

Analyse und Optimierung von Suchvorgängen in der industriellen Produktion

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von
Philipp Steenwerth

aus
Henstedt-Ulzburg

2023

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding

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

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Oktober 2023

Wissen schafft Innovation

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding

Prof. Dr.-Ing. Jan Hendrik Dege

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Hintze

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

Anschrift:

Technische Universität Hamburg

Institut für Produktionsmanagement und -technik

Denickestraße 17

21073 Hamburg

Band 50:

Philipp Steenwerth

Analyse und Optimierung von Suchvorgängen in der industriellen Produktion

1. Auflage

Hamburg 2023

ISSN 1613-8244

DOI: <https://doi.org/10.15480/882.8881>

Copyright Philipp Steenwerth 2023

Vorwort

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

Mein besonderer Dank gilt dem Leiter des Institutes, Professor Hermann Lödding, für die Betreuung meiner Arbeit, die vielen wertvollen Anregungen und konstruktiven Kommentare sowie für das mir entgegengebrachte Vertrauen und die Freiräume, eigene Ideen einzubringen und umzusetzen. Ebenso danke ich Herrn Professor Wolfgang Kersten für die Erstellung des Zweitgutachtens und Professor Dieter Krause für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Bei allen Kolleginnen und Kollegen, die ich während meiner Zeit am Institut kennenlernen durfte, möchte ich mich herzlich für die hervorragende und hilfreiche Zusammenarbeit sowie für die positive und motivierende Arbeitsatmosphäre bedanken. Robert Glöckner und Constantin Grabner danke ich für die große Hilfsbereitschaft insbesondere am Anfang meiner Institutszeit sowie für die Grundlagen der softwaretechnischen Lösung meiner Arbeit. Besonders hervorzuheben sind Michael Winter und Christopher Mundt, die mir sowohl beruflich als auch privat stets mit einem offenen Ohr und wertvollen Ratschlägen zur Seite standen. Auch die gemeinsamen Reisen, Freizeitaktivitäten und Feiern im Kollegenkreis tragen dazu bei, dass ich die letzten Jahre immer in sehr guter Erinnerung behalten werde. Es freut mich sehr, dass sich in meiner Zeit am Institut viele neue Freundschaften entwickelt haben.

Weiterhin möchte ich mich bei allen Studenten und Studentinnen bedanken, die mich während meiner Promotionszeit begleitet haben.

Mein persönlicher Dank gilt meiner Familie. Meiner Frau Margret Steenwerth danke ich für ihre bedingungslose Unterstützung und den Rückhalt auch in schwierigen Zeiten sowie für unzählige wundervolle Momente. Meinen Eltern Claudia und Frank Steenwerth sowie meiner Schwester Theresa Clausen Steenwerth danke ich dafür, dass sie mich stets ermutigt und unterstützt haben, meine eigenen Ziele und Wünsche zu verfolgen. Ohne euch wäre diese Arbeit sehr wahrscheinlich nicht entstanden.

Hamburg, im November 2023

Philipp Steenwerth

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Aufbau der Arbeit	2
2	Grundlagen und bestehende Ansätze.....	4
2.1	Industrielle Produktion.....	4
2.1.1	Inputfaktoren der Produktion	4
2.1.2	Fertigungstypen	5
2.2	Grundlagen des Produktivitätsmanagements.....	6
2.2.1	Produktivität und Arbeitsproduktivität	6
2.2.2	Verbesserung der Arbeitsproduktivität	8
2.2.3	Produktivitätsmanagement	12
2.3	Suchvorgänge in der industriellen Produktion	14
2.3.1	Relevanz von Suchaufwänden in der Produktion.....	14
2.3.2	Beschreibung von Suchvorgängen.....	16
2.4	Verfahren der Zeitermittlung	18
2.4.1	Überblick über Zeitermittlungsverfahren.....	18
2.4.2	Kontinuierliche Beobachtung	20
2.4.3	Verfahren der Stichprobenbeobachtung	23
2.4.4	Statistische Analyse produktivitätsrelevanter Daten	26
2.5	Ansätze zur Analyse der Arbeitsproduktivität	28
2.6	Ansätze zur Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen.....	33
2.7	Fazit der Grundlagen und bestehenden Ansätze	35
2.7.1	Defizite	36
2.7.2	Anforderungen an die Gesamtmethodik.....	37
3	Modellierung des Suchaufwands	39
3.1	Ziele und Anforderungen an die Modellierung.....	39
3.2	Definition von Suchzuständen	39
3.3	Suchobjekte.....	40
3.3.1	Physische Suchobjekte.....	41
3.3.2	Information als Suchobjekt	43
3.4	Suchtätigkeiten.....	45

