dabei alle Aktivitäten, bei denen ein Mitarbeiter Objekte bewegt und diese Bewegung außerhalb ihres Greifraums (ca. 1 Meter) endet. Damit gehört der Griff in den Werkzeugkasten nicht zu der Tätigkeit *Transportieren*.
- Das *Kommissionieren* umfasst alle manuellen Aktivitäten eines Mitarbeiters, das richtige Material zu finden. Diese Tätigkeiten, z. B. *Sortieren*, erfordern andere Verbesserungsansätze, so dass eine differenzierte Aufnahme dieser Tätigkeiten erforderlich ist.
- In der Unikatproduktion wird häufig nach dem Baustellenprinzip gefertigt, das durch einen hohen Anteil an Wegezeiten geprägt ist. Daher wird die Tätigkeit *Gehen* gesondert aufgenommen. Im Gegensatz zum *Transportieren* wird beim *Gehen* kein Gegenstand bewegt. Grundsätzlich wird *Gehen* der logistischen Phase zugeordnet. Es ist jedoch möglich, dass Mitarbeiter Wegstrecken zurücklegen, um Informationen zu bekommen. Daher kann in diesem Fall die Tätigkeit *Gehen* verursachungsgerecht auf die erste oder die zweite Phase aufgeteilt werden (s. Abschnitt 3.2.7).

Die dritte Phase wird auf der ersten Detaillierungsstufe mit der Tätigkeit *Vorbereiten* beschrieben und beinhaltet alle vorbereitenden Aktivitäten der Mitarbeiter, die keinen informatorischen oder logistischen Bezug haben. Sie wird auf der zweiten Detaillierungsstufe näher beschrieben durch die Tätigkeiten *Einrichten*, *Messen*, *Handhaben* und *Warten*:

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

- Die Tätigkeit *Einrichten* beschreibt dabei Aktivitäten, die das Ziel haben, Material vorzubereiten oder Arbeitsmittel zu rüsten.
- *Messen* umfasst alle mechanischen-motorischen Aktivitäten die dazu dienen, Maße zu erhalten.
- *Handhaben* beschreibt Aktivitäten bei denen der Mitarbeiter in seinem Greifraum mit einem Objekt interagiert, um es zu bewegen oder zu halten.
- Häufig kommt es in der Unikatproduktion zu Unterbrechungen, da auf Personen, Material oder Informationen gewartet wird. Diese Zeiten werden der Tätigkeit *Warten* zugeordnet. Ein externer Beobachter kann jedoch nicht den Grund des Wartens erkennen und aufnehmen, ohne die Mitarbeiter zu stören. Falls der Warteanteil relevant ist, sollte daher eine qualitative Aufnahme der Ursachen erfolgen (s. Abschnitt 3.2.7 und 4.1.5).

Die eigentliche Wertschöpfung findet in der vierten Phase des generischen Arbeitszyklus für direkte Bereiche statt und wird mit der Tätigkeit *Arbeiten an* auf der ersten Detaillierungsstufe beschrieben. Die weitere Unterteilung auf der zweiten Detaillierungsstufe orientiert sich an der DIN 8150, welche die Fertigungsverfahren einteilt. Dabei kommen in der Unikatproduktion vor allem die beiden Fertigungsverfahren *Trennen* und *Fügen* vor, die auch die beiden Tätigkeiten der Durchführungsphase darstellen. Falls notwendig können auf einer weiteren Detaillierungsstufe die spezifischen Trenn- oder Fügeverfahren berücksichtigt werden.

Die Tätigkeit *Nachbereiten* beschreibt die letzte Phase des generischen Arbeitszyklus. Sie besteht aus den Aktivitäten *Prüfen*, *Schreiben* und *Säubern*, die zusammen die zweite Detaillierungsstufe bilden:

- Zum Abschluss eines Arbeitsvorgangs wird in der Regel das Arbeitsergebnis kontrolliert. Beim *Prüfen* vergleicht der Mitarbeiter dazu die Soll- mit der Ist-Situation. Dabei ist es möglich, dass ein externer Beobachter nicht unterscheiden kann, ob es sich um vor- oder nachbereitende Tätigkeiten handelt. So kann z. B. die beobachtete Tätigkeit *Messen* sowohl zur Kontrolle als auch zur Bauteilvorbereitung dienen. In diesem Fall muss sichergestellt werden, dass nur eine Tätigkeit für die Erfassung gültig ist und über eventuelle weitere Beobachtungen eine verursachungsgerechte Zuordnung stattfindet.
- Zusätzlich können Mitarbeiter ihr Arbeitsergebnis dokumentieren. Diese Tätigkeiten werden mit *Schreiben* zusammengefasst. Auf die Aufnahme einer mündlichen Rückmeldung wird verzichtet, da diese in der Regel sehr kurz ist und für einen Beobachter kaum festzustellen ist.
- Abschließend ist es notwendig, dass der Mitarbeiter seinen Arbeitsplatz und gegebenenfalls den Arbeitsgegenstand reinigt. Diese Aktivitäten werden mit *Säubern* beschrieben.

Tätigkeitshierarchie für indirekte Bereiche

Die erste Phase des generischen Arbeitszyklus für indirekte Bereiche wird mit der Tätigkeit *Informiert werden* beschrieben. Sie umfasst alle Aktivitäten eines Mitarbeiters mit dem Ziel, die Arbeitsaufgabe zu klären und die benötigten Informationen zu erhalten und zu verstehen. Sie wird auf der zweiten Detaillierungsstufe näher beschrieben durch die Tätigkeiten *Mündlich erklärt bekommen*, *Schriftlich erklärt bekommen*, *Suchen* und *Sichten*:

- *Mündlich erklärt bekommen* beschreibt ein Gespräch, das ein Mitarbeiter mit der Absicht führt, Informationen zu erhalten. Innerhalb eines Gesprächs kann sich die Intention ändern, so dass die Rolle des Mitarbeiters vom Informanten zum Informierten hin- und herwechseln kann.
- Alternativ kann die Kommunikation zur Informationsverarbeitung schriftlich erfolgen, heutzutage meist per E-Mail-Dialog. *Schriftlich erklärt bekommen* bedeutet somit, dass ein Mitarbeiter einen schriftlichen Dialog mit der Intention führt, Informationen zu bekommen. Dazu zählt nicht nur das Lesen eines Schriftstücks, sondern auch das Verfassen einer Anfrage mit der Absicht, Informationen zu erhalten.
- Wenn sich ein Mitarbeiter ohne Kommunikation mit anderen Personen informieren möchte, jedoch nicht den genauen Ort der benötigten Information kennt, muss er nach den relevanten Informationen *suchen*. Dieses umfasst z. B. eine Internetrecherche.
- Im Gegensatz zum ungezielten Suchen erfolgt das Informieren beim *Sichten* gezielt. Der Mitarbeiter kennt den Ort der Informationen und sichtet nun gezielt das Informationsmaterial. Beispiele sind z. B. die spezifische Recherche auf der Seite eines Zulieferers oder das Sichten relevanter Auftragsunterlagen.

Die materielle Vorbereitung wird mit der Tätigkeit *Vorbereiten* auf der ersten Detaillierungsstufe beschrieben. Sie umfasst alle Aktivitäten für die materielle Vorbereitung und wird detailliert mit den Tätigkeiten *Einrichten*, *Gehen* und *Warten*.

- *Einrichten* hat in den indirekten Bereichen nur eine untergeordnete Bedeutung. Es beinhaltet z. B. die Installation von notwendiger Software.
- Die Tätigkeit *Gehen* umfasst alle Fortbewegungen von Mitarbeitern. Hierbei wird nicht unterschieden, ob die Person dabei etwas transportiert. Falls diese Tätigkeit für die Verbesserung relevant wird, kann der Zustandsanteil durch eine zusätzliche Aufnahme oder die Verwendung von Zielorten verursachungsgerecht auf mehrere Phasen aufgeteilt werden.
- Auch das *Warten* zählt zu der materiellen Vorbereitung. Falls erforderlich kann eine verursachungsgerechte Differenzierung erfolgen, indem die Gründe für die Wartezeiten erfasst werden.

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

In der dritten Phase findet die eigentliche Wertschöpfung statt. Sie wird beschrieben mit der Tätigkeit *Arbeiten an*. Auf der zweiten Detaillierungsstufe wird unterschieden, ob der Mitarbeiter an einem Arbeitsauftrag im ersten Durchlauf *arbeitet* oder er *nacharbeitet*, da er einen bereits fertig gemeldeten Auftrag erneut bearbeiten muss. Eine weitere Unterteilung nach besonderen Formen der geistigen Tätigkeiten wie z. B. Konzipieren oder Konstruieren ist nicht zielführend, da diese Unterscheidung besser durch die Kombination mit einem Objekt (an was wird gearbeitet) oder der Kombination mit einer Arbeitsaufgabe (warum wird gearbeitet) erfolgt. Für die gezieltere Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen ist es jedoch häufig nützlich zu unterscheiden, ob der Mitarbeiter die Arbeitsaufgabe *alleine* oder *gemeinsam* mit einer anderen Person erfüllt.

Nachbereiten beschreibt die Aktivitäten der vierten Phase. Sie enthält sowohl das *Prüfen* als auch das *Ablegen*.

- Beim *Prüfen* kontrolliert der Mitarbeiter sein Arbeitsergebnis. Häufig findet dies bereits bei der Erstellung statt, so dass eine Unterscheidung zwischen *Prüfen* und *Arbeiten an* schwierig ist. In diesem Fall sollte auf die Unterteilung der vierten Phase verzichtet werden.
- Die Tätigkeit *Ablegen* umfasst alle weiteren nachbereitenden materiellen Aktivitäten. Dazu gehören z. B. Ausdrucken oder Archivieren.

Die letzte Phase dient dazu, dass der Mitarbeiter sein Arbeitsergebnis weitergibt, indem er andere Personen *informiert*. Analog zu der ersten Phase kann hierbei die Kommunikation mündlich oder schriftlich erfolgen, so dass die Tätigkeiten auf der zweiten Detaillierungsstufe *mündlich* bzw. *schriftlich erklären* sind.

Erweiterung der Tätigkeitshierarchie

Eine weitere Detaillierung der Tätigkeiten auf einer dritten Stufe ist möglich, z. B. um Einflussgrößen gezielt zu untersuchen oder eine unternehmensspezifische Namensgebung zu verwenden. So kann z. B. zwischen verschiedene Fügeverfahren unterschieden werden. Wenn der Anwender die vorgeschlagenen Tätigkeiten der zweiten Detaillierungsstufe als Ausgangspunkt nimmt, stellt er sicher, dass er die Daten später aggregieren kann. Dabei sollten Sammelbegriffe wie *sonstige Tätigkeiten* vermieden werden, da sie zu einer Unschärfe der Ergebnisse führen und keine Rückschlüsse auf mögliche Einflussgrößen zulassen.

Die beschriebene Tätigkeitshierarchie enthält nur Tätigkeiten, die der Erfüllung von Arbeitsaufgaben dienen. Arbeitsaufgabenunabhängige Tätigkeiten wie z. B. *persönliche Verteilzeiten* oder die *Teilnahmen an einer Weiterbildung* lassen sich nicht in Phasen eines idealtypischen Arbeitszyklus einordnen und werden daher getrennt modelliert (s. Abschnitt 3.1.8).

3.1.5 Objekthierarchie

Mitarbeiter in einer Unikatproduktion nutzen bei der Erfüllung von Arbeitsaufgaben unterschiedliche Objekte. Eine Aufnahme dieser Objekte ist aus zwei Gründen sinnvoll: Zum einen werden die Mitarbeiterzustände eindeutiger; zum anderen gibt es weitere Hinweise auf Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität. Die Vielzahl der Objekte stellt den Anwender jedoch vor die Herausforderung, diese vollständig und strukturiert zu erfassen. Eine generische Objekthierarchie, die sowohl für die indirekten als auch für die direkten Bereiche gültig ist, reduziert den Anpassungsaufwand und führt zu einer besseren Verständlichkeit der Methodik.

Die Elemente eines Arbeitssystems nach *Schlick* [Schl10, S. 35] dienen auch für die Objekthierarchie als Grundlage, um die Vollständigkeit zu gewährleisten. Das Element Information findet sich in den Objektkategorien *Personal* und *Informationsmaterial*. Die Elemente Material und Arbeitsmittel sind in der Objektkategorie *Arbeits- und Betriebsmittel* zusammengefasst. Das Arbeitsobjekt wird mit den Objektkategorien *Arbeitsunterlagen* für immaterielle Arbeitsergebnisse und *Werkstück* für materielle Arbeitsergebnisse berücksichtigt. Außerdem wird der Ort des Arbeitssystems auch als mögliche Objektkategorie in Form der *Örtlichkeit* erfasst.

Tabelle 3-3 stellt die ersten drei Detaillierungsstufen der Objekthierarchie dar, die allgemeingültig sowohl für die direkten als auch die indirekten Bereiche in der Unikatproduktion sind. Die vierte Detaillierungsstufe ermöglicht die Erfassung von unternehmensspezifischen Objekten und ist daher nicht mit aufgeführt. Nachfolgend sind die Objektkategorien erläutert:

- *Personal* umfasst *internes* und *externes Personal*. Da eine *Besprechung* eine Versammlung von mehreren Personen ist, wird auch diese dem Personal zugeordnet. Personal-Objekte treten nur in der Kombination mit Tätigkeiten der Phase *Informationsbeschaffung und -verarbeitung* sowie *Informationsweitergabe* auf.
- Bei *Informationsmaterialien* handelt es sich hauptsächlich um Dokumente, wie Kataloge oder Formelsammlungen, die entweder *internen* oder *externen* Ursprungs sind. Sie unterteilen sich jeweils in *auftragsspezifische Informationsmaterialien*, *Vorlagen* und nur für die *interne* Kategorie in *Informationsmaterialien*. Auf der nicht dargestellten vierten Stufe kann es sinnvoll sein, in *analoge* oder *digitale Informationsmaterialien* zu unterscheiden.
- *Arbeits- und Betriebsmittel* unterstützen die Mitarbeiter bei der Verrichtung ihrer betrieblichen Aufgaben [Pete05, S. 123]. Es kann sich um *Software*, *mobile* oder *ortsfeste* Objekte oder den *Arbeitsplatz* handeln.
- Die Kategorie *Arbeitsunterlagen* umfasst die Arbeitsergebnisse der indirekten Bereiche, die einen immateriellen Charakter besitzen. Dies können z. B. Zeichnungen sein, die sowohl *digital* als auch *analog* vorliegen können.

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

Tab. 3-3: Objekthierarchie für die Unikatproduktion

1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe
Personal	internes Personal	Vorgesetzter
		Abteilung i
		...
	externes Personal	Firma i
		...
		...
Informationsmaterial	Besprechung	...
	internes Informationsmaterial	auftragsspezifisches Informationsmaterial
		Vorlagen
		Informationssammlungen
	externes Informationsmaterial	auftragsspezifisches Informationsmaterial
		Informationssammlungen
...		
Arbeits- und Betriebsmittel	Software	Suchmaschine
		Software-Anwendung i
		...
	mobiles Arbeits- und Betriebsmittel	Arbeitsmittelkategorie i
		...
		...
Arbeitsunterlagen	ortsfestes Arbeits- und Betriebsmittel	Arbeitsplatz
		Arbeitsmittelkategorie i
		...
	digitale Arbeitsunterlage	Arbeitsunterlagenkategorie i
		...
		...
analoge Arbeitsunterlage	Arbeitsunterlagenkategorie i	
	...	
	...	
Werkstück	mobiles Werkstück	Werkstückkategorie i
		...
		...
	ortsfestes Werkstück	Werkstückkategorie i
		...
		...
ggf. Örtlichkeiten (falls andere Detaillierung erforderlich ist)	interner Ort	...
	externer Ort	...

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

- Die Mitarbeiter hantieren in den direkten Bereichen mit Objekten der Kategorie *Werkstück*, die sich in *mobile* und *ortsfeste* Werkstücke unterscheiden.
- Je nach Untersuchungsbereich können Bewegungen der Mitarbeiter eine besondere Bedeutung für die Analyse haben. Bei großen Bereichen kann der Anwender durch Zielorte als zusätzliche Objekte Laufwege differenzierter analysieren. Falls für die Erfassung der Bewegungstätigkeiten eine andere Detaillierung als die in den oben genannten Kategorien erwünscht ist, erfolgt diese in der Kategorie *Örtlichkeiten*.

Die vierstufige Detaillierung erlaubt unterschiedliche Detaillierungsgrade. So kann die Auswertung von einzelnen *Arbeitsmitteln* so relevant sein, dass diese auf der vierten Detaillierungsstufe aufgenommen werden. Wenn hingegen z. B. *Arbeitsunterlagen* nur geringen Einfluss auf die Arbeitsaufgabe haben, müssen sie nicht weiter detailliert werden, so dass die erste Detaillierungsstufe für die Aufnahme ausreicht.

Weiterhin können Objekte verschiedener Arbeitsaufgaben unterschiedlichen Objektkategorien zugeordnet sein und somit auch mehrfach in der Objekthierarchie auftreten (s. Abschnitt 3.1.9). So ist ein *CAD-Modell* innerhalb der Arbeitsaufgabe *Konstruieren* eine zu erstellende *Arbeitsunterlage*. Für die *Erstellung von Zeichnungen* ist das *CAD-Modell* hingegen *als Informationsmaterial* einzuordnen. Wie bei den Tätigkeiten sind auch bei den Objekten Sammelbegriffe (z. B. *sonstige Objekte*) zu vermeiden, um die Eindeutigkeit und Aussagekraft zu gewährleisten.

3.1.6 Tätigkeits-Objekt-Matrix

Eine Übersicht über die Mitarbeiterzustände in der Unikatproduktion entsteht, wenn man die Tätigkeits- und Objekthierarchie zusammenführt. Man erhält eine (auszugsweise in Abbildung 3-7 dargestellte) Tätigkeits-Objekt-Matrix, die alle möglichen Mitarbeiterzustände beinhaltet. Hervorgehoben sind die gültigen Mitarbeiterzustände, da es z. B. nicht gültig ist, einen *Vorgesetzten zu kommissionieren*. Abschnitt 3.1.7 erläutert die Regeln zur Definition der gültigen Mitarbeiterzustände.

Jede Modellierung erfolgt mit den gleichen Tätigkeits- und Objektkategorien. Dies ermöglicht zum einen die Vergleichbarkeit von Bereichen und erhöht zum anderen das Verständnis. Zur Vereinfachung können Objekte und Tätigkeiten mit Nummern codiert werden. Dann definieren Objekt- und Tätigkeitsschlüssel zusammen einen Mitarbeiterzustand.

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

	Info.- beschaff. und -ver- arbeitung		Material- und Hilfsmittel- beschaffung			Bauteil- und Bauplatz- vorbereitung				Durch- führung		Nachbereitung		
	betrachten	sprechen	transportieren	kommisionieren	gehen	einrichten	handhaben	messen	warten	fügen	trennen	prüfen	schreiben	säubern
Personal														
Mitarbeiter	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Vorarbeiter	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Meister	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
...	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Informationsmaterial														
Zeichnung	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Stückliste	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Arbeitsplan	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
...	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Arbeits- und Betriebsmittel														
Handwerkzeug	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Messwerkzeug	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Schweißgerät	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
...	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Werkstück														
Werkstück	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Örtlichkeit														
Örtlichkeiten	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

möglicher Zustand
 ungültiger Zustand

12915

Abb. 3-7: Auszug einer beispielhaften Tätigkeits-Objekt-Matrix

3.1.7 Ausschluss von Tätigkeits-Objekt-Kombinationen

Die Tätigkeits-Objekt-Matrix enthält gegebenenfalls eine hohe Anzahl an möglichen Zuständen. Dabei wird es schwieriger, je mehr Mitarbeiterzustände vorhanden sind, diese eindeutig voneinander abzugrenzen. Auch reduzieren unsinnige Kombination die Verständlichkeit und können zu Irritationen führen. Außerdem steigt der Erfassungsaufwand mit der Anzahl der Mitarbeiterzustände. Daher erfolgt eine Prüfung der Tätigkeits-Objekt-Kombinationen nach zwei Kriterien, um die Anzahl der Tätigkeits-Objekt-Kombinationen zu reduzieren:

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

- *Sinnhaftigkeit*: Nicht alle Kombinationen aus Objekten und Tätigkeiten sind sinnvoll. So ist z. B. die Verknüpfung von *Sprechen* mit der Objektkategorie *Informationsmaterialien* als nicht gültig zu markieren.
- *Eindeutigkeit*: Um möglichen Fehlern bei der Datenerfassung vorzubeugen, sollte ein Mitarbeiterzustand nur durch eine einzige Tätigkeit-Objekt-Kombination erfasst werden können. Z. B. kann der Mitarbeiter *Fertigungsunterlagen betrachten* und diese in einem ersten Schritt *prüfen*. Ein Beobachter kann dies nicht unterscheiden. Nach dem Verständnis des generischen Arbeitszyklus überprüft der Mitarbeiter jedoch nur sein Arbeitsergebnis, so dass der Mitarbeiterzustand *Fertigungsunterlagen prüfen* nicht gültig ist.

Es hat sich herausgestellt, dass die Detaillierungsstufe der Tätigkeiten großen Einfluss auf den Ausschluss von Kombinationen hat, wohingegen die Detaillierung der Objekte nur geringfügige Anpassungen erfordert. Abbildung 3-8 zeigt eine Tätigkeits-Objekt-Matrix für direkte und Abbildung 3-9 für indirekte Bereiche mit Tätigkeiten der Detaillierungsstufe zwei und Objektkategorien der Detaillierungsstufe eins. Diese können auch als Vorlage verwendet werden. Ein Großteil der Kombinationen entfällt, was sich positiv auf den Datenerfassungsaufwand und die Verständlichkeit auswirkt.

		Tätigkeitskategorien (Phasen des generischen Arbeitszyklus für direkte Bereiche)													
		Info.-beschaff. und -verarbeitung		Material- und Hilfsmittelbeschaffung			Bauteil- und Bauplatz-vorbereitung			Durchführung		Nachbereitung			
		sprechen	betrachten	transportieren	kommissionieren	gehen	einrichten	handhaben	messen	warten	fügen	trennen	prüfen	säubern	schreiben
Objektkategorien															
Personal															
Informationsmaterial															
Arbeits- und Betriebsmittel															
Werkstücke															
Örtlichkeiten															

möglicher Zustand
 ungültiger Zustand

13063

Abb. 3-8: Tätigkeits-Objekt-Matrix als Vorlage für direkte Bereiche

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

		Tätigkeitskategorien (Phasen des gen. Arbeitszyklus für indirekte Bereiche)												
		Informationsbeschaffung und -verarbeitung		materielle Vorbereitung			Durchführung		materielle Nachbereitung		Informationsweitergabe			
Objektkategorien		mündl. erklärt bekommen	schriftl. erklärt bekommen	suchen	sichten	einrichten	gehen	warten	arbeiten an	nacharbeiten	prüfen	ablegen	mündl. erklären	schriftl. erklären
Personal														
Informationsmaterial														
Arbeits- und Betriebsmittel														
Arbeitsunterlagen														
Örtlichkeiten														

möglicher Zustand
 ungültiger Zustand

13064

Abb. 3-9: Tätigkeits-Objekt-Matrix als Vorlage für indirekte Bereiche

Indem in beide Matrizen nur ganze Objektkategorien mit einzelnen Tätigkeiten als gültig oder nicht gültig markiert sind, ist die Vorlage klar strukturiert. Dies erleichtert das Verständnis der Modellierung. Bei der Anpassung der Tätigkeits-Objekt-Matrizen auf ein Unternehmen ist es daher das Ziel, eine möglichst saubere Modellierung ohne besondere Ausnahmen für Tätigkeits-Objekt-Kombinationen zu erhalten. Abbildung 3-10 zeigt beispielhaft eine klar strukturierte und eine Matrix mit vielen Ausnahmen für Tätigkeits-Objekt-Kombinationen.

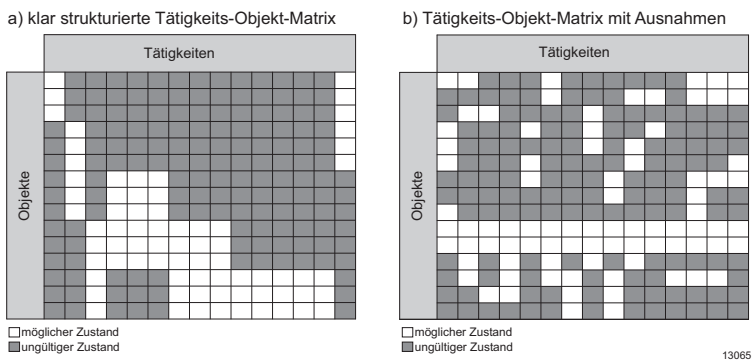


Abb. 3-10: Beispiel für a) klar strukturierte und b) Tätigkeits-Objekt-Matrix mit Ausnahmen

3.1.8 Arbeitsaufgabenunabhängige Mitarbeiterzustände

Die Tätigkeits-Objekt-Matrix besteht aus Mitarbeiterzuständen, die bei der Verrichtung einer Arbeitsaufgabe auftreten. Um die bezahlte Arbeitszeit vollständig abbilden zu können, sind arbeitsaufgabenunabhängige Zustände zu ergänzen. Neben zusätzlichen Hinweisen auf weitere Produktivitätstreiber kann somit auch die Aussagekraft der Analyse besser bewertet werden. Daher werden folgende arbeitsaufgabenunabhängige Mitarbeiterzustände ergänzt:

- scheinbar arbeitsaufgabenunabhängige Zustände, die einer weiteren Analyse für die verursachungsgerechte Zuordnung erfordern: *Gehen* und *Warten*
- arbeitsaufgabenunabhängige Zustände während der Anwesenheitszeit: bspw. *allgemeine Besprechungen* oder *Persönliche Verteilzeit*
- arbeitsaufgabenunabhängige Zustände während der Abwesenheitszeit: *Krankheit*, *Weiterbildung*, *Urlaub*
- Zustände für die Interpretation der Ergebnisgüte: *Mitarbeiterzustand vergessen* (relevant für Selbstaufschreibung), *Mitarbeiter nicht angetroffen* (relevant für Fremdbeobachtung), *Mitarbeiterzustand nicht aufgeführt* (für mitarbeiter-spezifische Zustände zur Wahrung der Anonymität der Mitarbeiter notwendig)

3.1.9 Bedingungsgrößen

Michaelis benutzt in seinen Analysen Bedingungsgrößen, um auswertungsrelevante Hinweise zu erhalten [Mich91, S. 111ff.]. Um auch bei der Analyse der Arbeitsproduktivität weitere Hinweise zu erhalten, kann diese Idee übernommen und in die Modellierung der Arbeitszeit integriert werden. Dazu werden Bedingungsgrößen definiert und zusätzlich zur Tätigkeit und zum Objekt aufgenommen. Je nach Bedingungsgröße und Datenerfassung ist eine einmalige, wiederholte oder automatische Erfassung möglich. Tabelle 3-4 zeigt relevante Bedingungsgrößen mit beispielhaften Ausprägungen sowie der Art der Erfassung.

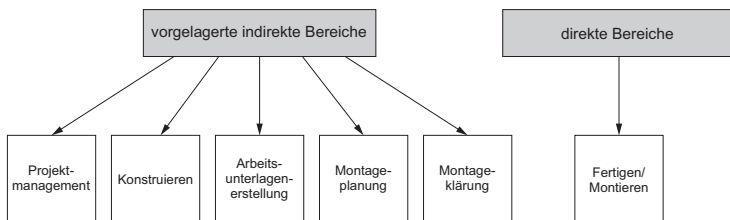
Tab. 3-4: Beispiele für Bedingungsgrößen

Bedingungsgröße	Ausprägungen (Beispiele)	Datenerfassung
Arbeitsaufgabe	<ul style="list-style-type: none">• Zeichnungsableitung• Konstruktion	wiederholt
Gruppenzugehörigkeit	<ul style="list-style-type: none">• technischer Zeichner• Konstrukteur	einmalig, wiederholt
Aufnahmeverzögerung	<ul style="list-style-type: none">• weniger als x Minuten• mehr als x Minuten	automatisch
Tageszeit	<ul style="list-style-type: none">• vormittags• nachmittags	automatisch

Arbeitsaufgaben

Die Unikatproduktion zeichnet sich durch eine hohe Aufgabenvielfalt aus (s. Abschnitt 2.1.2). In den direkten Bereichen gibt es unterschiedliche Aufgaben, jedoch hat jede dieser Aufgaben das Ziel, etwas zu fertigen oder zu montieren. Eine differenzierte Untersuchung der Aufgaben kann zwar zu einer besseren Analyse der Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität führen, hat aber eine gestiegene Komplexität zur Folge, die eine systematische Analyse der Einflussgrößen erschwert. Zudem liegt die Vermutung nahe, dass die Einflussgrößen kaum abhängig von den unterschiedlichen Arbeitsaufgaben sind. So beeinflusst z. B. eine ungenügende Materialbereitstellung eine Vielzahl von Arbeitsabläufen und führt auch zu demselben Verbesserungsbedarf. Damit der Anwender Verbesserungsmaßnahmen ableiten kann, ist eine Differenzierung der Aufgaben in den direkten Bereichen in der Regel nicht notwendig und die verschiedenen Aufgaben können zu der Arbeitsaufgabe *Fertigen/Montieren* zusammengefasst werden.

Die indirekten Bereiche sind ebenfalls von einer hohen Aufgabenvielfalt geprägt (s. Abschnitt 2.1.3). Mitarbeiter beschäftigen sich z. B. mit Projektmanagement- oder Konstruktionsaufgaben, erstellen Fertigungsunterlagen oder sind in Montageklärungen involviert. Diese Aufgaben unterscheiden sich stärker als die Aufgaben in den direkten Bereichen und scheinen zudem von unterschiedlichen Einflussgrößen beeinflusst zu werden. So sind bspw. die relevanten Einflussgrößen bei Konstruktionsaufgaben anders als bei der Montageklärung. Daher ist es kaum vorstellbar, dass dieselben Verbesserungsmethoden zum Erfolg führen. Eine Zusammenlegung der Arbeitsaufgaben ist somit nicht sinnvoll. Eine weitere Differenzierung ist jedoch nicht notwendig, da anzunehmen ist, dass z. B. verschiedene Konstruktionsaufgaben von den gleichen Einflussgrößen beeinflusst werden. Ein weiterer Grund für die Ergänzung der Mitarbeiterzustände in indirekten Bereichen um die Bedingungsgröße Arbeitsaufgabe ist die damit mögliche Filterung von Tätigkeiten und Objekten bei der Datenaufnahme. Dies erfordert zwar zusätzliche Restriktionen von Tätigkeits-Objekt-Kombinationen für jede Arbeitsaufgabe, führt allerdings zu einer deutlichen Reduzierung der Komplexität bei der Datenerfassung, was besonders bei Selbstaufschreibungen erwünscht ist. Abbildung 3-11 stellt Beispiele für Arbeitsaufgaben in der Unikatproduktion dar.



12866

Abb. 3-11: Arbeitsaufgaben in der Unikatproduktion

Gruppenzugehörigkeit

Die Gruppenzugehörigkeit, die auch als Mitarbeiterqualifikation aufgefasst werden kann, findet anders als bei *Michaelis* keine Verwendung als Input- sondern als Bedingungsgröße [Mich91, S. 59f.]. Grund ist, dass die Gruppenzugehörigkeit nicht direkt den Input skaliert, sondern vielmehr als Gruppierungsfaktor für die Aggregation der Daten dient. Besonders wenn Bereiche mit unterschiedlichen Gruppen untersucht werden, sind Analysen der einzelnen Gruppen sinnvoll, um die Unterschiede in den Arbeitsabläufen ausreichend zu berücksichtigen. Zudem kann die Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen zielgerichteter erfolgen.

Aufnahmeverzögerung

Das MMH basiert auf der Erfassung von Zuständen zu zufälligen Zeitpunkten, um auch selten auftretende Zustände im richtigen Verhältnis zu erfassen [Bund13, S. 217]. Eine Aufnahmeverzögerung kann dazu führen, dass die Zustände nicht korrekt erfasst werden. Sie tritt dann auf, wenn zwischen dem Aufnahmezeitpunkt und der zugehörigen Eingabe eine Differenz besteht. Abbildung 3-12 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

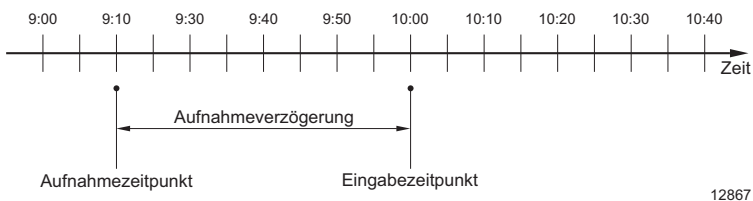


Abb. 3-12: Schematische Darstellung der Aufnahmeverzögerung

Eine hohe Aufnahmeverzögerung kann dazu führen, dass statt des selten auftretenden Zustands zum Aufnahmezeitpunkt aufgrund der subjektiven Wahrnehmung ein wahrscheinlicherer, zeitlich folgender Zustand ausgewählt wird. Eine Aufnahmeverzögerung über einen zu definierenden Grenzwert kann somit als Filter für die aufgenommenen Daten dienen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass eine hohe Aufnahmeverzögerung durchaus begründet sein kann. Bei der Verwendung einer arbeitsplatzgebundenen Datenerfassung bedingen arbeitsplatzferne Aktivitäten, wie z. B. *Besprechungen* oder generell *Bewegung*, eine hohe Aufnahmeverzögerung, da die Mitarbeiterzustände erst bei der Rückkehr zum Arbeitsplatz erfasst werden. Diese Daten sind zuzulassen, da andernfalls Mitarbeiterzustände vor allem in Kombination mit informatorischen Tätigkeiten (durch die hohe Repräsentanz in Besprechungen) oder arbeitsplatzferne Arbeitsaufgaben fälschlicherweise herausgefiltert werden. Die Filterung der Daten sollte somit überlegt und an durchschnittliche Abwesenheitszeiten der Mitarbeiter angepasst werden.

Tageszeit

Die Tageszeit der Aufnahme ist in der Regel eine Größe, die sich automatisch aus dem Zeitpunkt der Datenaufnahme ergibt. Sie kann dazu dienen, Untersuchungen unterschiedlicher Schichten oder Arbeitszeitbereichen durchzuführen.

Weitere Bedingungsgrößen können z. B. sein:

- Berufserfahrung (wenig, viel)
- Arbeitsumgebung (flexibles Bürokonzept, fester Arbeitsplatz, Homeoffice)
- Vertragsbedingungen (Zeitvertrag, Festanstellung, Arbeitnehmerüberlassung)

Bei allen Bedingungsgrößen ist zu berücksichtigen, dass eine Aufteilung der Stichprobe nicht beliebig detailliert erfolgen kann, da ansonsten die erforderliche Stichprobenanzahl stark anwächst (s. Abschnitt 5.1). Ebenfalls muss die Anzahl der Bedingungsgrößen reduziert werden, um die Anonymität der Mitarbeiter zu wahren, da sehr viele Bedingungsgrößen den erfassten Mitarbeiterzustand so detaillieren, dass eine direkte Zuordnung zu einzelnen Mitarbeitern möglich ist.

3.2 Datenstruktur

3.2.1 Aufgaben der Datenstruktur

Neben den Mitarbeiterzuständen, die mit Tätigkeiten und Objekten beschrieben werden, und den arbeitsaufgabenunabhängigen Zuständen sind häufig noch grundlegende Daten für eine Produktivitätsanalyse erforderlich. Die Datenstruktur gliedert dazu die notwendigen Informationen in drei Arten, die Tabelle 3-5 darstellt.

Tab. 3-5: Datenstruktur

Datenart	Ausprägungen
Basisdaten	<ul style="list-style-type: none">• Bereichsbeschreibung• Betrachtungszeitraum• bezahlte Arbeitszeit
arbeitsaufgabenbezogene Zustände	<ul style="list-style-type: none">• Tätigkeiten• Objekte• Bedingungsgrößen
arbeitsaufgabenunabhängige Zustände	<ul style="list-style-type: none">• scheinbar arbeitsaufgabenabhängige Zustände• arbeitsaufgabenunabhängige Zustände während der Anwesenheitszeit• arbeitsaufgabenunabhängige Zustände während der Abwesenheitszeit• Zustände für die Interpretation der Ergebnisgüte

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

Eine Datenstruktur erfüllt somit Aufgaben, die sich bis in die Datenerfassung auswirken. Sie soll insbesondere:

- die strukturierte Erfassung der grundlegenden Daten, im Folgenden Basisdaten genannt, ermöglichen (Abschnitt 3.2.2),
- Transparenz über die Bestandteile der Arbeitszeit schaffen (Abschnitt 3.2.3),
- die Berechnung der Mitarbeiterzustände aufzeigen (Abschnitt 3.2.4),
- eine horizontale Datenaggregation ermöglichen und damit die Aussagekraft der Ergebnisse erhöhen (Abschnitt 3.2.5),
- eine vertikale Datenaggregation ermöglichen und damit Vergleichsmöglichkeiten innerhalb der Unikatproduktion schaffen (Abschnitt 3.2.6),
- die Grundlage für eine IT-gestützte Datenerhebung und -auswertung bilden (Abschnitt 4.3 und 5.4).

3.2.2 Strukturierung der Unikatproduktion

Damit Unternehmen die Methode systematisch anwenden können, ist es zunächst notwendig, die Bereiche einer Unikatproduktion zu strukturieren. Eine arbeitssystembezogene Strukturierung ist wegen des häufig angewendeten Baustellenprinzips mit sehr großen Bereichen (z. B. Trockendock im Schiffbau) nicht zielführend. Aufgrund des hohen Grads an manuellen Tätigkeiten bilden stattdessen die flexiblen Mitarbeiter die relevanten Arbeitssysteme (s. Abschnitt 2.1.2). Eine Strukturierung anhand der Aufbauorganisation, in der die Mitarbeiter in Abteilungen und Gruppen mit gleichen oder direkt zusammenhängenden Aufgaben zusammengefasst sind, erscheint sinnvoll und ist am Beispiel einer Einlinien-Organisationsform in Abbildung 3-13 dargestellt [Jung10, S. 280]. Ausdrücklich umfasst dies auch die indirekten Bereiche.

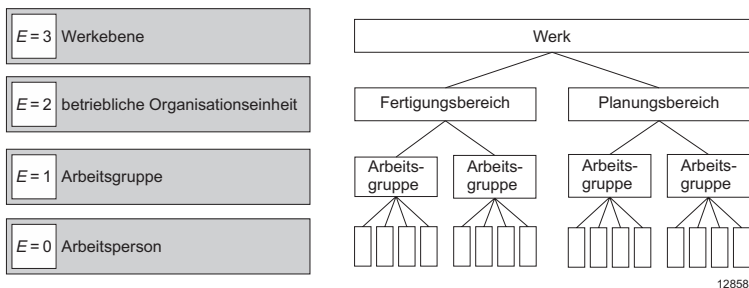


Abb. 3-13: Strukturierung der Unikatproduktion

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

Eine solche hierarchische Einteilung erlaubt es dem Anwender, verschiedene Produktionsbereiche nacheinander aufzunehmen, zu verdichten und zu vergleichen. Die Struktur enthält im Standard vier Ebenen, wobei es Unternehmen freigestellt ist, weitere Ebenen einzuführen. Die unterste Ebene ($E = 0$) bilden die einzelnen Mitarbeiter. Auf dieser Ebene wird der Großteil der Daten erfasst, um eine ausreichende Erfassungstiefe für die Einflussgrößen der Arbeitsproduktivität zu erhalten. Die Auswertung erfolgt auf Ebene der Gruppen ($E = 1$) oder ganzer Abteilungen ($E = 2$), um die Anonymität der Mitarbeiter zu gewährleisten. Alle Abteilungen bilden zusammen das gesamte Unternehmen ($E = 3$).

Aufgrund des in der Unikatproduktion häufig verwendeten Baustellenprinzips kann es sinnvoll sein, dass die Produktionsverantwortlichen eine Analyse von räumlichen Bereichen veranlassen. In diesem Fall muss der Methoden-anwender sicherstellen, dass er nur die Anwesenheitszeit im räumlichen Untersuchungsbereich als Bezugsgröße heranzieht und gleichzeitig alle relevanten Mitarbeiter im Untersuchungsbereich erfasst. Um eine gezielte Auswertung der Aufnahme zu ermöglichen und die vorgegebene Struktur beizubehalten sollte die Gruppenzugehörigkeit in diesem Fall als Bedingungsgröße (s. Abschnitt 3.1.9) aufgenommen werden. Abbildung 3-14 zeigt eine Matrix, die einen Überblick ermöglicht, wenn sowohl nach dem räumlichen Bereich als auch nach der Gruppenzugehörigkeit unterschieden wird.