3.5	Suchaufwand.....	47
3.5.1	Suchaufwand bei der Materialsuche	49
3.5.2	Suchaufwand bei der Informationssuche	51
3.6	Evaluation wichtiger Einflussgrößen.....	52
3.6.1	Materialsuche.....	52
3.6.2	Informationssuche	55
4	Datenerhebung von Suchzuständen.....	58
4.1	Datenstruktur.....	58
4.1.1	Strukturierung des Betrachtungsbereichs	58
4.1.2	Bestandteile der bezahlten Arbeitszeit	59
4.1.3	Horizontale Datenaggregation.....	61
4.1.4	Vertikale Datenaggregation	65
4.1.5	Zusammensetzung von Suchphasen	66
4.1.6	Zuordnung relevanter Einflussgrößen	67
4.2	Konzept zur Datenerhebung	67
4.2.1	Auswahl von Methoden zur Datenerhebung	67
4.2.2	Gestufte Zeitaufnahmen	68
4.3	Vorgehensweise bei der Datenerhebung	70
4.3.1	Zieldefinition der Analyse.....	70
4.3.2	Strukturierung der Produktion.....	71
4.3.3	Auswahl des Analysebereichs.....	71
4.3.4	Erstellung der Tätigkeits- und Objekthierarchien	72
4.3.5	Konzept der Datenerfassung	75
4.3.6	Datenerfassung für die Grobanalyse.....	78
4.3.7	Datenerfassung für die Detailanalyse.....	79
4.4	Einsatz von IT-Werkzeugen zur Datenerfassung.....	81
4.4.1	Anforderungen an eine Software zur Datenerhebung.....	81
4.4.2	Software zur IT-gestützten Datenerhebung	82
5	Analyse und Auswertung von Suchzuständen.....	88
5.1	Auswertung der erfassten Daten	88
5.1.1	Datenaggregation	88
5.1.2	Kennzahlen	88
5.1.3	Darstellung von Analysen	92
5.2	Bewertung der Ergebnislänge	95

5.3 Software-Demonstrator für die automatisierte Auswertung.....	99
6 Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen.....	103
6.1 Auswahl von Handlungsfeldern	103
6.2 Ursachenanalyse.....	104
6.3 Ableitung und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen	107
6.4 Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen	107
6.5 Einordnung in ein Produktivitätsmanagement	108
7 Evaluation.....	110
7.1 Ziele und Anforderungen.....	110
7.2 Anwendungsbeispiel	110
7.2.1 Zielsetzung der Analyse	110
7.2.2 Beschreibung des Analysebereichs	111
7.2.3 Erstellung der Tätigkeits- und Suchobjekthierarchie.....	112
7.2.4 Datenerhebung	114
7.2.5 Auswertung der Analyseergebnisse	114
7.2.6 Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen.....	121
7.3 Bewertung des Gesamtvorgehens.....	122
7.3.1 Zielerreichung der Gesamtmethodik	123
7.3.2 Grenzen des Vorgehens und der Evaluierung	125
8 Schlussbetrachtung	127
8.1 Zusammenfassung.....	127
8.2 Ausblick.....	128
Literaturverzeichnis	130
Anhang	135

Abkürzungsverzeichnis

GPS	Ganzheitliche Produktionssysteme
HMI	Human Machine Interface
IT	Informationstechnologie
MMH	Multimoment-Häufigkeitsverfahren
MMZ	Multimoment-Zeitmessverfahren
MTM	Methods-Time Measurement
PDCA	Plan Do Check Act

Verzeichnis der Formelzeichen

Variablen

a_i	: Maßzahl der Ordnungsstatistik einer normalverteilten Zufallsvariablen
α	: Fehlerwahrscheinlichkeit
AG	: Abdeckungsgrad
AS	: Suchanteil
AZ	: Anteil an Arbeitszeit
EF	: Ausprägung Einflussfaktor
EG	: Erfassungsgrad
ER	: Erfolgsrate
$F(x)$: Verteilungsfunktion der Normalverteilung
H	: Häufigkeit
$H(x)$: Verteilungsfunktion (Kumulierte Häufigkeit) der Stichprobe
IB	: Ausprägung Idealbedingung
KS	: Teststatistik (Kolmogorov-Smirnov-Test)
LG	: Losgröße
S	: Standardabweichung
SA	: Suchaufwand
SD	: Dauer Suchvorgang
SH	: Suchhäufigkeit
SP	: Dauer der Suchphase
t	: Einzelzeit
\hat{W}	: Teststatistik (Shapiro-Wilk-Test)

$x_{(i)}$: *Beobachtung i aus der aufsteigend geordneten Stichprobe*

Z : *Arbeitszeit*

ZAU : *Auftragszeit*

Indizes

anw : *anwesend*

bez : *bezahlt*

ein : *Einzelzeit*

e : *erfasst*

ges : *gesamt*

kum : *kumuliert*

m : *Mittelwert*

max : *Maximalwert*

min : *Minimalwert*

ne : *nicht erfasst*

oS : *ohne Suchaufwand*

r : *Rüsten*

S : *mit Suchaufwand*

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Struktur für den Konzeptteil der Arbeit.....	3
Abbildung 2-1: Elemente eines Arbeitssystems.....	4
Abbildung 2-2: Ausprägung der Fertigungsarten in Anlehnung an.....	5
Abbildung 2-3: Stellgrößenmodell <i>Durchführung der Arbeitsaufgabe</i>	8
Abbildung 2-4: Zusammensetzung der Auftragszeit	9
Abbildung 2-5: Produktivitätsverbesserungszyklus.....	11
Abbildung 2-6: Ursache-Wirkungs-Diagramm.....	11
Abbildung 2-7: Regelkreis des Produktivitätsmanagements	13
Abbildung 2-8: Arbeitszeitanteile in der Schiffbauproduktion.....	16
Abbildung 2-9: Gliederung der Ablaufarten für Mitarbeiter	17
Abbildung 2-10: Zeitermittlungsverfahren	19
Abbildung 2-11: REFA-Standardprogramm Zeitaufnahme	21
Abbildung 2-12: Fortschritts- und Einzelzeitmessung.....	22
Abbildung 2-13: Messfehler bei der Zeitaufnahme	22
Abbildung 2-14: Prinzip des Multimoment-Zeitmessverfahrens	25
Abbildung 2-15: Generischer Arbeitszyklus für direkte Bereiche.....	31
Abbildung 2-16: Entscheidungsbaum für die Multimomentaufnahme	32
Abbildung 2-17: Aufbau und Struktur von Ganzheitliche Produktionssystem	33
Abbildung 2-18: PDCA-Zyklus.....	34
Abbildung 3-1: Beispiel zur Beschreibung von Suchzuständen	40
Abbildung 3-2: Suchobjekthierarchie für physische Objekte	41
Abbildung 3-3: Klassifikation von Informationsträgern.....	42
Abbildung 3-4: Suchobjekthierarchie für Informationen	44
Abbildung 3-5: Generische Suchphasen.....	45
Abbildung 3-6: Konzept der untergeordneten Suchvorgänge.....	46
Abbildung 3-7: Schematische Darstellung des Modellierungsansatzes	49
Abbildung 3-8: Modellierung der Suchdauer für die Suche nach Material	50
Abbildung 3-9: Modellierung der Suchdauer für die Suche nach Information	51
Abbildung 3-10: Versuchsaufbau zur Bewertung der Einflussgrößen (Materialsuche).....	53

Abbildung 3-11: Einflüsse auf den mittleren Suchaufwand (Materialsuche)	54
Abbildung 3-12: Wechselwirkung der Einflussgrößen Sortierung und Kennzeichnung	55
Abbildung 3-13: Einflüsse auf den mittleren Suchaufwand (Informationssuche)	56
Abbildung 3-14: Wechselwirkung der Einflussgrößen Sortierung und Strukturierung	57
Abbildung 4-1: Beispiel für die Strukturierung unterschiedlicher Produktionsbereiche	59
Abbildung 4-2: Generische Tätigkeitshierarchie	61
Abbildung 4-3: Horizontale Datenaggregation auf Ebene 0	65
Abbildung 4-4: Logik der vertikalen Datenaggregation	66
Abbildung 4-5: Konzept der gestuften Zeitaufnahme	68
Abbildung 4-6: Struktur der Tätigkeitshierarchie	73
Abbildung 4-7: Grundlage für die Definition und Einordnung von Suchobjekten	74
Abbildung 4-8: Beziehung von Tätigkeits- und Objekthierarchie	75
Abbildung 4-9: Detailstufen der Analysemethode am Beispiel einer Informationssuche	77
Abbildung 4-10: Beispiel eines Aufnahmebogens für die Grobanalyse	79
Abbildung 4-11: Beispiel eines Aufnahmebogens für die Detailanalyse	80
Abbildung 4-12: Aufbau der Software „checkIT“	82
Abbildung 4-13: Logik zur softwareunterstützten Erfassung von Suchaufwänden	84
Abbildung 4-14: Benutzeroberfläche für die Datenerfassung	86
Abbildung 5-1: Gestapelte Balkendiagramme zur Darstellung des Suchaufwands	93
Abbildung 5-2: Kreisdiagramm zur Darstellung erfasster Suchobjekte	93
Abbildung 5-3: Blasendiagramm zur Darstellung des Suchaufwands	94
Abbildung 5-4: Rangliste zur Darstellung des Anteils am gesamten Suchaufwand	95
Abbildung 5-5: Graphische Einstufungsskala für Einflussfaktoren (Materialsuche)	95
Abbildung 5-6: Überblick Grobanalyse und Visualisierung des Suchaufwands	100
Abbildung 5-7: Visualisierung der Suchobjektkategorien	100
Abbildung 5-8: Darstellung der Suchhäufigkeit und der mittleren Suchdauer	101
Abbildung 5-9: Überblick Detailanalyse und Rangfolge erfasster Suchvorgänge	101
Abbildung 5-10: Auswertung der Einflussfaktoren sowie der Suchphasen	102
Abbildung 5-11: Häufigkeit und Dauer der Suchphasen	102
Abbildung 6-1: Systematik zur Charakterisierung von Suchaufwänden	104