	Arbeitsgruppe 1	Arbeitsgruppe 2	Arbeitsgruppe 3	Arbeitsgruppe 4	Arbeitsgruppe 5	Arbeitsgruppe 6	Arbeitsgruppe 7	Arbeitsgruppe 8	...
Raubereich A	x		x	x				x	
Raubereich B									
Raubereich C									
Raubereich D									
Raubereich E									
Raubereich F									
Raubereich G									
Raubereich H									
...									

keine Arbeitspersonen dieser Arbeitsgruppe sind in diesem Raumbereich tätig
 Arbeitspersonen dieser Arbeitsgruppe sind in diesem Raumbereich tätig
 für Analyse gewählter Bereich

13066

Abb. 3-14: Auswahl eines Raumbereichs in der Unikatproduktion

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

Die Analyse der Arbeitsproduktivität bezieht sich immer auf einen Zeitraum, der grundsätzlich frei wählbar ist. Damit die Aussagen auch auf andere Zeiträume übertragbar sind, sollte der Betrachtungszeitraum repräsentativ sein und möglichst wenig vom gewohnten Arbeitsalltag abweichen.

3.2.3 Bestandteile der bezahlten Arbeitszeit

Die bezahlte Arbeitszeit besteht aus der erfassten und der nicht erfassten Arbeitszeit (Formel 3-1).

$$Z_{bez,b} = Z_{erf,b} + Z_{NE} \quad (3-1)$$

$Z_{bez,b}$: bezahlte Arbeitszeit in Bereich b [Std.]

$Z_{erf,b}$: erfasste Arbeitszeit in Bereich b [Std.]

Z_{NE} : nicht erfasste Zeit [Std.]

Ein Ziel der Produktivitätsanalyse ist es, die bezahlte Arbeitszeit möglichst vollständig zu erfassen bzw. den Anteil der nicht erfassten Arbeitszeit möglichst gering zu halten. Dafür ist es sinnvoll, die Zeitanteile nach ihrer Datenerfassung zu gliedern (Formel 3-2)

$$Z_{bez,b} = \sum_{i=1}^l (Z_{i,kum,b}) + Z_{EZ,kum,b} + Z_{NE} \quad (3-2)$$

$Z_{bez,b}$: bezahlte Arbeitszeit in Bereich b [Std.]

l : Anzahl der gültigen Tätigkeits-Objekt-Kombinationen [-]

$Z_{i,kum,b}$: kumulierte Dauer des Mitarbeiterzustands i in Bereich b [Std.]

$Z_{EZ,kum,b}$: kumulierte Dauer der Einzelereignisse in Bereich b [Std.]

Z_{NE} : nicht erfasste Zeit [Std.]

Betrachtet man die Datenherkunft, setzt sich die bezahlte Arbeitszeit aus Zuständen zusammen, die der Verrichtung einer Arbeitsaufgabe dienen und somit in der Tätigkeits-Objekt-Matrix definiert sind, sowie arbeitsaufgabenunabhängigen Zuständen, die vor allem aus Einzeldauern gewonnen werden. Die Einzeldauern sind hauptsächlich Urlaubs-, Schulungs- oder Krankheitszeiten und führen zu Abwesenheit der Mitarbeiter vom Produktionsbereich. Die meisten Unternehmen erfassen diese Daten sowie die bezahlte Arbeitszeit zentral. Der Term der nicht erfassten Zeit bleibt weiterhin als Differenz zu der bezahlten Arbeitszeit bestehen.

3.2.4 Zustandsanteile und -dauern

Das Kernelement der entwickelten Analysemethodik ist die Gliederung der bezahlten Arbeitszeit in Mitarbeiterzustände. Im Fokus stehen dabei vor allem die Mitarbeiterzustände, die der Erfüllung einer Arbeitsaufgabe dienen. In der Regel erfolgt die Erfassung der Mitarbeiterzustände mit einem Stichprobenverfahren (s. Abschnitt 4.1.2). In bestimmten Fällen ist jedoch die Erfassung mit Zeitaufnahmen z. B. in Form einer Prozessablaufanalyse sinnvoll (s. Abschnitt 4.1.3).

Stichprobenverfahren

Das Ergebnis des Multimoment-Häufigkeitsverfahrens beruht auf einer Menge von Stichproben. Jede Stichprobe ist dabei ein Mitarbeiterzustand. Das Verhältnis der Zustandshäufigkeit zum Stichprobenumfang ergibt den Zustandsanteil, der sich auf die Anwesenheit der Mitarbeiter im Produktionsbereich bezieht:

$$ZA_{i,anw,b} = \frac{H_{i,b}}{N_b} \cdot 100\% \quad (3-3)$$

$ZA_{i,anw,b}$: Zeitanteil des Zustands i an der Anwesenheitszeit in Bereich b [%]

$H_{i,b}$: Häufigkeit des Mitarbeiterzustandes i in Bereich b [-]

N_b : Stichprobenumfang im Bereich b [-]

Die Dauer eines Zustands ergibt sich dann durch Multiplikation mit der Anwesenheitszeit:

$$Z_{i,b} = ZA_{i,anw,b} \cdot Z_{anw,b} \quad (3-4)$$

$Z_{i,b}$: Dauer des Zustands i in Bereich b [Std.]

$ZA_{i,anw,b}$: Zeitanteil des Zustands i an der Anwesenheitszeit in Bereich b [%]

$Z_{anw,b}$: Anwesenheitszeit in Bereich b [Std.]

Da jeder arbeitsaufgabenbezogener Zustand über einer Tätigkeit und einem Objekt jeweils Kategorien zugeordnet sind, erfolgt die Zusammenfassung zu übergeordneten Kategorieanteilen nach demselben Prinzip (s. Abschnitt 3.2.6).

Zeitaufnahmen

Prozessablaufanalysen ergeben unmittelbar Zustandsdauern. Dabei kann es vorkommen, dass ein Zustand in einem Prozess mehrmals auftritt. Diese Dauern desselben Mitarbeiterzustands eines Prozesses werden dann zunächst addiert. Um Dauern im Betrachtungsbereich zu ermitteln, muss man die ermittelten Zustandsdauern mit der Prozesshäufigkeit multiplizieren (s. Formel 3-5). Dafür muss die Prozesshäufigkeit bekannt sein. Wenn die Prozesshäufigkeit unbekannt ist, lassen sich die Zustandsdauern hiermit nicht berechnen. Weitere Verfahren, z. B. eine Multimomentaufnahme sind dann notwendig, um die Prozesshäufigkeit zu bestimmen.

$$Z_{i,b} = \sum_{p=1}^q (Z_{i,kum,p,b} \cdot N_{p,b}) \quad (3-5)$$

- $Z_{i,b}$: Dauer des Zustands i in Bereich b [Std.]
 $Z_{i,kum,p,b}$: kumulierte Dauer des Zustands i innerhalb eines Prozesses p in Bereich b [%]
 $N_{p,b}$: Häufigkeit des Prozesses p in Bereich b [-]
 q : Anzahl der verschiedenen Prozesse

In der Regel werden Zeitaufnahmen verwendet, wenn die Zielstellung konkreter ist. Dies ist z. B. der Fall, wenn ein bestimmter Prozess untersucht und verbessert werden soll. Daraus ergibt sich, dass die relevante bezahlte Arbeitszeit für diese Analyse sich ausschließlich aus der Zeitaufnahme ergibt und Prozesshäufigkeiten nicht relevant sind. Die Zustandsanteile ergeben sich, wenn man die spezifischen Zeitdauern auf die Gesamtdauer der Aufnahme bezieht.

3.2.5 Horizontale Datenaggregation

Die Datenerhebung umfasst die Bestimmung der Dauern der für den betrachteten Untersuchungsbereich festgelegten Mitarbeiterzustände. Eine möglichst vollständige Erfassung der bezahlten Arbeitszeit ist das Ziel der Analyse, das mit dem Prinzip der horizontalen Datenaggregation in Abbildung 3-15 erreicht werden soll.

Es wird zwischen der Abwesenheit und der Anwesenheit im Betrachtungsbereich des hauptsächlichen Aufnahmeverfahrens während des Untersuchungszeitraums unterschieden. Vor allem die Anwesenheitszeit mit den über Tätigkeiten und Objekten definierten Mitarbeiterzuständen wird detaillierter erfasst (s. Abschnitt 3.1). Dies erfolgt in der Regel mit einem Stichprobenverfahren wie dem MMH (s. Abschnitt 4.1.2). In bestimmten Fällen ist auch eine Erfassung mit Zeitaufnahmen anwendbar (s. Abschnitt 4.1.3).

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

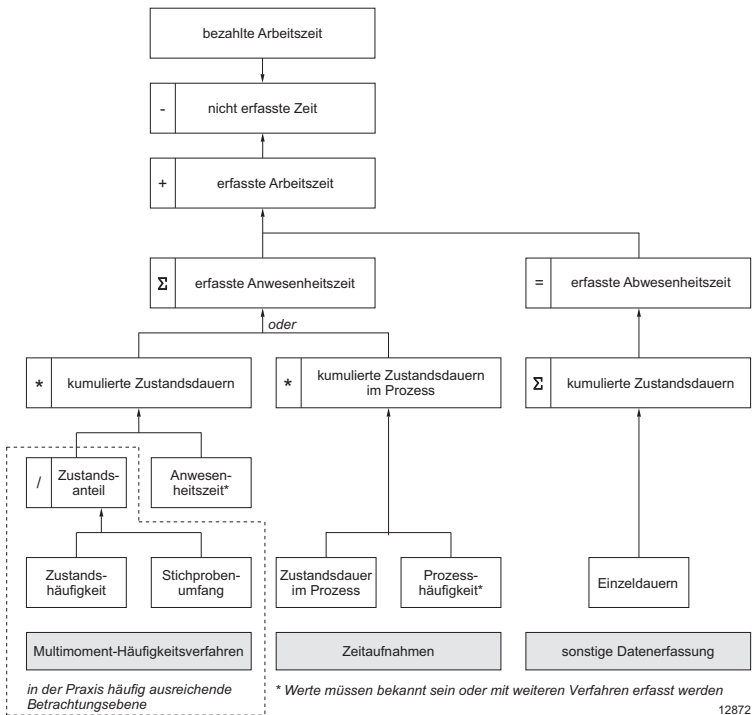


Abb. 3-15: Logik der horizontalen Datenaggregation

Die Umrechnung der Zustandsanteile, die mit dem MMH aufgenommen werden, in Zeitdauern und die anschließende Betrachtung der gesamten bezahlten Arbeitszeit erfordern in der Regel einen erheblichen Mehraufwand gegenüber der Betrachtung von Zustandsanteilen. Zudem können Akzeptanzprobleme auftreten. Da das MMH in der Regel einen hohen Anteil der bezahlten Arbeitszeit erfasst, sind Produktionsverantwortliche häufig mit den Zustandsanteilen an der Untersuchungszeit zufrieden. Um Verbesserungspotenziale verständlicher darzustellen, kann eine Multiplikation mit der Anwesenheitszeit im Untersuchungszeitraum erfolgen. So erhält man ebenfalls absolute Dauern von Mitarbeiterzuständen. Bei diesem Vorgehen besteht jedoch das Risiko, dass die Aussagekraft der Analyse nicht kritisch hinterfragt wird, da der Term der nicht erfassten Zeit als Indikator entfällt. Um diesem entgegenzuwirken, sollte bei der Multimomentaufnahme zumindest die Differenz zwischen den erfassten Zuständen und den nicht erfassten Zuständen, d. h. wie häufig wurden Mitarbeiter nicht gefunden bzw. waren die Zustände nicht eindeutig zu identifizieren. Mit Hilfe dieses Werts lässt sich die

Aussagekraft der Analyse bewerten. Zudem sollten auch weitere Einzelzeiten hinzugezogen werden. So kann z. B. die Betrachtung der krankheitsbedingten Ausfälle weitere Hinweise auf ein Produktivitätspotenzial liefern.

Horizontale Aggregation beim Multimoment-Häufigkeitsverfahren

Die Zustandsanteile, die sich aus Formel 3-3 ergeben, bilden die Basis für die horizontale Aggregation bei Verwendung des Multimoment-Häufigkeitsverfahrens. Die Multiplikation dieser Zustandsanteile mit der Anwesenheitszeit ergibt die Zustandsdauern. Die Summe der Zustandsdauern bildet die erfasste Anwesenheitszeit. Zusammen mit der erfassten Abwesenheitszeit bildet diese die erfasste Arbeitszeit. Die Differenz aus der bezahlten Arbeitszeit und der erfassten Arbeitszeit ist die nicht erfasste Zeit.

Wenn reduzierte Zeitaufnahmen stichprobenartig durchgeführt werden (s. Abschnitt 4.1.3), sind die einzelnen Aufnahmen wie Stichproben zu behandeln. Die horizontale Aggregation erfolgt anschließend wie bei der Verwendung des MMH.

Horizontale Aggregation bei Zeitaufnahmen

Bei Zeitaufnahmen werden Zustandsdauern gemessen, so dass nur noch die Kumulation der einzelnen Zustandsdauern auf Prozessebene erfolgen muss. Anschließend multipliziert man die kumulierten Zustandsdauern mit der Prozesshäufigkeit und erhält so die erfasste Anwesenheitszeit. Zusammen mit der bekannten bezahlten Arbeitszeit ergibt sich die nicht erfasste Zeit. Sie ist ein Maß für die Erfassungsbreite und Güte. Häufig ist es hierbei jedoch schwierig, die Prozesshäufigkeit zu ermitteln, da sie in der Unikatproduktion in der Regel nicht vorliegt.

3.2.6 Vertikale Datenaggregation

Die Analysemethodik soll auch höher aggregierte Auswertungen ermöglichen, um z. B. unterschiedliche Bereiche zu vergleichen oder mehrere Bereiche zusammenzufassen. Dafür findet die in Abschnitt 3.2.2 vorgestellte Strukturierung der Unikatproduktion Verwendung. Um unterschiedliche Gruppen und Bereiche auszuwerten, beschreibt eine vertikale Aggregationslogik, wie Zustandsdaten auf jeweils übergeordneten Ebenen zusammengefasst werden (Abbildung 3-16).

3. Modellierung der Arbeitsproduktivität

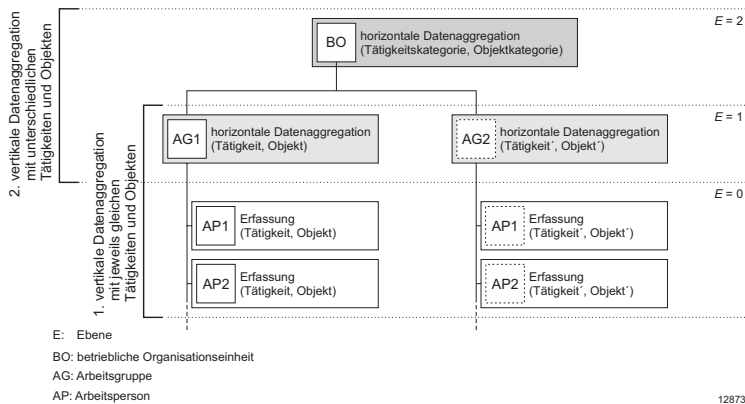


Abb. 3-16: Logik der vertikalen Datenaggregation (in Anlehnung an [Czum13, S. 54])

Für die vertikale Aggregation ist eine Unterscheidung in zwei Fällen notwendig:

- Wenn alle zu aggregierenden Systeme dieselben Tätigkeiten und Objekte verwenden, geht bei der Aggregation keine Informationen verloren. Nach dem Zusammenfassen kann die Auswertung auch auf Tätigkeits- und Objektebene erfolgen.
- Wenn die zu aggregierenden Systeme unterschiedliche Tätigkeiten und Objekte verwenden, kann die Aggregation nur auf Ebene der Tätigkeits- und Objektkategorien erfolgen. In der Abbildung 3-16 ist dies bei der zweiten vertikalen Aggregation der Fall, da die Arbeitsgruppen 1 und 2 unterschiedlichen Tätigkeiten und Objekte verwenden. Da sowohl die Tätigkeits- als auch die Objektkategorien für jede Arbeitsaufgabe gleich bleiben, können alle Analysen auf dieser Ebene aggregiert werden. Dabei gehen jedoch Informationen über die einzelnen Tätigkeiten und die verwendeten Objekte verloren, wie Formel 3-6 zeigt.

$$Z_{ik,kum} = \sum_{i=1}^l Z_{i(t,o)} \quad \text{mit} \quad t, tk \quad (3-6)$$

$Z_{ik,kum}$: *kumulierte Dauer aller Zustände mit der Tätigkeitskategorie tk [Std.]*

$Z_{i(t,o)}$: *Dauer des Mitarbeiterzustands i, der durch eine Tätigkeit t und ein Objekt o definiert ist [Std.]*

l : *Anzahl der gültigen Tätigkeits-Objekt-Kombinationen [-]*

Damit Unternehmen die Möglichkeit haben, einzelne Analysen zusammenzufassen und innerbetriebliche Vergleiche durchzuführen, empfiehlt sich die Verwendung der vorgeschlagenen Tätigkeiten (s. Abschnitt 3.1.4). Zudem besteht die Möglichkeit, einen gesamten Katalog aller verwendeten Objekte in einem Unternehmen zu erstellen (s. Abschnitt 3.1.5). Damit sind auch detaillierte Vergleiche möglich. Diese Vorgehensweise ist in der Regel für große Unternehmen nur bedingt geeignet, da die hohe Anzahl an Objekten die Übersichtlichkeit reduziert. Für kleinere Unikaterfertiger, bei denen auch die Gruppen- und Arbeitsausgabenzuordnung flexibler ist, bietet sich dieses Vorgehen an.

3.2.7 Verursachungsgerechte Aggregation von Mitarbeiterzuständen

Mitarbeiterzustände können teilweise bei der Erfassung nicht zweifelsfrei einer Phase des generischen Arbeitszyklus zugeordnet werden. Dies betrifft vor allem die Zustände *Gehen* und *Warten* sowie Nacharbeitstätigkeiten. Mit zusätzlichen Aufnahmen kann man diese Mitarbeiterzustände jedoch verursachungsgerecht zuordnen:

- Die Analyse der Gehwege und Zielorte hilft, den Mitarbeiterzustand *Gehen* verursachungsgerecht auf die Phasen *Informationsbeschaffung* und *-verarbeitung* sowie *Material- und Hilfsmittelbeschaffung* aufzuteilen. So sind z. B. Gehzeiten zum Lager in aller Regel der *Materialbeschaffung* zuzuordnen.
- Eine qualitative Erfassung der Gründe für Wartezeiten hilft, den Mitarbeiterzustand *Warten* auf die Phasen des generischen Arbeitszyklus aufzuteilen. Z. B. dienen Wartezeiten auf den Vorgesetzten in der Regel der *Informationsbeschaffung* und *-verarbeitung*.
- Da ein Beobachter nicht zwischen der erstmaligen Durchführung und einer Nacharbeitstätigkeit unterscheiden kann, ordnet er die beobachtete Tätigkeit der Durchführungsphase zu. Ist der Nacharbeitsaufwand jedoch relevant, so kann man mit Daten aus der Qualitätssicherung, z. B. der Nacharbeitsquote, die entsprechenden Anteile der Tätigkeiten detaillierter zuordnen. Entweder besteht die Möglichkeit, eine neue Arbeitsaufgabe *Nacharbeit* zu definieren und dieser auch weitere Tätigkeiten zuzuordnen oder die relevanten Durchführungstätigkeiten werden in die Phase *Nachbereitung* verschoben. Bei einer Nacharbeitsquote von z. B. 10% würden dann entweder 10% aller Tätigkeiten, die mit der ursprünglichen Arbeitsaufgabe erfasst wurden, der Arbeitsaufgabe *Nacharbeit* zugeordnet oder es würden nur 10% der durchführenden Tätigkeiten der *Nachbereitungsphase* zugeordnet. Die Wahl der Zuordnung hängt von der Art und Umfang der Nacharbeit ab.

Bevor diese Zustände mit Hilfe von zusätzlichen Analysen verursachungsgerecht zugeordnet werden, sollten die Produktionsverantwortlichen klären, ob der zusätzliche Aufwand die erwartete höhere Aussagekraft rechtfertigt.

4 Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

Mit der Modellierung der bezahlten Arbeitszeit kann der erste Schritt des Produktivitätsmanagement-Zyklus (s. Abschnitt 1.3) erfolgen: die Datenerhebung. Einerseits ermöglicht eine Methodenerweiterung des Multimoment-Häufigkeitsverfahrens Daten mehrdimensional zu erfassen, andererseits reduziert sich der Erhebungsaufwand durch die Kombination von mehreren Aufnahmeverfahren (Abschnitt 4.1). Neben den verschiedenen Datenaufnahmeverfahren ist eine Vorgehensweise zur Datenerhebung wichtig, damit Unternehmen die Methode strukturiert anwenden können (Abschnitt 4.2). Moderne IT-Lösungen können helfen, den Erfassungsaufwand erheblich zu reduzieren (Abschnitt 4.3).

4.1 Erfassungsmethoden für Mitarbeiterzustände und Basisdaten

4.1.1 Übersicht der verwendeten Erfassungsmethoden

Um die Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion zu analysieren, müssen zusätzlich zu den Mitarbeiterzuständen, die bei der Verrichtung der Arbeitsaufgabe auftreten, noch weitere Daten erhoben werden. Daher ist in der Regel ein einzelnes Aufnahmeverfahren für die Datenerhebung nicht ausreichend. Es ist somit notwendig, Erfassungsmethoden zu kombinieren, um die folgenden vier Aufgaben der Datenerhebung zu erfüllen:

- Erfassung der arbeitsaufgabenbezogenen Mitarbeiterzustände
- Erfassung der arbeitsaufgabenunabhängigen Mitarbeiterzustände
- Erfassung der Basisdaten, um Aussagen über die bezahlte Arbeitszeit zu erhalten
- Erfassung von zusätzlichen Daten, um die Aussagekraft zu erhöhen

Das hauptsächliche Aufnahmeverfahren, das entweder eine Multimomentaufnahme oder eine Zeitaufnahme ist, bildet dabei den Kern der Datenerhebung. Abbildung 4.1 zeigt die Datenerhebung mit den ergänzenden Verfahren, um auch die arbeitsaufgabenunabhängigen Mitarbeiterzustände sowie Basisdaten oder weitere Interpretationshilfen zu erfassen.

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

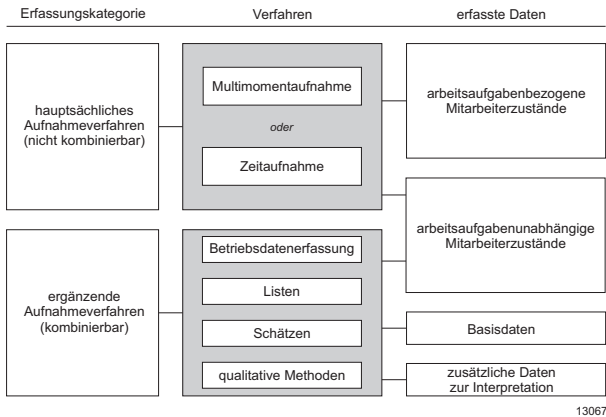


Abb. 4-1: Übersicht der verwendeten Erfassungsmethoden

4.1.2 Multimoment-Häufigkeitsverfahren

Die Methodik zur Analyse der Arbeitsproduktivität basiert vor allem auf dem Multimoment-Häufigkeitsverfahren (MMH), das sich am besten für unstetige Arbeitsabläufe in großen Untersuchungsbereichen eignet (s. Abschnitt 2.3.2). Das einfache MMH hat jedoch Nachteile in der Unikatproduktion:

- Jede Aufnahme erfordert einen *erheblichen Vorbereitungsaufwand* für die Definition der aufzunehmenden Ablaufarten. Bisherige Ansätze zur Verallgemeinerung der Ablaufarten reduzieren zwar diesen Vorbereitungsaufwand, erschweren jedoch eine zielgerichtete Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen.
- Wenn die Ablaufarten für die verschiedenen Arbeitsabläufe in der Unikatproduktion jeweils spezifisch definiert werden, ergibt sich eine *mangelnde Vergleichbarkeit* der unterschiedlichen Aufnahmen.
- Da jede Aufnahme mit einem spezifischen Ziel erfolgt, wird häufig nur *eine Kategorie von Ablaufarten* detaillierter erfasst. Die Ergebnisse sind somit wenig hilfreich, um ähnliche Fragestellungen im selben Bereich zu beantworten.

Um diese Defizite zu beheben, ist eine methodische Weiterentwicklung des MMH nötig. Aufbauend auf den Überlegungen von *Rascati*, der auf einem Rundgang zwei Ablaufarten für unterschiedliche Multimomentaufnahmen aufnimmt [vgl. Rasc86], wird das einfache MMH für die Zwecke in der Unikatproduktion modifiziert. Dabei können weiterhin entweder externe Beobachter das MMH anwenden oder die Mitarbeiter ihre Zustände selber aufschreiben. Dadurch wird sichergestellt, dass die Methode sowohl in den direkten als auch in den indirekten Bereichen anwendbar ist.

Mehrdimensionale Multimomentaufnahmen

Der neue Ansatz verwendet die in Abschnitt 3.1 vorgestellte Modellierung der Mitarbeiterzeit. Die bisherigen Ablaufarten werden dafür durch Mitarbeiterzustände ersetzt. Diese werden einheitlich über eine Tätigkeit und ein Objekt definiert. Die standardisierten Tätigkeits- und Objekthierarchien geben einen Rahmen vor, der um die arbeitsaufgabenunabhängigen Zustände ergänzt wird. Falls gewünscht, können die Mitarbeiterzustände um weitere Bedingungsgrößen, wie z. B. *Arbeitsaufgabe* oder *Gruppenzugehörigkeit*, ergänzt werden. Bei einem vergleichbaren Aufwand erfasst der Methodenanwender einen mehrdimensionalen Mitarbeiterzustand statt einer einfachen Ablaufart. Dadurch können die Stichproben in mehreren Dimensionen ausgewertet werden:

1. Tätigkeit
2. Objekt
3. Mitarbeiterzustand als Kombination von Tätigkeit und Objekt
4. Bedingungsgrößen wie z. B. Arbeitsaufgabe oder Gruppenzugehörigkeit
5. Kombinationen von Bedingungsgrößen, Tätigkeiten und Objekten

Die in Kapitel 3 entwickelte Modellierung der Mitarbeiterzeit stellt dazu eine Systematik zur Verfügung, die mehrere Vorteile gegenüber bisherigen Ansätzen für mehrdimensionale Multimomentaufnahmen hat:

- Die Tätigkeits-Objekt-Matrix *reduziert den Vorbereitungsaufwand*, da die vorgegebenen Kategorien für Tätigkeiten und Objekte die Anpassung an das Unternehmen erleichtern. Ebenfalls sinkt der Aufwand, da nur eine Tätigkeits-Objekt-Matrix als Grundlage für mehrere Bereiche und unterschiedliche Fragestellungen notwendig ist.
- Die standardisierten Tätigkeits- und Objekthierarchie stellen sicher, dass jeder Bereich im Unternehmen dieselben Tätigkeiten und Objekte verwendet. Dadurch ist eine *gute Vergleichbarkeit* von Aufnahmen aus unterschiedlichen Bereichen gewährleistet.
- Die Aufnahme einer Tätigkeit, eines Objektes und weiterer Bedingungsgrößen erlaubt eine Vielzahl von unterschiedlichen Auswertungen. Dadurch kann das Unternehmen denselben Datensatz für *unterschiedliche Fragestellung* verwenden.

Externe Beobachtung und Selbstaufschreibung

Grundsätzlich können bei einer Multimomentaufnahme sowohl ein externer Beobachter als auch die Mitarbeiter selbst die Stichproben aufnehmen. Tabelle 4-1 stellt die Vor- und Nachteile beider Erfassungsarten gegenüber.

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

Tab. 4-1: Vor- und Nachteile der externen Beobachtung und der Selbstaufschreibung

Erfassungsart	Vorteile	Nachteile
externe Beobachtung	<ul style="list-style-type: none"> + keine Unterbrechung des Arbeitsablaufs der aufzunehmenden Mitarbeiter + geringer Schulungsaufwand + geringe Gefahr von bewussten Verfälschungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikation von geistigen und kommunikativen Tätigkeiten schwierig - ggf. Akzeptanzprobleme
Selbstaufschreibung	<ul style="list-style-type: none"> + hohe Genauigkeit bei der Identifikation von geistigen und kommunikativen Tätigkeiten + Verteilung des Aufwands auf mehrere Personen 	<ul style="list-style-type: none"> - Unterbrechung des Arbeitsablaufs des Mitarbeiters - hoher Schulungsaufwand - ggf. Gefahr von bewussten Verfälschungen - mögliche Ungenauigkeiten durch fehlerhafte Erfassung - Problem der Erfassung von mitarbeiterspezifischen Datensätzen

Obwohl eine Beschränkung auf nur eine Erfassungsart die Analyse der Arbeitsproduktivität vereinheitlichen würde, überwiegen die Vorteile, in den direkten und indirekten Bereichen aufgrund der sehr unterschiedlichen Arbeitsabläufe unterschiedliche Erfassungsarten zu verwenden:

- *Externe Beobachter in den direkten Bereichen:* In den direkten Bereichen überwiegen mechanische und manuelle Tätigkeiten, so dass der Nachteil der externen Beobachtung – die nur schwierige Identifikation von geistigen und kommunikativen Tätigkeiten – kaum relevant ist. Gleichzeitig hat die externe Beobachtung den Vorteil, dass nur wenige Beobachter im Vergleich zu der hohen Anzahl an Mitarbeiter in den direkten Bereichen geschult werden müssen und der Arbeitsablauf kaum gestört wird.
- *Selbstaufschreibung in den indirekten Bereichen:* Für einen Beobachter sind die Arbeitsabläufe in den indirekten Bereichen kaum ersichtlich. Die sichtbaren Zustände der Mitarbeiter wie z. B. *Computer bedienen* eignen sich nicht für eine zielorientierte Verbesserung der Arbeitsproduktivität. Dadurch ist die Beobachtung ungeeignet für die indirekten Bereiche. Die aktive Einbindung der Mitarbeiter (s. Abschnitt 4.2.9) wirkt den Nachteilen der bewussten Verfälschungen und der daraus resultierenden Ungenauigkeiten entgegen. Weiterhin helfen moderne Informationstechnologien, den Schulungsaufwand und die Arbeitsunterbrechungen so gering wie möglich zu halten (s. Abschnitt 4.3).

Bei beiden Erfassungsarten ist darauf zu achten, keine mitarbeiterspezifischen Daten zu erheben. Dies würde die Akzeptanz der involvierten Mitarbeiter senken und die Wahrscheinlichkeit einer Beeinflussung der Aufnahme durch die Mitarbeiter erhöhen.

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

4.1.3 Zeitaufnahmen

Die in Abschnitt 3.1 vorgestellte Modellierung der Mitarbeiterzeit ermöglicht auch die Anwendung von Zeitaufnahmen. Dabei nimmt ein Beobachter die Aktivitäten des Mitarbeiters mit den Mitarbeiterzuständen auf. Im Gegensatz zum MMH ist es mit Zeitaufnahmen kaum möglich, große Bereiche oder eine Vielzahl von unterschiedlichen Arbeitsabläufen auszunehmen. Der Erfassungsaufwand ist dafür zu hoch, da die Aufnahmezeit identisch mit der Zeit des Arbeitsablaufs ist. Tabelle 4-2 zeigt drei Einsatzszenarien, in denen Zeitaufnahmen jedoch vorteilhaft sind.

Tab. 4-2: Einsatzszenarien für Zeitaufnahmen

Einsatzszenario	Erfassungsart	Beispiel
Ein einzelner oder nur wenige Arbeitsabläufe sind relevant.	Prozessablaufanalyse	Eine Investitionsentscheidung erfordert eine detaillierte Analyse des zu verbessernden Arbeitsablaufs.
Es liegt trotz des Unikatcharakters in einem Bereich ein hoher Standardisierungsgrad vor und die Arbeitsabläufe werden oft wiederholt.	reduzierte Zeitaufnahme mit Multiplikator	In der Rohrvorfertigung im Schiffbau werden ähnliche Rohre, die sich einfach zählen lassen, mit demselben Arbeitsablauf produziert.
Die Untersuchungsbereiche sind groß und unübersichtlich, so dass die Wegezeiten und Suchzeiten der zu beobachtenden Mitarbeiter sehr hoch sind.	Zeitaufnahmen als Stichproben für das MMH	In der Bordausrüstung eines Schiffes sind die Mitarbeiter kaum auffindbar.

Prozessablaufanalysen

Wenn das operative Produktionsmanagement bereits Kenntnis über Arbeitsprozesse mit einem besonders hohen Produktivitätspotenzial hat, können diese Prozesse mit einer Ablaufanalyse detailliert aufgenommen werden. Durch die einheitliche Definition der Zeitarten können zudem auch unterschiedliche Arbeitsprozesse miteinander verglichen werden. Der Vorteil einer Prozessablaufanalyse besteht vor allem im Erhalt der zeitlichen Abfolge der Mitarbeiterzustände. Durch eine verbesserte Anordnung oder Gruppierung lassen sich so leicht Produktivitätspotenziale heben (s. Abschnitt 6.3). Der Nachteil ist der besonders bei geringen Wiederholhäufigkeiten hohe Aufwand und die mangelnde Übertragbarkeit auf weitere Arbeitsabläufe.

Reduzierte Zeitaufnahme mit Multiplikator

Wenn die Anwender Rückschlüsse auf die gesamte bezahlte Arbeitszeit ziehen wollen, sind reine Zeitaufnahmen in der Unikatproduktion nur bedingt geeignet. Ein möglicher Ansatz ist die Verwendung von reduzierten Zeitaufnahmen in An-

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

lehnung an *Czumanski* [vgl. Czum13]. Sind Abläufe einer Arbeitsaufgabe ähnlich, kann dieser mehrmals mit einer Zeitaufnahme erfasst werden. Anschließend lässt sich eine durchschnittliche Verteilung der Mitarbeiterzustände für diesen Arbeitsablauf ermitteln. Ist die Wiederholhäufigkeit im Untersuchungszeitraum entweder bekannt oder durch zusätzlich Verfahren erfassbar, kann die verwendete Arbeitszeit für diesen Arbeitsablauf berechnet werden.

Zeitaufnahmen als Stichproben für das MMH

Ein weiterer Ansatz besteht darin, die Zeitaufnahmen als Stichproben für das Multimoment-Häufigkeitsverfahren zu verwenden. Hierbei werden unterschiedliche Mitarbeiter zufällig ausgewählt und für eine vorher bestimmte Zeitdauer mit einer Zeitaufnahme erfasst. Jede Zeitaufnahme ist eine Stichprobe. Dieses Vorgehen eignet sich, wenn die Mitarbeiter in dem Untersuchungsbereich nur schwer aufzufinden sind oder der Untersuchungsbereich so groß ist, dass die Rundgänge für das MMH sehr lang werden (s. Abschnitt 4.2.7).

4.1.4 Betriebsdatenerfassung

In der Regel können Systeme der Betriebsdatenerfassung die Basisdaten für die Analyse zur Verfügung stellen. Eine Voraussetzung ist, dass die Systeminformationen sich dem zu analysierenden Bereich zuordnen lassen. Da sich die Strukturierung der Unikatproduktion (s. Abschnitt 3.2.2) an der Aufbauorganisation des Unternehmens orientiert, ist eine Zuordnung in der Regel ohne großen Aufwand möglich. Die Anzahl der bezahlten Stunden im Betrachtungsbereich und -zeitraum stellen die Grundlage dar, die in der Regel im BDE-System vorliegt. Weiterhin erfassen Unternehmen meistens auch Abwesenheitszeiten, die sich hauptsächlich aus *Urlaubs-* und *Krankheitstagen* ergeben sowie anlassbezogene Fehlzeiten durch z. B. *Streik* oder *Weiterbildung*. Zusammen mit den offiziellen *Pausen*, die gewöhnlich ebenfalls im BDE-System zu finden sind, kann der Anwender die Anwesenheitszeit bestimmen und die nicht erfasste Zeit möglichst gering halten. Wenn sich die Anwesenheitszeit im Betrachtungsbereich auf diese Weise nicht bestimmen lässt, besteht die Möglichkeit, mit zusätzlichen Verfahren, z. B. einer Selbstaufschreibung der Zeiten, die Anwesenheitszeit im Betrachtungsbereich und -zeitraum aufzunehmen.

4.1.5 Weitere Verfahren zur Datenerfassung

Mit den beschriebenen Verfahren ist es möglich, die verschiedenen Mitarbeiterzustände zu erfassen. Verschiedene Gründe können jedoch dazu führen, dass der Anwender auf weitere Verfahren zur Datenerfassung zurückgreifen muss:

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

- Die Anwesenheitszeit im Untersuchungsbereich und -zeitraum ist unbekannt.
- Relevante Mitarbeiterzustände lassen sich nicht zweifelsfrei einer Arbeitsaufgabe zuordnen. Z. B. kann ein externer Beobachter bei der Aufnahme mit dem MMH in der Regel nicht den Inhalt eines Gesprächs erkennen und die Tätigkeit *Sprechen* deswegen keiner Arbeitsaufgabe zuordnen.
- Einige relevante Mitarbeiterzustände lassen sich nicht eindeutig einer Phase des generischen Arbeitszyklus zuordnen. Dazu gehören vor allem Bewegungstätigkeiten, die erst durch zusätzliche Analysen einer Phase zuordenbar sind.
- Die Verwendung von Zeitaufnahmen oder MMH ist untersagt.
- Der Anteil der nicht erfassten Zeit wäre so groß, dass die gesamte Aussagekraft der Analyse leiden würde.

Als zusätzliche Verfahren dienen vor allem Listen, die sowohl externe Beobachter als auch die Mitarbeiter selbst ausfüllen. Ebenfalls kann auf die Methode des Schätzens zurückgegriffen werden. Auch qualitative Verfahren können helfen, z. B. um die nicht erfasste Zeit näher zu spezifizieren.

Listen

Der Einsatz von Listen kann unterschiedliche Ziele verfolgen. Wenn die Anwesenheitszeit im Untersuchungsbereich und -zeitraum nicht aus den Betriebsdaten bekannt ist, können Mitarbeiter selbst die Zeiten in eine Liste eintragen.

In einigen Fällen können Listen helfen, Mitarbeiterzustände einer Arbeitsaufgabe korrekt zuzuordnen. In der Regel kann ein externer Beobachter z. B. nicht unterscheiden, ob es sich bei einer beobachteten Tätigkeit um ein *erstes Erstellen* oder um *Nacharbeit* handelt. Lediglich die durchgeführte Tätigkeit, z. B. *Schweißen*, ist ersichtlich. In diesem Fall könnte mit einer Auswertung der Qualitätssicherung der Anteil an Nacharbeit bestimmt werden.

Auch innerhalb einer Arbeitsaufgabe können zusätzliche Auswertungen die Aussagekraft erhöhen. Vor allem Tätigkeiten der Kategorie *Bewegung* kann der Anwender ohne zusätzliche Aufnahmen nicht einer Phase zuordnen. Einfache Transporttätigkeiten lassen sich jedoch evtl. mit Hilfe des Objektes einer Phase zuordnen (z. B. ist das *Transportieren eines Informationsmaterials* der Phase *Informationsbeschaffung und -verarbeitung* zuzuordnen). Die Tätigkeit *Gehen* gibt jedoch keine Hinweise auf die Phase. Es könnte jedoch bspw. der Zielort erfasst werden, um den Zustand *Gehen* korrekt auf die Phasen *Informationsbeschaffung und -verarbeitung* sowie *Material- und Hilfsmittelbeschaffung* zuzuordnen.

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

Schätzen

Falls der Anwender bestimmte Mitarbeiterzustände mit den gegebenen Methoden schlecht erfassen kann oder der erwartete Erkenntnisgewinn für den Erfassungsaufwand eine explizite Erfassung dieser Zustände nicht rechtfertigt, so ist es auch möglich, einzelne Zustandsdauern anhand von Erfahrungswerten zu schätzen. Aufgrund der geringen Anzahl an Wiederholungen und den wenig standardisierten Arbeitsabläufen in der Unikatproduktion sind die Erfahrungswerte jedoch häufig kaum belastbar. Die Aussagekraft von Analysen, die auf Schätzwerten basieren, ist dadurch in der Regel gering.

Qualitative Verfahren

Eine qualitative Aufnahme eignet sich, um unregelmäßig auftretende Zustände sowie besondere Vorkommnisse im Produktionsgeschehen zu dokumentieren. Die Verknüpfung mit der Dauer nicht erfasster Arbeitszeit bietet sich an. Der Anwender kann damit die weiteren Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität aufgrund von Auffälligkeiten im Produktionsprozess besser beurteilen und zumindest einen Teil der nicht erfassten Zeit den Mitarbeiterzuständen zuordnen.

Tabelle 4-3 gibt eine Übersicht der verschiedenen Aufnahmeverfahren mit den Einsatzzielen und eine Bewertung des Aufwandes und der Aussagekraft gibt.