Abbildung 6-2: Beispiel für ein Ursache-Wirkungs-Diagramm.....	106
Abbildung 6-3: Beispielhafte Ereigniskette.....	106
Abbildung 6-4: Regelkreisbasiertes Produktivitätsmanagement für Suchaufwände	108
Abbildung 7-1: Schematisches Layout des Analysebereichs	111
Abbildung 7-2: Überblick über die Gesamtergebnisse der Grobanalyse.....	115
Abbildung 7-3: Auswahl des Betrachtungsbereiches.....	116
Abbildung 7-4: Auswahl der Tätigkeit im Bereich Endmontage (Montageinsel).....	116
Abbildung 7-5: Zusammensetzung des Suchaufwands während der Montage	117
Abbildung 7-6: Ergebnisse der Detailanalyse (Informationssuche zu Auftrag)	119
Abbildung 7-7: Ursache-Wirkungs-Diagramm (Informationssuche in Arbeitsplänen)	122

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Regel- und Stellgrößen der Arbeitsproduktivität	7
Tabelle 2-2: Möglichkeiten der Produktivitätssteigerung.....	8
Tabelle 6-1: Zuordnung der Einflussfaktoren zu den Merkmalen von Suchvorgängen.....	105
Tabelle 7-1: Tätigkeitshierarchie für das Anwendungsbeispiel	112
Tabelle 7-2: Suchobjekthierarchie für das Anwendungsbeispiel.....	113
Tabelle 7-3: Bewertung der Ergebnisgüte im Anwendungsbeispiel.....	120
Tabelle 7-4: Relevante Einflussfaktoren für die Informationssuche in Arbeitsplänen.....	121

1 Einleitung

Das folgende Kapitel arbeitet die Problemstellung heraus und gibt einen Überblick über die Zielsetzung sowie den Aufbau der Arbeit.

1.1 Problemstellung

Im Umfeld des globalen Wettbewerbs und des anhaltenden Trends zur Produktindividualisierung ist es für die Wettbewerbsfähigkeit von produzierenden Unternehmen von besonderer Bedeutung, ihre Produktivität kontinuierlich zu steigern. Insbesondere Unternehmen in Hochlohnländern stehen dabei vor der Herausforderung, höhere Herstellkosten durch eine Steigerung der Arbeitsproduktivität zu kompensieren [SAUT11, S. 7].

Ein wesentlicher Ansatzpunkt hierzu ist es, Tätigkeiten, die nicht direkt zur Wertsteigerung eines Produktes beitragen, zu vermeiden beziehungsweise auf ein Minimum zu reduzieren [LIKE09, S. 64]. Vor diesem Hintergrund herrscht in Theorie und Praxis Einigkeit darüber, dass die Tätigkeit des Suchens in Produktionsprozessen grundsätzlich unerwünscht ist, da sie Ressourcen verbraucht und den Kundennutzen nicht erhöht [BAND10, S. 373], [WEST06, S. 60f.].

Im Zuge der Industrialisierung und der Optimierung von Produktionsprozessen der Großserienfertigung wurde insbesondere die Suche nach Material bereits früh als Produktivitätspotential erkannt. So sind insbesondere im Rahmen der schlanken Produktion Ansätze wie die *5S-Methode* oder das Prinzip des *Visuellen Managements* entstanden, die den Aufwand für die Suche nach Material und Informationen reduzieren können. Die Verbreitung dieser Ansätze in der industriellen Praxis unterstreicht die hohe Relevanz von Suchvorgängen.

Insbesondere in den Bereichen jenseits der Massenfertigung führt die zunehmende Variantenvielfalt zu einer steigenden Komplexität der Produktionsprozesse, die insbesondere durch eine wachsende Vielfalt an Materialien und Informationen getrieben wird. Daher gewinnt die Reduzierung von Material- und Informationssuchen für viele Unternehmen an Bedeutung. So zeigen Produktivitätsanalysen, dass die Suche im Sinne einer Beschaffung von Informationen und Material in der Unikatfertigung einen wesentlichen Teil der Arbeitszeit ausmacht [TIET14, S. 65]. Grundsätzlich stellen Suchvorgänge immer dann ein Potential für Produktivitätsverbesserungen dar, wenn sie häufig auftreten oder lange andauern, weil Materialien oder Informationen nicht übersichtlich oder nicht zum richtigen Zeitpunkt bereitgestellt werden.

Trotz des weit verbreiteten Bewusstseins über die produktivitätsmindernde Wirkung von Suchvorgängen existiert bis heute kein Vorgehen, das in der Lage ist, den Aufwand für die Suche nach Informationen und Material in Produktionsprozessen quantitativ zu bewerten. Ebenso fehlt es an Vorgehen, um zielgerichtet Verbesserungsmaßnahmen auszuwählen, die den Suchaufwand in der Produktion senken. Bestehende Ansätze sind zudem nicht in der Lage, Suchvorgänge in der industriellen Produktion einheitlich zu beschreiben und die wesentlichen Einflussgrößen auf den Suchaufwand systematisch zu bewerten.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es folglich, in einem ersten Schritt Suchvorgänge im industriellen Umfeld generisch zu beschreiben und den Suchaufwand durch Einbeziehung der wesentlichen Einflussgrößen quantitativ zu modellieren. Auf dieser Grundlage ist ein Gesamtverfahren zu entwickeln, das es ermöglicht, Suchaufwände in der industriellen Produktion systematisch zu erfassen und durch die Ableitung geeigneter Verbesserungsmaßnahmen nachhaltig zu reduzieren. Für die vorliegende Arbeit lassen sich somit vier Teilziele formulieren:

1. *Allgemeingültige Beschreibung und Modellierung von Suchaufwänden:* Die Grundlage für die Analyse und Reduzierung von Suchaufwänden ist eine generische Beschreibung, um Suchvorgänge systematisch untersuchen und vergleichen zu können. Dazu sind typische Suchobjekte, Suchtätigkeiten und wichtige Einflussfaktoren auf den Suchaufwand zu beschreiben. Für eine allgemeingültige Anwendbarkeit ist es erforderlich, dass die Modellierung sowohl Material- als auch Informationssuchen abbilden kann.
2. *Detaillierte Analyse von Suchaufwänden in der industriellen Produktion:* Die Methodik soll Anwender in die Lage versetzen, Suchaufwände möglichst vollständig zu erfassen. Dazu ist es notwendig, dass die Methodik sowohl die Aufnahme von kurzen als auch von längeren Suchvorgängen zu unterschiedlichen Zeiten und an verschiedenen Orten erlaubt. Eine geeignete Datenauswertung und -visualisierung soll es ermöglichen, Handlungsfelder für die Reduzierung von Suchaufwänden zu identifizieren.
3. *Vorgehen zur systematischen Reduzierung von Suchaufwänden:* Ein weiteres Ziel ist es, ein Verbesserungsvorgehen zu entwickeln, das Anwender dabei unterstützt, aus den Analyseergebnissen geeignete Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten.
4. *Gewährleistung einer hohen Praxistauglichkeit:* Die Gesamtmethodik soll sich für den Einsatz in der industriellen Produktion eignen. Hierzu ist es zum einen notwendig, dass sowohl das Analyse- als auch das Verbesserungsvorgehen gut verständlich und möglichst einfach und aufwandsarm anzuwenden sind. Zum anderen muss die Gesamtmethodik in der Lage sein, verständliche und für die Steigerung der Arbeitsproduktivität relevante Analyseergebnisse hervorzubringen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in acht Kapitel. Zu Beginn führt Kapitel 2 in die Grundlagen und bestehenden Ansätze des Produktivitätsmanagements ein und arbeitet die Relevanz von industriellen Suchvorgängen für die Verbesserung der Arbeitsproduktivität heraus. Anschließend erfolgt die Formulierung des Forschungsdefizits sowie der Anforderungen an die Gesamtmethodik.

Der Konzeptteil der Arbeit gliedert sich daraufhin in die drei Bestandteile Modellierung, Methodenentwicklung und Evaluation (Abbildung 1-1).

Die in Kapitel 3 entwickelte Modellierung des Suchaufwands ermöglicht es, Suchvorgänge in der industriellen Produktion einheitlich zu beschreiben. Die Modellierung ist ein Schwerpunkt der

vorliegenden Arbeit und bildet die Grundlage für die systematische Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen (Methodenentwicklung).

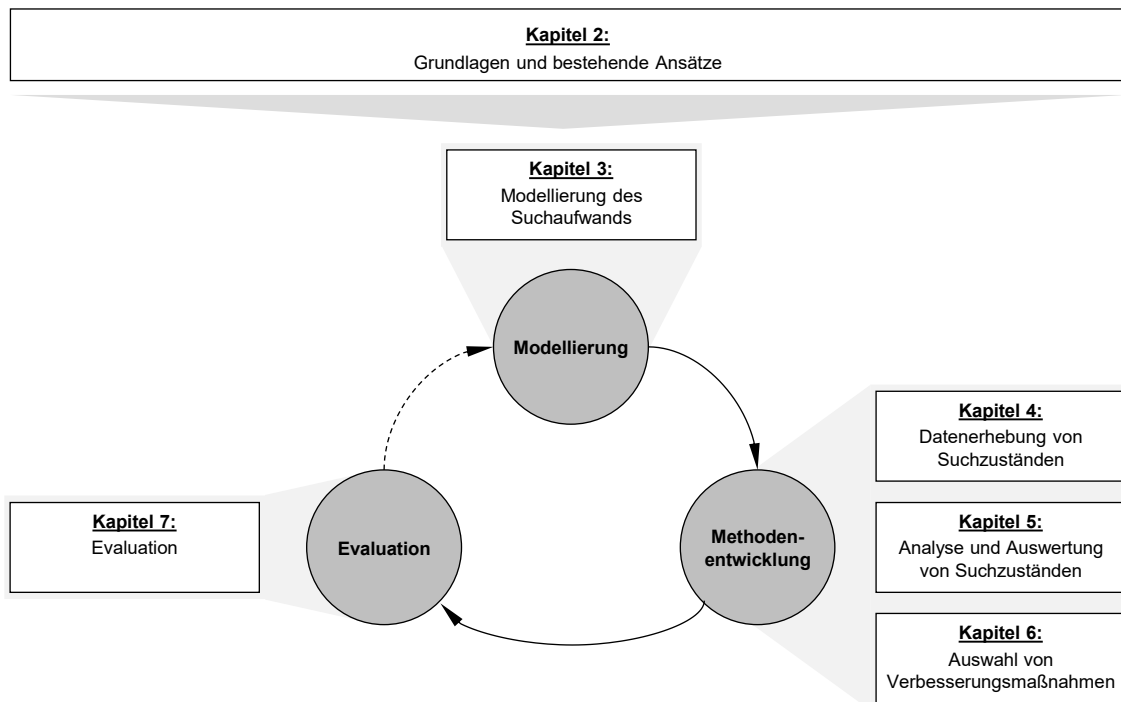


Abbildung 1-1: Struktur für den Konzeptteil der Arbeit

Kapitel 4 beschreibt ein Vorgehen zur Erhebung von suchrelevanten Daten in der industriellen Produktion mithilfe einer Web-Applikation. Kern des Vorgehens ist eine angepasste Methodik der Zeitaufnahme, die es erlaubt, Suchvorgänge als Bestandteil typischer Produktionstätigkeiten zu erfassen.

Kapitel 5 beinhaltet Vorgehensweisen zur Analyse und Auswertung der erfassten Suchzustände.

Kapitel 6 beschreibt ein Vorgehen, um besonders relevante Handlungsfelder zu identifizieren und für diese geeignete Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. Kern des Vorgehens ist eine systematische Ursachenanalyse auf Grundlage der Ergebnisauswertung.

Kapitel 7 überprüft die Zielerreichung und die Praxistauglichkeit der entwickelten Gesamtmethodik anhand eines Anwendungsbeispiels in einer industriellen Produktionsumgebung.

Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick in Kapitel 8.

2 Grundlagen und bestehende Ansätze

Dieses Kapitel erläutert die für die vorliegende Arbeit notwendigen Grundlagen und stellt bestehende Ansätze zur Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität vor. Zu Beginn beschreibt Abschnitt 2.1 die Rahmenbedingungen der industriellen Produktion, bevor Abschnitt 2.2 die grundlegenden Begriffe und Konzepte des Produktivitätsmanagements vorstellt. Anschließend beschreibt Abschnitt 2.3 die Relevanz von Suchvorgängen sowie gängige Beschreibungsansätze für die Tätigkeit des Suchens in der industriellen Produktion. Die in Abschnitt 2.4 vorgestellten Zeitermittlungsverfahren bilden die Grundlage für die in Abschnitt 2.5 beschriebenen Ansätze zur Analyse der Arbeitsproduktivität. Abschnitt 2.6 stellt gängige Ansätze zur Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen im industriellen Umfeld vor. Das Kapitel schließt mit der Formulierung des Forschungsdefizits und den daraus abgeleiteten Anforderungen an die zu entwickelnde Gesamtmethodik zur Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen in der industriellen Produktion in Abschnitt 2.7.

2.1 Industrielle Produktion

Der Begriff der Produktion beschreibt im engeren Sinne die Herstellung von Waren und Gütern durch industrielle Transformationsprozesse [TÖPF07, S. 760]. Die dazu notwendigen Inputfaktoren beschreibt Abschnitt 2.1.1. Abschnitt 2.1.2 stellt die wesentlichen Fertigungstypen der industriellen Produktion vor.

2.1.1 Inputfaktoren der Produktion

Grundlage der betrieblichen Leistungserstellung ist die Transformation von Inputs in Outputs. In der industriellen Produktion geschieht dies, indem bestimmte Inputfaktoren so kombiniert werden, dass ein gewünschter Output (Produkt) entsteht. Für die allgemeine Beschreibung von Produktionsabläufen hat sich der Systemansatz des Arbeitssystems etabliert, der einen Ordnungsrahmen zur Beschreibung von beliebigen Arbeitsplätzen in der Produktion liefert [REFA16, S. 21].

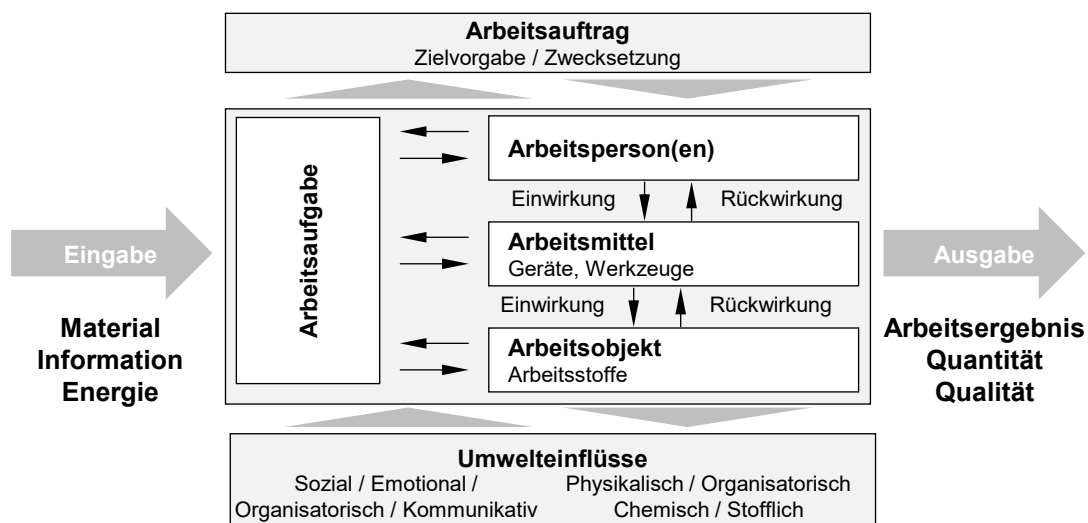


Abbildung 2-1: Elemente eines Arbeitssystems [SCHL18, S. 21]