Tab. 4-3: Ergänzende Datenaufnahmeverfahren

Aufnahmeverfahren	Ziel des Einsatzes	Aufwand	Aussagekraft
Listen	<ul style="list-style-type: none">• Bestimmung von Basisdaten• Verursachungsgerechte Zuordnung von Mitarbeiterzuständen	mittel	hoch
Schätzen	<ul style="list-style-type: none">• Bestimmung von Anteilen oder Dauern von Mitarbeiterzuständen• Bestimmung von Basisdaten• Verursachungsgerechte Zuordnung von Mitarbeiterzuständen	gering	gering
qualitative Verfahren	<ul style="list-style-type: none">• Aufzeigen von Interpretationshilfen• Berücksichtigung von unregelmäßig auftretenden Zuständen	gering	mittel

4.2 Vorgehensweise bei der Datenerhebung

4.2.1 Überblick der Schritte bei der Datenerhebung

Die Modellierung der Mitarbeiterzeit (s. Abschnitt 3.1), die Datenstruktur (s. Abschnitt 3.2) und die Methoden zur Erfassung von Mitarbeiterzuständen (s. Abschnitt 4.1) sind die Bausteine für die Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion. Der Erfolg der Analyse hängt aber entscheidend von dem Ablauf der Datenerhebung ab. Eine schlecht durchgeführte Datenerhebung kann:

- den Aufwand erhöhen, da Daten wiederholt aufgenommen werden müssen;
- die Aussagekraft der Ergebnisse vermindern, da Regeln bei der Definition oder Aufnahmen der Mitarbeiterzustände nicht eingehalten werden und somit die Daten nicht eindeutig sind;
- die Akzeptanz der Ergebnisse senken, da sich die aufgenommenen Mitarbeiter nicht ausreichend informiert fühlen und im schlimmsten Fall die Datenerhebung verfälschen.

Um den Ablauf der Datenerhebung sorgfältig vorbereiten und durchführen zu können, wird in den nächsten Abschnitten eine logische Vorgehensweise für die Datenerhebung beschrieben. Diese besteht aus mehreren Schritten:

1. Zieldefinition der Analyse (Abschnitt 4.2.2)
2. Strukturierung der Produktion (Abschnitt 4.2.3)
3. Auswahl des Analysebereichs (Abschnitt 4.2.4)
4. Zustandsdefinition (Abschnitt 4.2.5)
5. Festlegung der Datenerhebung (Abschnitt 4.2.6)
6. Optional: Erfassungsstrategien für Stichprobenverfahren (Abschnitt 4.2.7)
7. Datenerfassung (Abschnitt 4.2.8)

Die Schritte eins bis fünf werden nur einmalig ausgeführt. Für eine Wiederholanalyse ist nur eine weitere Datenerfassung notwendig. Ein Handlungsleitfaden (Abschnitt 4.2.9) verdeutlicht den Ablauf und zeigt auf, wie die relevanten Akteure einbezogen werden können, um die Akzeptanz zu erhöhen.

4.2.2 Zieldefinition der Analyse

Die Vorbereitung der Analyse beginnt mit der Festlegung der Ziele. Diese Ziele setzen den Rahmen für die Modellierung der Mitarbeiterzustände und Definition

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

der Datenerhebung. Für die Zieldefinition müssen folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- *Fokus*: Soll ein Bereich oder ein Prozess analysiert werden?
- *Historie*: Handelt es sich um eine einmalige oder eine wiederholte Analyse?
- *Mitarbeiterzeit*: Soll die gesamte bezahlte Arbeitszeit oder nur ein Teil (z. B. Anwesenheitszeit auf der Baustelle) erfasst werden?
- *Betrachtungszeitraum*: Welcher Betrachtungszeitraum steht zur Verfügung?
- *Qualität*: Welche Ergebnisgüte und Aussagewahrscheinlichkeit ist erwünscht?
- *Mitarberschutz*: Gibt es einen Konflikt zwischen der Erfassung von Mitarbeiterzuständen und den spezifischen Rechten der Mitarbeiter?
- *Zusätzliche Fragestellungen*: Gibt es weitere relevante Fragestellungen, die sich nur indirekt mit den Mitarbeiterzuständen abbilden lassen?

Diese Fragen müssen vor der Modellierung geklärt werden, um den Aufwand für eine nachträgliche Anpassung zu vermeiden.

4.2.3 Strukturierung der Produktion

Die Grundlage für eine systematische Analyse der Arbeitsproduktivität in einem Unternehmen ist eine Strukturierung der Produktion. Erst mit Hilfe dieses Rahmens können relevante Bereiche einheitlich definiert werden, so dass sich weitere Aufnahmen für z. B. Bereichsvergleiche nutzen lassen. Die in Abschnitt 3.2.2 vorgestellte Strukturierung der Unikatproduktion wird dazu verwendet. Da sich diese an der Aufbauorganisation eines Unternehmens orientiert, müssen diese Informationen eingeholt werden. Ausgehend von den Abteilungen lassen sich so Gruppen mit den dazugehörigen Mitarbeitern definieren.

Da der Anwender die in der Tätigkeits-Objekt-Matrix definierten Mitarbeiterzustände in der Regel auf der Erfassungsebene $E = 0$ aufnimmt und die Daten auf Erfassungsebene $E = 1$ oder höher anreichert und auswertet, ist es für die Auswahl des Analysebereichs und die eigentliche Datenerfassung hilfreich, neben der Aufbauorganisation zwei weitere Informationen mit aufzunehmen:

- Die *Anzahl der Personen* unterstützt die Auswahl relevanter Bereiche.
- Die *räumliche Zuordnung von Gruppen* hilft den Erfassungsaufwand für die Auswahl relevanter Bereiche besser einzuschätzen und ermöglicht eine raumbezogene Analyse.

4.2.4 Auswahl des Analysebereichs

Grundsätzlich ermöglicht die entwickelte Methode, die Arbeitsproduktivität im gesamten Unternehmen zu analysieren. Um dieses zu erreichen, analysieren Unternehmen in der Regel nicht mehrere Abteilungen oder Produktionsbereiche gleichzeitig, sondern wählen ein sukzessives Vorgehen. Häufig agieren die Unternehmen jedoch unabhängig von einer Gesamtbetrachtung mit dem Ziel, einzelne Bereiche zu verbessern. Das operative Produktionsmanagement leitet dann aus den Ergebnissen der Einzeluntersuchungen direkt Verbesserungsmaßnahmen ab und setzt diese um. Beide Herangehensweisen erfordern jedoch eine Auswahl oder zumindest Reihenfolgefestlegung der zu analysierenden Abteilungen und Gruppen. Eine Hilfestellung für die Auswahl der relevanten Abteilungen bzw. Gruppen mit dem größten Produktivitätspotenzial bieten folgende Kriterien, die durch weitere Annahmen oder auch Erfahrungswerte der Anwender ergänzt werden können:

- *Anzahl der beschäftigten Mitarbeiter:* Je mehr Mitarbeiter in einer Abteilung, Gruppe oder räumlichen Bereich beschäftigt sind, desto höher ist das absolute Potenzial von Verbesserungen.
- *Wiederholhäufigkeit von Arbeitsabläufen:* Obwohl die Unikatproduktion durch sich kaum wiederholenden Arbeitsabläufen gekennzeichnet ist, kann es Arbeitsaufgaben für bestimmte Gruppen, Abteilungen oder in räumlichen Bereichen geben, die sich im Ablauf ähneln. In diesem Fall kann jede Wiederholung zu einem Produktivitätsgewinnen führen.
- *Anzahl der Arbeitsaufgaben:* Je geringer die Anzahl der Arbeitsaufgaben ist, die eine Gruppe bearbeitet, desto höher ist der Zeitanteil der einzelnen Arbeitsaufgaben. Verbesserungsmaßnahmen werden oft für bestimmte Arbeitsaufgaben abgeleitet. Daher besteht bei wenigen Arbeitsaufgaben ein größeres Produktivitätspotenzial.

Nach der Auswahl des Bereichs legt das Unternehmen den Betrachtungszeitraum fest, der möglichst repräsentativ sein und nur wenig vom gewohnten Arbeitsalltag abweichen sollte. Weiterhin sollte die Personalkapazität konstant und sollen die Mitarbeiter einfach aufzufinden sein, um eine möglichst hohe Ergebnisgüte zu erreichen. In der Regel werden diese Bedingungen nicht komplett erfüllt. Wenn jedoch von diesen Bedingungen zu stark abgewichen wird, sollte der Untersuchungsbereich oder Betrachtungszeitraum angepasst werden, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

Optionale Berücksichtigung von räumlichen Merkmalen

In der Baustellenfertigung sind in einem räumlichen Bereich häufig verschiedene Arbeitsgruppen gleichzeitig tätig. Wenn dadurch eine schnelle und zweifelsfreie Identifizierung der Gruppenzugehörigkeit des Mitarbeiters schwierig ist, empfiehlt sich die Analyse von räumlichen Bereichen. In diesem Fall werden die Mit-

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

arbeiterzustände aller Mitarbeiter, die sich während der Untersuchungszeitraum in einem definierten räumlichen Bereich aufhalten, erfasst. Ein Layout, das die Anzahl der Mitarbeiter sowie deren häufigsten Aufenthaltsorte des Untersuchungsbereichs darstellt, unterstützt dieses Vorgehen (s. Abbildung 4-2). Es bietet dem Anwender eine Hilfestellung, um bei der Zustandsdefinition alle relevanten Arbeitsabläufe und Zustände erfassen sowie die Datenerfassung und die Rundgänge besser planen zu können.

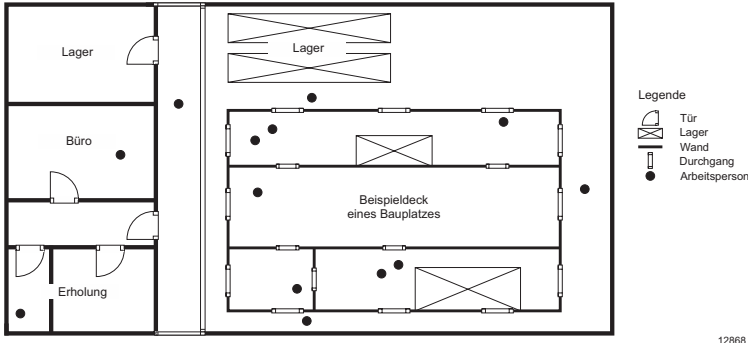


Abb. 4-2: Beispiel für das Layout eines Untersuchungsbereichs

4.2.5 Zustandsdefinition

Nachdem der Anwender den Untersuchungsbereich ausgewählt hat, muss er die Zustände nach der in Abschnitt 3.1 vorgestellten Modellierung definieren. Damit die Mitarbeiterzustände vollständig, eindeutig und verständlich sind, sollten Mitarbeiter, die mit den Arbeitsabläufen vertraut sind, bei der Definition mitwirken. Produktionsverantwortliche können die Relevanz von Zuständen bewerten, um zwischen einer detaillierteren oder einfachen Erfassung abzuwägen. Eine gemeinsame Begehung des Untersuchungsbereichs mit einem anschließenden Workshop ist dazu eine geeignete Vorgehensweise. In den direkten Bereichen sollte der Anwender einige Arbeitsabläufe begleiten, da er somit die beobachteten Mitarbeiterzustände besser identifizieren kann.

Da die Vollständigkeit, Eindeutigkeit und Verständlichkeit der Modellierung von entscheidender Bedeutung für die Aussagekraft und Akzeptanz der Analyse ist, ist eine Vorgehensweise für die Definition der Mitarbeiterzustände erforderlich. Die Schritte orientieren sich an dem intuitiven Prinzip, beim Allgemeinen zu starten und beim Speziellen zu enden. Sie ergeben sich aufgrund der Beziehungen der einzelnen Elemente eines Mitarbeiterzustands: Innerhalb einer Arbeitsaufgabe – falls diese Unterscheidung notwendig ist – können jeweils alle möglichen Tätig-

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

keiten auftreten. Dabei kann eine Tätigkeit mit mehreren Objekten kombiniert werden und zusammen ergeben sie das kleinste Element des Mitarbeiterzustands. Anschließend werden die spezifischen Bedingungsgrößen und arbeitsaufgabenunabhängigen Zustände definiert. Abbildung 4-3 stellt diese Beziehungen dar. Die jeweiligen Obergrenzen ergeben sich dabei aus der Modellierung der Mitarbeiterzustände.

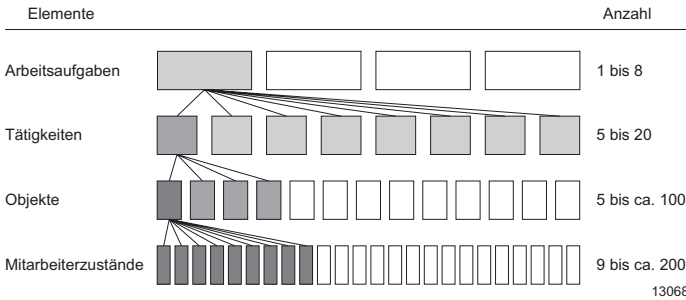


Abb. 4-3: Beziehung der Elemente eines Mitarbeiterzustands

1. Schritt: Definition der Arbeitsaufgaben

Wenn in einem Untersuchungsbereich die Arbeitsabläufe stark voneinander abweichen, ist eine Unterscheidung nach der Bedingungsgröße *Arbeitsaufgabe* sinnvoll. Dabei ist das entscheidende Kriterium, ob die Arbeitsaufgaben unterschiedliche Verbesserungsmaßnahmen erfordern. Die Unterscheidung nach *Arbeitsaufgaben* ist insbesondere für die indirekten Bereichen von Bedeutung (s. Abschnitt 3.1.9). Intuitiv unterteilen die Mitarbeiter in den meisten Fällen ihren Aufgabenbereich in Arbeitsaufgaben. Um den Überblick für die Anwender zu erleichtern, sollte die Anzahl der Arbeitsaufgaben möglichst gering gehalten werden. In der Literatur finden sich unterschiedliche Aussagen zu den Maximalwerten, die von acht bis 25 reichen [Bund15, S. 219f.] [Hall69, S. 55] [Raus11, S. 167]. Weil jede zusätzliche Arbeitsaufgabe die notwendige Stichprobenanzahl erhöht und eine geringere Anzahl die eindeutige Unterscheidung erleichtert, was besonders für die Selbstaufschreibung wichtig ist, wird mit maximal acht erlaubten Arbeitsaufgaben der niedrigste Wert gewählt. Nennen die Mitarbeiter mehr als acht Arbeitsaufgaben, müssen ähnliche Arbeitsaufgaben zusammengefasst werden.

2. Schritt: Definition der Tätigkeiten

Anschließend erfolgt die Definition der Tätigkeiten (s. Abschnitt 3.1.4). Die Tätigkeitshierarchie gibt dafür die Kategorien vor. Die dort genannten Tätigkeiten sind in der Regel vollständig und sollten nur verändert werden, um die Namensgebung an das Unternehmen anzupassen. Falls besondere Tätigkeiten, z. B. spezi-

fische Fügeverfahren identifiziert wurden, für die später eine detaillierte Auswertung erwünscht ist, werden diese auf einem geringeren Detaillierungsgrad definiert und einer vorgegebenen Tätigkeit untergeordnet. Es sollten sich mit dieser weiteren Detaillierung maximal 20 verschiedene Tätigkeiten ergeben, da eine höhere Anzahl eine eindeutige Unterscheidung erschwert.

3. Schritt: Definition der Objekte

Nachdem ein gemeinsames Verständnis der Tätigkeiten erreicht wurde, werden die Objekte definiert. Falls es mehrere Arbeitsaufgaben gibt, ist es sinnvoll, zunächst die komplexeste Arbeitsaufgabe mit den meisten Objekten zu besprechen und aufbauend auf diesen Grundstock die Objektliste an den weiteren Arbeitsaufgaben zu vervollständigen. Um eine spätere Zusammenführung mit anderen Analysen zu ermöglichen, ist es erforderlich, die in Abschnitt 3.1.5 beschriebene Objekthierarchie zu verwenden. Es ist zu beachten, dass dasselbe Objekt bei verschiedenen Arbeitsaufgaben unterschiedlichen Objektkategorien zugeordnet werden kann. So ist z. B. ein *CAD-Modell* für die Arbeitsaufgabe *Konstruieren* eine zu erstellende *Arbeitsunterlage* (vierte Objektkategorie); bei der *Zeichnungsableitung* ist dieses *CAD-Modell* jedoch ein *Informationsmittel* (zweite Objektkategorie). Um eine fehlerhafte Zuordnung der Objekte zu den Objektkategorien bei der Datenerfassung auszuschließen, wird bei der Zustandserfassung zuerst die Arbeitsaufgabe bzw. Tätigkeit und als letztes das Objekt abgefragt. Häufig ist es ausreichend, Objekte in einer Kategorie gemeinsam zu erfassen. Wenn innerhalb einer Objektkategorie ein Potenzial vermutet wird, sollte die Objekte detaillierter erfasst werden. Um die Komplexität des Objektkatalogs zu beschränken, sollte die Anzahl der Objekte 100 nicht überschreiten.

4. Schritt: Auswahl von gültigen Tätigkeits-Objekt-Kombinationen

Wenn die Tätigkeiten geklärt und die Objekte vollständig sind, können die Mitarbeiterzustände in Form der Tätigkeits-Objekt-Kombinationen definiert werden. Dazu benutzt der Anwender die Tätigkeits-Objekt-Matrix (s. Abschnitt 3.1.6). In den indirekten Bereichen ist es sinnvoll, zwischen verschiedenen Arbeitsaufgaben zu unterscheiden. Es ist zwar möglich, eine gesamte Tätigkeits-Objekt-Matrix zu erstellen, dennoch ist es übersichtlicher, für jede Arbeitsaufgabe eine separate Tätigkeits-Objekt-Matrix zu verwenden. Alle möglichen Kombinationen werden nun auf ihre Gültigkeit geprüft, indem zuerst die übergeordneten Tätigkeits- und Objektkategorien als gültig oder nicht gültig bewertet werden. Anschließend verifiziert der Anwender zusammen mit den Mitarbeitern anhand von Fallbeispielen die Mitarbeiterzustände und modifiziert gegebenenfalls die Tätigkeits-Objekt-Matrix. Dabei sollten einzelne Tätigkeits-Objekt-Kombinationen möglichst nicht herausstechen (s. Abschnitt 3.1.7). Dieses Vorgehen stellt sicher, dass ein Mitarbeiterzustand nur durch eine Tätigkeit-Objekt-Kombination beschrieben wird und sorgt für ein gemeinsames Verständnis der Modellierung. Wenn einzelne Tätigkeits-Objekt-Kombinationen aus dem allgemeinen Muster herausstechen, sollten

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

diese nochmals diskutiert und gegebenenfalls umsortiert werden. In der Praxis nicht relevante Mitarbeiterzustände, die z. B. nur wenige Male im Jahr vorkommen, entfallen, um die spätere Datenaufnahme zu vereinfachen.

5. Schritt: Ergänzung von arbeitsaufgabenunabhängigen Zuständen

Nachdem die Mitarbeiterzustände, die bei der Verrichtung von Arbeitsaufgaben auftreten, vollständig beschrieben sind, muss der Anwender die Modellierung um arbeitsaufgabenunabhängige Mitarbeiterzustände erweitern. In den meisten Fällen setzen sich diese Mitarbeiterzustände aus den in Abschnitt 3.1.8 beschriebenen Zuständen, wie z. B. *Pausenzeiten*, *krankheitsbedingten Fehlzeiten* sowie Zeiten für *Urlaub* und *Weiterbildung*, zusammen. Diese können häufig ohne Anpassung übernommen werden. Eventuell ist eine Erweiterung um arbeitsaufgabenunabhängige Besprechungen, wie z. B. eine *wöchentliche allgemeine Besprechung*, notwendig. Ebenfalls sollten weitere Zustände, die Hinweise auf die Vollständigkeit der Modellierung oder die Ergebnisgüte geben, ergänzt werden.

6. Schritt: Ergänzung von weiteren Bedingungsgrößen

Abschließend vergleicht der Anwender die Modellierung mit den gesetzten Zielen. Falls spezifische Fragestellungen nicht mit der vorhandenen Modellierung geklärt werden können, sind zusätzliche Bedingungsgrößen notwendig (s. Abschnitt 3.1.9). Damit die Analyse handhabbar bleibt, sollten Bedingungsgrößen vermieden werden, die eine manuelle und wiederholte Eingabe erfordern.

Modifikation bei wiederholten Analysen

Falls es sich um eine wiederholte Analyse handelt, entfallen diese Schritte und es muss nur überprüft werden, ob die Tätigkeits-Objekt-Matrix weiterhin alle erfassungsrelevanten Mitarbeiterzustände beinhaltet. Dies betrifft insbesondere Objekte, die sich durch ein verändertes Produkt oder veränderten Prozessablauf ergeben.

4.2.6 Festlegung der Datenerhebung

Die Mitarbeiterzustände lassen sich auf verschiedenen Arten erfassen. Die Zielsetzung der Analyse bestimmt, welches Hauptaufnahmeverfahren sich am besten eignet. Wenn den Produktionsverantwortlichen bereits verbesserungsrelevante Arbeitsprozesse bekannt sind oder spezifische Arbeitsabläufe anlassbezogen aufgenommen werden sollen, sind Zeitaufnahmen vorteilhaft. Sie haben eine höhere Aussagewahrscheinlichkeit und gleichzeitig bleibt die zeitliche Reihenfolge der Mitarbeiterzustände erhalten. In den direkten Bereichen nimmt ein externer Beobachter den Arbeitsablauf auf, damit der Mitarbeiter ohne Unterbrechung arbeiten kann. Die Erfassungsart in den indirekten Bereichen ist abhängig von der Bearbeitungsdauer und der Häufigkeit der Unterbrechungen. Handelt es sich um ei-

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

nen kurzen Arbeitsablauf mit schnell wechselnden Mitarbeiterzuständen, sollte ein mit dem Prozess vertrauter Beobachter in Kooperation mit dem Mitarbeiter den Prozess aufnehmen. Wenn die Bearbeitung einen längeren Zeitraum benötigt oder häufig unterbrochen wird, ist der Aufwand für einen Beobachter unverhältnismäßig. Dann nimmt der Mitarbeiter seine Zustände selbst auf. Bei der Analyse eines Bereichs eignet sich für die direkten Fertigungsbereichen am besten ein externer Beobachter, in den indirekten Bereichen sollten die Mitarbeiter selbst ihre Mitarbeiterzustände aufnehmen (s. Abschnitt 4.1.2). Diese Empfehlungen für die Wahl des hauptsächlichen Aufnahmeverfahrens sind in Tabelle 4-4 dargestellt.

Tab. 4-4: Vorgeschlagenes Aufnahmeverfahren bei unterschiedlichen Zielsetzungen

Ziel der Untersuchung	Bereich	vorgeschlagenes Hauptaufnahmeverfahren	Erfassungsart
Analyse eines Arbeitsablaufs	direkt	Zeitaufnahme	externer Beobachter
	indirekt	Zeitaufnahme	involvierter Beobachter oder Selbstaufschreibung
Analyse eines Bereichs (räumlich oder organisatorisch)	direkt	Multimoment-Häufigkeitsverfahren	externer Beobachter
	indirekt	Multimoment-Häufigkeitsverfahren	Selbstaufschreibung

4.2.7 Erfassungsstrategien für Stichprobenverfahren

In Abhängigkeit von der räumlichen und organisatorischen Gestaltung des Untersuchungsbereichs bieten sich unterschiedliche Erfassungsstrategien an, um den Aufnahmearbeit bei dem MMH zu reduzieren. Tabelle 4-5 zeigt die Eignung dieser Erfassungsstrategien für verschiedene Untersuchungsbereiche.

Tab. 4-5: Auswahl von Erfassungsstrategien für unterschiedliche Bereiche

Bereich	Größe	Übersichtlichkeit	Erfassungsstrategie
direkt	klein bis mittel	gut	rundgangbasierte MMH
direkt	groß	gut	mitarbeiterbezogene MMH kombiniert mit Selbstaufschreibung
direkt	groß	schlecht	Zeitaufnahmen als Stichproben für das MMH
indirekt	klein bis groß	schlecht	MMH mit Selbstaufschreibung

Kleine bis mittlere direkte Untersuchungsbereiche

Wenn der Untersuchungsbereich übersichtlich gestaltet ist und die Mitarbeiter leicht aufzufinden sind, bietet sich das klassische Vorgehen des MMH an. Dabei geht der Beobachter auf einem zuvor festgelegten Rundgang durch den gesamten Untersuchungsbereich und nimmt an zuvor festgelegten Beobachtungspunkten die Mitarbeiterzustände auf.

Große übersichtliche direkte Untersuchungsbereiche

Bei großen Untersuchungsbereichen bietet sich eine Definition kleinerer Arbeitsbereiche an. Verlässt ein Mitarbeiter diesen Arbeitsbereich, hinterlässt er per Selbstaufschreibung eine Information über seinen Mitarbeiterzustand, z. B. in Form einer Stecktafel. Der Beobachter kann so bei der Aufnahme diesem Mitarbeiter einen korrekten Zustand zuordnen, auch wenn er ihn nicht persönlich antrifft. Durch die Kombination mit der Selbstaufschreibung wechselt das MMH von einer rundgangbasierten zu einer mitarbeiterbezogenen Erfassungsstrategie.

Große unübersichtliche direkte Untersuchungsbereiche

In unübersichtlichen und großen Untersuchungsbereichen ist der Mitarbeiter häufig nicht aufzufinden. Dies führt entweder zu einem hohen Anteil an nicht erfasseter Zeit und verringert damit die Aussagekraft der Analyse, oder der Aufwand steigt an, weil mehr Rundgänge erforderlich werden. Um dem entgegenzuwirken, kann der Beobachter stichprobenartig Zeiten aufnehmen. Dazu wählt er zufällig einen Mitarbeiter aus und nimmt für einen vorher bestimmten Zeitraum seine Tätigkeiten auf. Dieses Vorgehen wiederholt er anschließend mit weiteren, zufällig ausgewählten Mitarbeitern. Diese Strategie nutzt die Zeit des Beobachters besser aus, da sich seine Gehwege und Suchzeiten nach Mitarbeitern reduzieren. Es ist darauf zu achten, dass die Zeitaufnahmen gleichmäßig über den Erfassungszeitraum erfolgen. Der Anwender stellt so sicher, dass die Aufnahmezeiten repräsentativ für den Betrachtungszeitraum sind.

Indirekte Untersuchungsbereiche

Ein externer Beobachter kann die Mitarbeiterzustände in indirekten Bereichen nicht alleine durch eine Beobachtung aufnehmen. Um die involvierten Mitarbeiter nicht zu stören und gleichzeitig die Qualität der erfassten Daten zu erhöhen, empfiehlt es sich, dass die Mitarbeiter zu zufälligen Zeitpunkten ihren Mitarbeiterzustand selbst erfassen. Das MMH erfolgt somit als Selbstaufschreibung. Es wird empfohlen, eine IT-gestützte Datenerfassung zu verwenden, um sowohl den Aufwandaufwand zu reduzieren als auch möglichen Aufnahmefehler vorzubeugen (s. Abschnitt 4.3.3).

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

4.2.8 Datenerfassung

Nachdem der Anwender die Datenerhebung sowie Erfassungsstrategie festgelegt hat, beginnt die eigentliche Datenerfassung. Um einen Mitarbeiterzustand aufzunehmen, trägt man die beobachtete Tätigkeit und das Objekt – bzw. den Tätigkeits- und Objektcode – sowie ggf. weitere Bedingungsgrößen in einen Aufnahmebogen ein. Unternehmen sollten standardisierte Erfassungsbögen und geeignete Erfassungshilfsmittel einsetzen, um den Erfassungsaufwand zu reduzieren. Dazu bieten sich auch IT-gestützte Lösungen an, die bei der Erfassung in der Regel mögliche Aufnahmefehler reduzieren (s. Abschnitt 4.3). Abbildung 4-4 zeigt beispielhaft einen standardisierten Aufnahmebogen.

Uhrzeit	Objektelement			Tätigkeitselement			ggf. Bedingungsgrößen	Bemerkung
	Kat.	Obj.	Bezeichnung	Kat.	Tät.	Bezeichnung	z. B. Arbeitsaufgabe, Gruppenzugehörigkeit	
8:47	2	3	Zeichnung	1	1	betrachten	...	-
9:12	1	1	Konstrukteur	1	3	sprechen	...	Rückfragen bzgl. Zeichnung
...

12871

Abb. 4-4: Beispiel für einen Datenerfassungsbogen

Es ist möglich, diesen Aufnahmebogen sowohl bei dem MMH als auch bei Zeitaufnahmen zu verwenden. Dabei sind entweder Zeitpunkte vorzugeben (MMH) oder man trägt zu Beginn eines neuen Mitarbeiterzustands die Uhrzeit ein (Zeitaufnahmen). Die Zustandsdauer ergibt sich dann aus der Differenz zur Uhrzeit des nächsten Zustands.

Um die gesamte Mitarbeiterzeit abzubilden, sind neben den Daten aus der Momentaufnahme oder der Zeitaufnahme noch zusätzliche Informationen, wie z. B. Pausenzeiten oder Krankenquoten, notwendig. Diese Informationen liegen häufig in den Betriebsdaten vor und werden in der Regel unternehmensspezifisch erfasst.

4.2.9 Handlungleitfaden für die Einbeziehung weiterer Akteure

Die Akzeptanz der gesamten Methodik ist ein entscheidender Erfolgsfaktor. Eine geringe Akzeptanz kann dazu führen, dass involvierte Akteure die Datenerfassung bewusst oder unbewusst verfälschen oder die Ergebnisse gegen den Widerstand der Mitarbeiter nicht weiter verfolgt werden. Ein strukturiertes Vorgehen fördert die Transparenz und verhindert Missverständnisse. Zusätzlich gibt es drei Maßnahmen um die Akzeptanz durch die Einbindung der Mitarbeiter zu steigern: Eine frühe Klärung der Ziele und Randbedingungen mit den Produktionsverantwortlichen und deren Unterstützung ist wichtig, um die Bedeutung der Analyse zu verdeutlichen. Eine Beteiligung von betroffenen Mitarbeitern bei der Zustandsdefini-

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

tion und die Weiterbildung dieser Mitarbeiter zu Coaches führen zu einer Identifikation und wirken dem Gefühl von Machtlosigkeit gegenüber höheren Hierarchieebenen entgegen. Eine vollständige Transparenz über die aufgenommene Daten und deren Auswertungsergebnisse schafft Vertrauen und motiviert für die weitere Nutzung der Ergebnisse. Die Tabelle 4-6 fasst die Vorgehensweise zusammen und verdeutlicht die Möglichkeiten die Unternehmensmitarbeiter in die Analyse einzubeziehen.

Tab. 4-6: Handlungsleitfaden für die Datenerhebung mit Einbeziehung der Mitarbeiter

Beschreibung	Mitarbeiter
Treffen mit Produktionsverantwortlichen <ul style="list-style-type: none"> • Zieldefinition für Analyse • Definition des Betrachtungsbereichs • Klärung der Kompetenzen • Auswahl der beteiligten Mitarbeiter • Begehung des Betrachtungsbereichs 	Produktionsverantwortlicher
Treffen mit Betriebsrat, BDE- und IT-Verantwortlichen <ul style="list-style-type: none"> • Klärung von betriebsverfassungsrechtlichen Aspekten • Festlegung der Erfassungsstrategie für die Basisdaten • Klärung von IT-Aspekten der Aufnahmewerkzeuge • Information der Mitarbeiter des Betrachtungsbereichs 	Betriebsrat, BDE-Verantwortlicher, IT-Administrator
Workshop mit ausgewählten Mitarbeitern <ul style="list-style-type: none"> • Modellierung der Mitarbeiterzustände • Definition der Bedingungsgrößen 	ausgewählte Mitarbeiter
Ausarbeitung und Detaillierung der Modellierung <ul style="list-style-type: none"> • Ausarbeitung der Tätigkeits-Objekt-Matrizen • Definition der Kriterien von Bedingungsgrößen • Vorbereitung der Aufnahmewerkzeuge 	-
Diskussion der Modellierung und Vorstellung der Aufnahmewerkzeuge <ul style="list-style-type: none"> • Klärung letzter Unstimmigkeiten in der Modellierung • Test der Aufnahmewerkzeuge in der Praxis • Schulung der ausgewählten Mitarbeiter zu Coaches 	Betriebsrat, ausgewählte Mitarbeiter
Präsentation des Vorgehens vor der Belegschaft <ul style="list-style-type: none"> • Vorstellung vor allen beteiligten Mitarbeitern • Ggf. individuelle Schulung jedes Mitarbeiters am Arbeitsplatz (bei Selbstaufschreibung) 	Produktionsverantwortlicher, Betriebsrat, Mitarbeiter
Durchführung der Datenaufnahme <ul style="list-style-type: none"> • Datenerfassung durch Beobachtung oder Selbstaufschreibung • Unterstützung und Information durch Coaches 	Mitarbeiter

4.3 Einsatz moderner IT zur Datenerfassung

4.3.1 Anforderungen an eine Software zur Datenerfassung

In der Serienfertigung ist der Einsatz von mobilen Endgeräten wie Tablet-Computern zur Aufnahme von Arbeitsabläufen üblich. Sowohl spezielle mobile Endgeräte [vgl. Refa16] als auch Applikationen für handelsübliche Tablet-Computer stehen zur Verfügung [vgl. dmco16] [vgl. dMTM16]. Die Aufnahme von Mitarbeiterzuständen mit einer Tätigkeits-Objekt-Beschreibung sowie zusätzlichen Bedingungsgrößen sind jedoch mit keiner der erhältlichen Lösungen möglich. Für die Datenerfassung wurde deshalb eine prototypische Applikation entwickelt, deren Anforderungen nach der ISO 25010:2011 strukturiert sind:

- *Funktionalität (Vollständigkeit, Korrektheit)*: Die Software muss den Anwender unterstützen, Mitarbeiterzustände zu erfassen.
- *Effizienz (Zeitverhalten, Kosteneffizienz)*: Die Software muss den Erfassungsaufwand des Anwenders reduzieren. Damit die Kosten niedrig bleiben, soll die Software mit gängiger Hardware funktionieren.
- *Kompatibilität (Koexistenz, Interoperationalität)*: Da sowohl mehrere Beobachter als auch bei der Selbstaufschreibung mehrere Mitarbeiter gleichzeitig Daten erfassen, muss die Software eine Koexistenz zulassen, d. h. auf mehreren Geräten parallel funktionieren. Die Software soll nur die Erfassung der Daten unterstützen. Die Modellierung der Mitarbeiterzustände, die Auswertung der erfassten Daten und die Verwaltung der bisherigen Ergebnisse ist einfacher auf einem klassischen Computer durchzuführen. Die Software muss daher gängige Schnittstellen bereitstellen und mit plattformunabhängigen Austauschformaten umgehen können.
- *Benutzbarkeit (Verständlichkeit, Erlernbarkeit, Bedienbarkeit, Fehlervermeidung)*: Die Software muss leicht verständlich und einfach erlernbar sein, da in der Regel verschiedene Anwender die Software benutzen. Insbesondere für die Selbstaufschreibung sind Prinzipien zur Fehlervermeidung zu integrieren. Außerdem muss die Software auf mobilen Geräten funktionieren, damit der Anwender diese auf den Rundgängen benutzen kann.
- *Zuverlässigkeit (Reife)*: Die eingesetzte Software muss eine hohe Reife aufweisen, da insbesondere bei der Selbstaufschreibung häufige Abstürze zu Datenverlust, Mehrbelastung und Klärungsbedarf führen.
- *Sicherheit (Vertraulichkeit)*: Die aufgenommenen Daten sind sehr mitarbeiter-spezifisch. Daher muss die Software sicherstellen, dass die Daten vertraulich behandelt werden und die Möglichkeit der Anonymisierung bieten.
- *Wartbarkeit (Wiederverwendbarkeit)*: Die entwickelte Methode hat den Vorteil, dass Analysen ohne großen Vorbereitungsaufwand wiederholt werden können. Die Software sollte die Wiederverwendbarkeit unterstützen.

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

- *Übertragbarkeit (Anpassbarkeit, Austauschbarkeit)*: Da die Arbeitsproduktivität in der gesamten Unikatproduktion analysiert wird, muss die Software einfach an die unterschiedlichen Bereiche anpassbar sein.

Unterschiede im Einsatz der Software

In der Regel erfassen externe Beobachter oder die Mitarbeiter selbst die Mitarbeiterzustände. Um mit einer Software-Lösung beide Einsatzszenarien abzudecken, ist eine mobile Lösung erforderlich. Jedoch zeigten Tests in den indirekten Bereichen, dass eine mobile Lösung mit Tablet-Computern zu einer hohen Aufnahmeverzögerung führt. Die Mitarbeiter können die Eingabeaufforderung leicht ignorieren, da das mobile Endgerät nicht für die Verrichtung der Arbeitsaufgabe benötigt wird. Daher wurde die Software für die Selbstaufschreibung in den indirekten Bereiche für die Verwendung auf einem Desktop-Computer adaptiert und um weitere Funktionalitäten erweitert, um die zusätzlichen Anforderungen an die Sicherheit und Anonymität der Daten zu erfüllen. Der Nachteil, dass die Abwesenheitszeit vom Arbeitsplatz mit diesem Ansatz nur unscharf erfasst werden kann, ist geringer als der Vorteil, dass die Aufnahmeverzögerung vom größten Teil der Aufnahmen geringer ist. Die geringere Aufnahmeverzögerung ergibt sich, da Eingabeaufforderungen auf dem Desktop-Computer kaum ignoriert oder verzögert werden können.

4.3.2 Mobile Endgeräte für die Datenaufnahme mit Beobachtung

Der Beobachter kann mit der entwickelten Software nur die Mitarbeiterzustände erfassen. Die Basisdaten muss er separat bei der Auswertung hinzufügen. Da die Basisdaten in der Regel unternehmensspezifisch erfasst werden, steigert die Fokussierung auf die Mitarbeiterzustände die Bedienbarkeit, da sich dadurch die Anzahl der vorhanden Funktionen und Optionen deutlich reduziert. Gleichzeitig steigt der Aufnahmeaufwand, der hauptsächlich durch die vielen Mitarbeiterzustände erzeugt wird, kaum an, da die Basisdaten nur einmalig erfasst werden. Aus dem gleichen Grund wird auch die vorbereitende Modellierung der Mitarbeiterzustände nicht in der Software abgebildet. Die Integration der Software in den gesamten Prozess erfolgt mit Hilfe von gängigen Austauschformaten und ist in Abbildung 4-5 dargestellt.



Abb. 4-5: Datenübertragung bei der Applikation zur mobilen Datenerfassung

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

Die Modellierung der Mitarbeiterzeit ergibt eine Tätigkeits-Objekt-Matrix, die der Anwender mit Hilfe einer Vorlage in einer Tabellenanwendung (Microsoft Excel) abbildet. Ein Visual-Basic-Makro erzeugt aus dieser Tätigkeits-Objekt-Matrix eine plattformunabhängige Datei in der Extensible Markup Language (XML-Datei), in der alle Tätigkeiten und Objekte, die übergeordneten Kategoriebezeichnungen sowie die gültigen Kombinationen erfasst sind. Der Anwender überträgt anschließend die XML-Datei auf einen oder mehrere Tablet-Computer mit dem freien Betriebssystem Android. Diese XML-Datei dient der Applikation als Mapping, das die Mitarbeiterzustände während der Erfassung bereitstellt. Sollen verschiedenen Bereiche untersucht werden, so kann der Anwender verschiedene Mappings hinterlegen und so auf die bereichsspezifischen Tätigkeits-Objekt-Matrizen zugreifen. Damit ist die Software einfach auf unterschiedliche Bereiche anpassbar.

Es gibt sowohl einen Modus für Multimomentaufnahmen als auch für Zeitaufnahmen. Bei beiden werden zuerst die Tätigkeiten und anschließend das Objekt durch Berührung des Touchscreens ausgewählt. Dabei erfolgt sowohl eine Gültigkeitskontrolle, so dass keine ungültigen Kombinationen angezeigt und ausgewählt werden, als auch eine automatische Zuordnung der Daten zu Zeitpunkten und Aufnahmeorten. Notwendige Daten für die Multimomentaufnahme oder die Prozessaufnahme, wie die Anzahl der Rundgänge und die Beobachtungspunkte oder zusätzliche Kommentare, trägt der Anwender direkt bei der Erfassung mit dem Tablet-Computer ein. Abbildung 4-6 zeigt die Benutzeroberfläche, die durch ihren intuitiven Aufbau einfach zu bedienen ist.