Abbildung 2-1 zeigt die Elemente eines Arbeitssystems, die je nach Anwendungsfall unterschiedlich ausgeprägt sein können [SCHL18, S. 21]. Für die Entstehung von Suchvorgängen ist das Element Arbeitsperson von besonderer Bedeutung, da die Suche eine menschliche Tätigkeit beschreibt. Neben den Input-Faktoren Material, Information und Energie bestehen Wechselwirkungen des Arbeitssystems mit dem Arbeitsauftrag und verschiedenen Umwelteinflüssen. Weitere Elemente eines Arbeitssystems sind die Arbeitsmittel wie beispielsweise Maschinen, Anlagen, Geräte und Werkzeuge, sowie Arbeitsobjekte wie das Werkstück und Arbeitsstoffe. Das Ziel eines Arbeitssystems ist es, die Input-Faktoren durch die Erfüllung der Arbeitsaufgabe in ein gewünschtes Arbeitsergebnis umzuwandeln [SCHL18, S. 23].

Neben den materiellen und humanen Inputfaktoren nehmen Informationen im Zuge einer steigenden Arbeitsteilung und neuartiger Kooperationen in modernen Produktionsprozessen eine zunehmend wichtige Rolle als Ressource ein [WEST06, S. 21]. Vor diesem Hintergrund steigt gleichermaßen die Notwendigkeit für ein geeignetes Datenmanagement, das die richtigen Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort verfügbar macht, um den Produktionsfaktor Information effizient zu nutzen [THOM07, S. 1f.].

2.1.2 Fertigungstypen

Produzierende Unternehmen lassen sich in unterschiedliche Fertigungstypen einteilen. Grundlegende Kriterien für die Klassifikation sind die Auflagenhöhe (Losgröße) sowie die durchschnittliche Wiederholhäufigkeit der Erzeugnisse pro Jahr. Auf dieser Grundlage lassen sich Unternehmen den Kategorien Einmalfertigung, Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung und Massenfertigung zuordnen (Abbildung 2-2).

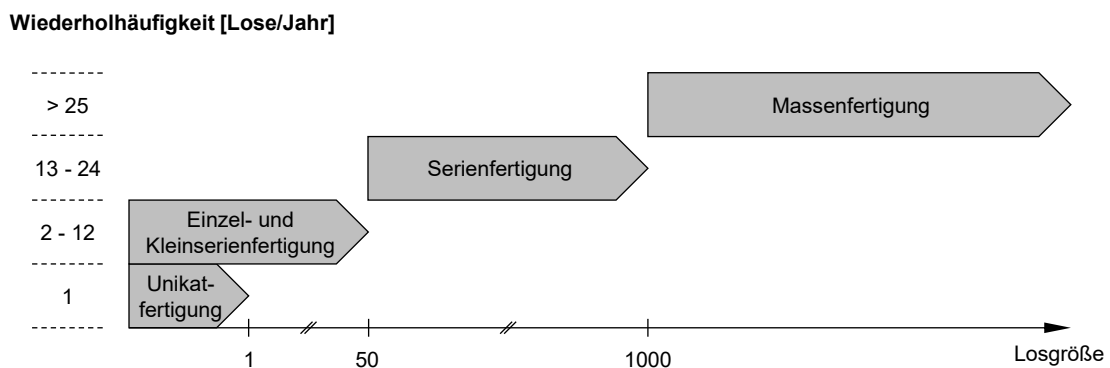


Abbildung 2-2: Ausprägung der Fertigungsarten in Anlehnung an [SCHU06, S. 130]

Wesentliche Merkmale der Massenfertigung sind eine sehr hohe Stückzahl sowie eine hohe Wiederholhäufigkeit der Erzeugnisse [TÖPF07, S. 778]. Die daraus resultierende Wiederkehr von Tätigkeiten ermöglicht es, Abläufe zu standardisieren und zu automatisieren. Der Effekt umgesetzter Prozessverbesserungen lässt sich somit mit der Wiederholhäufigkeit multiplizieren.