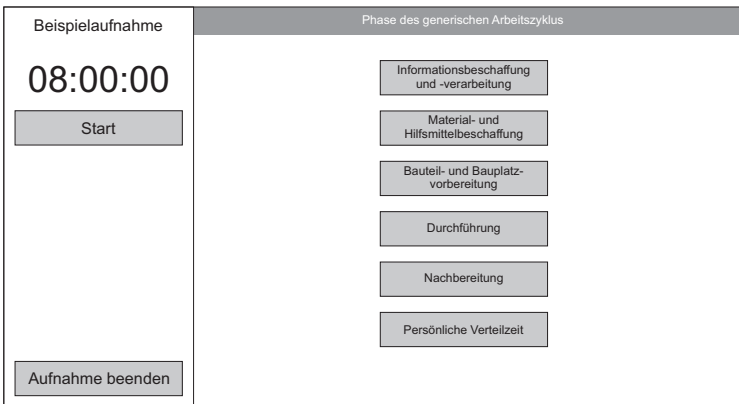


Abb. 4-6: Benutzeroberfläche der Tablet-Applikation zur Erfassung von Mitarbeiterzuständen

Die aufgenommenen Mitarbeiterzustände sowie die dazugehörigen Metadaten wie z. B. Zeitpunkt, Rundgangs- und Beobachtungsnummer werden als Comma-

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

separated-values-Textdatei (CSV-Datei) gespeichert. Die Auswertung erfolgt mit einer Tabellenanwendung (Microsoft Excel), um die Komplexität der Software zur Datenerfassung gering zu halten. Dazu können die Daten über ein Visual-Basic-Makro eingelesen und in Pivot-Tabellen automatisiert ausgewertet werden (s. Abschnitt 5.4). Der Einsatz der vorgestellten Applikation für mobile Endgeräte hat sich in der Unikatproduktion als sinnvoll erwiesen. Weitere Fallstudien haben die Reduzierung des Datenerhebungs- sowie des Auswertungsaufwands gezeigt [vgl. Tiet14].

4.3.3 Aufnahmesoftware für Selbstaufschreibung

Die Selbstaufschreibung wird vor allem in den indirekten Bereichen verwendet, da dort die Mitarbeiter ihre Arbeitsaufgabe vornehmlich an Computer-Arbeitsplätzen verrichten. Um die Aufnahmeverzögerung möglichst gering zu halten, wird daher eine Anwendung am Desktop-Computer, die den aktiven Arbeitsprozess kurzzeitig, aber merklich, unterbricht, verwendet [vgl. Rost15]. Da mehrere Mitarbeiter gleichzeitig ihre Zustände aufnehmen, wird eine zentrale Datenbank, wie in Abbildung 4-7 dargestellt, integriert, um Konsistenzfehler zu vermeiden und den Aufwand eines späteren Zusammenführens zu minimieren.

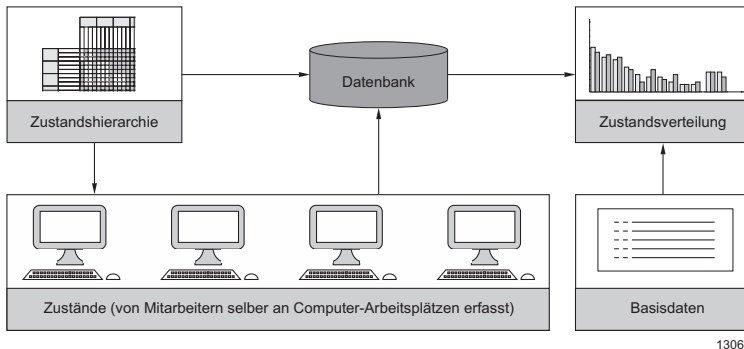


Abb. 4-7: Aufbau der Analyse bei der Selbstaufschreibung

Die Definition der Mitarbeiterzustände erfolgt auch in diesem Anwendungsfall in einer Tabellenanwendung (Microsoft Excel) und wird mit Hilfe eines Visual-Basic-Makros in die Datenbank übertragen. Die Desktop-Anwendung erhält beim Start alle benötigten Daten aus der Datenbank und schreibt direkt die erfassten Zustände mit allen relevanten Metadaten zurück. Diese können wiederum mit einer Tabellenanwendung (Microsoft Excel) ausgewertet werden.

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

Die Anwendung besteht im Wesentlichen aus zwei Fenstern. Einem Hauptfenster zur Verwaltung der Anwendung und einem Aufnahmefenster zum Eingeben des Mitarbeiterzustandes. Wenn die Möglichkeit besteht, sollte die Anwendung beim Start des Computers automatisch starten und das Beenden der Anwendung untersagt werden, um die bezahlte Arbeitszeit möglichst vollständig zu erfassen.

Aufnahmefenster

Die eigentliche Datenerfassung erfolgt in einem Aufnahmefenster, das nur zu zufälligen Zeitpunkten erscheint. Dadurch wird die notwendige Interaktion mit dem Mitarbeiter auf ein Minimum reduziert. Das Aufnahmefenster in Abbildung 4-8 erscheint im Vordergrund vor anderen Prozessen, so dass der Benutzer es sofort bemerkt. Im oberen Bereich des Fensters ist die Uhrzeit des Erscheinens sowie, im Falle längerer Abwesenheit, die Anzahl der danach angefallenen Aufnahmen zu sehen.

The screenshot shows a window titled 'Aufnahmefenster' with the following elements:

- Time: 08:00:00 (2)
- Table with columns: Arbeitsaufgabe, Tätigkeit, Objekt
- Table with rows: Vorgesetzter, Besprechung, technische Zeichner, technische Projektleiter, Konstruktion, Projektmanagement, Projektleiter Elektrik, Einkauf, Arbeitsvorbereitung, Montage, Zulieferer
- Text input field: Kommentar
- Buttons: Montageklärung / mündlich erklären / Vorgesetzter, Ok

12930

Abb. 4-8: Aufnahmefenster der Desktop-Anwendung für eine beispielhafte Selbstaufschreibung (in Anlehnung an [Rost15, S. 35])

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

Nach der initialen Erfassung der nur einmalig aufzunehmenden Bedingungsgrößen (in der Regel Gruppenzugehörigkeit) erfolgt die Aufnahme der Zustände in drei Schritten:

- Auswahl der wiederholt einzugebenden Bedingungsgrößen (in der Regel *Arbeitsaufgabe*)
- Auswahl der Tätigkeit aus der Vorauswahl gemäß Tätigkeits-Objekt-Matrix
- Auswahl des Objektes aus der Vorauswahl gemäß Tätigkeits-Objekt-Matrix

Die Resultate der einzelnen Schritte werden dem Benutzer im unteren Bereich des Fensters angezeigt, so dass er den von ihm gewählten Zustand vollständig sieht. Zusätzlich ist optional ein Kommentar möglich, bevor die Aufnahme abgeschlossen wird. Dann wird in dem jeweiligen Datensatz neben der Aufnahmezeit auch die Eingabezeit hinterlegt.

Hauptfenster

Abbildung 4-9 zeigt das Hauptfenster, das der Mitarbeiter je nach Bedarf aufruft. Es beinhaltet ein Glossar, eine Übersicht der angefallenen und noch nicht beantworteten Zustandsaufnahmen und den Konfigurationsbereich.

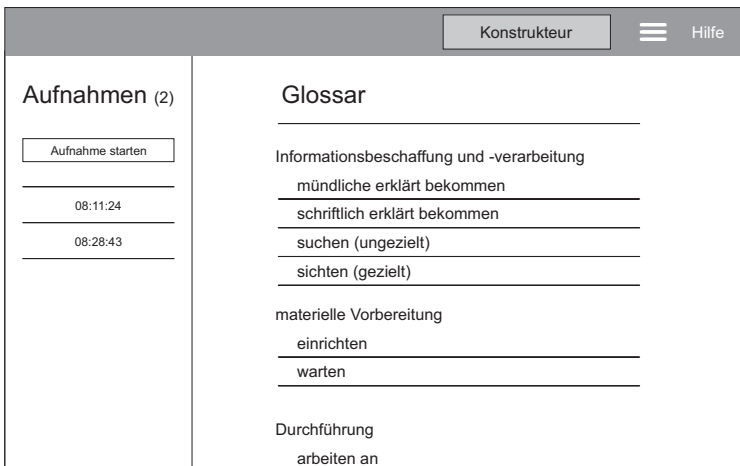


Abb. 4-9: Hauptfenster der Desktop-Anwendung für eine beispielhafte Selbstaufschreibung (in Anlehnung an [Rost15, S. 34])

4. Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

Auch wenn der Mitarbeiter seinen Arbeitsplatz verlässt, sollen trotzdem die Mitarbeiterzustände aufgenommen werden. Die in der Abwesenheitszeit angefallenen Eingabeaufforderungen erscheinen in einer Liste und bei der Rückkehr an ihren Arbeitsplatz kann der Mitarbeiter seine vergangenen Mitarbeiterzustände eintragen oder diese Eingabeaufforderungen als *Entfallen* markieren. Die automatische Erfassung des ursprünglichen Eingabezeitpunkts und der tatsächlichen Eingabezeit erlaubt auch eine spätere Bereinigung der Daten, damit die Korrektheit der Auswertungen gewährleistet ist.

Das Glossar hilft dem Anwender die Modellierung besser zu verstehen. Es verfügt über eine Suchfunktion, um dem Mitarbeiter eine schnelle Navigation zu ermöglichen.

Der Konfigurationsbereich ist für den Mitarbeiter als Endbenutzer nicht zugänglich und dient nur der Anpassung der Anwendung an die Problemstellung. Der Methodenanwender kann hier neben dem zu verwendenden Mapping die Parameter für die Zufallszeiten einstellen. Weiterhin ist die Eingabe der Datenbankadresse erforderlich, um die aufgenommenen Mitarbeiterzustände zentral ablegen zu können.

Berücksichtigung der Sicherheit

Die Installation von Aufnahmesoftware auf Computern, die eindeutig Mitarbeitern zugeordnet sind, erfordert eine besondere Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Fragestellungen. Es muss sichergestellt werden, dass die Mitarbeiterzustände den Mitarbeitern nicht direkt zugeordnet werden können. Gleichzeitig sollte es jedoch möglich sein, die Daten auf fehlerhafte Eingaben zu überprüfen. Diese Anforderungen werden mit zwei Maßnahmen erfüllt:

- *Keine lokale Speicherung*: Auf den Computern der Mitarbeiter werden keine Mitarbeiterzustände gespeichert. Die Eingabe wird direkt in die Datenbank übertragen.
- *Zufällige Signatur*: Um zusammengehörige Aufnahmen zu signieren, wird eine zufällige Signatur berechnet. Die Signatur wechselt täglich, so dass keine Rückschlüsse auf mitarbeiterbezogene Daten möglich sind. Gleichzeitig können Fehlfunktionen oder Manipulationen entdeckt werden.

5 Analyse und Auswertung von Zustandsdaten

Mit den erhobenen Daten erfolgt der zweite Schritt des Produktivitätsmanagementzyklus: die Analyse und Auswertung. Die bei der Zielsetzung bestimmten Bedingungsgrößen werden zunächst auf ihren Einfluss untersucht. Stellt sich eine signifikante Abhängigkeit zwischen den verschiedenen Ausprägungen heraus, so muss die Datenmenge geteilt werden (Abschnitt 5.1). Anschließend lassen sich die verschiedenen Datensätze mit Kennzahlen und Darstellungen auswerten (Abschnitt 5.2). Dabei muss der Anwender stets die Ergebnisgüte und Aussagekraft der Ergebnisse prüfen (Abschnitt 5.3). Eine automatisierte Auswertung mit Software hilft, den Auswertungsaufwand zu reduzieren (Abschnitt 5.4).

5.1 Analyse von Bedingungsgrößen

5.1.1 Einfluss der Bedingungsgrößen

Grundsätzlich kann eine Bedingungsgröße dazu dienen, die erhobenen Daten in Untergruppen zu gliedern. Die Sinnhaftigkeit oder gar Notwendigkeit dieser Untergliederung hängt dabei von der statistischen Abhängigkeit der Bedingungsgröße von der Zielgröße ab. Zur Verdeutlichung zeigt das Beispiel in Abbildung 5-1 die Zielgröße in Form der Verteilung auf die Phasen des generischen Arbeitszyklus (Zyklusverteilung) in Abhängigkeit der Bedingungsgröße *Gruppenzugehörigkeit*.

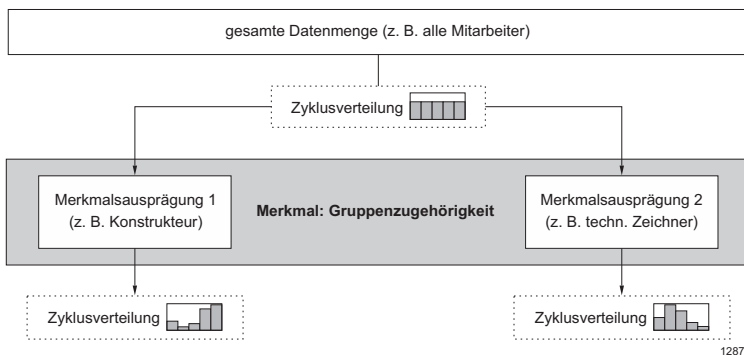


Abb. 5-1: Beispiel für den Einfluss einer Bedingungsgröße auf die Zyklusverteilung (in Anlehnung an [Rost15, S. 28])

Die Verteilung der erfassten Arbeitszeit auf die Phasen des generischen Arbeitszyklus (*Zielgröße*) kann vor der Teilung der Mitarbeitergrundgesamtheit nach Gruppenzugehörigkeit (*Bedingungsgröße*) oder einzeln danach erfolgen. Wenn die

5. Analyse und Auswertung von Zustandsdaten

Gruppenzugehörigkeit statistisch unabhängig von der Zyklusverteilung wäre, käme eine Auswertung vor und eine Auswertung nach der Teilung zu einer annähernd gleichen Häufigkeitsverteilung. In diesem Beispiel sind die beiden Größen jedoch statistisch abhängig und damit liegen den einzelnen Merkmalsausprägungen unterschiedliche Verteilungen zugrunde. Eine vermischte Auswertung kann zu falschen Ergebnissen und somit auch zu falschen Schlussfolgerungen führen. Eine Aggregation der gesamten Daten wäre daher zwar möglich, die Aussagekraft wäre jedoch begrenzt.

Vorgehen zur Analyse von Bedingungsgrößen

Die Analyse der Daten dient zur Vorbereitung einer sinnvollen Aggregation und Auswertung. Grundsätzlich geschieht diese Analyse in zwei Schritten:

1. Schritt: Bewertung des Einflusses der Bedingungsgröße
2. Schritt: Berechnung des Vertrauensbereichs der separierten Daten

Beide Schritte dienen dazu, den möglichen Aggregationsbereich nach der in Abbildung 5-2 dargestellten Überlegung festzulegen.

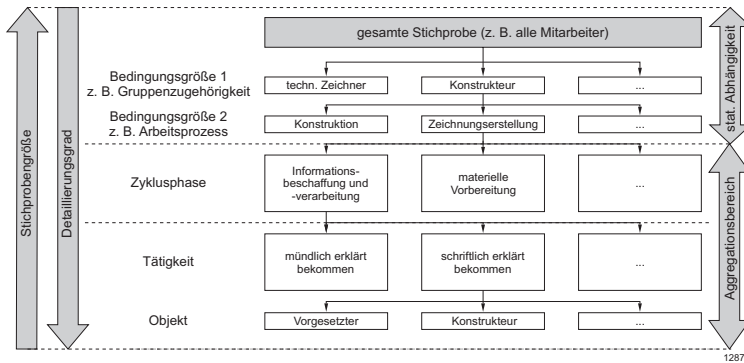


Abb. 5-2: Einschränkung des Aggregationsbereichs bei Stichprobenverfahren (in Anlehnung an [Rost15, S. 27])

Wenn der Anwender die Daten mit einem zu geringen Detaillierungsgrad aggregiert, können sich statistische voneinander abhängige Bedingungsgrößen vermengen. Dadurch könnte es zu einer fehlerhaften Deutung der Ergebnisse kommen. Der erste Schritt dient daher der Festlegung der minimal nötigen Detailtiefe bei der Aggregation. Wenn der Anwender die Detailtiefe zu fein wählt, wird die separierte Stichprobe zu klein. Dadurch unterliegen die ermittelten Zustandsanteile einem zu großen Vertrauensbereich und die Aussagekraft ist gering.

1. Schritt: Bewertung des Einflusses der Bedingungsgröße

Da die vorliegenden Daten in der Regel nominalskaliert sind, wendet man den Chi-Quadrat-Test für die Bewertung der statistischen Abhängigkeiten von Bedingungsgrößen an [Bort10, S. 137ff.] [vgl. Pear00]. Der Test überprüft die Nullhypothese, dass zwei nominalskalierte Merkmale statistisch voneinander unabhängig sind [Fahr07, S. 462]. Dazu vergleicht er die tatsächlich aufgetretene Häufigkeitsverteilung mit der aus dem Stichprobenumfang erwarteten Verteilung. Die Bewertung der Nullhypothese kann vereinfacht über die standardisierten Residuen erfolgen. Diese ergeben sich, wie Formel 5-1 zeigt, wenn man die Differenz des erwarteten und des aufgetretenen Zustandsanteils quadriert und durch den erwarteten Zustandsanteil normiert.

$$Res_{stand} = \frac{(ZA_{erw} - ZA_{beo})^2}{ZA_{erw}} \quad (5-1)$$

Res_{stand} : standardisierte Differenz zwischen aufgetretener und erwarteter Häufigkeitsverteilung [-]

ZA_{erw} : erwarteter Zustandsanteil [%]

ZA_{beo} : beobachteter Zustandsanteil [%]

Nach einer gängigen Praxis der statistischen Datenanalyse zeigt ein standardisiertes Residuum von zwei oder größer eine signifikante Abweichung der beobachteten von der erwarteten Häufigkeit an, so dass die Nullhypothese verworfen werden muss [Bühl08, S. 266]. Eine genauere Aussage kann mit Hilfe des Signifikanzniveaus α erfolgen. Dieses gibt die Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art an, d. h. die Nullhypothese wird fälschlicherweise abgelehnt. Liefert ein Signifikanztest einen Wert für $p \leq \alpha$ so gilt es, die Nullhypothese zu verwerfen und die Alternativhypothese anzunehmen [Fahr07, S. 415ff.].

Neben dem Signifikanzniveau ist der Chi-Quadrat-Wert nach *Pearson* ein wichtiger Parameter des Chi-Quadrat-Tests [vgl. Pear00]. Dieser Wert stellt die Summe der standardisierten Residuen dar, die über alle Felder einer Kreuztabelle gebildet wird [Bühl08, S. 247ff.]. Er quantifiziert damit die Summe der Abweichungen der aufgetretenen Häufigkeit in Relation zur erwarteten Häufigkeit einer jeden Kombination aus Bedingungsgröße und Zielgröße. Dieser Wert kann dazu dienen, zwei unterschiedliche Bedingungsgrößen, die einen signifikanten Einfluss auf dieselbe Zielgröße haben, miteinander zu vergleichen. Die Bedingungsgröße mit dem größeren Chi-Quadrat-Wert nach *Pearson* hat den höheren Einfluss auf die Häufigkeitsverteilung. Um dieses Vorgehen zu verdeutlichen, zeigt Tabelle 5-1 ein Beispiel.

5. Analyse und Auswertung von Zustandsdaten

Tab. 5-1: Beispiel für die Auswertung des Einflusses von Bedingungsgrößen

Merkmalsausprägung der Bedingungsgröße	Gruppenzugehörigkeit		Arbeitsaufgabe		
	Konstrukteure	technische Zeichner	Projektmanagement	Entwicklung	Zeichnungsableitung
beobachteter Zustandsanteil der Durchführungstätigkeiten ($Z_{A_{\text{beo}}}$)	15%	30%	12%	15%	35%
erwarteter Zustandsanteil der Durchführungstätigkeiten ($Z_{A_{\text{erw}}}$)*	20%				
standardisierte Residuen	1,25	5,0	3,2	1,3	11,3
Summe der standardisierten Residuen (Chi-Quadrat-Wert)	<u>6,25</u>		<u>15,8</u>		

*Bemerkung: entspricht dem Anteil der Durchführungstätigkeiten an der Gesamtstichprobe

Es soll überprüft werden, ob die Bedingungsgrößen *Gruppenzugehörigkeit* und *Arbeitsaufgabe* einen statistischen Einfluss auf den Zeitanteil der Durchführungsphase haben. Über die gesamte Stichprobe hinweg ergibt sich ein Anteil der Durchführungstätigkeiten von 20%. Dieser Wert wird bei einer statistischen Unabhängigkeit auch erwartet, wenn man die gesamte Stichprobe nach den relevanten Ausprägungen der Bedingungsgrößen teilt. Im Beispiel haben die Durchführungstätigkeiten der *Konstrukteure* einen beobachteten Zeitanteil von nur 15%. Mit diesen Werten bildet man nun die standardisierten Residuen und erkennt, dass sowohl bei der Bedingungsgröße *Gruppenzugehörigkeit* als auch bei der Bedingungsgröße *Arbeitsaufgabe* mehrere Residuen größer als zwei sind. Die Nullhypothese wird daher verworfen und es ist sinnvoll, die gesamte Stichprobe nach beiden Bedingungsgrößen zu teilen und separat auszuwerten. Um einen Hinweis darauf zu erhalten, welche der beiden Bedingungsgrößen einen größeren Einfluss hat, bildet man die Summe der Residuen, um den Chi-Quadrat-Wert nach *Pearson* zu erhalten. Im Beispiel ist ersichtlich, dass die *Arbeitsaufgabe* mit 15,8 einen größeren Einfluss auf den Anteil der Durchführungstätigkeiten hat.

2. Schritt: Berechnung des Vertrauensbereichs der separierten Daten

Durch das Teilen der Gesamtstichprobe nach relevanten Bedingungsgrößen entstehen Teilstichproben kleineren Umfangs. Der Anwender sollte die Aussagekraft dieser separierten Daten dementsprechend überprüfen. Die Auswirkungen der Teilung kann man in der Regel zuvor nur schätzen. Nach der Teilung kann diese durch Umstellen der Formel zur Berechnung der Stichprobengröße (Formel 2-2) nach dem Vertrauensbereich geschehen (Formel 5-2).

$$e = z \cdot \sqrt{\frac{y \cdot (1 - y)}{N}} \quad (5-2)$$

- e* : geforderter Vertrauensbereich
z : *z*-Wert der Aussagewahrscheinlichkeit (1,96 bei einer Aussagewahrscheinlichkeit von 95%)
y : Prozentanteil des interessierenden Zustands
N : Stichprobenumfang

Durch die Vorgabe der Aussagewahrscheinlichkeit kann zu jeder Häufigkeitsverteilung der maximal auftretende Vertrauensbereich berechnet werden. Liegt dieser oberhalb des definierten Schwellwertes (hier $e_{\max} = 2,5\%$) ist die Verteilung eher als eine Tendenz zu verstehen.

5.1.2 Relevante Kombinationen von Bedingungsgrößen

Hat sich der Einfluss einer oder mehrere Bedingungsgrößen gemäß des vorangegangenen Abschnitts als signifikant erwiesen, gilt es, die Daten gemäß dieser Bedingungsgrößen zu teilen. Die Komplexität der Auswertung steigt dabei mit der Anzahl relevanter Bedingungsgrößen. Zudem ist zu untersuchen, welche Kombinationen von Bedingungsgrößen besonders relevant sind. Die Darstellung von relevanten Bedingungsgrößen kann bei zwei Größen mit Hilfe einer Kreuztabelle geschehen [Bühl, S. 247ff.]. Wenn man die relativen Häufigkeiten beider Bedingungsgrößen kombiniert, entsteht ein guter Überblick über relevante Bereiche. Tabelle 5-2 verdeutlicht dieses Vorgehen.

Tab. 5-2: Anteil an der Gesamtstichprobe bei Kombination von zwei Bedingungsgrößen

Merkmalsausprägung von Bedingungsgröße <i>Arbeitsaufgabe</i>	Merkmalsausprägung von Bedingungsgröße <i>Gruppenzugehörigkeit</i>		
	Konstrukteure	technische Zeichner	Summe
Projektmanagement	14,2%	11,6%	<u>25,8%</u>
Entwicklung	24,8%	20,3%	<u>45,1%</u>
Zeichnungsableitung	16,0%	13,1%	<u>29,1%</u>
Summe	<u>55,0%</u>	<u>45,0%</u>	<u>100%</u>

5. Analyse und Auswertung von Zustandsdaten

Den größten Anteil an der Gesamtstichproben haben die *Konstrukteure* mit 55% sowie die Arbeitsaufgabe *Entwicklung* (45,1%). Die Kombination von beiden ist für ein Viertel der betrachteten Arbeitszeit verantwortlich, so dass dieses Feld besonders relevant erscheint.

Wenn der Anwender die Kombinationen von Bedingungsgrößen detaillierter auswerten möchte, gilt es, die statistische Aussagekraft zu überprüfen. Die Überprüfung kann hierbei mit Hilfe des Vertrauensbereichs (Formel 2-2) erfolgen. Tabelle 5-3 gibt die Vertrauensbereiche für die Kombinationen beider Bedingungsgrößen für das Beispiel an. Es ist ersichtlich, dass die gesamte Stichprobe mit $\pm 1,8\%$ den engsten Vertrauensbereich aufweist. Werden nur die *Konstrukteure* betrachtet, ergibt sich ein Vertrauensbereich von $\pm 2,4\%$. Eine Teilung der Stichprobe nach beiden Bedingungsgrößen ergibt bei den *Konstrukteuren* mit der *Arbeitsaufgabe Entwicklung* den in diesem Fall engsten Vertrauensbereich mit $\pm 3,5\%$.

Tab. 5-3: Vertrauensbereich bei Kombinationen von Bedingungsgrößen

Merkmalsausprägung von Bedingungsgröße <i>Arbeitsaufgabe</i>	Merkmalsausprägung von Bedingungsgröße <i>Gruppenzugehörigkeit</i>		
	Konstrukteure	technische Zeichner	gesamt
Projektmanagement	$\pm 4,7\%$	$\pm 5,2\%$	$\pm 3,5\%$
Entwicklung	$\pm 3,5\%$	$\pm 3,9\%$	$\pm 2,6\%$
Zeichnungsableitung	$\pm 4,4\%$	$\pm 4,9\%$	$\pm 3,3\%$
gesamt	$\pm 2,4\%$	$\pm 2,6\%$	$\pm 1,8\%$

Wenn der erzielbare Vertrauensbereich bei der Kombination von zwei Bedingungsgrößen zu groß ist, muss der Anwender abwägen, ob die Aggregation über nur eine Bedingungsgröße erfolgen soll. Auf der einen Seite wird dadurch der Einfluss einer Bedingungsgröße ignoriert, auf der anderen Seite kann der deutlich kleinere Vertrauensbereich diesen Nachteil aufwiegen. Diese Entscheidung sollte zusammen mit den Produktionsverantwortlichen getroffen werden.

Zwischen Relevanz und maximalem Vertrauensbereich entsteht hierbei eine Korrelation, da eine große Häufigkeit eine hohe Relevanz bedeutet, die damit verbundene hohe Stichprobengröße jedoch auch zu einem niedrigen maximalen Vertrauensbereich führt. Diese Tatsache ist vorteilhaft, da die relevantesten Kombinationen in der Regel das größte Optimierungspotenzial bieten und sich aufgrund des hohen Vertrauensbereiches für Analysen eignen. Muss der Anwender dennoch zwischen mehreren relevanten Bedingungsgrößen entscheiden, so hilft der Chi-

Quadrat-Wert als Summe aller standardisierten Residuen bei der Bestimmung der Bedingungsgröße mit dem geringsten Einfluss. Je kleiner dieser ist, desto geringer ist der Einfluss der Bedingungsgröße.

5.2 Auswertung der Zustandsdaten

5.2.1 Kennzahlen

Der Mitarbeiterzustandsanteil und die -dauer sind die zentralen Kennzahlen für die Auswertung und wurden bereits bei der Modellierung der Mitarbeiterzeit in Abschnitt 3.2.4 eingeführt. Sie liefern wertvolle Hinweise für die Priorisierung handlungsrelevanter Zustände. Dabei könnten die Produktionsverantwortlichen zum einen die Mitarbeiterzustände mit dem größten Anteil betrachten, da sich hier ein hohes Potenzial verbirgt. Zum anderen können gezielt nicht wertschöpfende Zustände mit geringeren Anteilen reduziert oder eliminiert werden.

Neben dem Mitarbeiterzustandsanteil ist vor allem die Aggregation zu den Phasen des generischen Arbeitszyklus von besonderer Bedeutung, die sich nach der Formel 3-6 ergibt. Dabei summiert der Anwender alle Zustandsanteile von Tätigkeiten auf, die derselben Tätigkeitskategorie zugeordnet sind.

Wenn bei der Analyse mehrere Bedingungsgrößen als relevant identifiziert werden, ist es sinnvoll, die gesamte Stichprobe danach zu separieren. Der Anwender kann in diesem Fall entscheiden, ob er als Bezugsgröße für die Zustandsanteile entweder die gesamte Stichprobe oder die separierte Stichprobe heranzieht:

- *Gesamte Stichprobe als Bezugsgröße:* Die Einordnung des Mitarbeiteranteils in den Kontext der gesamten bezahlten Arbeitszeit bleibt erhalten. Dieses Vorgehen unterstützt die Konzentration auf die größten Zeitanteile.
- *Separierte Stichprobe als Bezugsgröße:* Die Analyse einer separierten Stichprobe ist in diesem Fall intuitiver, da die Unterschiede zwischen den einzelnen Mitarbeiterzuständen größer ausfallen.

5.2.2 Darstellungen von Analysen

Für die Darstellung von Zustandsverteilungen gibt es mehrere Varianten. Im einfachsten Anwendungsfall wird nur eine Aufnahme ausgewertet. Wenn der Anwender jedoch eine umfassende Produktivitätsanalyse mit mehreren Bereichen oder zusätzlichen Bedingungsgrößen durchführt, kann er vergleichende Auswertungen erstellen. Zum einen ist der Vergleich von Zustandsanteilen und Kennzahlen möglich, um weitere Rückschlüsse auf Produktivitätsverluste zu ziehen. Zum anderen können gezielt Bereiche oder Situationen, welche durch eine Bedingungsgröße beschrieben ist, ausgewählt werden. Letztlich ist zwar ein Vergleich auf der Ebene der Kategorien und damit vor allem der Verteilung auf die Phasen des generischen

5. Analyse und Auswertung von Zustandsdaten

Arbeitszyklus immer möglich; ideale Voraussetzungen liegen aber dann vor, wenn jede relevante Modellierung mit der standardisierten Tätigkeits- und Objekthierarchie erfolgt. So ist auch ein Vergleich der einzelnen Tätigkeiten und – bei Verwendung eines gemeinsamen Objektkatalogs – sogar ein Vergleich der einzelnen Mitarbeiterzustände möglich. Tabelle 5-4 fasst die Eignung ausgewählter Darstellungsformen für unterschiedliche Arten zusammen.

Tab. 5-4: Eignung von Darstellungsformen für unterschiedliche Auswertungen

Darstellungsform	Auswertung von ...		Vergleich von ...	
	wenigen aggregierten Daten	mehreren nicht-aggregierten Daten	wenigen Ausprägungen	mehreren Ausprägungen
Kreisdiagramme	gut	mittel	gering	gering
Balkendiagramme	gut	mittel	gut	gut
Ranglisten	mittel	gut	gering	gering
Kreuztabellen	nicht möglich	nicht möglich	gut	gut

Kreisdiagramme

Ein Kreisdiagramm ist besonders geeignet, um den Bezug zur bezahlten Arbeitszeit herzustellen. Dabei sind wenige Kategorien wie z. B. die Phasen des generischen Arbeitszyklus sinnvoll, da ansonsten die Übersichtlichkeit verloren geht. Die Filterung mit Bedingungsgrößen wird ebenfalls gut visualisiert, so dass man weiterhin einen Eindruck vom Gesamteinfluss behält. Abbildung 5-3 zeigt eine beispielhafte Auswertung mit einem Kreisdiagramm.

Insgesamt sind drei Arbeitsaufgaben erkennbar: *Zeichnungsableitung* mit 29%, *Projektmanagement* mit 25,8% und *Entwicklung* mit 45,2%. Um eine gute Übersichtlichkeit zu gewährleisten, wird nur die Arbeitsaufgabe *Entwicklung*, da sie den größten Anteil darstellt, mit den einzelnen Phasen des generischen Arbeitszyklus weiter detailliert. Die Anteile beziehen sich auf die gesamte Grundgesamtheit, um die Verhältnismäßigkeit mit den anderen Arbeitsaufgaben darzustellen.

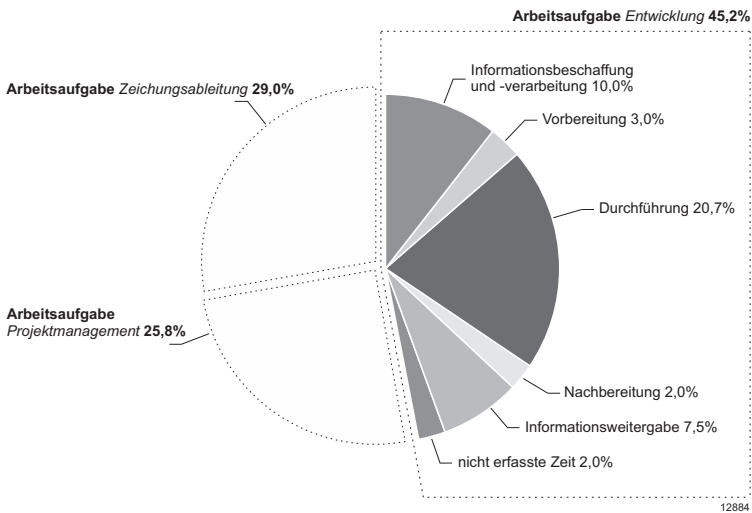


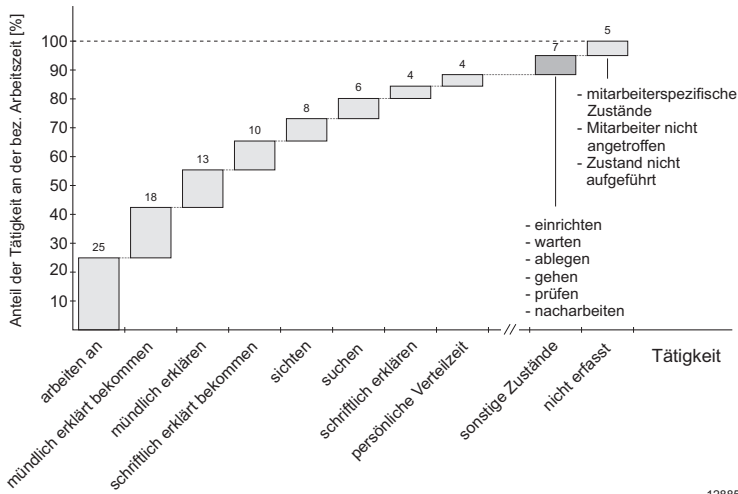
Abb. 5-3: Beispiel für ein Kreisdiagramm mit Zyklusverteilung für eine Arbeitsaufgabe

Balkendiagramm

Für die Visualisierung von nicht-aggregierten Häufigkeitsverteilungen wie zum Beispiel Tätigkeiten wird ein Kreisdiagramm schnell unübersichtlich. Hier ist die Verwendung von Balkendiagrammen zweckmäßiger, da sie die Rangfolge der Tätigkeitsanteile betont. Abbildung 5-4 stellt eine Rangfolge der Tätigkeiten in einem Balkendiagramm dar. Der Anwender muss dabei verdeutlichen, ob sich die Anteile auf die gesamte oder eine separierte Datenmenge beziehen.

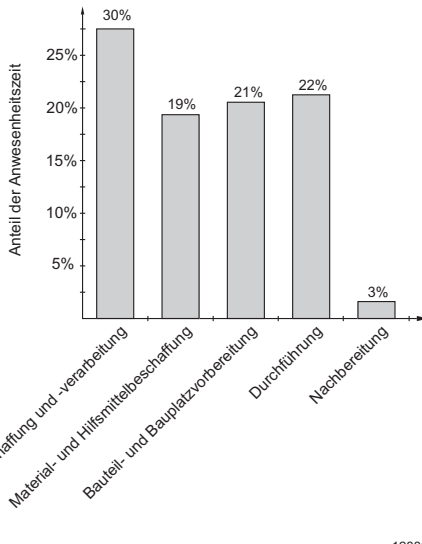
Besonders plakativ lässt sich die Verteilung der Arbeitszeit auf die Phasen des generischen Arbeitszyklus mit dem Balkendiagramm darstellen. Insbesondere Produktionsverantwortlichen von mehreren Bereichen ist es somit möglich, relevante Handlungsfelder und deren Bedeutung zu erkennen. Als Beispiel für diesen Sachverhalt zeigt Abbildung 5-5 die Verteilung auf die Phasen des generischen Arbeitszyklus mit gemittelten Werten aus zwölf schiffbaulichen Bereichen.

5. Analyse und Auswertung von Zustandsdaten



12885

Abb. 5-4: Beispiel für ein Balkendiagramm mit Tätigkeiten

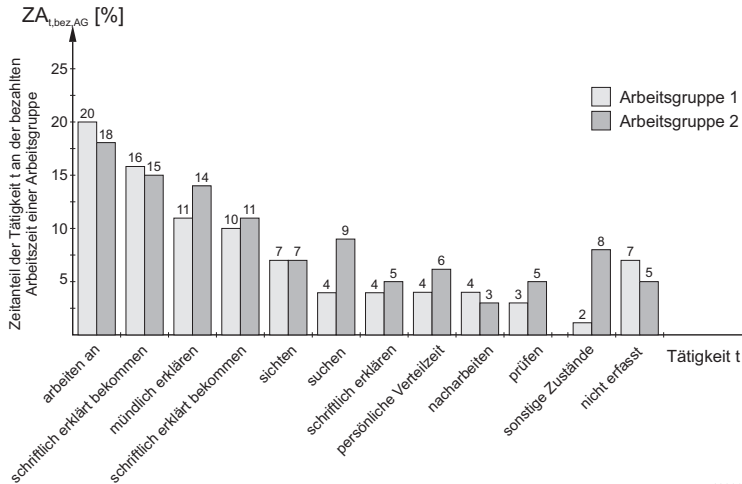


12886

Abb. 5-5: Verteilung auf die Phasen des generischen Arbeitszyklus am Beispiel von zwölf schiffbaulichen Bereichen (nicht erfasste Zeit 5%) [Tiet14, S. 3]

5. Analyse und Auswertung von Zustandsdaten

Auch einfache Vergleiche von wenigen Bereichen oder Ausprägungen von Bedingungsgrößen lassen sich am besten mit einem Balkendiagramm visualisieren. In Abbildung 5-6 ist die Rangliste der Tätigkeiten von zwei Ausprägungen einer Bedingungsgröße *Arbeitsgruppe* beispielhaft in einem Balkendiagramm aufgetragen.








12888

Abb. 5-6: Vergleich von Tätigkeiten bei unterschiedlichen Gruppen

Ranglisten

Die hohe Anzahl von Mitarbeiterzuständen mit gültigen Tätigkeits-Objekt-Kombinationen würde zu einer unübersichtlichen Darstellung in einem Kreis- oder Balkendiagrammen führen. Dabei ist es sinnvoll, die vollständige Liste aller Mitarbeiterzustände auszuwerten. Auf der einen Seite können Verbesserungsmaßnahmen für Mitarbeiterzustände mit hohen Anteilen einen relativ großen Effekt auf die Produktivität im Betrachtungsbereich haben. Auf der anderen Seite treten durchaus Mitarbeiterzustände auf, welche zwar einen niedrigen Anteil an der bezahlten Arbeitszeit einnehmen, aber mit einfachen Mitteln zu reduzieren sind. Ranglisten bieten sich dafür aufgrund ihrer einfachen Erstellung an. Die Verbindung mit einem Balkendiagramm ist sinnvoll, um die Relevanz eines Mitarbeiterzustands zu verdeutlichen. Abbildung 5-7 zeigt einen Auszug aus einer Rangliste.

5. Analyse und Auswertung von Zustandsdaten

Rangliste der Mitarbeiterzustände					
maximaler Vertrauensbereich: ±1,44%					
Rang	Mitarbeiterzustand	Phase	rel. Anteil	ges. Anteil	Größenordnung
1	arbeiten an CAD-Modell	III	55%	34%	
2	mündlich erklären einem Konstrukteur	I	10%	6%	
3	mündlich erklärt bekommen von Vorgesetztem	V	8%	5%	
4	sichten externe Informationssammlung	I	7%	4%	
5	warten auf CAD-Programm	II	4%	2%	
...
Gesamtergebnis			100%	62%	

12887

Abb. 5-7: Auszug aus der Rangliste von Mitarbeiterzuständen

Neben der Angabe des relativen Anteils (nach Teilung der Datenmenge gemäß Bedingungsgrößen) ist auch der Gesamtanteil dargestellt. Zusätzlich ist der zugrundeliegende Vertrauensbereich angegeben, um keine Scheingenauigkeit vorzugeben. Wenn in der Rangliste eine separierte Datenmenge ausgewertet wird, ist als Zusatzinformation die Berechnung der Spaltensummen sinnvoll. Diese erleichtert es dem Anwender, die Größenordnung im Verhältnis zur gesamten bezahlten Arbeitszeit im Betrachtungsbereich mit zu berücksichtigen.

Kreuztabellen

Haben sich mehrere Bedingungsgrößen als statistisch relevant erwiesen (s. Abschnitt 5.1), kann der Anwender mit Hilfe von Kreuztabellen einen Gesamteindruck über die Einflüsse der Bedingungsgrößen erhalten. Dazu werden alle Anteile, die man bei der Berücksichtigung der Ausprägungen der jeweiligen Bedingungsgröße erhält, integriert. Hierbei ist jedoch auf die Angabe der Bezugsgröße für Prozentwerte zu achten, da andernfalls ein falscher Eindruck von den Anteilen entsteht. Abbildung 5-8 zeigt diese Integration, wobei sich die Prozentwerte jeweils auf die Kombination der beiden Bedingungsgrößen beziehen.

5. Analyse und Auswertung von Zustandsdaten

		Merkmalsausprägung von Bedingungsgröße <i>Gruppenzugehörigkeit</i>					
		Konstrukteure		technische Zeichner		gesamt	
Merkmalsausprägung von Bedingungsgröße <i>Arbeitsaufgabe</i>	Projektmanagement	Relevanz: 14,2% Vertrauensbereich: ±4,7%		Relevanz: 11,6% Vertrauensbereich: ±5,2%		Relevanz: 25,8% Vertrauensbereich: ±3,5%	
	Kategorie 1	31,1%		30,3%		30,7%	
	Kategorie 2	1,0%		15,7%		7,6%	
	Kategorie 3	12,6%		39,9%		24,9%	
	Kategorie 4	4,9%		1,7%		3,5%	
	Kategorie 5	43,7%		9,6%		28,4%	
	Kategorie 6	6,8%		2,8%		5,0%	
	Entwicklung	Relevanz: 24,8% Vertrauensbereich: ±3,5%		Relevanz: 20,3% Vertrauensbereich: ±3,9%		Relevanz: 45,2% Vertrauensbereich: ±2,6%	
	Kategorie 1	19,0%		17,1%		18,1%	
	Kategorie 2	4,2%		6,7%		5,3%	
	Kategorie 3	53,8%		56,0%		54,8%	
	Kategorie 4	4,5%		5,8%		5,1%	
	Kategorie 5	16,7%		13,3%		15,2%	
	Kategorie 6	1,7%		1,2%		1,5%	
	Zeichnungsableitung	Relevanz: 16,0% Vertrauensbereich: ±4,4%		Relevanz: 13,1% Vertrauensbereich: ±4,9%		Relevanz: 29,0% Vertrauensbereich: ±3,3%	
	Kategorie 1	28,4%		27,3%		27,9%	
	Kategorie 2	0%		0%		0%	
	Kategorie 3	2,1%		0%		1,2%	
	Kategorie 4	1,1%		9,1%		4,7%	
	Kategorie 5	65,3%		54,6%		60,5%	
Kategorie 6	3,2%		9,1%		5,9%		

12896

Abb. 5-8: Kreuztabelle für die Auswertung von mehreren Bedingungsgrößen (in Anlehnung an [Rost15, S. 32])

5.3 Beurteilung der Ergebnisgüte

Die Ergebnisgüte kann mit zwei Instrumenten bewertet werden.

Statistische Aussagewahrscheinlichkeit

Es hat sich gezeigt, dass in der Unikatproduktion in der Regel das MMH angewendet wird, da es die Analyse der häufig großen Bereiche mit unterschiedlichen Arbeitsabläufen ermöglicht. In diesem Fall ist mit den in Abschnitt 2.3.2 vorgestellten Vertrauensbereich und der Aussagewahrscheinlichkeit ein Instrument vorhanden, um die Ergebnisgüte zu beurteilen. Es wird auch bei der Analyse von relevanten Bedingungsgrößen angewendet (s. Abschnitt 5.1.2).

Die Verwendung von reduzierten Zeitaufnahmen ist in der Unikatproduktion eher unüblich. Daher sind deren Ergebnisse weniger als eine belastbare Beschreibung

der Ist-Situation, sondern vielmehr als die Darstellung einer Tendenz zu verstehen. Für den Fall, dass reduzierte Zeitaufnahmen doch ein Hauptbestandteil der Datenaufnahme sind, können die statistischen Überlegungen von Czumanski aus der Serienfertigung angewendet werden [Czum13, S. 93ff.].

Bewertung des Abdeckungsgrades

Um die Aussagekraft der Analyse zu bewerten, ist es sinnvoll, den Abdeckungsgrad zu ermitteln. Der Abdeckungsgrad gibt an, wieviel Prozent der bezahlten Arbeitszeit mit der Analysemethodik erfasst werden konnten (s. Formel 5-1) [Czum13, S. 56].

$$AG_b = \frac{Z_{erf,kum,b}}{Z_{bez,b}} \cdot 100\% = \frac{\sum_{i=1}^l (Z_{i,kum,b}) + Z_{EZ,kum,b}}{Z_{bez,b}} \cdot 100\% \quad (5-1)$$

AG_b	:	Abdeckung der bezahlten Arbeitszeit in Bereich b [%]
$Z_{erf,kum,b}$	:	kumulierte Dauer der erfassten Arbeitszeit in Bereich b [Std.]
$Z_{bez,b}$	:	bezahlte Arbeitszeit in Bereich b [Std.]
$Z_{i,kum,b}$	:	kumulierte Dauer des Mitarbeiterzustands i in Bereich b [Std.]
l	:	Anzahl der verschiedenen Mitarbeiterzustände i
$Z_{EZ,kum,b}$	:	kumulierte Dauer der Einzelereignisse in Bereich b [Std.]

Ein hoher Abdeckungsgrad wird erreicht, indem man die nicht erfassten Zeiteile möglichst gering hält. Dazu sind eine möglichst vollständige Modellierung der bezahlten Arbeitszeit und die Erfassung aller Mitarbeiterzustände notwendig. Die restliche nicht erfasste Arbeitszeit ergibt aus den folgenden Bestandteilen:

- Nicht erfasste Abwesenheitszeit (vor allem unregelmäßige Zustände)
- Nicht erfasste Anwesenheitszeit im Betrachtungsbereich
 - Mitarbeiterzustand vergessen (relevant bei der Selbstaufschreibung)
 - Mitarbeiter nicht angetroffen (relevant bei der Fremdbeobachtung)
 - Mitarbeiterzustand nicht aufgeführt durch unvollständige Modellierung

Eine eindeutige Zuordnung zu den genannten Gründen ist häufig nicht möglich, so dass der Anwender alle Möglichkeiten bei der Interpretation der Ergebnisse in Erwägung ziehen muss.

5. Analyse und Auswertung von Zustandsdaten

Aus den Einflüssen auf den Abdeckungsgrad lassen sich Idealbedingungen für die Analysemethodik ableiten. Die idealen Voraussetzungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Verhältnisse im Untersuchungszeitraum dürfen sich nicht von den typischen Verhältnissen unterscheiden.
- Im Betrachtungszeitraum ist die eingesetzte Personalkapazität konstant.
- Mitarbeiter sind immer im Untersuchungsbereich aufzufinden.
- Alle auftretenden Mitarbeiterzustände sind definiert.
- Mitarbeiterzustände sind eindeutig zu erkennen.

In der Praxis sind diese Voraussetzungen in der Regel nicht voll erfüllt, so dass ein Abdeckungsgrad von mehr als 95% nur selten erreicht wird.

5.4 Software-Demonstrator für die automatisierte Auswertung

Die mögliche Komplexität der Modellierung und die hohe Anzahl der Aggregatenebenen führen zu einem hohen Auswertungsaufwand. Wie bei der Datenaufnahme soll eine Software den Auswertungsaufwand reduzieren. Die IT-gestützte Auswertung unterstützt zudem die standardisierte, reproduzierbare Auswertung. Ein weiterer Grund für die Verwendung einer solchen Anwendung ist die Bereitstellung sämtlicher Informationen an die Produktionsverantwortlichen des Bereiches. In gemeinsamen Treffen mit involvierten und erfahrenen Mitarbeitern kann somit auf die gesamte Datenbasis zugegriffen werden und einzelne Aspekte können ohne zusätzlichen Aufwand detailliert analysiert werden.

Eine praktikable Lösung für ein solches Auswertungstool kann mit Hilfe einer Tabellenanwendung mit Pivot-Funktion (beispielsweise Microsoft Excel) erreicht werden. Die Aufnahmedaten werden mit Hilfe einer Erweiterung direkt aus der Datenbank bezogen. Dadurch sind auch Zwischenauswertungen während der Datenaufnahme in Echtzeit möglich. Tabellenkalkulationen finden heutzutage in jedem Unternehmen Anwendung, sodass viele Mitarbeiter in der Lage sind, diese zu bedienen.

6 Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen

Die Erhebung, Analyse und Auswertung der Zustandsverteilung der bezahlten Arbeitszeit ist nur sinnvoll, wenn die aufgedeckten Produktivitätspotenziale auch realisiert werden. Dazu sieht der dritte Schritt des Produktivitätsmanagementzyklus vor, geeignete Maßnahmen auszuwählen. Zuerst müssen dazu die verbesserungsrelevanten Mitarbeiterzustände identifiziert werden (Abschnitt 6.1). Die ausgewählten Handlungsfelder bilden einen Rahmen, um gängige Methoden zu klassifizieren und verbesserungsrelevanten Mitarbeiterzuständen zuzuordnen (Abschnitt 6.2). Außerdem kann die entwickelte Modellierung der bezahlten Arbeitszeit dabei helfen, Arbeitsabläufe zu optimieren und zu standardisieren, um weitere Produktivitätspotenziale zu erschließen (Abschnitt 6.3). Schließlich ist die Wirksamkeit der umgesetzten Maßnahmen zu kontrollieren (Abschnitt 6.4), um den Nutzen einer zielgerichteten Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen für ein Produktivitätsmanagement (Abschnitt 6.5) sowie der Gesamtmethodik (Abschnitt 6.6) aufzuzeigen.

6.1 Identifikation von Verbesserungspotenzialen

6.1.1 Ableitung verbesserungsrelevanter Zustände

Die vorgeschlagene Identifikation von verbesserungsrelevanten Zuständen beruht auf der Zustandsverteilung. Tabelle 6-1 stellt den Auswertungsmerkmalen unterschiedliche Verbesserungsstrategien gegenüber und bewertet ihre Eignung.

Tab. 6-1: Eignung von Auswertungsmerkmalen für Verbesserungsstrategien

		Detaillierungsgrad Verbesserungsmaßnahme		
		Auswahl von übergeordneten Verbesserungskonzepten	Auswahl von konkreten Verbesserungsmethoden	Konkretisierung der Verbesserungsmaßnahmen
Detaillierungsgrad Auswertung	Tätigkeitskategorie, Objektkategorie	gut	mittel	gering
	Tätigkeit	gut	gut	mittel
	Objekt, Mitarbeiterzustand	gering	mittel	gut
	Bedingungsgröße	abhängig von der Bedingungsgröße		

6. Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen

Die übergeordneten Kategorien sind sehr allgemein und eignen sich vor allem, um organisatorische Mängel zu erkennen und übergeordnete Verbesserungskonzepte auszuwählen. Die Aktivitäten der Mitarbeiter lassen sich im Kern mit den Tätigkeiten beschreiben. Diese sind daher vor allem für eine zielgerichtete Auswahl von Verbesserungsmethoden zu verwenden. Die Objekte und die noch feiner aufgelösten Mitarbeiterzustände helfen vor allem dabei, die Tätigkeitsverteilung besser zu verstehen und Hinweise zu geben, wo und wie die Verbesserungsmaßnahmen eingesetzt werden sollten. Da die Bedingungsgrößen sehr unterschiedlich sind, können diese auch für unterschiedliche Zwecke – sowohl für Hinweise auf organisatorische Verbesserungen als auch zur Begründung von spezifischen Verbesserungsmaßnahmen – verwendet werden.

Ansätze für eine systematische Auswahl verbesserungsrelevanter Zustände

Wenn die Gesamtmethodik einmalig eingesetzt wird, hat sie in der Regel das Ziel, die Arbeitsproduktivität zu verbessern. Der Anwender erhält mit Hilfe der in Abschnitt 5.2 beschriebenen Kennzahlen und Darstellungen einen Überblick über die Zustandsverteilung. Um nun verbesserungsrelevante Zustände auszuwählen, werden die potenziell zu verbessernden Zustände anhand von zwei Kriterien bewertet:

- *Relevanz*: Die Relevanz einen Mitarbeiterzustand zu verbessern steigt, je größer der Anteil im Vergleich zu den anderen Anteilen (*Rang*) ist. Je geringer der Rang, desto höher ist der Anteil. Dabei sollte zuerst Zustände mit dem höchsten Anteil (*geringsten Rang*) betrachtet werden, da dort das größte Verbesserungspotenzial zu vermuten ist.
- *Verbesserungsfähigkeit*: Je höher der erwartete positive Effekt und desto geringer der benötigte Aufwand ist, desto größer ist der Gesamtnutzen, diesen Zustand zu verbessern. Auch eine einfache Übertragbarkeit auf andere Bereiche ist vorteilhaft, um das Verbesserungspotenzial zu vervielfältigen.

Das eigentliche Vorgehen kann dann pragmatisch umgesetzt werden. Dabei ist es sinnvoll, dass bei der Auswahl sowohl Experten mit Erfahrungswissen als auch involvierte Mitarbeitern mitwirken. Sie können Erklärungen und Ursachen für die gemessene Zustandsverteilung liefern und bewerten, ob Mitarbeiterzustände mit vertretbarem Aufwand verbessert werden können. Insbesondere sollten auch Produktionsverantwortliche mit beteiligt sein, da diese die gewählte Verbesserungsmaßnahme verantworten. Dabei ergeben sich häufig betriebspezifische, organisatorische Verbesserungsmaßnahmen, die sich kurzfristig umsetzen lassen.

Wenn nicht nur eine einzelne Analyse durchgeführt wird, ergeben sich weitere Möglichkeiten, um verbesserungsrelevante Zustände zu identifizieren. Die Analysen lassen sich in drei Kategorien einordnen: Einzelanalysen, Wiederholanalysen und Vergleichsanalysen. Das beschriebene Vorgehen bei Einzelanalysen bildet die

6. Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen

Grundlage. Tabelle 6-2 gibt einen Überblick der Analysekategorien und des entsprechenden Verfahrens zur Ableitung verbesserungsrelevanter Zustände.

Tab. 6-2: Beispiele zur Identifizierung handlungsrelevanter Zustände

Analysekategorie	Auswahlkriterium	mögliches Auswertungsmerkmal
Einzelanalyse	Relevanz	höchster Anteil bzw. niedrigster Rang der <ul style="list-style-type: none"> • Phasen • Tätigkeiten
	Verbesserungsfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • erwarteter Nutzen • benötigter Aufwand • Übertragbarkeit auf andere Bereiche
Analysekategorie	zusätzliches Auswahlkriterium	mögliches Auswertungsmerkmal
Wiederholanalyse	Veränderung von Anteilen	Steigerung von <ul style="list-style-type: none"> • der Phase <i>Durchführung</i> • von wertschöpfenden Tätigkeiten oder Zuständen
Vergleichsanalyse	Diskrepanz von Anteilen	stark unterschiedliche Anteile von <ul style="list-style-type: none"> • Phasen • Tätigkeiten • Mitarbeiterzuständen

Wiederholte Analysen analysieren gleiche Bereiche zu unterschiedlichen Zeiträumen. Sie unterstützen den Produktivitätsmanagementzyklus, indem sie Analysen vergleichen und damit den Erfolg von Verbesserungsmaßnahmen bewerten können. Neben der Priorisierung durch den Rang kann der Anwender auch aus der Veränderungen von Zuständen Rückschlüsse ziehen. Handlungsbedarf besteht vor allem dann, wenn sich die Anteile der Durchführungsphase oder der wertschöpfenden Tätigkeiten verringert haben. Die Auswirkungen von umgesetzten Verbesserungsmaßnahmen können sich hingegen in einer Erhöhung der Anteile der Durchführungsphase oder der wertschöpfenden Zustände niederschlagen. Bei der Interpretation solcher Zusammenhänge ist jedoch darauf zu achten, dass nicht jede Veränderung der Zustandsverteilung auf die Verbesserungsmaßnahme zurückzuführen ist. Zudem kann die Produktivität trotz eines geringeren wertschöpfenden Anteils gestiegen sein. Dieser Fall kann z. B. eintreten, wenn ein neues Schweißverfahren die Durchführungstätigkeit *Schweißen* reduziert. Gleichzeitig kann jedoch die Anzahl der Schweißmeter pro Stunde durch das neue Schweißverfahren angestiegen sein. Der Anteil der Durchführungstätigkeiten ist nicht ausreichend, um die Produktivität zu bewerten. Es wird empfohlen, für die Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen eine mengenmäßige Produktivitätsbetrachtung hinzuzuziehen.

Beim Vergleich zweier Datenmengen, die entweder unterschiedliche Betrachtungsbereiche darstellen oder aufgrund einer Bedingungsgröße separiert wurden, entstehen weitere Kriterien, um Handlungsbedarf für einzelne Zustände abzuleiten. Ähnlich einem Benchmarking können Unterschiede von Anteilen der Phasen, Tätigkeiten oder Mitarbeiterzuständen Hinweise für einen der Bereiche ergeben. Z. B kann ein wesentlich höherer Anteil der Phase *Material- und Hilfsmittelbeschaffung* zur Folge haben, Unterschiede in den logistischen Konzepten zu analysieren und sich an der besseren Lösung zu orientieren.

6.1.2 Ansätze für die Berücksichtigung von Wechselwirkungen

Die Modellierung der Arbeitszeit mit Bedingungsgrößen erlaubt es, die Produktivität sowohl unterschiedlicher Arbeitsaufgaben als auch verschiedener Bereiche zu analysieren. Insbesondere erlaubt es die Modellierung, die vorgelagerten indirekten Bereiche (Konstruktion, Arbeitsvorbereitung) mit den direkten Bereichen (Fertigung, Montage) zusammenhängend zu untersuchen. Neben den eigenen Potenzialen können so auch Verbesserungen abgeleitet werden, die sich aus der Abhängigkeit der Arbeitsabläufe und dem Zusammenspiel der Abteilungen ergeben. Zwei Ansätze stehen dafür zur Verfügung.

Wechselwirkungen zwischen Bereichen über Objekte

Häufig besteht eine Verbindung zwischen Bereichen über gemeinsam verwendete Objekte. Bei vorgelagerten Bereichen wird in der Regel ein Output erzeugt, der Input für den direkten Bereich ist. Ein Beispiel sind Arbeitsunterlagen, die von der *Konstruktion* erstellt werden und als Informationsmaterialien für die *Fertigung* dienen. Ein systematisches Vorgehen besteht darin, den nachgelagerten Bereich auf Informationstätigkeiten zu untersuchen. In der Regel sind dies *Lesen* und *Sprechen*. Die für Wechselwirkungen relevanten Mitarbeiterzustände können über Objekte identifiziert werden. Entweder handelt es sich um *Informationsmaterialien*, die von dem vorgelagerten Bereich erstellt wurden, oder es sind die *Mitarbeiter* des vorgelagerten Bereichs selbst als Objekt für die Tätigkeit *Sprechen*. Wenn die Anteile dieser Zustände groß sind, ist eine Verbesserung der Schnittstellen bzw. des Informationsaustausches empfehlenswert. Der tolerierbare Anteil ist vom Unternehmen und den Abläufen abhängig.

Wechselwirkungen zwischen Arbeitsaufgaben (als Bedingungsgrößen)

Sind die Wechselwirkungen ausgeprägter als eine reine Output-Input-Abhängigkeit über wenige Objekte, so können Arbeitsaufgaben die gegenseitigen Abhängigkeiten abbilden. Ein erheblicher Anteil der vorgelagerten indirekten Bereiche wird für die Arbeitsaufgaben *Zeichnungserstellung*, *Stücklistenableitung* und *Montageklärung* verwendet. Diese Arbeitsaufgaben dienen auch dazu, die *Informationsbeschaffung und -verarbeitung* der Mitarbeiter in den direkten Berei-

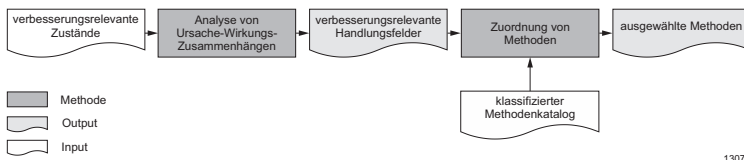
6. Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen

chen zu ermöglichen. Die Aggregation über Arbeitsaufgaben, die in einem Zusammenhang mit den direkten Bereichen stehen, stellt nun das Potenzial dar, das in den vorgelagerten indirekten Bereichen aufgrund der Wechselbeziehung mit den direkten Bereichen vorliegt. Die *Informationsbeschaffung- und -verarbeitungsphase* der direkten Bereiche ist das Gegenstück. Bei der Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen muss nun jeweils abgewogen werden, ob eine Verringerung oder Erhöhung des Aufwands in den indirekten Bereichen zu einem signifikanten Mehr- oder Minderaufwand in den direkten Bereichen führt. Dabei können die zugrundeliegenden Anteile bzw. Dauern mit den unterschiedlichen Stundensätzen gewichtet werden, um eine kostenoptimale Lösung zu erhalten.

6.2 Ableitung von Standardmethoden

6.2.1 Vorgehensweise

Auf der Grundlage der Analyse soll die Arbeitsproduktivität verbessert werden. Dazu ist ein Vorgehen notwendig, das systematisch die Analyseergebnisse mit gängigen Verbesserungsmethoden verbindet. *Czumanski* hat für die Serienfertigung ein Methodenmatching entwickelt, das ausgehend von der Zustandsverteilung der Mitarbeiter gängige Verbesserungsmethoden vorschlägt [Czum13, S. 98ff.]. Die verwendete Methodenklassifikation (s. Abschnitt 2.5) verwendet dazu fünf Methodenmerkmale. Diese ausgeprägte Spezifizierung ist möglich, da die hoch standardisierten Abläufe in der Serienfertigung die Erfassung von sehr spezifischen Mitarbeiterzuständen ermöglichen. Die höhere Aufgabenvielfalt in der Unikatproduktion verursacht jedoch unterschiedlichere Aktivitäten der Mitarbeiter. Daher sind die Mitarbeiterzustände allgemeiner gehalten, so dass auch die Auswahl von gängigen Verbesserungsmethoden flexibler sein muss. Abbildung 6-1 zeigt eine Vorgehensweise zur Methodenauswahl.



13070

Abb. 6-1: Vorgehensweise für die Methodenauswahl in der Unikatproduktion

Auf der Grundlage der Zustandsverteilung werden die verbesserungsrelevanten Mitarbeiterzustände ausgewählt (s. Abschnitt 6.1). Die hohe Transparenz der Zustandsverteilung kann dazu führen, dass Verbesserungsmaßnahmen bereits ohne weiteres Vorgehen ausgewählt werden können. Häufig ist jedoch die Ursache für die hohen Anteile nicht ersichtlich, sondern nur indirekt mit den Mitarbeiterzuständen verbunden [Czum13, S. 12].

6. Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen

Das Ishikawa-Diagramm gibt eine Struktur für die möglichen Ursachen vor, die wiederum mit der Warum-Fragetechnik herausgefunden werden können. Falls die Ursachen unbekannt bleiben, sind spezifische Analysen notwendig. Dies kann z. B. eine Laufweganalyse sein, um den hohen Anteil des Mitarbeiterzustands *Ge-hen* zu reduzieren. Wenn die Ursachen mit Hilfe des Ishikawa-Diagramms kategorisiert werden, ergeben sich zusammen mit der zu verbessernden Phase des generischen Arbeitszyklus Handlungsfelder (s. Abschnitt 6.2.2). Diese Handlungsfelder bilden den Rahmen für die Klassifikation von gängigen Verbesserungsmethoden (s. Abschnitt 6.2.3) und ermöglichen dadurch eine Methodenzuordnung (s. Abschnitt 6.2.4).

6.2.2 Definition von Handlungsfeldern

Nach *Czumanski* sind Handlungsfelder im Bereich des Produktionsmanagements abgegrenzte Bereiche, in denen Mitarbeiterzustände mit Methoden verknüpft werden [Czum13, S.98ff]. In der Regel wirken sich Verbesserungsmaßnahmen auf die Tätigkeiten der Mitarbeiter aus. Da jedoch verschiedene Tätigkeiten das gleiche Ziel haben können, z. B. kann sowohl das *Betrachten eines Informationsmaterials* als auch das *Sprechen mit einem Vorgesetzten* der Informationsbeschaffung und -verarbeitung dienen, sind die generischen Phasen des jeweiligen Arbeitszyklus besser geeignet, um Handlungsfelder abzugrenzen. Diese Definition ermöglicht einen breiten Einsatz in der Unikatproduktion. Tabelle 6-3 gibt eine Übersicht der so definierten Handlungsfelder.

Tab. 6-3: Übersicht der Handlungsfelder

Ursachen-Kategorie	Phase des generischen Arbeitszyklus					
	Informationsbeschaffung und -verarbeitung	Material- und Hilfsmittelbeschaffung	Bauteil- und Bauplatz-vorbereitung	Durchführung	Materielle Nachbereitung	Informationsweitergabe
Mensch	Hf 1.1	Hf 1.2	...	...	...	Hf 1.6
Maschine	Hf 2.1	...	...	...	...	...
Material	...	...	...	...	...	...
Methode	...	...	...	...	...	...
Management	...	...	...	...	...	...
Milieu	Hf 6.1	...	...	...	...	Hf 6.6

Hf: Handlungsfeld

Mit den Phasen des generischen Arbeitszyklus als Handlungsfelder allein, würde der Anwender eine Vielzahl von Methoden zur Auswahl erhalten. Um die Entscheidungsunterstützung zu spezifizieren, können weitere Dimensionen – ähnlich

6. Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen

den Bedingungsgrößen – als Filtermöglichkeiten hinzugefügt werden. Da die Methoden an den Ursachen der Zustände angreifen sollen, ist eine Einteilung nach Einflussfaktoren sinnvoll. Ein in der Industrie verbreitetes Instrument, um Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge aufzuzeigen, ist das Ishikawa-Diagramm in Kombination mit der Warum-Fragetechnik. *Czumanski* hat in seinem Methodenmatching für die Serienfertigung die folgenden sechs Kategorien verwendet, die sich auch für die Unikatproduktion eignen [Czum13, S.99]:

- *Mensch*: Der Zeitanteil eines Zustands ist durch den Menschen selbst begründet, z. B. durch mangelnde Kenntnisse von Prozessstandards.
- *Maschine*: Ursache ist das Betriebs- oder Arbeitsmittel, mit dem der Mitarbeiter arbeitet, z. B. bei Wartezeiten durch Blockierungen einer Maschine.
- *Material*: Das Material ist der Grund für den Zustandsanteil, z. B. bei hohem Schweißaufwand durch schlechte Qualität des Schweißmaterials.
- *Methode*: Der Zeitaufwand beim Mitarbeiter entsteht durch eine schlechte Vorgehensweise bei der Verrichtung seiner Arbeitsaufgabe, z. B. durch eine ungünstige Reihenfolge der Verrichtungsschritte.
- *Management*: Organisatorische Mängel oder Vorgaben erzeugen den Zeitanteil eines Zustands, z. B. durch fehlende oder mangelhafte Prozessstandards.
- *Milieu*: Die ungünstige Gestaltung der Arbeitsumgebung verursachen die Zeitanteile, z. B. eine schlechte Beleuchtung des Arbeitsbereichs.

Diese sechs Kategorien helfen, die Ursachen für den Zustand eines Handlungsfelds systematisch zu ergründen. Abbildung 6-2 zeigt ein Ursache-Wirkungs-Diagramm mit dem Beispiel *Betrachten von Informationsmaterialien* und möglichen Ursachen. Die verwendeten Objekte können zusätzliche Hinweise liefern sowie relevante Ursachenkategorien priorisieren.

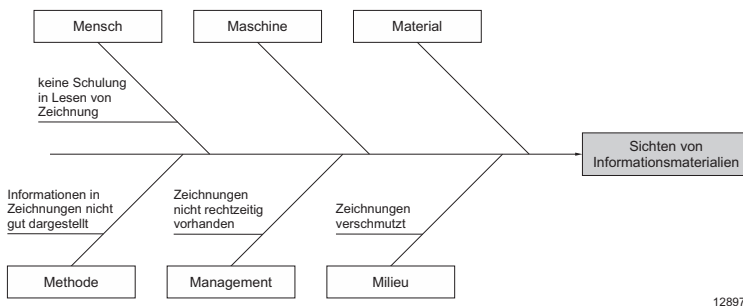


Abb. 6-2: Ursache-Wirkungs-Diagramm mit Beispielzustand Sichten von Informationsmaterialien

6.2.3 Methodenklassifikation und -katalog

In der Unikatproduktion sind bisher kaum gängige Verbesserungsmethoden bekannt [Lödd15, S. 179]. Um für einen Methodenkatalog dennoch einen ausreichenden Grundstock an Methoden zur Verfügung zu stellen, kann auf gängige Methoden, die sich in der Serienfertigung etabliert haben, zurückgegriffen werden. Diese können auch in der Unikatproduktion zu hohen Produktivitätsgewinnen führen. Damit der Methodenanwender mit den Analyseergebnissen etablierte Methoden zielgerichtet auswählen kann, müssen diese klassifiziert werden. Die Klassifikation bildet die Grundlage, um die Einsatzmöglichkeiten der unterschiedlichen Methoden mit den relevanten Handlungsfeldern abzugleichen.

Klassifikationsschema

Es gibt eine Vielzahl von möglichen Klassifikationsmerkmalen. Da die Methoden mit den verbesserungsrelevanten Handlungsfeldern zugeordnet werden müssen, sind zwei Merkmale bereits definiert:

- *Phase des generischen Arbeitszyklus*: Diese Klassifikationselemente entsprechen den Phasen des generischen Arbeitszyklus.
- *Ursachenkategorie*: Das zweite Merkmal beinhaltet die sechs Ursachenkategorien zur Bestimmung der Handlungsräume.

Wenn die Methoden nur mit diesen beiden Methodenmerkmalen klassifiziert werden, erhält der Anwender in der Regel ein Set von Methoden. Es besteht die Möglichkeit, diese Auswahl mit zusätzlichen Merkmalen weiter einzuschränken:

- *Bereich*: Es kann unterschieden werden, ob die Methode die Arbeitsproduktivität in *direkten*, in *indirekten* oder in *beiden* Bereichen verbessert.
- *Methodenwirkung*: Dieses Merkmal unterscheidet, ob die Methode *analysiert*, *verbessert* oder *kontrolliert*.
- *Methodenumfang*: Methoden können sowohl sehr umfassende *Konzepte* sein, die mehrere einzelne *Methoden* umfassen, als auch konkrete *Hilfsmittel*.

Die Verwendung von mehreren Klassifikationsmerkmalen hat den Vorteil, dass weniger Verbesserungsmethoden vorgeschlagen werden, da die Zuordnung feiner ist. Es besteht jedoch der Nachteil, dass die Methodenklassifikation häufig nicht eindeutig ist. So existieren in der Literatur bereits teils widersprüchliche Grundsätze für die Systematisierung von Methodensammlungen (s. Abschnitt 2.5). Daher werden in dieser Arbeit nur die zwei Klassifikationsmerkmale der Handlungsfelder benutzt. Da die Auswahl der konkreten Verbesserungsmaßnahme häufig zusammen mit Experten stattfindet, ist die größere Anzahl von vorgeschlagenen Methoden nicht kritisch. Um eine bessere Priorisierung der Methoden zu erhalten,

6. Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen

kann eine Gewichtung der Eignung der jeweiligen Methode sowohl für die Phase des generischen Arbeitszyklus als auch für die Ursachenkategorie stattfinden. Abbildung 6-3 zeigt das für diese Arbeit gewählte Klassifikationsschema.



Abb. 6-3: Schema für die Klassifikation von Verbesserungsmethoden in der Unikatproduktion

Die Darstellung orientiert sich an dem Klassifikationsschema von *Czumanski* für die Serienfertigung [Czum13, S. 100ff], das wiederum auf einer Klassifikationsvorlage von *Pavnaskar* [Pavn03] aufbaut. Auf der rechten Seite sind die zwei Merkmale angegeben. In der Mitte befinden sich die Klassifikationselemente und auf der linken Seite eine Beschreibung, um die Klassifikation einer bestimmten Methode abzulesen. Die Klassifikation mit Elementen für die Ursachenkategorie sollten erfahrene Mitarbeiter unterstützen, so dass verschiedenen Szenarien berücksichtigt werden. Die Verwendung der Phasen des gegnerischen Arbeitszyklus erhöht die Verständlichkeit des Schemas. Eine weitere Detaillierung auf dem Niveau der Tätigkeiten ist möglich, wenn die in Abschnitt 3.1.4 vorgeschlagenen generischen Tätigkeiten verwendet werden. Dies hätte Vor- und Nachteile: Wenn die einzelnen Tätigkeiten die Klassifikationselemente sind, können Methoden sehr zielgerichtet für kleinere Handlungsräume klassifiziert werden. Ein Nachteil entsteht dann, wenn sich die Tätigkeiten bei unterschiedlichen Analysen unterscheiden oder aber für einen Zustand keine Methoden vorliegen. In diesem Fall ist es vorteilhaft, die übergeordneten Phasen zu verwenden, die für alle Analysen gleich sind.

Methodenkatalog

In einem Methodenkatalog werden die kategorisierten Methoden zusammengetragen. Da Unternehmen mit einer Unikatproduktion zum Teil sehr unterschiedliche Arbeitsweisen haben, ist der Methodenkatalog unternehmensspezifisch aufzusetzen. Jedes Unternehmen kann dabei selber entscheiden, ob es auch Konzepte und einfache Hilfsmittel mit aufnimmt und ob die Klassifikation enger oder weiter gefasst wird. Bei einer engeren Klassifikation werden einer Methode nur wenige Merkmale zugeordnet. Dadurch erhält der Anwender wenige aber gut passende Methoden, um die relevanten Mitarbeiterzustände zu verbessern. Sinnvoll ist eine engere Kategorisierung von Konzepten. So können z. B. bei dem Konzept *Total Productive Maintenance* auch die einzelnen Schwerpunkte klassifiziert werden. Bei einem geringen Grad an Expertenwissen über die Verbesserungsmethoden im

6. Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen

Unternehmen sollte die Klassifikation enger gefasst werden, um den Anwender die Auswahl zu erleichtern. Der Methodenkatalog führt ebenfalls dazu, dass das Unternehmen systematisch erkennt, für welche Handlungsfelder es noch keine Verbesserungsmethoden zur Verfügung hat. Tabelle 6-4 stellt eine Auswahl an klassifizierten Methoden für die Unikatproduktion dar, die der Literatur entnommen wurden [vgl. Basz03] [vgl. Trei03] [vgl. Ullm09] [vgl. VDI2870-2].

Tab. 6-4: Auswahl an klassifizierten Methode für die Unikatproduktion

Methode	Phase des generischen Arbeitszyklus						Ursachenkategorie					
	Informationsbeschaffung und -verarbeitung	Material- und Hilfsmittelbeschaffung	Bauteil- und Bauplatz-vorbereitung	Durchführung	materielle Nachbereitung	Informationsweitergabe	Mensch	Maschine	Material	Methode	Management	Milieu
5S	x	x			x	x	x			x	x	
Abtaktungsdiagramm			x				x	x	x		x	
Arbeitsstrukturierung	x						x				x	
Auftragsbörse	x		x			x	x			x	x	
Automatisierung	x		x	x	x		x			x		
Best Practice Sharing	x	x	x	x	x	x	x			x		
Design for Assembly			x	x	x		x			x	x	
Digitale Arbeitsunterlage [vgl. Hala15]	x			x		x	x			x	x	
Ergonomieanalysen				x	x		x			x		
Milkrun		x			x				x		x	
Just-in-Time		x							x		x	
Kanban		x							x		x	
Mehrfachqualifizierung	x		x	x			x			x		
Mehrmaschinenbedienung			x				x			x		
Materialflussplanung		x			x				x	x	x	
Poka Yoke	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x
Rüstablaufanalyse			x				x	x		x	x	
Simultaneous Engineering				x			x			x		
Standardisierung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
TPM	x		x		x		x	x		x	x	

Zuordnung mit „x“ gekennzeichnet

6.2.4 Auswahl von Methoden

Wenn Unternehmen Methoden klassifiziert, durch eine Produktivitätsanalyse eine Zustandsverteilung erhoben und so verbesserungsrelevante Handlungsräume identifiziert haben, kann eine Zuordnung von Methoden erfolgen. Idealerweise erfolgt dazu die Klassifikation in einer Datenbank. Dann stellt der Anwender eine Datenbankabfrage mit mehreren Merkmalsausprägungen:

- *Zu verbessernde Phase:* Welche Phase des generischen Arbeitszyklus soll verbessert werden?
- *Ursachenkategorie:* An welchen Einflussfaktoren soll die Methode ansetzen?

Analog zu der Datenbank-Routine, die *Czumanski* in der Serienfertigung einsetzt, wird jede gespeicherte Methode mit den Suchkriterien abgeglichen [Czum13, S. 105ff]. Die Auswahllogik fragt beide Suchkriterien ab. Gibt es für jedes Suchkriterium mindestens eine Übereinstimmung mit einem Klassifikationselement der Methode, erhält der Anwender diese Methode als Vorschlag. Oftmals finden sich mehrere Methodenübereinstimmungen, so dass der Anwender dann Methodensets erhält, die er weiter priorisieren muss. Für diese Priorisierung können Unternehmen zusätzliche Suchkriterien hinzufügen oder erfahrene Mitarbeiter befragen.

6.3 Verbesserung und Standardisierung eines Arbeitsablaufs

Die Modellierung der bezahlten Arbeitszeit kann nicht nur für die Analyse von Bereichen genutzt werden, sondern auch, um gezielt Arbeitsabläufe aufzunehmen und zu verbessern (s. Abschnitt 4.1.3). Dafür kann der Arbeitsablauf entweder quantitativ mit einer Zeitaufnahme begleitet werden oder qualitativ aufgenommen werden. In beiden Fällen erhält der Anwender die Reihenfolge der Mitarbeiterzustände, die sich für eine gezielte Verbesserung und Standardisierung nutzen lässt.

Verbesserung eines Arbeitsablaufs

Ein Ansatz zur Verbesserung leitet sich aus der Hypothese ab, dass ein Arbeitsablauf, bei der die Reihenfolge der Mitarbeiterzustände den Phasen des generischen Arbeitszyklus entspricht, produktiver ist, als ein Arbeitsablauf mit einer abweichenden Reihenfolge. Eine ähnliche Hypothese hat sich bei der Optimierung von Rüstabläufen nach Frühwald als sinnvoll erwiesen [vgl. Früh90]. Konkret bedeutet dies z. B. für direkte Bereich, dass der Mitarbeiter erst alle Informationen sammelt und die Arbeitsaufgabe verstehen sollte, bevor er mit der Hilfsmittel- und Materialbeschaffung anfängt. Dadurch können mehrmalige Laufwege vermieden werden, da der Mitarbeiter seine logistischen Tätigkeiten optimal planen kann. Insbesondere bei Arbeitsabläufen mit mehreren involvierten Mitarbeitern können damit Wartezeiten vermieden werden. Das Optimierungsprinzip zeigt Abbildung 6-4.

6. Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen

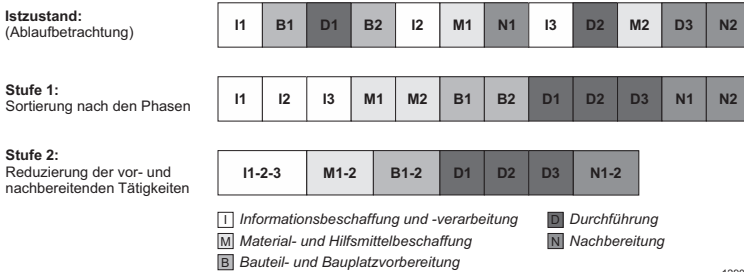


Abb. 6-4: Optimierung der Reihenfolge mit der Prozessablaufanalyse

Zuerst wird der Ist-Ablauf mit einer Prozessablaufanalyse oder qualitativ aufgenommen. Wenn mehrere Mitarbeiter involviert sind, werden alle Mitarbeiterzustände auf einem gemeinsamen Zeitstrahl aufgetragen und die Wartezeiten gestrichen. Im folgenden Schritt sortiert der Anwender alle Mitarbeiterzustände mit Hilfe der Phasen des generischen Arbeitszyklus. Der so optimierte Ablauf wird nun auf die Anzahl der beteiligten Mitarbeiter verteilt. Diese neue Reihenfolge stellt den Soll-Arbeitsablauf dar und zeigt, dass sich die Mitarbeiterzustände zur Standardisierung von Arbeitsabläufen eignen.

Es bleibt kritisch anzumerken, dass es für langandauernde und komplexe Arbeitsabläufe besser sein kann, die richtige Information zum richtigen Zeitpunkt zu benutzen. Auch dieses Vorgehen lässt sich mit den Mitarbeiterzuständen abbilden, die ideale Reihenfolge ergibt sich dann jedoch nicht anhand der Phasen, sondern muss manuell definiert werden.

Standardisierte Arbeitsabläufe

Standardisierte Arbeitsabläufe sind laut *Toyota* das Fundament für einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess [Like09, S. 173]. Ohne diese Standards gibt es keinen Referenzrahmen, an dem sich Verbesserungen messen lassen. Häufig passiert es dann, dass Verbesserungsmaßnahmen nicht dauerhaft erhalten bleiben, sondern zu dem alten Ablauf zurückgekehrt wird. Dies ist besonders verschwenderisch, wenn der Ablauf mit viel Aufwand analysiert und verbessert wurde. Insbesondere in der Unikatproduktion mit vielfältigen Tätigkeiten fehlte es bisher an einfachen Möglichkeiten, Arbeitsabläufe aufwandsarm und einheitlich zu standardisieren.

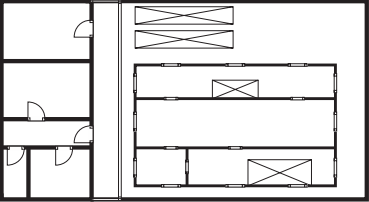
Das in Kapitel drei entwickelte Modell der Arbeitsproduktivität für die Unikatproduktion befähigt Unternehmen, für große Bereiche die gesamte bezahlte Mitarbeiterzeit mit einem einheitlichen Verfahren zu beschreiben. Sowohl die Unterschiede zwischen direkten und indirekten Bereichen als auch die Vielzahl von Ar-

6. Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen

beitsaufgaben können berücksichtigt werden, so dass sich die Modellierung für eine einheitlichen Standardisierungsansatz eignet.

Ein in der Serienfertigung weit verbreitetes Hilfsmittel sind Standardarbeitsblätter [Like09, 173ff.]. Dabei kann das Produktionsmanagement die einzelnen Arbeitselemente mit den Mitarbeiterzuständen beschreiben. Soll-Zeiten lassen sich mit einer Prozessablaufanalyse bestimmen. In der Regel sind diese jedoch deutlich länger als in der Serienfertigung, um einerseits den Erfassungs- und Kontrollaufwand zu reduzieren und andererseits auch die notwendige Flexibilität aufgrund der nicht identischen Arbeitsabläufe sicherzustellen. Ein Beispiel für ein solches Standardarbeitsblatt für eine Arbeitsaufgabe der Unikatproduktion zeigt Abbildung 6-5.

Standardarbeitsblatt			
Baugruppennummer: 123456789			Takt: 4 Stunden
#	Arbeitselemente	Tät.-Zeit	Laufzeit
1	Zeichnung betrachten	3	2
2	Werkstück transportieren	20	10
3	Messmittel transportieren	5	2
4	Handwerkzeug transportieren	5	2
5	Schweißgerät transportieren	10	5
6	Schweißgerät einrichten	15	5
7	Werkstück kommissionieren	5	2
8	Werkstück messen	2	0
9	Werkstück handhaben	1	0
10	Werkstück schweißen	2	0
11	Werkstück messen	1	1
12	...	..	..
Gesamt:		..	..



12904

Abb. 6-5: Beispiel für ein Standardarbeitsblatt in der Unikatproduktion

6.4 Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen

Die transparente Zustandsverteilung bietet den Vorteil, eine quantitativ bewertbare und belastbare Grundlage für eine objektive Diskussion zu sein. Diese dient sowohl der Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen als auch der späteren Kontrolle der erreichten Produktivitätssteigerungen. Hypothesen helfen, die erwartete Verbesserung anzugeben und später den Erfolg der Verbesserungsmaßnahme zu bewerten. Dieser Schritt entspricht der Plan-Phase des PDCA-Zyklus nach *Deming* [Demi86, S. 88f.]. Das operative Produktionsmanagement kann hierbei zustandsbezogene und produktivitätsbezogene Hypothesen aufstellen.

Zustandsbezogene Hypothesen

Die Methode sieht zunächst vor, die Dauern von handlungsrelevanten Zustände zu reduzieren. Mit Hilfe qualitativ begründeter Annahmen kann das operative Produktionsmanagement die Verbesserung der Zustandsverteilung schätzen. Um die Schätzung mit quantitativen Werten der Analyse zu untermauern, bietet sich die Veranstaltung eines Workshops mit den involvierten Mitarbeitern an. Dort können die einzelnen Schritte des zu verbessernden Prozessablaufs qualitativ erfasst werden. Die Beschreibung der Schritte sollte mit Hilfe der aus der Analyse bekannten Tätigkeits-Objekt-Kombinationen erfolgen, so dass anschließend den einzelnen Schritten die Werte der Mitarbeiterzustände zuordenbar sind. Nun können die Mitarbeiter begründete Abschätzung über die Verbesserungspotenziale der Zustände treffen. Das Vorgehen ist in Abbildung 6-6 an einem Beispiel verdeutlicht.

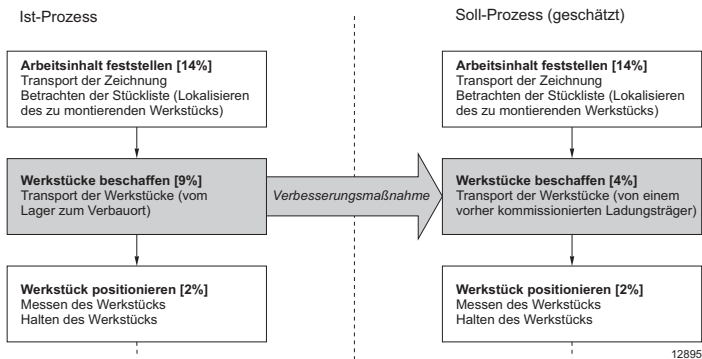


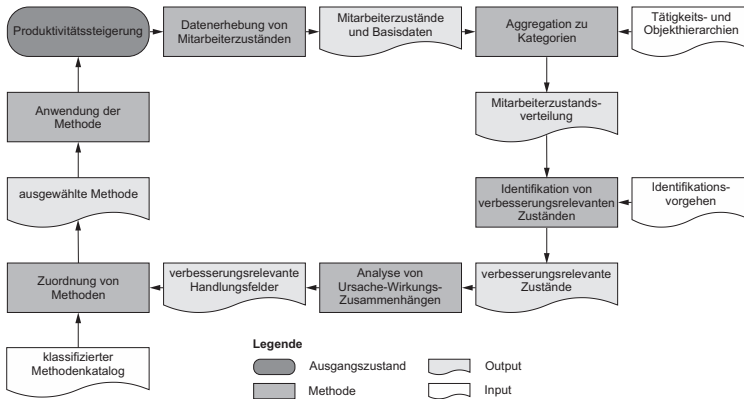
Abb. 6-6: Hypothese zur Verbesserung eines Prozessablaufs an einem Beispiel

Produktivitätsbezogene Hypothesen

Aussagen zur Produktivitätssteigerung über die Veränderung der Zustandsverteilung zu treffen, ist aufgrund der bereits erwähnten möglichen Fehlinterpretationen nur bedingt zulässig. Deswegen zielen produktivitätsbezogene Hypothesen darauf ab, die durch Verkürzung von Zustandsdauern geschaffenen Potenziale transparent aufzuzeigen. Entweder lässt sich die Arbeitsproduktivität steigern, indem der Input in Form der bezahlten Arbeitszeit reduziert oder aber der Output in Form von mengenmäßig zu erfassenden Einheiten gesteigert wird. Um diese Hypothesen quantitativ zu untermauern, bedarf es konkreter Mengen, die in der Unikatproduktion nur schwer messbar sind. Dennoch wird empfohlen, im Rahmen von Verbesserungsmaßnahmen, diese Outputgrößen fallspezifisch zu definieren und zusätzlich aufzunehmen. Wenn z. B. eine Verbesserungsmaßnahme einen Schweißprozess optimieren soll, ist eine Zielvorgabe der zu erreichenden Schweißmeter pro bezahlter Arbeitsstunde sinnvoll.

6.5 Einordnung in ein Produktivitätsmanagement

Die Gesamtmethodik unterstützt die Mitarbeiter in ihrem Bestreben, einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess zu etablieren und am Leben zu halten, indem sie die Basis für ein umfassendes Produktivitätsmanagement bilden kann. Abbildung 6-7 zeigt ein Vorgehen für einen Produktivitätsmanagementregelkreis auf Grundlage der vorgestellten Analyse- und Verbesserungsmethodik.



12906

Abb. 6-7: Vorgehen für einen Produktivitätsmanagementregelkreis

Die Nutzung des Regelkreises verbessert vor allem die Arbeitsproduktivität durch die konsequente Ausrichtung der Modellierung an verbesserungsrelevanten und -fähigen Mitarbeiterzuständen.

Zusätzlich fördert die Gesamtmethodik eine problemorientierte Vorgehensweise der Mitarbeiter: Sie zwingt den Anwender der Gesamtmethodik, sich zunächst systematisch mit den konkreten Ursachen der Mitarbeiterzustände auseinanderzusetzen. Anschließend prüft er die Eignung der vorgeschlagenen Methoden und setzt die Verbesserungsmaßnahme mit dem höchsten Produktivitätspotenzial um. Dieses Vorgehen verbessert die Effektivität der Maßnahmenumsetzung.

Weiterhin kann die Methodenzuordnung relevante Handlungsräume aufdecken, die noch durch keine Methode besetzt sind. Das schafft Anreize, neue Methoden zu entwickeln. Definieren Unternehmen ihr Produktionssystem hauptsächlich über eine Methodensammlung, kann die Eignung und Vollständigkeit des vorhandenen Systems somit bewertet werden und zielgerichtet weiterentwickelt werden.

Als ein Nebeneffekt bewirkt die Steigerung der Arbeitsproduktivität, dass sich in der Regel auch weitere Zielgrößen der Produktion verbessern. Das passiert, weil nicht nur Verbesserungsmaßnahmen, die ausschließlich direkt auf die Mitarbeiterzeit wirken, zur Auswahl stehen, sondern auch Methoden, die einen Einfluss auf weitere Zielgrößen haben. Wenn die Analyse z. B. *Rüsten einer Maschine* als verbesserungsrelevanten Zustand identifiziert, so verbessert die ausgewählte Methode *Rüstablaufanalyse* nicht nur die Arbeitsproduktivität, sondern auch die Maschinenproduktivität. Ähnlich verhält es sich mit der Reduzierung der Arbeitsaufgabe *Nacharbeit*. Dies führt in der Regel auch zu einer höheren Prozessqualität.

6.6 Fazit zur Gesamtmethodik

Das entwickelte Verfahren basiert auf der Modellierung der Arbeitsproduktivität (Kapitel 3). Es orientiert sich an dem Produktivitätsmanagementzyklus, der in Abschnitt 1.3 als Strukturgeber für diese Arbeit eingeführt wurde. Dieser Zyklus umfasst vier Phasen, von denen die Methodik folgende Schritte umfasst:

- Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen (Kapitel 4)
- Analyse und Auswertung von Zustandsdaten (Kapitel 5)
- Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen (Kapitel 6)

Die Umsetzung der Verbesserungsmaßnahmen in der vierten Phase ist nicht Teil der Gesamtmethodik. Die Umsetzung baut jedoch auf der Auswahl der Verbesserungsmaßnahmen auf und benutzt die vorgestellte Kontrolle der Wirksamkeit.

Modellierung der Mitarbeiterzustände

Damit Unternehmen die Gesamtmethodik in ihrer Produktion einsetzen können, wird mit der Modellierung der Mitarbeiterzeit eine grundlegende Strukturierungsmöglichkeit geschaffen, die sowohl direkte als auch indirekte vorgelagerte Bereiche systematisch beschreibt. Das Modell nutzt Mitarbeiterzustände, um die bezahlte Arbeitszeit vollständig zu beschreiben und so die Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität zu erfassen. Darauf aufbauend bildet ein generischer Arbeitszyklus die Grundlage, um auch in der Unikatproduktion wiederholbare Produktivitätsgewinne zu erzielen. Damit die Analysen der unterschiedlichen Bereiche vergleichbar sind und der Anpassungsaufwand gering bleibt, verwendet das Modell einheitliche Tätigkeits- und Objekthierarchien mit vorgegebenen Kategorien. Detaillierungsstufen ermöglichen es dem Anwender, die Mitarbeiterzustände auf dem gewünschten Detaillierungsgrad zu erfassen und auszuwerten. Mit zusätzlichen Bedingungsgrößen kann der Anwender die Modellierung an die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen und Einflussgrößen anpassen. Eine einheitliche Datenstruktur bildet die Grundlage für eine IT-gestützte Erfassung und Auswertung.

Datenerhebung von Mitarbeiterzuständen

Die Datenerhebung beruht hauptsächlich auf dem Multimoment-Häufigkeitsverfahren, das in der Industrie weit verbreitet ist. Die Erweiterung zu einer mehrdimensionalen Multimomentaufnahme reduziert den Aufnahmearbeit für vergleichbare Analysen und erhöht die Aussagekraft über die Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität. Dabei wird das Multimoment-Häufigkeitsverfahren durch einfache weitere Datenerfassungsverfahren ergänzt, um möglichst aufwandswarm die gesamte bezahlte Arbeitszeit zu erfassen. Unterschiedliche Erfassungsstrategien erlauben es, die verschiedenen Bedingungen in der Unikatproduktion – von großen, übersichtlichen Bereichen bis hin zu immateriellen Abläufen in indirekten Bereichen – zu berücksichtigen und stellen geeignete Vorgehensweisen zur Verfügung.

Analyse und Auswertung der Zustandsdaten

Der Anwender kann die gesamten erfassten Daten zunächst auf signifikante Einflussgrößen untersuchen und gegebenenfalls den Datensatz separieren. Die Datenauswertung schlägt leicht verständliche Diagramme und Tabellen vor, um die Zustandsanteile zu visualisieren. Dazu werden für die unterschiedlichen Detaillierungsstufen verschiedene Darstellungsformen gewählt: vom Kreisdiagramm für überschaubare Sachverhalte wie der Verteilung auf die Phasen des generischen Arbeitszyklus über die Balkendiagramme für den übersichtlichen Vergleich von Bereichen bis hin zu den Tabellen, die alle aufgetretenen Mitarbeiterzustände beinhalten. Dabei erhält der Anwender mit dem erreichten Vertrauensbereich immer eine Aussage über die Ergebnisgüte. Zusätzlich gibt der Abdeckungsgrad Hinweise über die Vollständigkeit und Güte der Erfassung.

Ansätze für die Auswahl und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen

Durch die Methodik erhält der Anwender eine Zustandsverteilung, aus der erfahrene Mitarbeiter und Produktionsverantwortliche direkt Verbesserungsmaßnahmen ableiten können. Ein systematisches Vorgehen unterstützt unerfahrene Mitarbeiter bei der Auswahl von gängigen Methoden. Dazu erfolgt eine Klassifikation von Methoden zu Handlungsfeldern. Zustands- und produktivitätsbezogene Hypothesen helfen zudem bei der Priorisierung und Abschätzung von Potenzialen.

7 Anwendungsbeispiele

Zwei Anwendungsbeispiele sollen die Praxistauglichkeit der Modellierung, der Datenerhebung und -auswertung belegen (Abschnitt 7.1). Das erste Anwendungsbeispiel ist eine typische Montage in der Unikatproduktion (Abschnitt 7.2). Hier wurde das Multimoment-Häufigkeitsverfahren mit externen Beobachtern durchgeführt, um verbesserungsrelevante Mitarbeiterzustände zu identifizieren und Hypothesen zur Potenzialabschätzung zu formulieren. Das zweite Anwendungsbeispiel analysiert einen Konstruktionsbereich mit mehreren Gruppen (Abschnitt 7.3). Die Datenerhebung erfolgte dabei hauptsächlich mit einer Selbstaufschreibung. Mit den Erfahrungen der Anwendungsbeispiele und weiteren Anwendungsfällen (Abschnitt 7.4) wird die Gesamtmethodik abschließend beurteilt (Abschnitt 7.5).

7.1 Ziele und Überblick

Die Evaluation an Anwendungsbeispielen dient zwei Zielen: Erstens soll die Gesamtmethodik evaluiert werden, um zu überprüfen, ob methodische Fehler oder Ungenauigkeiten auftreten. Zweitens soll die Praxiserprobung mögliche Schwierigkeiten beim Einsatz im industriellen Umfeld aufzeigen. Die Beurteilung der Anforderungen an die Gesamtmethodik stützt sich auf folgende Fragestellungen:

- Ist die Modellierung der bezahlten Arbeitszeit vollständig?
- Eignet sich die Fremdbeobachtung mit dem Multimoment-Häufigkeitsverfahren für die Analyse von direkten Bereichen in der Unikatproduktion?
- Können die Mitarbeiter in indirekten Bereichen mit einer Selbstaufschreibung eindeutig ihre Zustände selbst erfassen?
- Können auf Basis der Zustandsverteilungen Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden?

Neben diesen Aspekten, die die eigentliche Gesamtmethodik betreffen, sollen weitere Anforderungen untersucht werden, die die Praxistauglichkeit sicherstellen:

- Kann das Verfahren in den betrieblichen Alltag integriert werden, ohne die Arbeitsabläufe zu stark zu beeinträchtigen?
- Ist der Erfassungs- und Auswertungsaufwand höher oder geringer als bei bisherigen Verfahren?
- Kann mit der Gesamtmethodik in der industriellen Praxis ein ausreichender Abdeckungsgrad der bezahlten Arbeitszeit erreicht werden?
- Sind die einzelnen Schritte und die Ergebnisse für die Produktionsverantwortlichen nachvollziehbar?
- Ist die Akzeptanz der Gesamtmethodik ausreichend?

7. Anwendungsbeispiele

Diese Fragestellungen sollen anhand von zwei Anwendungsbeispielen beantwortet werden. Im ersten Fall steht ein Montagebereich stellvertretend für die großen Untersuchungsbereiche und die hohe Aufgabenvielfalt der Unikatproduktion. Der zweite Fall untersucht die Zusammensetzung der bezahlten Arbeitszeit in einer Konstruktionsabteilung mit unterschiedlichen Gruppen. Merkmale der beiden Anwendungsfälle sind in Tabelle 7-1 zusammengefasst.

Tab. 7-1: Überblick über die Anwendungsbeispiele

Merkmals	Anwendungsbeispiel 1	Anwendungsbeispiel 2
Bereich	direkt	indirekt
Anzahl der Mitarbeiter	32-43	26
Hauptaufnahmeverfahren	MMH und Prozessablaufanalyse	MMH
Erfassungsstrategie	Fremdbeobachtung	Selbstaufschreibung
Anzahl der Bedingungsgrößen	0	2 (Gruppenzugehörigkeit, Arbeitsaufgabe)
Vorbereitungsaufwand inklusive Schulung	1 Personentag	2 Personentage
Aufnahmeaufwand	6 Personentage	5 Personentage
Aufnahmezeitraum in Brutto-Kalendertagen	3	16
Umfang der Gesamtstichprobe	1619	9455
Anzahl möglicher Mitarbeiterzustände	312	966
Anzahl gültiger Mitarbeiterzustände	89	205
Anzahl aufgetretener Mitarbeiterzustände	63	166
Erfassungsebene (E)	$E = 0$	$E = 0, E = 1$ und $E = 2$

7.2 1. Anwendungsbeispiel für einen direkten Bereich – Montage

7.2.1 Beschreibung des Betrachtungsbereichs

Für die Erprobung in direkten Bereichen wurde eine Montage in einer schiffbaulichen Unikatproduktion gewählt. Insgesamt umfasst der Bereich zehn Bauplätze sowie mehrere Büros und Lagerbereiche. Obwohl der Aufnahmebereich räumlich sehr groß ist, kann er gut überschaut werden, da die vorhandenen Bauplätze leicht erhöht sind und die Bauwerke maximal eine Höhe von drei Metern erreichen. Die Arbeit ist in einem Mehrschichtsystem organisiert. Bis zu 50 Mitarbeiter sind während einer Schicht anwesend. Sie montieren Rohre und Haltesysteme, die in Werkstätten vorgefertigt werden. In der Regel heften sie die zu verbauenden Systeme mit einem Schweißgerät zuerst an und schweißen sie anschließend fest. Aufgrund des Unikatcharakters besteht ein hoher Informationsbedarf, den sie hauptsächlich durch Zeichnungen sowie zusätzliche Dokumentationen decken. Abbildung 7-1 zeigt eine vereinfachte Skizze des Betrachtungsbereichs, indem der gewählte Rundgang als gestrichelte Linie eingezeichnet ist.

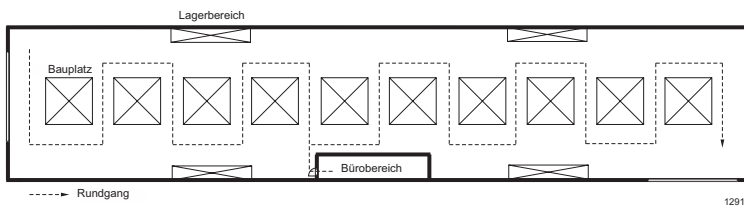


Abb. 7-1: Layout des Betrachtungsbereichs aus Anwendungsbeispiel 1

7.2.2 Modellierung der Arbeitszeit

Aufgrund von Absprachen mit der Arbeitnehmervertretung wird nicht die gesamte bezahlte Arbeitszeit, sondern nur die Anwesenheitszeit der Mitarbeiter als Bezugsgröße erfasst. Die Mitarbeiterzustände werden nach einer Begehung der Arbeitsplätze zusammen mit dem Produktionsleiter festgelegt und anschließend mit einem Vertreter des Betriebsrats abgestimmt. Insgesamt wurden 14 Tätigkeiten mit Hilfe der generischen Tätigkeiten definiert. Lediglich die Tätigkeiten *Sprechen* und *Fügen* wurden aufgrund der Zielsetzung der Analyse weiter detailliert in die Tätigkeiten *Sprechen mit Zeichnung* und nur *Sprechen* sowie *Schweißen* und *Montieren*. Außerdem wurde die Tätigkeit *Anzeichnen* hinzugefügt. Diese Tätigkeiten wurden um die arbeitsaufgabenunabhängigen Zustände *Gehen*, *Warten* und *Persönliche Verteilzeit* ergänzt. Mit den 22 Objekten ergaben sich dann 312 mögliche Mitarbeiterzustände, von denen nach einer Gültigkeits- und Eindeutigkeitsprüfung 89 gültige Mitarbeiterzustände übrig blieben. Während der Aufnahme wurden 63 unterschiedliche Mitarbeiterzustände erfasst. Zusätzliche Bedingungsgrößen waren nicht erforderlich. Abbildung 7-2 stellt die verwendete Tätigkeits-Objekt-Matrix mit den gültigen und aufgetretenen Zuständen dar.

7. Anwendungsbeispiele

	Informationsbeschaffung und -verarbeitung			Material- und Hilfsmittelbeschaffung		Bauteil- und Bauplatz-vorbereitung			Durchführung			Nachbereitung			gehen zu*	warten auf*
	betrachten	sprechen (mit Zeichnung)	sprechen	transportieren von	kommissionieren	einrichten	anzeichnen	messen	schweißen	montieren	trennen	schreiben	säubern	prüfen		
Personal																
Mitarbeiter		x	x													x
Vorarbeiter																
Meister			x													
externer Mitarbeiter		x	x													x
Informationsmaterial																
Zeichnung	x			x												x
3D-Ausdruck																
Stückliste																
Arbeitsplan																
sonstige Arbeitsunterlagen	x															
BDE-Terminal																x
CAD-Arbeitsplatz																
Arbeits- und Betriebsmittel																
Werkzeugkiste				x	x											x
Ladungsträger				x	x											x
Handwerkzeug				x		x										
Messwerkzeug				x												
Schweißgerät				x		x							x			
Kran				x												x
Transportsystem				x												
sonstige Transportmittel						x										
Lager					x											x
Bauplatz	x					x	x						x			x
Werkstück																
Material, Werkstück	x			x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Örtlichkeit																
sonstige Orte																x

möglicher Zustand

* diese Zustände wurde mit einer zusätzlichen Aufnahme verursachungsgerecht verteilt

ungültiger Zustand

aufgetretener Zustand mit mehr als einer Erfassung

12915

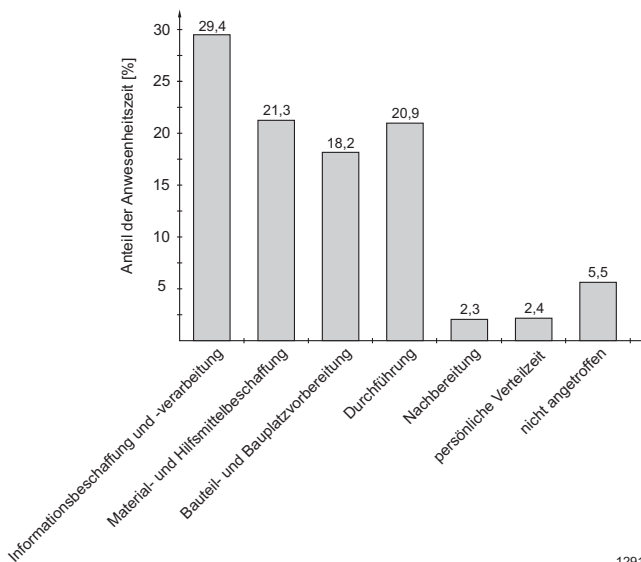
Abb. 7-2: Tätigkeits-Objekt-Matrix des Anwendungsbeispiels 1

7.2.3 Erhebung von Zustandsdaten

Die Datenerhebung erfolgte mit dem Multimoment-Häufigkeitsverfahren. Insgesamt wurden vier Schichten aufgenommen. Dabei waren zwischen 32 und 43 Mitarbeiter anwesend, die von zwei externen Beobachtern auf 42 Rundgängen erfasst wurden. Da nur die Anwesenheitszeit im Betrachtungsbereich als Grundlage verwendet wurde, waren keine weiteren Betriebsdaten notwendig, so dass die Erfassung ausschließlich auf der Ebene $E = 0$ stattfand. Der hohe Anteil an Gehzeiten veranlasste eine zusätzliche qualitative Erfassung der Zielorte, so dass die Gehzeiten verursachungsgerecht verteilt werden konnten. Nach dem gleichen Schlüssel wurden auch die Wartezeiten verteilt. Aufgrund der geringen Nacharbeitsquote von weniger als 1% wurde auf eine zusätzliche Auswertung der Qualitätsdaten verzichtet. Die Applikation auf einem Tablet-Computer wurde verwendet (Abschnitt 4.3.2). Es wurden keine Rundgänge während der offiziellen Pausenzeiten durchgeführt.

7.2.4 Analyse und Auswertung der Zustandsdaten

Abbildung 7-3 zeigt die aggregierte Verteilung der Mitarbeiterzustände auf die Phasen des generischen Arbeitszyklus bezogen auf die Anwesenheitszeit. Zusätzlich sind in Abbildung 7-4 die zehn häufigsten Mitarbeiterzustände aufgelistet.



12917

Abb. 7-3: Zyklusverteilung von Anwendungsbeispiel 1 (mit einem Vertrauensbereich von $\pm 2,2\%$)

7. Anwendungsbeispiele

Rangliste der Mitarbeiterzustände				
maximaler Vertrauensbereich: ✓ ± 2,4%				
Rang	Mitarbeiterzustand	Anteil	Verteilung	Anzahl
1	schweißen Werkstück	12,7%		205
2	sprechen mit Mitarbeiter	8,3%		134
3	gehen zur Materialbeschaffung	7,5%		122
4	ausrichten Werkstück	6,2%		100
5	montieren Werkstück	5,9%		96
6	betrachten Bauplatz	4,9%		80
7	betrachten Zeichnung	4,6%		74
8	transportieren Material	4,1%		67
9	einrichten Schweißgerät	4,0%		65
10	sprechen über Zeichnung mit Mitarbeiter	3,6%		59
Gesamtergebnis		61,8%		1002 / 1619

12927

Abb. 7-4: Rangliste der zehn häufigsten Mitarbeiterzustände von Anwendungsbeispiel 1

Die gesamte Analyse hat einen maximalen Vertrauensbereich von maximal $\pm 2,4\%$ und liegt damit unter dem üblichen Wert von $\pm 2,5\%$.

Auf Durchführungstätigkeiten wie *Schweißen* und *Montieren* entfallen 21% der Anwesenheitszeit. Am meisten Zeit benötigen die Mitarbeiter für Informationstätigkeiten (29%). Diese Phase ist damit deutlich größer als die eigentliche Wertschöpfungszeit und scheint das größte Verbesserungspotenzial zu bieten. Die *Materialbeschaffung* (21%) und die *Bauteil- und Bauplatz Vorbereitung* (18%) bieten ebenfalls weiteres Verbesserungspotenzial. Häufigster Zustand ist das *Schweißen von Werkstücken* (13%). *Sprechen mit Mitarbeiter* (8%) ist der zweithäufigste Zustand. Die zehn häufigsten Mitarbeiterzustände stellen fast 62% der gesamten Arbeitszeit dar.

Insgesamt erscheint eine Verbesserung der Informationstätigkeiten besonders sinnvoll, da die Phase der *Informationsbeschaffung und -verarbeitung* die größte ist. Diese Tätigkeiten dienen meistens der Aufgabenklärung und zur Abstimmung über Maße und der Geometrie der zu verbauenden Werkstücke. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass nicht zwischen Fachgesprächen und persönlichen Gesprächen unterschieden wurde. Beim Zustand *Sprechen über Zeichnung mit einem Mitarbeiter* (4%) ist jedoch davon auszugehen, dass es sich nur um fachliche Gespräche handelt. Zudem betrachten die *Mitarbeiter die Zeichnung* in 5% der Anwesenheitszeit.

7.2.5 Beurteilung der Ergebnisgüte

Die beiden Beobachter nahmen auf den Rundgängen insgesamt 1.619 Mitarbeiterzustände auf. Dabei konnten Sie in 89 Fällen die relevanten Mitarbeiter nicht auffinden, so dass die nicht erfasste Zeit ungefähr 5,5% beträgt. Der erwünschte Vertrauensbereich von weniger als 2,5% wurde erreicht. Eine Auswertung mit einer

7. Anwendungsbeispiele

Kontrollkarte über die Informationstätigkeiten ist in Abbildung 7-5 dargestellt und zeigt keine Störung.

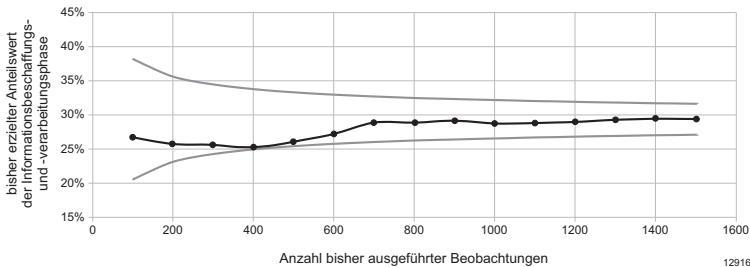


Abb. 7-5: Kontrollkarte der Multimomentaufnahme von Anwendungsbeispiel 1

7.2.6 Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen

Aufgrund des hohen Anteils der Phase *Informationsbeschaffung und -verarbeitung* werden diese Zustände als besonders verbesserungsrelevant identifiziert. Eine anschließende Ursachenanalyse zeigt, dass die komplexen Papierzeichnungen teilweise schwer verständlich, fehlerhaft oder nicht aktuell sind, so dass ein erhöhter Klärungsbedarf nötig ist. Die hohen Zeitanteile der Mitarbeiterzustände in der *Informationsbeschaffung und -verarbeitungsphase* sind somit durch die Ursachenkategorien Mensch, Methode und Management verursacht. Tabelle 7-2 zeigt die relevanten Merkmalsausprägungen für die Methodenzuordnung und gibt einen Überblick der relevanten Handlungsfelder.

Tab. 7-2: Übersicht der Handlungsfelder

Ursachen-Kategorie	Phase des generischen Arbeitszyklus					
	Informationsbeschaffung und -verarbeitung	Material- und Hilfsmittelbeschaffung	Bauteil- und Bauplatzvorbereitung	Durchführung	materielle Nachbereitung	Informationsweitergabe
Mensch	x					
Maschine	x					
Material						
Methode						
Management	x					
Milieu						

relevante Handlungsfelder mit „x“ gekennzeichnet

7. Anwendungsbeispiele

Die Methodenzuordnung ergab mehrere gängige Verbesserungsmethoden, die Tabelle 7.3 zeigt. Die *Digitale Arbeitsunterlage* [vgl. Hala15] wurde für die beschriebenen Ursachen von den beteiligten Mitarbeitern am höchsten priorisiert.

Tab. 7-3: Auswahl an klassifizierten Methode für das Anwendungsbeispiel 1

Methode	Phase des generischen Arbeitszyklus						Ursachenkategorie					
	Informationsbeschaffung und -verarbeitung	Material- und Hilfsmittelbeschaffung	Bauteil- und Bauplatz-vorbereitung	Durchführung	materielle Nachbereitung	Informationsweitergabe	Mensch	Maschine	Material	Methode	Management	Milieu
5S	x	x			x	x	x			x	x	
Arbeitsstrukturierung	x						x				x	
Auftragsbörse	x		x			x	x			x	x	
Automatisierung	x		x	x	x		x			x		
Best Practice Sharing	x		x	x	x		x			x		
Digitale Arbeitsunterlage [vgl. Hala15]	x			x		x	x			x	x	
Mehrfachqualifizierung	x		x	x			x			x		
Poka Yoke	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x
TPM	x		x		x		x	x		x	x	
Standardisierung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Zuordnung mit „x“ gekennzeichnet

In einem anschließenden Workshop wurden zustandsbezogenen Hypothesen aufgestellt, um die Potenziale der *Digitalen Arbeitsunterlage* abzuschätzen. Dabei wird zuerst der Ist-Prozess definiert, indem die Werte aus der Zustandsverteilung auf einen qualitativ beschriebenen Arbeitsablauf verteilt werden. Dazu werden mehrere Mitarbeiterzustände zu logischen Schritten zusammengefasst, deren Dauer bzw. Zeitanteil sich folglich aus den Zeitanteilen der relevanten Zustände zusammensetzt. Dabei ist es erforderlich, die Anteile einzelner Zustände auf mehrere Schritte zu verteilen. Das Ergebnis findet sich in der Definition eines möglichen Soll-Prozesses und ist auszuweise in Abbildung 7-6 dargestellt.

Anschließend wurde ein Soll-Prozess definiert, der die Veränderungen aufgrund der Implementierung einer *Digitalen Arbeitsunterlage* berücksichtigt. Die größten Potenziale werden hierbei bei den Informationstätigkeiten erwartet. Tätigkeiten wie *Betrachten* benötigen weniger Zeit, da die neue Lösung diese Informationen in einer geeigneteren Weise darstellt. In Summe sollen mit diesem Soll-Ablauf bis

7. Anwendungsbeispiele

zu 6% der Anwesenheitszeit eingespart werden. Zusätzlich entfallen noch Tätigkeiten in den vorgelagerten indirekten Bereichen, die eine weitere Untersuchung erfordern.

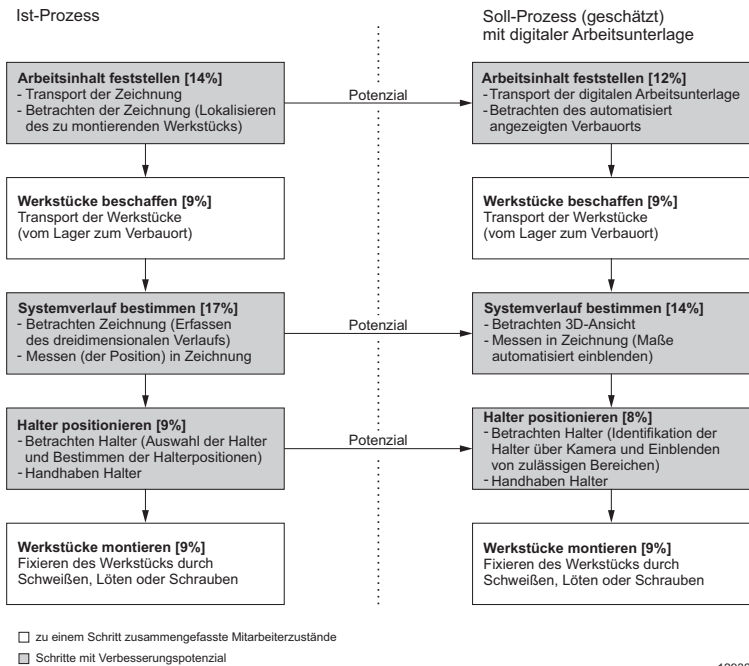


Abb. 7-6: Potenzialabschätzung mit zustandsbezogenen Hypothesen und Ablaufbeschreibung

Im Rahmen eines prototypischen Einsatzes der digitalen Arbeitsunterlage wurde das abgeschätzte Potenzial überprüft [Lödd15, S. 187f.]. Dazu rüsteten Schiffbauer einen Testraum mit einem typischen Arbeitsinhalt zunächst konventionell mit Zeichnungen und anschließend mit der digitalen Arbeitsunterlagen aus. Beide Prozesse wurden mit mehreren Kameras gefilmt und mit einer Prozessablaufanalyse ausgewertet. Es hat sich gezeigt, dass das abgeschätzte Potenzial von 6% Einsparung an Arbeitszeit erreicht wurde, obwohl die automatisierte Anzeige von Halterbereichen nicht umgesetzt wurde. So reduzierte sich die Zeit für Informationsbeschaffung und -verarbeitungstätigkeiten um 22 Minuten. Das entspricht bei einer gesamten Montagedauer von ca. 400 Minuten einer Einsparung von 6%.

7.2.7 Fazit

Mit Anwendungsbeispiel 1 ist es gelungen, die Gesamtmethodik in einem direkten Bereich anzuwenden. Insgesamt führten die Analyseergebnisse zu einer hohen Transparenz über die Anwesenheitszeit. Der Anteil der nicht erfassten Anwesenheitszeit fiel mit 5,5% sehr gering aus. Aus der Zustandsverteilung konnten verbesserungsrelevante Zustände abgeleitet werden und in Zusammenarbeit mit erfahrenen Experten eine sinnvolle Verbesserungsmaßnahme ausgewählt werden. Das Potenzial der digitalen Arbeitsunterlage wurde mit einem Soll-Prozess und zustandsbezogenen Hypothesen abgeschätzt. Anschließend konnte mit Hilfe einer Wiederholanalyse unter Verwendung einer Prozessablaufanalyse gezeigt werden, dass das Potenzial auch wirklich gehoben werden kann.

7.3 2. Anwendungsbeispiel für einen indirekten Bereich – Konstruktion

7.3.1 Beschreibung des Betrachtungsbereichs

Die zweite Praxiserprobung erfolgte in der mechanischen Konstruktion bei einem Anlagenbauer [vgl. Rost15]. Das Anwendungsbeispiel behandelt somit einen vorgelagerten indirekten Bereich. In der Abteilung arbeiten in erster Linie Konstrukteure, die mit CAD-Unterstützung Anlagen konzipieren und ausarbeiten. Es handelt sich hierbei aufgrund der kundenspezifischen Auftragsfertigung und der Individualität der Anlagen fast ausschließlich um Neu- und Anpassungskonstruktionen. Neben der Konstruktion liegen auch das technische Projektmanagement sowie die technische Zeichnungserstellung im Aufgabenbereich der Konstruktionsabteilung. Die Arbeitsaufgaben sind damit vielfältig und flexibel auf Mitarbeiter unterschiedlicher Qualifikation aufgeteilt.

Ziel der Analyse ist es, die Verteilung der Arbeitszeit auf die Phasen des generischen Arbeitszyklus zu ermitteln sowie die Tätigkeiten und Zustände zu identifizieren, die entweder einen hohen Anteil an der bezahlten Arbeitszeit ausmachen oder zwar nur einen geringen Anteil haben, jedoch vollständig vermeidbar sind. Zusätzlich soll die Verteilung der bezahlten Arbeitszeit auf verschiedene Arbeitsaufgaben sowie auf die unterschiedlichen Mitarbeitergruppen aufgezeigt werden. Die so erhobenen Daten können zum einen direkt zur Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen genutzt werden. Zum anderen geben Sie den Anstoß für nachfolgende Detailanalysen einzelner Arbeitsaufgaben.

7.3.2 Modellierung der Arbeitszeit

In der Abteilung der mechanischen Konstruktion sind Mitarbeiter unterschiedlicher Qualifikationen beschäftigt, die zwar grundsätzlich verschiedene Arbeitsaufgaben bearbeiten, je nach Bedarf aber auch andere Aufgaben wahrnehmen. Dies kann verschiedene Gründe haben: Zu Beginn eines Projektes müssen beispielsweise zunächst CAD-Modelle konstruiert werden, bevor mit der Zeichnungserstellung begonnen werden kann. So kommt es vor, dass die technischen Zeichner zunächst die Konstrukteure in ihren Arbeitsaufgaben unterstützen. Um diese As-

7. Anwendungsbeispiele

pekte in der durchzuführenden Produktivitätsanalyse abbilden zu können, werden entsprechende Bedingungsgrößen für die *Gruppenzugehörigkeit* und die *Arbeitsaufgabe* eingeführt. Neben diesen Bedingungsgrößen wurden noch die *Tageszeit* sowie die *Aufnahmeverzögerung* zu Zwecken der Evaluation von Aufnahmesoftware und Methodik erfasst. Die Bedingungsgrößen sind in Tabelle 7-4 dargestellt.

Tab. 7-4: Bedingungsgrößen für das Anwendungsbeispiel 2

Bedingungsgröße	Merkmalsausprägungen (Beispiele)	Eingabeart
Arbeitsaufgabe	<ul style="list-style-type: none"> • technisches Projektmanagement • Konstruktion • Zeichnungserstellung • Stücklistenableitung • internes Projekt • Montageklärung • keine Arbeitsaufgabe zuordenbar • persönliche Verteilzeit 	wiederholt
Gruppenzugehörigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Konstrukteur • technische Projektleiter • technische Zeichner 	einmalig
Aufnahmeverzögerung	<ul style="list-style-type: none"> • weniger als 8 Minuten • mehr als 8 Minuten 	automatisch
Tageszeit	<ul style="list-style-type: none"> • vormittags • nachmittags 	automatisch

Zusammen mit den ausgewählten Mitarbeitern wurde beschlossen, die generischen Tätigkeiten zu verwenden. Damit ergaben sich 13 arbeitsaufgabenbezogene Tätigkeiten der zweiten Detaillierungsstufe sowie die Tätigkeit *Gehen*.

Die Modellierung der Objekte erwies sich aufgrund der hohen Anzahl als komplex. Bis auf eine Ausnahme wird in allen Kategorien Detaillierungsstufe drei gewählt. Eine noch feinere Detaillierung des Personals hätte neben einem hohen Eingabeaufwand auch zu einer Verletzung der Anforderungen des Betriebsrates geführt. Eine weitere Detaillierung der Arbeitsmittel wäre nur für bestimmte Objekte möglich, daher wurde hier davon Abstand genommen. Die Detaillierung von Arbeitsunterlagen auf Stufe vier ist nur sinnvoll, wenn die Beständigkeit der verwendeten Unterlagen hoch ist. Durch das neue Anlegen von Unterlagen während des Erhebungszeitraums müssten die Objekte ständig ergänzt werden. Deswegen ist Detaillierungsstufe drei zweckmäßig. Objekte der Kategorie Informationsmaterialien werden teilweise auf Detaillierungsstufe vier erfasst, da manche Objekte in unterschiedlichen Systemen abgespeichert bzw. abgelegt sind. Durch die Erfassung auf feinsten Stufe kann z. B. bestimmt werden, ob ein spezifisches IT-System für hohe Wartezeiten verantwortlich ist. Es hat sich gezeigt, dass die Vermischung von unterschiedlichen Detaillierungsstufen möglich ist.

7. Anwendungsbeispiele

Die 14 Tätigkeiten und 69 Objekte ergeben 966 mögliche Tätigkeits-Objekt-Kombinationen. Diese konnten durch Restriktionsbildung gemäß Abschnitt 3.1.7 auf 200 mögliche Kombinationen reduziert werden. Anhang A, B und C zeigen die Tätigkeits-Objekt-Matrix, die um wenige unternehmensspezifische Objekte bereinigt wurde.

Ergänzend zu den arbeitsaufgabenabhängigen Tätigkeiten wurden allgemeine Zustände definiert. Neben Zuständen für *allgemeine Besprechungen* und *administrative Tätigkeiten* wurden auch die Zustände *Tätigkeit nicht aufgeführt*, *Tätigkeit entfallen* sowie *persönliche Verteilzeit* hinzugefügt, so dass letztlich 205 Mitarbeiterzustände definiert sind. Aufgrund einer Vereinbarung mit dem Betriebsrat wird der Anteil der persönlichen Verteilzeit nicht betrachtet. Alle weiteren Werte beziehen sich damit auf die Gesamtstichprobe abzüglich der Stichprobenanzahl der persönlichen Verteilzeit.

7.3.3 Erhebung von Zustandsdaten

Aus den drei Gruppen haben insgesamt 26 Mitarbeiter an der Multimomentaufnahme mit der Selbstaufschreibung teilgenommen. Lediglich die Mitarbeiter mit sehr individuellen Arbeitsaufgaben wurden von der Aufnahme ausgenommen, um eine mitarbeiterspezifische Zuordnung bei der Selbstaufschreibung zu verhindern. Zusätzlich wurde ein Repräsentant jeder Gruppe bestimmt, der im Rahmen der Modellierung als Experte und im weiteren Verlauf als Ansprechpartner für die Mitarbeiter fungierte. Der Betrachtungszeitraum ergab sich unter Beachtung von Urlaubsplänen und Kapazitätsauslastungen auf ungefähr drei Wochen. Bereits während der Zieldefinition der Analyse wurde vermutet, dass die Gruppenzugehörigkeit einen relevanten Einfluss auf die Zustandsverteilung hat. Damit musste die erforderliche Mindeststichprobenanzahl von jeder Gruppe erreicht werden. Aufgrund der gleichen Behandlung aller Gruppen ergaben sich vier notwendige Aufnahmen pro Stunde pro Mitarbeiter. Tabelle 7-5 zeigt die Berechnung.

Tab. 7-5: Parameter des Multimoment-Häufigkeitsverfahrens für Anwendungsbeispiel 2

Gruppenzugehörigkeit	Konstrukteure	technische Projektleiter	technische Zeichner
Stichprobengröße pro Gruppe	1500	1500	1500
erfasste Arbeitstage	207	65	112
Arbeitsstunden pro Tag	7,5	7,5	7,5
benötigte Aufnahmen pro Stunde und Mitarbeiter	1,0	3,1	1,8
tatsächliche Aufnahmen pro Stunde und Mitarbeiter	4	4	4
tatsächliche Gesamtstichprobengröße	3925	1771	2372

7. Anwendungsbeispiele

Für die Selbstaufschreibung wurde in enger Abstimmung mit dem Betriebsrat sowie der IT-Abteilung die in Abschnitt 4.3.3 vorgestellte Aufnahmesoftware verwendet. Die Mitarbeiterzustände wurden codiert in eine interne Structured-Query-Language-Datenbank (SQL-Datenbank) übertragen und temporär gespeichert, so dass weder firmeninterne noch -externe Mitarbeiter die Informationen zu nicht zweckgebundenen Auswertungen nutzen können. Zudem wurden keine Daten auf dem Computer des Mitarbeiters gespeichert, um eine mitarbeiterspezifische Zuordnung zu verhindern. Eine Signatur von zusammengehörenden Daten wird zur späteren Aggregation benötigt. Diese wurde mit einer 20-stelligen Zufallszeichenfolge bei jedem Programmstart so verschleiert, dass eine Zuordnung zu einem bestimmten Mitarbeiter im Nachhinein nicht möglich ist.

Die Ablage einer Basisversion des Tools auf einem zentralen Netzlaufwerk, welche mittels Skript-Datei von jedem Teilnehmer automatisch in ein lokales Verzeichnis kopiert werden kann, hat sich als zweckmäßig erwiesen, um die Installation möglichst einfach zu halten. Um die Zufälligkeit der Zustandsaufnahmen zu gewährleisten, jedoch keine Überschneidungen befürchten zu müssen, wurde die maximale Abweichung auf 7 Minuten festgesetzt, so dass im Schnitt alle 15 Minuten ± 7 Minuten eine Eingabeaufforderung erschien.

Die Aufnahmesoftware meldete sich auch während den offiziellen Pausenzeiten. Diese wurden wie auch die inoffiziellen Pausenzeiten der *persönlichen Verteilzeit* zugeschlagen. Eine Vereinbarung mit dem Betriebsrat erforderte, dass die *persönliche Verteilzeit* nicht Gegenstand der Analyse sein soll. Daher wurden alle Stichproben der persönlichen Verteilzeit gelöscht und werden im Weiteren nicht näher betrachtet.

Insgesamt wurden 9455 Stichproben aufgenommen. Wenn jede Stichprobe einen Aufwand von 15 Sekunden verursacht, ergibt sich damit ein Gesamtaufwand für die Erfassung von ungefähr 5 Personentagen.

In der letzten Woche verwendeten einige Mitarbeiter statt der Desktop-Aufnahmesoftware mobile Endgeräte zur Aufnahme. Das Ziel war es, die Güte der Aufnahmen zu steigern, da arbeitsferne Tätigkeiten schneller erfasst werden sollten. Die Verwendung von mobilen Endgeräten hat jedoch zu einer höheren Aufnahmeverzögerung geführt, da die Mitarbeiter das separate Aufnahmegerät leichter ignorieren konnten als die auf ihrem hauptsächlichen Arbeitsmittel installierte Aufnahmesoftware. Die so gewonnenen Zustandsdaten wurden daher verworfen.

7.3.4 Analyse von Bedingungsgrößen

Bei der Datenerhebung wurden zusätzlich vier verschiedene Bedingungsgrößen erfasst. Zuerst muss daher analysiert werden, ob die Bedingungsgrößen einen signifikanten Einfluss auf die Zustandsverteilung haben.

Einfluss der Bedingungsgröße Gruppenzugehörigkeit

Der Bereichsleiter vermutete vor der Aufnahme, dass die *Gruppenzugehörigkeit* einen Einfluss auf die Zustandsverteilung hat. Um diesen Aspekt zu überprüfen, werden die standardisierten Residuen aus Abschnitt 5.1.1 verwendet. Die Überprüfung findet sich in Tabelle 7-6.

Tab. 7-6: Anteil und Residuen der Gruppenzugehörigkeit von Anwendungsbeispiel 2

Phase	Gruppe	Konstrukteure	technische Projektleiter	technische Zeichner	gesamt
Informationsbeschaffung und -verarbeitung		16,2%	21,3%	11,0%	<u>15,8%</u>
		<i>0,4</i>	<i>34,0</i>	<i>34,3</i>	
materielle Vorbereitung		3,5%	6,3%	5,3%	<u>4,7%</u>
		<i>11</i>	<i>10,5</i>	<i>2,2</i>	
Durchführung		46,1%	33,4%	66,7%	<u>49,4%</u>
		<i>8,3</i>	<i>91,3</i>	<i>143,3</i>	
materielle Nachbereitung		4,3%	6,8%	2,8%	<u>4,4%</u>
		<i>0,1</i>	<i>22,4</i>	<i>14,3</i>	
Informationsweitergabe		17,5%	16,7%	2,5%	<u>12,9%</u>
		<i>63,0</i>	<i>19,9</i>	<i>197,8</i>	
Bewegung		2,1%	3,2%	1,3%	<u>2,1%</u>
		<i>0,0</i>	<i>11</i>	<i>7,6</i>	
arbeitsaufgabenunabhängige Zustände		7,1%	8,2%	7,5%	<u>7,5%</u>
		<i>0,7</i>	<i>1,3</i>	<i>0,0</i>	
Summe (Chi ² -Wert)		<u>677,4</u>			

Anteilswert in Prozent
standardisiertes Residuum

Es hat sich gezeigt, dass sehr viele standardisierte Residuen einen Wert größer als zwei haben, so dass auf eine genauere Analyse mit weiteren Signifikanztests verzichtet wird. Die Summe der Residuen ergibt 677 und ist für eine spätere Gewichtung der Bedingungsgrößen von Bedeutung.

Einfluss der Bedingungsgröße Arbeitsaufgabe

Neben der Gruppenzugehörigkeit wurde auch ein signifikanter Einfluss auf die Zustandsverteilung von verschiedenen Arbeitsaufgaben vermutet. Daher erfolgte analog zu dem obigen Vorgehen die Bestimmung der standardisierten Residuen. Wie bereits vermutet, hat auch die Bedingungsgröße *Arbeitsaufgabe* einen signifikanten Einfluss auf die Zustandsverteilung. Da sehr viele Werte größer als zwei sind, ist auch keine weitere Analyse mit Signifikanztests erforderlich. Es ist vielmehr sinnvoll, die Stichprobe auch nach den *Arbeitsaufgaben* zu separieren.

Einfluss weiterer Bedingungsgrößen

Die automatisch erfassten Aufnahmezeitpunkte ergeben als eine weitere Bedingungsgröße die Tageszeit. Die Analyse ergab jedoch keinen signifikanten Einfluss, ob die Aufnahme am Vormittag oder am Nachmittag erfolgte.

Zudem lässt sich die Aufnahmeverzögerung mit einem Schwellenwert von acht Minuten bestimmen. Diese erweist sich als statistisch signifikant. Es wird jedoch auf eine Teilung der Stichprobe nach dieser Bedingungsgröße verzichtet, da sich die auftretenden Unterschiede mit der Teilnahme an Besprechungen erklären.

Bewertung der Stichprobengröße relevanter Kombinationen

Sowohl die *Gruppenzugehörigkeit* als auch die zugrundeliegende *Arbeitsaufgabe* haben einen statistisch relevanten Einfluss auf die Zustandsverteilung. Es sollte nach Möglichkeit eine Unterteilung der Grundgesamtheit sowohl nach Gruppenzugehörigkeit als auch nach Arbeitsaufgabe durchgeführt werden. Dies schränkt jedoch die Gesamtstichprobe in zwei Stufen ein, wodurch die resultierenden Einzelstichproben über einen sehr großen Vertrauensbereich der ermittelten Zustandsanteile verfügen. In Tabelle 7-7 ist sowohl der Anteil an der Gesamtstichprobe als auch der erzielte Vertrauensbereich bei Teilung nach den Bedingungsgrößen *Gruppenzugehörigkeit* und *Arbeitsaufgabe* dargestellt.

Es ist zu sehen, dass die Stichprobengröße jeder Gruppe ausreicht, um Aussagen mit der geforderten Aussagewahrscheinlichkeit und dem gewünschten Vertrauensbereich über die jeweilige Verteilung der Mitarbeiterzustände im generischen Arbeitszyklus zu treffen. Eine detaillierte Untersuchung ist nur bei der Arbeitsaufgabe *Konstruktion* möglich.

Bei allen anderen Arbeitsaufgaben wird der geforderte Vertrauensbereich nicht erreicht, so dass diese Auswertungen lediglich als Tendenz zu verstehen sind. Da eine Teilung der gesamten Stichprobe nach der Gruppenzugehörigkeit in jedem Fall zu der gewünschten Aussagewahrscheinlichkeit führt, werden im Folgenden die separierten Stichproben der einzelnen Gruppen ausgewertet.

Der Anwender kann die nicht erfasste Arbeitszeit nur in der Summe betrachten, nicht aber auf einzelne Gruppen oder Arbeitsaufgaben zuordnen. Daher wird in Abschnitt 7.3.6 der Abdeckungsgrad für die gesamte Analyse bestimmt. Alle nachfolgenden Analysen und Auswertungen beziehen sich damit auf die erfassten Stichproben als Grundgesamtheit. Dabei werden leere Stichproben – von Mitarbeitern nicht ausgefüllte Abfragen – als *nicht beantwortet* berücksichtigt. Dieser Wert fließt später in die nicht erfasste Arbeitszeit mit ein.

7. Anwendungsbeispiele

Tab. 7-7: Stichprobenanteil und Vertrauensbereich bei Teilung nach relevanten Bedingungsgrößen

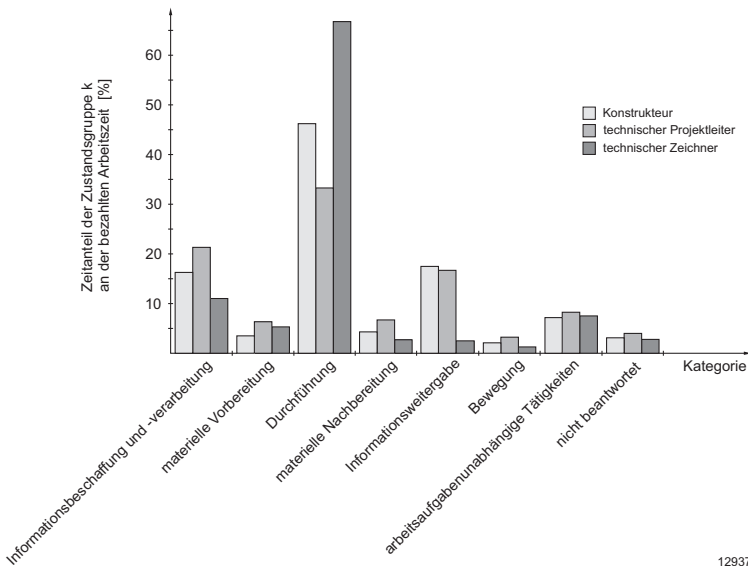
		Bedingungsgröße <i>Gruppenzugehörigkeit</i>			
		Konstrukteure	technische Projektleiter	technische Zeichner	gesamt
Bedingungsgröße <i>Arbeitsaufgabe</i>	internes Projekt	1,4% ± 9,7%	2,5% ± 7,3%	<1% -	4,0% ± 5,7%
	Konstruktion	35,3% ± 1,9%	8,2% ± 4%	18,8% ± 2,7%	62,2% ± 1,5%
		Montageklärung	1,2% ± 10,4%	<1% -	<1% -	1,5% ± 9,3%
	Stücklistenerstellung	1,1% ± 11,2	<1% -	1,6% ± 9,7%	3,3% ± 6,4%
		technisches Projektmanagement	4,7% ± 5,3%	7,5% ± 4,2%	<1% -	12,2% ± 3,3%
	Zeichnungsableitung	5,2% ± 5,1%	2,8% ± 6,9%	8,8% ± 3,9%	16,7% ± 2,8%
		gesamt	48,8% ± 1,7%	21,8% ± 2,5%	29,4% ± 2,1%	100% ± 1,2%

Anteil an der Gesamtstichprobe
erzielter Vertrauensbereich der separierten Stichprobe

7.3.5 Auswertung der Zustandsverteilung

Der Bereichsleiter ist besonders an einer Belastungsverteilung der unterschiedlichen Gruppen durch die verschiedenen Arbeitsaufgaben interessiert. Dazu wird in einem ersten Schritt die Gesamtstichprobenmenge nach der Bedingungsgröße *Gruppenzugehörigkeit* geteilt und die Zustandsanteile in einem vergleichendem Balkendiagramm (Abbildung 7-7) dargestellt. Aufgrund der Teilung nach den Bedingungsgrößen beziehen sich alle Anteile auf die arbeitsaufgabenabhängigen Zustände. Eine separate Betrachtung der nicht erfassten Arbeitszeit erfolgt in Abschnitt 7.3.6.

7. Anwendungsbeispiele



12937

Abb. 7-7: Vergleich der Gruppen über die Phasen des generischen Arbeitszyklus ($\epsilon_{\max} = \pm 2,5\%$)

Die Gruppenzugehörigkeit führt offensichtlich zu einer unterschiedlichen Arbeitsweise. Technische Zeichner sind zu zwei Dritteln der Arbeitszeit mit Durchführungstätigkeiten beschäftigt. Dagegen geben sie kaum Informationen weiter oder bereiten etwas nach. Im Vergleich dazu ist die Arbeitsweise der technischen Projektleiter unterschiedlich. Auch bei ihnen hat die Durchführungsphase den größten Anteil, jedoch stellen die beiden informatorischen Phasen zusammen einen größeren Anteil dar. Die Zustandsverteilung der Konstrukteure liegt zwischen den der beiden anderen Gruppen. Die unterschiedlichen Zustandsverteilungen decken sich mit den unterschiedlichen Stellenbeschreibungen.

Ein Vergleich über die Arbeitsaufgaben ist ebenfalls möglich, aber weniger sinnvoll, da die Aussagewahrscheinlichkeit geringer ist. Wenn man dennoch die Einflüsse beider Bedingungsgrößen miteinander vergleichen möchte, bietet sich eine Kreuztabelle an, wie in Abbildung 7-8 dargestellt. Es ist jedoch zu beachten, dass viele Kombinationen aufgrund der geringen Stichprobengröße nur eine sehr geringe Aussagewahrscheinlichkeit bzw. einen sehr großen Vertrauensbereich haben. Außerdem kann die nicht erfasste Zeit nicht eindeutig einer Kombination zugeordnet werden, weshalb sie nicht abgebildet ist.

7. Anwendungsbeispiele

	Konstrukteur		technischer Projektleiter		technischer Zeichner	
internes Projekt	Relevanz: 1,4% Vertrauensbereich: ±9,7%		Relevanz: 2,5% Vertrauensbereich: ±7,3%		Relevanz: 0,2% Vertrauensbereich: -	
Informationsbeschaffung und -verarbeitung	31,4%		29,6%		-	
materielle Vorbereitung	1,0%		15,6%		-	
Durchführung	10,8%		39,7%		-	
materielle Nachbereitung	4,9%		1,7%		-	
Informationsweitergabe	44,1%		9,5%		-	
Bewegung	6,9%		2,8%		-	
Konstruktion	Relevanz: 35,2% Vertrauensbereich: ±19,9%		Relevanz: 8,2% Vertrauensbereich: ±4%		Relevanz: 18,8% Vertrauensbereich: ±27,7%	
Informationsbeschaffung und -verarbeitung	19,0%		16,6%		17,7%	
materielle Vorbereitung	4,2%		6,8%		6,3%	
Durchführung	53,6%		55,1%		70,2%	
materielle Nachbereitung	4,4%		5,9%		2,1%	
Informationsweitergabe	16,9%		13,4%		3,2%	
Bewegung	1,8%		1,2%		0,6%	
Montageklärung	Relevanz: 1,2% Vertrauensbereich: ±10,4%		Relevanz: 0,3% Vertrauensbereich: -		Relevanz: 0% Vertrauensbereich: -	
Informationsbeschaffung und -verarbeitung	25,8%		-		-	
materielle Vorbereitung	0%		-		-	
Durchführung	2,2%		-		-	
materielle Nachbereitung	1,1%		-		-	
Informationsweitergabe	67,4%		-		-	
Bewegung	3,4%		-		-	
Stücklistenerstellung	Relevanz: 1% Vertrauensbereich: ±11,2%		Relevanz: 0,6% Vertrauensbereich: -		Relevanz: 1,6% Vertrauensbereich: ±9,7%	
Informationsbeschaffung und -verarbeitung	7,8%		-		0,9%	
materielle Vorbereitung	0%		-		0,9%	
Durchführung	84,4%		-		93,1%	
materielle Nachbereitung	6,5%		-		2,6%	
Informationsweitergabe	1,3%		-		0,9%	
Bewegung	0%		-		1,7%	
technisches Projektmanagement	Relevanz: 4,7% Vertrauensbereich: ±5,3%		Relevanz: 7,5% Vertrauensbereich: ±4,2%		Relevanz: 0% Vertrauensbereich: -	
Informationsbeschaffung und -verarbeitung	25,3%		40,0%		-	
materielle Vorbereitung	5,4%		3,5%		-	
Durchführung	17,9%		10,3%		-	
materielle Nachbereitung	4,2%		3,5%		-	
Informationsweitergabe	41,7%		32,5%		-	
Bewegung	5,7%		7,6%		-	
Zeichnungserstellung	Relevanz: 5,2% Vertrauensbereich: ±5,1%		Relevanz: 2,8% Vertrauensbereich: ±6,9%		Relevanz: 8,8% Vertrauensbereich: ±3,9%	
Informationsbeschaffung und -verarbeitung	1,6%		1,5%		2,5%	
materielle Vorbereitung	3,2%		11,9%		6,1%	
Durchführung	82,3%		49,5%		80,6%	
materielle Nachbereitung	8,6%		30,2%		5,4%	
Informationsweitergabe	2,4%		5,9%		2,4%	
Bewegung	1,9%		1,0%		3,0%	

12938

Abb. 7-8: Zustandsverteilung unter Berücksichtigung von den Gruppen und Arbeitsaufgabe

7. Anwendungsbeispiele

Es ist erkennbar, dass die unterschiedlichen Arbeitsaufgaben mehr Einfluss auf die Zustandsverteilung haben als die Gruppenzugehörigkeit. Das bedeutet, dass die unterschiedlichen Gruppen dieselben Arbeitsaufgaben ähnlich bearbeiten. Diese Übersicht der Zustandsverteilungen kann eine Grundlage sein, um eine Best Practice zu identifizieren.

Im Weiteren sollen aufgrund der hohen Anzahl an Mitarbeitern die Konstrukteure näher betrachtet werden. Analog können auch die weiteren Gruppen ausgewertet werden. Abbildung 7-9 zeigt die Verteilung auf die Arbeitsaufgaben. Dabei ist die relevanteste Aufgabe *Konstruieren* mit ihren einzelnen Phasen des generischen Arbeitszyklus dargestellt.

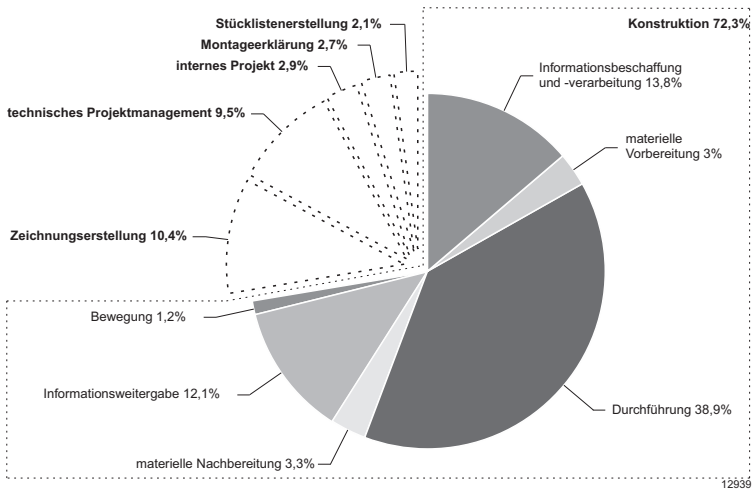












Abb. 7-9: Verteilung auf die Arbeitsaufgaben der Gruppe Konstrukteure

Die Arbeitsaufgabe *Konstruieren* nimmt fast drei Viertel der Zeit von Konstrukteuren ein. Davon sind sie den größten Zeitanteil mit dem eigentlichen Konstruieren beschäftigt. Um dies näher zu betrachten ist in Abbildung 7-10 die Rangliste der Mitarbeiterzustände der *Konstrukteure* für die Arbeitsaufgabe *Konstruieren* dargestellt. Mit einem maximalen Vertrauensbereich von $\pm 1,9\%$ hat diese separierte Analyse eine hohe Aussagewahrscheinlichkeit. Der häufigste Zustand ist das *Arbeiten am 3D-Modell (CAD)*. Dieser nimmt ungefähr die Hälfte der Zeit innerhalb der Arbeitsaufgabe *Konstruieren* ein und ist für etwas mehr als ein Drittel der gesamten Zeit verantwortlich. Auffällig ist, dass auf den offensichtlich unproduktiven Zustand *Warten auf CAD-Programm* ein relativ hoher Anteil entfällt.

7. Anwendungsbeispiele

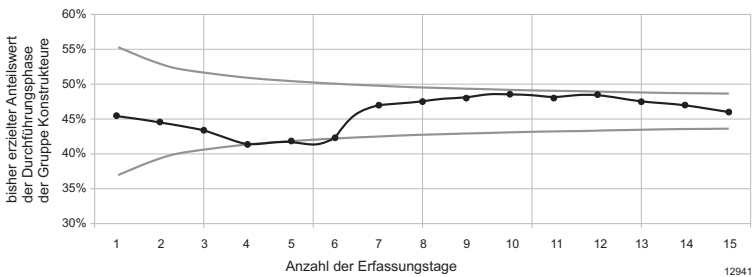
Top - Zustände				
maximaler Vertrauensbereich: ✓ ± 1,9%				
Mitarbeiterzustand	rel. Anteil	ges. Anteil	Verteilung	Anzahl
arbeiten am 3D-Modell	51,6%	33,5%		1314
mündlich erklären: Konstruktion	4,0%	2,6%		102
arbeiten an interner Spezifikation	3,7%	2,4%		94
mündlich erklären: Technischer Zeichner	3,5%	2,2%		88
mündlich erklärt bekommen: Konstruktion	3,3%	2,2%		85
warten auf: CAD-Programm	2,9%	1,9%		73
prüfen: 3D-Modell	2,4%	1,6%		62
sichten Herstellerinformation (digital)	2,4%	1,5%		60
mündlich erklären: Technischer Projektleiter	2,2%	1,4%		56
nacharbeiten 3D-Modell	2,0%	1,3%		52
...
Gesamtergebnis	100%	64,9%		3925

12940

Abb. 7-10: Rangliste der Mitarbeiterzustände in der Gruppe der Konstrukteure

Kontrolle der Multimomentaufnahme

Wie häufig bei Analysen von Arbeitsabläufen und -inhalten stellte sich auch hier die Frage, ob es innerhalb des Betrachtungszeitraums zu auffälligen Veränderungen kam, die die Ergebnisse verzerren. Mit Hilfe einer MMH-Kontrollkarte kann der Anwender eine aufgetretene Störung der Aufnahme identifizieren. In diesem Fall wurde der Anteilsverlauf der Durchführungsphase der *Konstrukteure* mit einer MMH-Kontrollkarte ausgewertet. Das Ergebnis ist in Abbildung 7-11 dargestellt.



12941

Abb. 7-11: Kontrollkarte der Multimomentaufnahme von Anwendungsbeispiel 2

Ab dem zweiten Untersuchungstag zog ein Teil der Mitarbeiter in andere Räumlichkeiten um. In der Folge blieben viele Anfragen der Aufnahmesoftware unbeantwortet. Aus den Bemerkungen ist ersichtlich, dass der Umzug die hauptsächlichste Ursache dafür war. Ab der zweiten Woche hat sich die Aufnahme stabilisiert. Es zeigt sich sogar, dass an den Tagen direkt nach dem Umzug anscheinend lie-

gebliebene Arbeitsinhalte aufgeholt werden mussten und daher der Anteil der Durchführungstätigkeiten für wenige Tage überdurchschnittlich hoch war.

7.3.6 Beurteilung der Ergebnisgüte

Der Abdeckungsgrad, der sich aus der nicht erfassten Zeit ergibt, stellt eine sinnvolle Kennzahl dar, um die Ergebnisgüte zu bewerten. In diesem Anwendungsfall ist die nicht erfasste Zeit nur für die gesamte Abteilung bestimmbar. Die abschließende Beurteilung der Ergebnisgüte mit dem Abdeckungsgrad sowie eine Beurteilung der Modellierungsgüte erfolgt daher für die Gesamtstichprobe. Kranken- und Urlaubszeiten werden nicht berücksichtigt.

Abdeckungsgrad

An der Evaluation nahmen 26 Mitarbeiter teil. Aus den Stempelzeiten im BDE-System ist ersichtlich, dass die Mitarbeiter im Untersuchungszeitraum 2783 Stunden anwesend waren.

Insgesamt wurden 9455 Mitarbeiterzustände mit 338 unterschiedlichen Signaturen erfasst. Da die Aufnahmen im Schnitt alle 15 Minuten erfolgten, ergibt sich somit eine abgedeckte Zeit von 2364 Stunden und eine nicht erfasste Zeit von 419 Stunden. Damit ergibt sich ein Abdeckungsgrad von 84,9%.

Teile der nicht erfassten Arbeitszeit erklären sich aus den folgenden Gründen:

- Ein Teil der nicht erfassten Zeit ergibt sich aus dem 15-minütigen Abfrageintervallen. Für jede Signatur wird daher 15 Minuten nicht erfasst. Das ergibt insgesamt 85 Stunden.
- Da die Selbstaufschreibung mit dem Computer erfolgt, wirkt sich ebenfalls die Spanne zwischen Beginn des Arbeitstages und Rechnerstart negativ aus. Wenn für diese Spanne zehn Minuten angenommen werden, lassen sich 56 Stunden erklären.
- Zudem zogen innerhalb des Betrachtungszeitraums mehrere Mitarbeitern um. Es wird geschätzt, dass diese außerordentlichen Zustände insgesamt 80 Stunden zuordenbar sind.

Damit können 221 Stunden der zuvor nicht erfassten Zeit erklärt werden und es ergibt sich ein bereinigter Abdeckungsgrad von 92,9%. Über die weiteren Bestandteile der nicht erfassten Arbeitszeit in Höhe von 198 Stunden gibt es keine eindeutigen Hinweise.

Modellierungsgüte

Neben der nicht erfassten Zeit sind auch während der Aufnahme teilweise ungültige Einträge entstanden. Im Wesentlichen traten vier verschiedene Fälle auf:

- *Zustand erfasst*: Der Mitarbeiter hat auf Basis der gegebenen Modellierung seinen Zustand ausgewählt und korrekt übertragen.
- *Aufnahme nicht beantwortet*: Der Mitarbeiter hat die Aufnahme nicht bzw. nicht korrekt beantwortet. Gründe hierfür könnten das Nichtbeenden des Programmes über Nacht, die Arbeit an zwei Rechnern, wobei lediglich die Aufnahmen eines Rechners beantwortet wurden, oder das bewusste Ignorieren der Aufnahme sein.
- *Zustand nicht betrachtet*: Dieser Mitarbeiterzustand ist notwendig, um eine mitarbeiterspezifische Zuordnung zu verhindern.
- *Zustand nicht zuordenbar*: Keiner der obigen Fälle tritt ein. Der Mitarbeiter führt eine Tätigkeit aus, die in der Modellierung nicht auftaucht und die er somit nicht auswählen und übermitteln kann. Die Modellierung ist an dieser Stelle unvollständig.

Das Auftreten der vier vorgestellten Fälle ist in Abbildung 7-12 dargestellt.

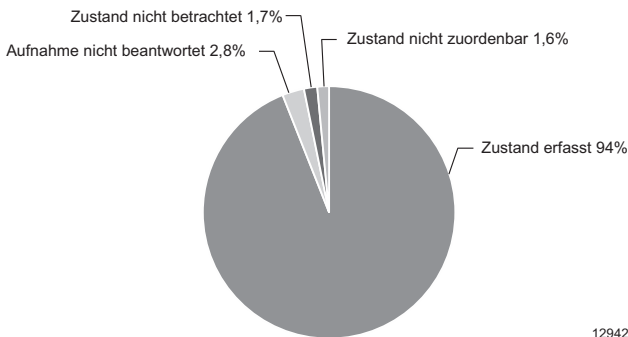


Abb. 7-12: Bewertung der Modellierungsgüte von Anwendungsbeispiel 2

Rund 94% der auftretenden Mitarbeiterzustände konnten mit der zugrundeliegenden Modellierung erfasst werden. 3% der Aufnahmen wurden nicht beantwortet. Ca. 2% wurden bewusst von der Modellierung ausgeschlossen und weniger als 2% der erfassten Anwesenheitszeit sind auf eine unzureichende Modellierung zurückzuführen.

Ein ähnliches Ergebnis spiegelt auch die Befragung von acht teilnehmenden Mitarbeitern wider [Rost15, S. 44]: Die Modellierung von Tätigkeiten und Arbeits-

7. Anwendungsbeispiele

aufgaben wurde zum Großteil als vollständig bewertet. Die Probanden empfanden den Zeitrahmen zur Eingabe des eigenen Zustandes als angemessen. Da sich die Probanden aufgrund der Einschränkung der möglichen Zustände durch Arbeitsaufgaben nur selten neu entscheiden mussten, scheint die Modellierung verständlich zu sein.

7.3.7 Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen

Für die Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen erfolgte zunächst die Identifikation der relevanten Handlungsfelder in einem Workshop. Die Tätigkeiten *Arbeiten an* und *Erklären* wurden aufgrund des hohen Anteils ausgewählt. Die Tätigkeit *Warten auf* wurde als verbesserungsrelevant identifiziert, da sie offensichtlich vermeidbar ist. Eine Ursachenanalyse ergab die in Tabelle 7-8 dargestellten Handlungsfelder. Es ist ersichtlich, dass bereits die Definition der Handlungsfelder sehr weit ist, da sehr viele unterschiedliche Einflüsse auf die gewählten Tätigkeiten existieren.

Tab. 7-8: Übersicht der Handlungsfelder

Ursachen-Kategorie	Phase des generischen Arbeitszyklus				
	Informationsbeschaffung und -verarbeitung	materielle Vorbereitung	Durchführung	materielle Nachbereitung	Informationsweitergabe
Mensch			x		x
Maschine		x	x		x
Material					
Methode			x		
Management			x		x
Milieu					

relevante Handlungsfelder mit „x“ gekennzeichnet

Auf dieser Grundlage erfolgte eine Methodenzuordnung. Da das Unternehmen keinen eigenen Methodenkatalog hatte, wurde der in Abschnitt 6.2.3 vorgestellte Methodenkatalog gewählt. Tabelle 7-9 zeigt die relevanten Methoden für die ausgewählten Handlungsfelder. Dieser Methodenvorschlag wurde im Workshop diskutiert und folgende Verbesserungsmaßnahmen beschlossen:

- *Standardisierung*: Dem hohen Anteil des Zustands *Arbeiten am 3D-Modell* soll mit einem verstärkten Bestreben nach mehr Standardisierung und Modularisierung begegnet werden. Die bestehende Gleichteile-Strategie soll vertieft werden.

7. Anwendungsbeispiele

- *Best-Practice-Workshops*: Zusätzlich sollen Best-Practice-Workshops zu Lerneffekten führen und z. B. die Nutzung der Bauteil-Bibliothek verbessern

Tab. 7-9: Auswahl an klassifizierten Methode für die Unikatproduktion

Methode	Phase des generischen Arbeitszyklus						Ursachenkategorie					
	Informationsbeschaffung und -verarbeitung	Material- und Hilfsmittelbeschaffung	Bauteil- und Bauplatz-vorbereitung	Durchführung	materielle Nachbereitung	Informationsweitergabe	Mensch	Maschine	Material	Methode	Management	Milieu
Automatisierung	x		x	x	x		x			x		
Best Practice Sharing	x		x	x	x		x			x		
Design for Assembly			x	x	x		x			x	x	
Digitale Arbeitsunterlage	x			x		x	x			x	x	
Ergonomieanalysen				x	x		x			x		
Mehrfachqualifizierung	x		x	x			x			x		
Poka Yoke	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x
Simultaneous Engineering				x			x			x		
Standardisierung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Zuordnung mit „x“ gekennzeichnet

Unabhängig von den vorgeschlagenen Methoden ergab die hohe Transparenz der bezahlten Mitarbeiterzustände zwei weitere Verbesserungsmaßnahmen:

- *Entfall einer speziellen Zeichnungsart*: Insgesamt verwenden die technischen Zeichner fast 4% ihrer Zeit mit dem Arbeiten an einer speziellen Zeichnungsart. Diese soll ab sofort entfallen, da sie im aktuellen Prozess nicht mehr relevant ist.
- *Investition in neue Rechner und Aktualisierung des CAD-Programms*: Alle Mitarbeiter *Warten* im Schnitt 4% ihrer Zeit auf das *CAD-Programm*. Zusätzlich *Arbeiten* sie mit dem Programm mehr als die Hälfte der Zeit. Eine Investition sowohl in die Hardware als auch ein Update der Software sind damit sinnvoll. Die Reduzierung der Ladezeiten würde bereits nach kurzer Zeit die Anschaffungskosten amortisieren.

Alle Verbesserungsvorschläge wurden nicht verifiziert, da die Umsetzung nicht Gegenstand der Untersuchung war.

7.3.8 Fazit

Im zweiten Anwendungsbeispiel wurde die Gesamtmethodik in einem indirekten Bereich angewendet. Dazu wurde die bezahlte Arbeitszeit in der Abteilung mechanische Konstruktion vollständig erfasst und analysiert. Trotz unterschiedlicher Gruppen und Arbeitsaufgaben konnte die Modellierung der Arbeitszeit einheitlich erfolgen, so dass eine gemeinsame Auswertung möglich war. Dabei hat sich gezeigt, dass das Konzept der Tätigkeits-Objekt-Kombination sehr gut geeignet ist, um Mitarbeiterzustände eindeutig zu beschreiben. Zudem können Bedingungsgrößen wie die Gruppenzugehörigkeit oder die unterschiedlichen Arbeitsaufgaben die relevanten Einflüsse gut trennen.

Die Erhebung der Zustandsdaten in Form einer Selbstaufschreibung war sinnvoll und wurde von den Mitarbeitern akzeptiert. Neben der leicht verständlichen Modellierung der Mitarbeiterzustände haben folgende Erfolgsfaktoren zu der hohen Akzeptanz bei den Mitarbeitern geführt: Unterstützung der Bereichsverantwortlichen, frühe Einbindung des Betriebsrats sowie der involvierten Mitarbeiter und deren Weiterbildung zu Coaches, Transparenz über die Ergebnisse und hohe Qualität der Aufnahmesoftware. Die Verwendung von zusätzlichen mobilen Endgeräten hat sich in der bisherigen Vorgehensweise als wenig sinnvoll für die Selbstaufschreibung in indirekten Bereichen erwiesen. Kombinierte Erfassungskonzepte oder Anreizsysteme für eine zeitnahe Erfassung sind mögliche Weiterentwicklungen.

Wie bereits vermutet, haben sich die Bedingungsgrößen als statistisch relevant herausgestellt. Aufgrund der hohen Stichprobenanzahl war unter Einhaltung der geforderten Aussagewahrscheinlichkeit eine Teilung der gesamten Stichprobe nach den Gruppen möglich. Die weiteren Auswertungen zeigten, dass die Daten auf vielfältige Weise analysiert werden konnten. So sind übergeordnete Betrachtungen genauso möglich wie detaillierte Analysen von einzelnen Gruppen oder Arbeitsaufgaben. Die Modellierungsgüte erwies sich aufgrund der nur geringen Anzahl an nicht zuordenbaren Zuständen als sehr gut. Diese Annahme wurde durch eine abschließende Befragung bestätigt. Zudem konnte die Methode einen großen Teil der Arbeitszeit erfassen.

Den Bereichsverantwortlichen war es mit Hilfe der Zustandsverteilung möglich, sinnvolle Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. Hierbei hat sich gezeigt, dass in den indirekten Bereichen oftmals auf Erfahrungswissen der Mitarbeiter zurückgegriffen werden muss, um die in der Zustandsverteilung dargelegten Potenziale zu identifizieren.

7.4 Weitere Anwendungen in der Industrie

Im Laufe der Entwicklung wurde die Gesamtmethodik mehrere Male in der Industrie eingesetzt. Der Fokus lag dabei vor allem in der schiffbaulichen Unikatproduktion. Insgesamt fanden 16 Analysen in verschiedenen Bereichen sowohl mit dem Multimoment-Häufigkeitsverfahren als auch mit Zeitaufnahmen statt. Tabelle 7-10 gibt dazu einen Überblick.

Tab. 7-10: Weitere Anwendungen der Analyse in der Industrie

Branche	Bereich	Anzahl MMH	Anzahl Zeitaufnahmen
Schiffbau	Baustellenfertigung	7	4
	Werkstattfertigung	1	0
	Arbeitsvorbereitung	1	1
	Service	1	1
Maschinenbau	Konstruktion	2	0
	Werkstattfertigung	1	0
Medizintechnik	Werkstattfertigung	2	0
Hochschule	Forschung	1	0
Summe		<u>16</u>	<u>6</u>

Auch im Maschinebau und in der Medizintechnik konnte die Analyse erfolgreich angewendet werden. Die Modellierung der Mitarbeiterzeit erwies sich als sehr flexibel. Es zeigte sich, dass die Modellierung sehr gut in indirekten Bereiche angewendet werden kann, da sogar Forschungsbereiche einer Hochschule mit dieser Methode modelliert und analysiert werden können. Die Analysen unterscheiden sich jedoch in ihrer Aussagekraft, da der Anteil der nicht erfassten Zeit bei manchen Analysen mehr als zehn Prozent beträgt.

7.5 Beurteilung der Gesamtmethodik

Die Anwendungsbeispiele belegen, dass Anwender die vorgestellte Gesamtmethodik in der industriellen Praxis einsetzen können. Abschließend sollen die in Abschnitt 2.6.2 definierten Anforderungen mit den erreichten Ergebnissen abgeglichen werden, um die Gesamtmethodik abschließend zu beurteilen.

Allgemeingültigkeit für die Unikatproduktion mit indirekten Bereichen

Die Unikatproduktion ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Arbeitsaufgaben. Gleichzeitig liegen viele Abhängigkeiten zwischen Bereichen vor, von denen neben den direkten Bereichen besonders die vorgelagerten indirekten Bereiche einen Großteil der Personalkosten verantworten. Zusätzlich haben diese Bereiche einen erheblichen Einfluss auf die Produktivität und Qualität

des Herstellungsprozesses. Die beiden Anwendungsbeispiele haben gezeigt, dass die Modellierung der bezahlten Arbeitszeit mit dem einheitlichen Konzept der Tätigkeits-Objekt-Kombination für die geforderten Bereiche sinnvoll ist. Unabhängig von den Eigenschaften der Untersuchungsbereiche können die Produktionsleiter die Bestandteile der bezahlten Arbeitszeit in einer gemeinsamen Sprache erfassen, aufschlüsseln und bereichsübergreifend analysieren.

Hohe Erfassungsbreite

Beide Anwendungsbeispiele zeigen, dass jeweils ein sehr großer Anteil der bezahlten Arbeitszeit erfasst werden kann. So stehen nicht nur die reinen wertschöpfenden Tätigkeiten oder Abläufe im Fokus, sondern alle zu verrichtenden Aufgaben während der Arbeitszeit. Insbesondere das Anwendungsbeispiel für den direkten Bereich zeigt, dass in den vorbereitenden Phasen und insbesondere in der Informationsbeschaffung und -verarbeitung ein großes Verbesserungspotenzial vorhanden ist. Die Definition von Handlungsräumen mit Hilfe der Kategorien des Ishikawa-Diagramms bringt zudem auch mittelbare Einflussfaktoren zum Vorschein.

Verbesserungsorientierung

Der erreichbare Detaillierungsgrad gibt Hinweise, um Verbesserungsmaßnahmen auswählen zu können. Die in den beiden Anwendungsbeispielen abgeleiteten Verbesserungsmaßnahmen haben das Potenzial, die Produktivität zu steigern. Im ersten Anwendungsbeispiel gelang die Abschätzung und Kontrolle des Verbesserungspotenzials, obwohl es sich bei der Verbesserungsmaßnahme um ein innovatives Konzept und Werkzeug handelt. Die Methodenauswahl auf der Basis von Handlungsfeldern ist dabei nur ein Ansatz. Es hat sich gezeigt, dass besonders erfahrene Mitarbeiter zusammen mit den Produktionsverantwortlichen spezifische Verbesserungsmaßnahmen ableiten können.

Praxistauglichkeit

Bisherige Versuche, die Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion umfassend zu analysieren und zu verbessern, scheiterten vor allen am hohen Aufwand. Daher wurden lediglich Teilaspekte oder andere Zielgrößen untersucht. Die beiden Anwendungsbeispiele zeigen jedoch, dass der Gesamtaufwand akzeptabel für den industriellen Einsatz ist. Speziell durch die Verwendung von generischen Tätigkeits- und Objekthierarchien ist der Anpassungsaufwand für die Modellierung sehr gering. Dabei bestimmt die Komplexität des Untersuchungsbereichs den Anpassungsaufwand, der in Anwendungsbeispiel 2 aufgrund mehrerer Gruppen und verschiedener Arbeitsaufgaben mit insgesamt zwei Tagen für die Modellierung der Mitarbeiterzustände und der Schulung für das Selbstaufnahme-Tool bereits als hoch einzuschätzen ist. Dabei waren neben dem Methodenanwender der Betriebsrat sowie jeweils ein Mitarbeiter der Gruppen involviert. Der Anpassungsaufwand bei dem übersichtlichen Untersuchungsbereich von Anwendungsbeispiel 1 betrug

7. Anwendungsbeispiele

einen Tag. Der Aufnahmearbeit ist mit fünf bzw. sechs Personentage ebenfalls relativ gering.

Die verwendeten Software-Prototypen für die Erfassung der Zustandsdaten haben den Erhebungsaufwand erheblich reduziert. So bestand im Anwendungsbeispiel 1 die Erhebungszeit von drei Tagen zum größten Teil aus den Bewegungsdauern zwischen zwei Beobachtungspunkten. Nach einer einmaligen Schulung der involvierten Mitarbeiter bei der Selbstaufschreibung verteilt sich der Erhebungsaufwand auf viele Personen. Hierbei führen sowohl mehrere Mitarbeiter als auch ein längerer Untersuchungszeitraum zu belastbaren Ergebnissen sowie einer Verringerung des spezifischen Erhebungsaufwands für den einzelnen Mitarbeiter. Unter der Annahme, dass jede Selbstbeobachtung 15 Sekunden dauerte, ergibt sich ein Aufwand von fünf Tagen.

Der Analyseaufwand beträgt aufgrund der Verwendung einer Datenbank sowie einer automatisierten Tabellenanwendung nur wenige Minuten. Die Auswertung der Zustandsverteilung erfordert jedoch die Mitwirkung von erfahrenen Mitarbeitern als auch dem Produktionsleiter und betrug in beiden Anwendungsfällen einen halben Tag. Es ist jedoch hervorzuheben, dass die höhere Qualität der Ergebnisse überhaupt erst ein solches Arbeitstreffen mit Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen ermöglicht.

Insgesamt schätzen die Methodenanwender den Gesamtaufwand als vertretbar ein. Dabei ist mit einer weiteren Reduzierung durch Lerneffekte sowie einer Verbesserung der Aufnahme- und Auswertungssoftwares zu rechnen.

Eine hohe Akzeptanz fördert weiterhin die Praxistauglichkeit. Zum einen konnte im Anwendungsbeispiel 2 belegt werden, dass die Modellierung einen hohen Vollständigkeitsgrad hat und leicht verständlich ist, da nur sehr wenige Erfassungen nicht zuordenbar waren. Zum anderen bewirken die Verwendung von leicht zu interpretierenden Darstellungen und Kennzahlen sowie die frühe Einbindung der involvierten Mitarbeiter eine hohe Akzeptanz.

8 Schlussbetrachtung

8.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt zunächst die besonderen Eigenschaften der Unikatproduktion sowie die Herausforderungen, die bereits bei der Definition der Arbeitsproduktivität bestehen (Kapitel 2). Gängige Verfahren für die Messung, Beurteilung und Verbesserung der Arbeitsproduktivität werden vorgestellt. Aus deren Defiziten ergeben sich die Anforderungen an eine Gesamtmethodik, die sowohl direkte als auch indirekte Bereiche in der Unikatproduktion umfassend auf Einflussgrößen analysiert und die Arbeitsproduktivität verbessert.

Das zentrale Element der Gesamtmethodik ist die Modellierung der bezahlten Arbeitszeit (Kapitel 3). Dabei beschreiben Mitarbeiterzustände mit Tätigkeiten und Objekten die bezahlte Arbeitszeit umfassend. Die Gliederung in die Phasen des generischen Arbeitszyklus ermöglicht wiederholbare Produktivitätsgewinne. Die Darstellung in Form einer Tätigkeits-Objekt-Matrix führt zu einem guten Verständnis und einer hohen Transparenz bei den beteiligten Mitarbeitern. Zusätzlich können die Mitarbeiterzustände um Bedingungsgrößen erweitert werden, um eine zielgerichtete Auswertung zu ermöglichen. Zusammen mit einer Strukturierung der Unikatproduktion bietet eine Datenstruktur den Rahmen für Analysen unterschiedlicher Aggregationsstufen, z. B. von gesamten Bereichen oder nur einzelnen Gruppen. Dabei bleibt der Zustandsanteil die bedeutendste Kennzahl für die Bewertung.

In der Regel erfolgt die Datenerhebung mit einem Stichprobenverfahren (Kapitel 4). Dafür ist das Multimoment-Häufigkeitsverfahren zu einem mehrdimensionalen Verfahren erweitert worden. Die Kombination mit weiteren Aufnahmeverfahren reduziert den gesamten Aufwandaufwand. Insbesondere sind auch Zeitaufnahmen möglich, um bestimmte Prozessabläufe detailliert zu erfassen und zu verbessern. Eine Vorgehensweise für die Datenerhebung leitet den Methodenanwender bei der Datenerhebung an. Dabei erhält er Vorschläge für verschiedene Erfassungsstrategien, die sich für unterschiedliche Bereiche eignen. Mit Hilfe einer horizontalen und vertikalen Datenaggregation kann der Anwender einerseits die gesamte bezahlte Arbeitszeit erfassen und andererseits verschiedene Analysen zusammenführen.

Nach der Datenerhebung analysiert der Anwender den gesamten Datensatz auf statistisch relevante Einflüsse, teilt ihn gegebenenfalls und wertet ihn anschließend aus (Kapitel 5). Die Auswertung erfolgt dabei mit einfach zu verstehenden Kennzahlen und Diagrammen, die je nach Detaillierungsgrad ausgewählt werden. Eine Beurteilung der Ergebnisgüte stellt sicher, dass die Ergebnisse aussagekräftig und repräsentativ sind. Der Anwender kann häufig in Zusammenarbeit mit erfah-

renen Mitarbeitern und Produktionsleitern auf Grundlage der Zustandsverteilung verbesserungsrelevante Mitarbeiterzustände identifizieren und Hypothesen zu Produktivitätspotenzialen aufstellen.

Als letzter Schritt ergeben sich Verbesserungsmaßnahmen, die an den relevanten Mitarbeiterzuständen ansetzen (Kapitel 6). Einerseits besteht die Möglichkeit, über eine Ursachenanalyse Handlungsfelder zu definieren, die mit klassifizierten Methoden abgeglichen werden. Andererseits können auch spezifische Verbesserungsmaßnahmen identifiziert oder ganze Prozessabläufe neu strukturiert werden. Dabei kann der Anwender auch Wechselbeziehungen zwischen Bereichen oder Arbeitsaufgaben betrachten. Die Gesamtmethodik kann Produktionsunternehmen darin unterstützen, ein kontinuierliches Produktivitätsmanagement zu betreiben.

Zwei Anwendungsbeispiele verdeutlichen das Vorgehen und die erreichbaren Analyseergebnisse (Kapitel 7). Dabei wurde die Analyse in einem direkten Bereich einer schiffbaulichen Unikatproduktion durchgeführt. Es zeigte sich, dass aufbauend auf den Analyseergebnissen Hypothesen für die erreichbare Verbesserung definiert und kontrolliert werden können. Das zweite Anwendungsbeispiel analysierte einen indirekten Bereich bei einem Anlagenbauer. Trotz der hohen Komplexität aufgrund mehrerer Arbeitsaufgaben und Arbeitsgruppen, konnte die Analyse die Zustandsverteilung ermitteln und relevante Verbesserungspotenziale identifizieren. Ebenfalls konnte die Methode in weiteren Branchen eingesetzt werden.

8.2 Ausblick

Die erreichten Ergebnisse und Erfahrungen bei den Anwendungsbeispielen sind eine gute Basis für eine Weiterentwicklung in vier Schritten: die Vorbereitung für die Integration in den betrieblichen Ablauf von Unternehmen, die Entwicklung von zustandsspezifischen Methoden, die Übertragung des Ansatzes auf weitere Bereiche und Fertigungsarten und die Erweiterung zu einer Analyse der Gesamtproduktivität.

Die Eignung der generischen Tätigkeits- und Objekthierarchien sollte in weiteren Unternehmen geprüft werden, damit das Verfahren auf allgemeingültigen Zuständen aufbaut. Zudem sollten Vorlagen für die Vereinbarungen mit der Mitarbeitervertretung erstellt werden, so dass die Einführung in Unternehmen besser planbar ist. Ideal wäre es, wenn Unternehmen Stellen definieren, die im Rahmen eines kontinuierlichen Produktivitätsmanagements auch Wiederhol- und Vergleichsanalysen durchführen.

Die bisherigen Software-Prototypen müssen für den industriellen Einsatz weiterentwickelt werden. Dafür bietet sich ein web-basierter Ansatz an, um eine plattformunabhängige Aufnahme- und Auswertungssoftware zu ermöglichen und die

8. Schlussbetrachtung

Integration unterschiedlicher Aufnahmegegeräten und Erfassungsmethoden zu vereinfachen.

Die beiden Anwendungsbeispiele haben gezeigt, dass gängige Methoden kaum geeignet sind, um relevante Mitarbeiterzustände zu verbessern. Zum einen wurden bereits viele Potenziale in den letzten Jahren mit bekannten Methoden gehoben. Zum anderen mangelt es gerade in der Unikatproduktion und besonders in den indirekten Bereichen an sinnvollen Verbesserungsmethoden. Mit den verbesserungsrelevanten Zuständen können gezielt Lücken in vorhandenen Methodensammlungen identifiziert werden. Der sich daraus ergebende Methodenbedarf sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Bisher sind direkte und vorgelagerte indirekte Bereiche im Fokus der Gesamtmethodik. Es bleibt zu überprüfen, ob sich die Methodik auch in weiteren indirekten Bereichen wie z. B. dem Einkauf anwenden lässt. Ein systematisches Vorgehen – aufbauend auf dem generischen Arbeitszyklus, den Objekten und eventuell angereichert um die Bedingungsgröße der Arbeitsaufgaben – könnte weitere Produktivitätspotenziale identifizieren und verbessern. Es bleibt die Frage, ob sich die Modellierung der Arbeitszeit mit Tätigkeiten und Objekten nicht auch für andere Branchen, wie z. B. Dienstleistungen eignet.

Weiterhin kann die entwickelte Gesamtmethodik ein kontinuierliches Produktivitätsmanagement fördern. Die Fokussierung auf die Arbeitsproduktivität könnte aber nicht ausreichend sein. Zum einen sollten auch weitere Produktivitäten wie z. B. Maschinenproduktivität berücksichtigt werden. Zum anderen sollten die logistischen Zielgrößen und deren Wechselwirkungen mit der Produktivität näher untersucht werden, um die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen zielgerichtet zu verbessern.

Literaturverzeichnis

- Alms11 Almström, P.; Kinnander, A.: The productivity potential assessment method – Assessing and benchmarking the improvement potential in manufacturing systems at shop-floor level. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 60 (2011) 7, S. 758-770.
- Barg14 Bargmann, H.; Roßmann, G.: *Ganzheitliche Produktionssysteme – Mode, Mythos, Realität*. TBS gGmbH Rheinland-Pfalz, Mainz, 2014.
- Basz03 Baszenski, N.: *Methodensammlung zur Unternehmensprozessoptimierung*. Wirtschaftsverlag Bachem, Köln, 2003.
- Baum06 Baumgärtner, G.: *Reifegradorientierte Gestaltung von Produktionssystemen – Theoretische und empirische Analyse eines Gestaltungsmodells*. TCW, München, 2006.
- Bett01 Bettoni, M.; Baschung, N.; Endress, G.; Rütli, M.: Eine prozessorientierte Mikro-Logik für praxisnahe Wissensmanagement-Projekte – Grundlagen und Vorgehensmodell. In: *Geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement – Workshop im Rahmen der 1. Konferenz Professionelles Wissensmanagement*. Müller, H. J. (Hrsg.), Baden-Baden, 2001.
- Bokr06 Bokranz, R.; Landau, K.: *Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen*. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2006.
- Bort10 Bortz, J.; Schuster, C.: *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010.
- Brun11 Brunner, F. J.: *Japanische Erfolgskonzepte*. 2. Auflage, Hanser Verlag, München, 2011.
- Bühl08 Bühl, A.: *SPSS 16 – Einführung in die moderne Datenanalyse*. 11. Auflage, Pearson Deutschland GmbH, München, 2008.
- Bund15 Bundesministerium des Inneren (Hrsg.): *Handbuch für Organisationsuntersuchungen und Personalbedarfsfermittlung*, 2013.
- Cant07 Cantner, U.; Hanusch, H. u. K. J.: *Produktivitäts- und Effizienzanalyse*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007.
- Czum13 Czumanski, T.: *Handlungsorientierte Analyse der Arbeitsproduktivität in der Serienproduktion*. Technische Universität Hamburg-Harburg (Dissertation), Hamburg, 2013.
- Demi86 Deming, W. E.: *Out of the Crisis – Quality, Productivity and Competitive Position*. Cambridge University Press, Cambridge u.a., 1986.

- dmco16 dmc-ortim GmbH (online verfügbar unter): <http://www.dmc-ortim.de/de/produkte/geraete-c-serie/ortim-c6.html> (zuletzt aufgerufen am 08.07.2016 um 9:56 Uhr).
- dMTM16 Deutsche MTM-Vereinigung e. V. (online verfügbar unter): <https://www.dmtm.com/software/produkte/mtmmobile/> (zuletzt aufgerufen am 08.07.2016 um 9:53 Uhr).
- Domb06 Dombrowski, U.; Palluck, M.; Schmidt, S.: Strukturelle Analyse ganzheitlicher Produktionssysteme. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 101 (2006) 3, S. 114-118.
- Fahr07 Fahrmeir, L.; Künstler, R.; Pigeot, I.; Tutz, G.: Statistik – der Weg zur Datenanalyse. 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin u. a., 2007
- Fren63 Frenz, W.: Beitrag zur Messung der Produktivität und deren Vergleich auf der Grundlage technischer Mengengrößen. Westdeutscher Verlag, Köln, 1963.
- Früh90 Frühwald, C.: Analyse und Planung produktionstechnischer Rüstabläufe. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990.
- Grot88 Groth, U.; Kluge, H.: Produktivitätsanalyse indirekter Bereiche. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 83 (1988) 11, S. 550-554.
- Grus10 Gruss, R.: Schlanke Unikatfertigung – Zweistufiges Taktphasenmodell zur Steigerung der Prozesseffizienz in der Unikatfertigung auf Basis der Lean Production. Technische Universität Cottbus (Dissertation), Gabler Verlag, Wiesbaden, 2010.
- Hala15 Halata, P. S.; Friedewald, A.; Hillmer, A.: Augmented-Reality-gestützte Arbeitsunterlagen für die Unikatfertigung. In: Lukas, U. v. et al. (Hrsg.): Go-3D 2015 – Computergraphik für die Praxis. Tagungsband, Rostock, 2015, S. 65-79.
- Hall69 Haller-Wedel, E.: Das Multimoment-Verfahren in Theorie und Praxis – Ein statistisches Verfahren zur Untersuchung von Vorgängen in Industrie, Wirtschaft und Verwaltung. Hanser Verlag, München, 1969.
- Harb04 Harbour and Associates, Inc.: The Harbour report – manufacturing analysis, company by company, plant by plant. Harbour Consulting, Troy, Michigan, 2004.
- Hein15 Heinig, M.: Nutzung von Virtuellen Technologien für die Montageplanung von Unikaten. Technische Universität Hamburg-Harburg (Dissertation), Hamburg, 2015.
- Hein89 Heinz, K.; Olbrich, R.: Zeitdatenermittlung in indirekten Bereichen. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1989.

- Hirs92 Hirsch, B. E.: CIM in der Unikatfertigung und -montage. Springer Verlag, Berlin, 1992.
- Hube05 Hube, G.: Beitrag zur Beschreibung und Analyse von Wissensarbeit. Jost-Jetter, Heimsheim, Stuttgart, 2005.
- Hüb98 Hübner, H.; Jahnes, S.: Management-Technologie als strategischer Erfolgsfaktor – Ein Kompendium von Instrumenten für Innovations-, Technologie- und Unternehmensplanung unter Berücksichtigung ökologischer Anforderungen. de Gruyter, Berlin, 1998.
- Ishi87 Ishikawa, K.: What is total quality control? The Japanese way. 6. Auflage, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1987.
- ISO25010 ISO/IEC 25010:2011: Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models.
- Jaco15 Jacob, F.; Kleinaltenkamp, M.: Leistungsindividualisierung und -standardisierung. In: Backhaus, K.; Voeth, M. (Hrsg.): Handbuch Business-to-Business-Marketing. 2. Auflage, Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2015, S. 277-296.
- Jenk04 Jenkins, J. L.; Orth, D. L.: Productivity Improvement Through Work Sampling. Cost Engineering 46 (2004) 3, S. 27-32.
- Jodl08 Jodlbauer, H.: Produktionsoptimierung – Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung. 2. Auflage, Springer Verlag, Wien, 2008.
- Jung10 Jung, H.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 12. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2010.
- Kerz08 Kerzner, H.: Projektmanagement – Ein systemorientierter Ansatz zur Planung und Steuerung. 2. Auflage, Redline, Heidelberg, 2008.
- Khal16 Khaleghian, H.; Shan, Y.; Lewis, P.: A Case Study of Productivity Improvement by Electrical Prefabrication. Construction Research Congress 2016: SS. 1753-1761.
- Kuhl94 Kuhlmann, T.: Konzeption und Entwicklung eines Systems zur Koordinierung der Produktion komplexer Unikate. Universität Bremen (Dissertation), Bremen, 1994.
- Like09 Liker, J. K.; Meier, D. P.: Praxisbuch – Der Toyota Weg. 3. Auflage, FinanzBuch Verlag, München 2009.
- Lödd15 Lödding, H.; Friedewald, A.; Halata, P. S.; Tietze, F.; Titov, F.: PROSPER - Produktivitätsmanagement in der schiffbaulichen Produktion ermöglichen. In: Statustagung Maritime Technologien 2015. Tagungsband, Rostock, S. 179-194.

- Lödd16 Lödding, H.: Vorlesungsskript „Produktivitätsmanagement“. Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Produktionsmanagement und -technik, Sommersemester 2016.
- Lucz97 Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin u. a., 1997.
- Mach15 Mach, F.; Zenker, M.: XXL-Produkte am laufenden Band – Einführung einer Fließfertigung in die Produktion von XXL-Produkten. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 06 (2015), S. 356-359.
- Mage14 Magenheimer, K. A.: Lean Management in indirekten Unternehmensbereichen – Modellierung, Analyse und Bewertung von Verschwendung. Technische Universität München (Dissertation), München, 2014.
- Matt98 Matt, D.: Objektorientierte Prozeß- und Strukturinnovation (OPUS) – Methode und Leitfaden zur Steigerung der Produktivität indirekter Leistungsprozesse. Universität Karlsruhe (Dissertation), Karlsruhe, 1998.
- Mese04 Mesenhöller, E.: Zeitdatenermittlung in indirekten Bereichen bei Einsatz von Workflow-Management-Systemen. Shaker Verlag, Aachen, Dortmund, 2004.
- Mich91 Michaelis, U.: Produktivitätsbestimmung in indirekten Bereichen. Springer-Verlag, Berlin, 1991.
- Mieh98 Miehler, G.: Zeitcontrolling indirekter Prozessketten. Deutscher Universitäts Verlag, München, 1998.
- Moha10 Mohammad, M.; Mann, R.; Grigg, N.; Wagner, J. P.: The right improvement initiative for the right situation – A contextual and systems approach. Proceedings of the 40th IEEE International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE), 2010, S. 1-6.
- Neb102 Nebel, T.: Produktivitätsmanagement. Theoretische Grundlagen, methodische Instrumentarien, Analyseergebnisse und Praxiserfahrungen zur Produktivitätssteigerung in produzierenden Unternehmen. Hanser Verlag, München, 2002.
- Ohno09 Ohno, T.: Das Toyota Produktionssystem. Campus Verlag. 2. Auflage, Frankfurt/Main, 2009.
- Pavn03 Pavnaskar, S. J.; Gershenson, J. K.; Jambekar, A. B.: Classification scheme for lean manufacturing tools. International Journal of Production Research, 41 (2003) 13, S. 3075-3090.
- Pear00 Pearson, K.: On the criterion that a given system of derivations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random

- sampling. In: The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. 50 (1990) 5, S. 157–175.
- Pete05 Peters, S.; Rolf Brühl, J. N.: Betriebswirtschaftslehre – Einführung. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 2005.
- Rasc86 Rascati, K. L.: Multidimensional work sampling to evaluate the effects of computerization in an outpatient pharmacy. University of Florida (Dissertation), Gainesville, 1986.
- Raus11 Rausch, A.: Erleben und Lernen am Arbeitsplatz in der betrieblichen Ausbildung. VS Verlag, Wiesbaden, 2011.
- Refa97 Bundesverband e. V. (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation – Datenermittlung. Carl Hanser Verlag, München, 1997.
- Refa02 Bundesverband e. V. (Hrsg.): Ausgewählte Methoden zur prozessorientierten Arbeitsorganisation. REFA, Darmstadt, 2002.
- Refa16 REFA Bundesverband e. V. (online verfügbar unter): <http://www.refa.de/service/timetools/refa-chronos> (zuletzt aufgerufen am 08.07.2016 um 9:50 Uhr).
- Rohm83 Rohmert, W.: Formen menschlicher Arbeit. In: Rohmert W, Rutenfranz J (Hrsg): Praktische Arbeitsphysiologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1983.
- Rost15 Rost, J. R.; Tietze, F. (Betreuer); Lödding, H. (Prüfer): Produktivitätsanalyse in der Konstruktion am Beispiel eines Anlagenbauers. Technische Universität Hamburg-Harburg (Projektarbeit), 2015.
- Rupp15 Ruppel, D.: Hindernisse und Herausforderungen bei der Implementierung Ganzheitlicher Produktionssysteme. Soziologisches Arbeitspapier Nr. 41, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät, Dortmund, 2015.
- Saur11 Saurin, T. A.; Marodin, G. A.; Ribeiro, J. L. D.: A framework for assessing the use of lean production practices in manufacturing cells. International Journal of Production Research, 49 (2011) 11, S. 3211-3230.
- Sche15 Schewe, S.; Herbig, N.: Lean Administration – Methoden der Prozessvisualisierung und Prozessoptimierung. BoD GmbH, Nordstedt, 2015.
- Schl10 Schlick, C; Bruder, R.; Luczak, H.; Mayer, M.; Abendroth, B.: Arbeitswissenschaft. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2010.
- Schm14 Schmidt, G.: Methode und Techniken der Organisation. 13. Auflage, Eigenverlag, Giessen, 2014.
- Shin85 Shingo, S.: A Revolution in Manufacturing – The SMED System. Productivity Press, Portland, 1985.

- Simo87 Simons, B.: Das Multimoment-Zeitmeßverfahren – Grundlagen und Anwendung. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1987.
- Sing00 Singh, H.; Motwani, J.; Kumar, A.: A review and analysis of the state-of-the-art research on productivity measurement. *Industrial Management & Data Systems*, 100 (2000) 5, S. 234-241.
- Skec15 Skec, S.; Storga, M; Tecec Ribarić, Z.; Marjanovic, D.: Work sampling approach for measuring intellectual capital elements in product development context. *Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED 2015)*, S. 457-466.
- Spat03 Spath, D.: Ganzheitlich produzieren – Innovative Organisation und Führung. LOG_X, Stuttgart, 2003.
- Stow10 Stowasser, S.: Produktivität und Industrial Engineering. *Angewandte Arbeitswissenschaft – Zeitschrift für die Unternehmenspraxis*, 47 (2010) 204, S. 35-85.
- Suma84 Sumanth, D. J.: Productivity engineering and management. Productivity measurement, evaluation, planning, and improvement in manufacturing and service organizations. McGraw-Hill, New York, 1984.
- Sund12 Sundkvist, R.; Hedman, R.; Almström, P.; Kinnander, A.: Improvement potentials in Swedish electronics manufacturing industry – Analysis of five case studies. *Procedia CIRP* 126 (2012) 3, S. 126-131.
- Tang04 Tangen, S.: Evaluation and Revision of Performance Measurement Systems. Royal Institute of Technology (Dissertation), Stockholm, 2004.
- Thaw08 Thawesaengskulthai, N.; Tannock, J. D. T.: A decision aid for selecting improvement methodologies. *International Journal of Production Research*, 46 (2008) 23, S. 6721-6737.
- Thom81 Thomas, W.; Hemmers, K.: Zeit- und Kapazitätsplanung in indirekten Bereichen – Eine Studie in deutschen Industriebetrieben. In: *Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering*. Band 30, 1981, S. 433-439.
- Thom83 Thomas, H. R.; Guevara, J.; Gustenhoven, C. T.: Improving Productivity Estimates by Work Sampling. *Journal of Construction Engineering and Management* 2 (1983) 110, S. 178-188.
- Tiet14 Tietze, F.; Lödding, H.: Produktivitätsanalyse in der Unikatfertigung mit mobilen Endgeräten. In: *Forschungsschwerpunkt Maritime Systeme der TUHH (Hrsg.): 5. Interdisziplinärer Workshop Maritime Systeme*. Tagungsband, Hamburg-Harburg, 2014, S. 1-3.

- Trei03 Treier, C.: Entwicklung eines Methodenberatungs- und -gestaltungssystems zur Erforschung und Rationalisierung des Methodeneinsatzes in Wirtschaft und Wissenschaft. Shaker Verlag, Aachen, 2003.
- Ullm09 Ullmann, G.: Ganzheitliche Produktionssysteme – IPH-Methodensammlung. Institut für integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH, Hannover, 2009.
- Uygu09 Uygun, Y.; Keßler, S.; Strausberg, J.: Verbreitung Ganzheitlicher Produktionssysteme. wt Werkstattstechnik online, 99 (2009) 3, S. 136-140.
- VDI2870-2 Verein Deutscher Ingenieure: VDI Richtlinie 2870, Blatt 2 – Ganzheitliche Produktionssysteme – Methodenkatalog. Beuth Verlag, Düsseldorf, 2013.
- Wan08 Wan, H.; Chen, F.: A leanness measure of manufacturing systems for quantifying impacts of lean initiatives. International Journal of Production Research, 46 (2008) 23, S. 6567-6584.
- Webe98 Weber, H. K.: Rentabilität, Produktivität und Liquidität – Größen zur Beurteilung und Steuerung von Unternehmen. 2. Auflage., Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998.
- West06 Westkämper, E.: Einführung in die Organisation der Produktion. Springer Verlag, Berlin, 2006.

Teil B

Tätigkeits-Objekt-Matrix für das zweite Anwendungsbeispiel (2/3)

Informationsmaterial	I	I		II	III	IV	V
		schriftlich erklären	mündlich erklären				
Vertrag							
Kalkulation							
Interne Auftragsbestätigung							
Dokumentation							
Kundenspezifikation							
Layoutzeichnung							
Interne Spezifikation							
3D-Modell (CAD)							
Baugruppenzeichnung							
Einzelteilzeichnung							
Stamm-Stückliste							
Auftrags-Stückliste							
Foto							
Dokumentation (als Vorlage)							
3D-Modell (als Vorlage)							
Zeichnung (als Vorlage)							
Stamm-Stückliste (als Vorlage)							
Auftrags-Stückliste (als Vorlage)							
Angebot (als Vorlage)							
Werknorm							
Konstruktionshandbuch							
Referenzzeichnung							
Übersicht Beschaffungszeiten							
Angebot (Zulieferer)							
Herstellerinformation (analog)							
Herstellerinformation (digital)							
Fachliteratur							

I: Informationsbeschaffung und -verarbeitung
 II: materielle Vorbereitung
 III: Durchführung
 IV: materielle Nachbereitung
 V: Informationsweitergabe
 DS: Detaillierungsstufe mit
 ungeordneter Objektkategorie

möglicher Zustand
 ungültiger Zustand

Teil C

Tätigkeits-Objekt-Matrix für das zweite Anwendungsbeispiel (3/3)

		I						II		III		IV		V							
		mündlich erklären		schriftlich erklären		suchen		einrichten		warten auf		arbeiten an		prüfen		ablegen		mündlich erklären		schriftlich erklären	
I: Informationsbeschaffung und -verarbeitung II: materielle Vorbereitung III: Durchführung IV: materielle Nachbereitung V: Informationsweitergabe DS: Detaillierungsstufe mit übergeordneter Objektkategorie																					
<input type="checkbox"/> möglicher Zustand <input checked="" type="checkbox"/> ungültiger Zustand		Arbeits- und Betriebsmittel																			
CAD-Programm				DS 3: Software																	
Berechnungsprogramm				DS 3: Software																	
PDM-System				DS 3: Software																	
ERP-System				DS 3: Software																	
Drucker				DS 3: Orisfestes Arbeitsmittel																	
Arbeitsplatz				DS 3: Orisfestes Arbeitsmittel																	
Arbeitsunterlagen																					
Dokumentation				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
Angebotsanfrage				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
3D-Modell (CAD)				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
Einzelzeichnung				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
Baugruppenzeichnung				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
Stamm-Stückliste				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
Auftrags-Stückliste				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
Artikel				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
Protokoll				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
Montagebericht				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
Internes Projekt				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
Anforderung (an Einkauf)				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
Spezifikation				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	
Präsentation				DS 3: Digitale Arbeitsunterlagen																	

13077

Lebenslauf

Name	Tietze
Vorname	Florian
Staatsangehörigkeit	deutsch
Geburtsdatum	20.06.1984
Geburtsort, -land	Delmenhorst, Deutschland
08.1990 - 07.1994	Grundschule Deichhorst in Delmenhorst
08.1994 - 07.1996	Orientierungsstufe West in Delmenhorst
08.1996 - 07.2003	Gymnasium an der Max-Planck-Straße in Delmenhorst
08.2003 - 06.2004	Zivildienst an der Schule an der Karlstraße in Delmenhorst
10.2004 - 03.2010	Studium an der Technischen Universität Berlin Abschluss: Diplom-Ingenieur
04.2010 - 07.2010	freiberufliche Nebentätigkeiten
08.2010 - 02.2011	Auslandsaufenthalt
03.2011 - 05.2011	arbeitssuchend
06.2011 - 03.2016	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionsmanagement und -technik der Technischen Universität Hamburg-Harburg
04.2016 - 08.2016	Vorbereitung der Selbstständigkeit
09.2016 - heute	geschäftsführender Gesellschafter der attenio GmbH, Hamburg

Schriftenreihe

Band 1

Koch, Jens Bodo: Unterstützung der schiffbaulichen Projektierung durch Repräsentation von Erfahrungswissen, 2004.

Band 2

Meyer, Sven: Flexible Gruppenarbeit in der Auftragsfertigung, 2004.

Band 3

Joswig, Dirk: Untersuchungen zum Zerspanverhalten weicher Elastomerwerkstoffe, 2005.

Band 4

Kerse, Nils: Unterstützung der schiffbaulichen Produktentstehung durch Einsatz von Virtual Reality (VR)-Technologien, 2007.

Band 5

Kurzewitz, Mathias: Kompetenzentwicklung als Element erfolgreicher Strategieumsetzung – dargestellt am Beispiel des Schiffbaus, 2007.

Band 6

Davids, Niko: Workflow-Management in Produktentwicklungsprojekten der Investitionsgüterindustrie, 2008.

Band 7

Möller, Carsten: Untersuchungen zum Drehen von gesinterten WC-Co-Hartmetallwalzringen, 2009.

Band 8

Gotsch, Falko: Untersuchungen zum Zerspanverhalten von Elastomerschäumen mit dem Ziel einer wirtschaftlichen Fertigung von Feder-Dämpfer-Bauteilen, 2009.

Band 9

Neumann, Lutz: Risikomanagement bei der Gestaltung von Unternehmenskooperationen – untersucht am Beispiel der Investitionsgüterindustrie, 2009.

Band 10

Sellmer, Dirk: Untersuchungen zur Verbesserung des Arbeitsergebnisses beim Vollbohren unter besonderer Berücksichtigung der Prozesskräfte und der Spanbildung, 2010.

Band 11

Eggers, Daniel: Entwicklung von Dienstleistungsportfolios bei Investitionsgüterherstellern – dargestellt am Beispiel der maritimen Industrie, 2009.

Band 12

Kindler, Jörg: Werkstückqualität und Standzeitorientierung von Zerspanwerkzeugen bei der Umrissbearbeitung von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen, 2010.

Band 13

Frömming, Hanno: Zerspanung von WC-Co-Hartmetall im unterbrochenen Schnitt, 2011.

Band 14

Schweitzer, Thomas: Nutzungsgradsteigerung verketteter Produktionslinien, 2011.

Band 15

Wagner, Lars Arne: Szenariobasierte Planung und Steuerung mit Simulation im Schiffbau, 2011.

Band 16

Schäfer, Christoph: Einsatzmodell zur systematischen Nutzung von Virtueller Realität in der Unikatproduktion, 2012.

Band 17

Hartmann, Dirk: Delamination an Bauteilkanten beim Umrissfräsen kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe, 2012.

Band 18

Kuyumcu, Arif: Modellierung der Termintreue in der Produktion, 2013.

Band 19

Czumanski, Thomas: Handlungsorientierte Analyse der Arbeitsproduktivität in der Serienproduktion, 2013.

Band 20

Schütte, Christoph: Bohren und Hobeln von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen unter besonderer Berücksichtigung der Schneide-Faser-Lage, 2014.

Band 21

Wandt, Robert: Modellgestützte Fertigungssteuerung in der Unikatfertigung am Beispiel des Schiffbaus, 2014.

Band 22

Eichenseer, Christiane: Beschichtung, thermomechanische Charakterisierung und Spannungsanalyse von Schneidkeramik, 2014.

Band 23

Heinig, Martin: Nutzung von Virtuellen Technologien für die Montageplanung von Unikaten, 2015.

Band 24

Körkel, Gregor K.: Zerspanbarkeitsbewertung von Faserverbundkunststoffen bei der Fräsbearbeitung dünnwandiger Bauteile in der Großserie, 2015.

Band 25

Ramirez Martinez, Juan A.: Flexible Automated Assembly Systems for Large CFRP-Structures using Geometrical and Force Information, 2015.

Band 26

Dose, Frank: Methode zur wissensbasierten Prozessentwicklung – Ein Ansatz für die Berücksichtigung sich wandelnder Teilsysteme beim Bohren von Schichtverbunden, 2015.

Band 27

Trzyna, Daniel: Modellierung und Steuerung von Eilaufträgen in der Produktion, 2015.

Band 28

Griefahn, Dominik: Geometrieprüfung innerer Strukturen von Faserverbund-Sandwichbauteilen, 2015.

Band 29

Borrmann, Christof: Adaptive Montageprozesse für CFK-Großstrukturen mittels Offline-Programmierung von Industrierobotern, 2016.

Band 30

Klingelhöller, Christian: Trennschleifen von CFK-Schalenbauteilen mit räumlich gekrümmten Konturen, 2016.

Band 31

Titov, Fedor: Technologiegestützte Angebotserstellung für den Umbau komplexer Investitionsgüter, 2016.

Band 32

Tietze, Florian: Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion, 2017.