Ähnlich der Massenfertigung ist die Serienfertigung häufig durch einen hohen Automatisierungsgrad sowie eine ausgeprägte Arbeitsteilung im Fertigungsprozess geprägt. Sowohl die Stückzahl

als auch die Wiederholhäufigkeit sind aber geringer als bei der Massenfertigung. Eine Einteilung in Einzel- und Kleinserienfertigung sowie in Serienfertigung lässt sich aufgrund von fließenden Definitionsgrenzen nur anhand grober Richtwerte durchführen. Eine Möglichkeit ist die Unterteilung anhand der Wiederholhäufigkeit. So zählen Unternehmen, die ein Los durchschnittlich ein- bis zweimal im Monat auflegen (12 bis 24 Lose im Jahr) zur Serienfertigung. Unternehmen, die ein Los weniger als 12-mal im Jahr auflegen, lassen sich der Einzel- und Kleinserienfertigung zuordnen. [SCHU06, S. 129f.]

Die Unikatfertigung zeichnet sich dadurch aus, dass ein Produkt einmalig und in der Losgröße eins hergestellt wird [SCHU06, S. 131]. Da eine Wiederholung nicht vorgesehen ist, lassen sich die Aufwände für die Entwicklung und Konstruktion sowie für die Organisation der Produktion nicht auf mehrere Produkte aufteilen [KUHL94, S. 66]. Die Notwendigkeit eines flexiblen Produktionsablaufs führt dazu, dass die Unikatfertigung in der Regel die Prinzipien der Baustellen- und Werkstattfertigung nutzt [HIRS92, S. 10].

2.2 Grundlagen des Produktivitätsmanagements

Im Folgenden beschreibt Abschnitt 2.2.1 den Begriff der Produktivität mit dem Schwerpunkt der Arbeitsproduktivität. Anschließend ist die Verbesserung der Arbeitsproduktivität Gegenstand von Abschnitt 2.2.2, bevor Abschnitt 2.2.3 das grundlegende Konzept des Produktivitätsmanagements beschreibt.

2.2.1 Produktivität und Arbeitsproduktivität

Die Verbesserung der Produktivität im Allgemeinen ist für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen von besonderer Bedeutung. Für produzierende Unternehmen mit hohen Lohnkosten und einem großen Anteil manueller Arbeit ist die Arbeitsproduktivität eine entscheidende Zielgröße [BOKR06, S. 5]. Grundsätzlich beschreibt die Produktivität das Verhältnis von Output zu Input eines Arbeitssystems und kann wie folgt definiert werden [SUMA84, S. 6f.], [NEBL02, S. 7]:

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{\text{Leistung}}{\text{Kapazität}} \quad 2-1$$

Abhängig vom Anwendungsfall können unterschiedliche Output- und Input-Größen für die Bestimmung der Produktivität herangezogen werden. So kann die Produktivität beispielsweise Informationen darüber liefern, wie gut ein Unternehmen in der Lage ist, eine gegebene Kapazität (Input) in Leistung (Output) umzusetzen [GLÖC19, S. 236]. Auf Grundlage der Produktionsfaktoren Arbeit, Betriebsmittel und Werkstoffe erfolgt häufig eine Unterteilung in Teilproduktivitäten. Dabei wird jeweils der entsprechende Produktionsfaktor (Input) in das Verhältnis zum Umsatz bzw. zur Wertschöpfung (Output) gesetzt [NEBL02, S. 7f.]. Da sich Suchaufwände im Wesentlichen auf die Arbeitsproduktivität auswirken, soll der Fokus in dieser Arbeit im Folgenden auf dieser Teilproduktivität liegen.

Die Arbeitsproduktivität beschreibt das Verhältnis der gemessenen Produktionsleistung zu der eingesetzten menschlichen Arbeitsleistung. Dabei ist es üblich, den Output in Mengen-, Zeit- oder

Geldeinheiten zu beschreiben [NEBL02, S. 5f.], [GLÖC17, S. 1]. So ist die Produktionsleistung beispielsweise durch die Anzahl, die notwendigen Vorgabezeiten oder den Wert der hergestellten Produkte zu beschreiben. Demgegenüber lässt sich der Input der Arbeitsproduktivität zeitlich oder monetär bestimmen und durch die eingesetzte Arbeitszeit bzw. den Personalaufwand beschreiben [NEBL02, S. 6].

Um die Produktivität gezielt entwickeln zu können, ist ein hinreichendes Wissen über die Zusammensetzung von Input und Output notwendig. Für die Arbeitsproduktivität hat Glöckner ein Wirkmodell entwickelt, das die Zusammensetzung von Input und Output detailliert beschreibt [GLÖC20, S. 49ff.].

Tabelle 2-1: Regel- und Stellgrößen der Arbeitsproduktivität [GLÖC20, S. 61]

Regelgröße	Stellgröße	Beispiel
Durchführung der Arbeitsaufgabe	Informationshandhabung	Lesen, Erklären, Dokumentieren
	Materialhandhabung	Entpacken, Transportieren
	Vor- und Nachbereitung	Rüsten, Vorbereiten, Aufräumen
	Aufgabenbearbeitung	Montage, Bedienen, Verpacken
Auslastungsverluste	Zusätzliche Tätigkeiten	Teilnahme an Besprechungen
	Störzeiten	Warten auf Material / Warten auf Entstörung
	Kapazitätsbedingte Auslastungsverluste	Warten auf Auftrag
	Nacharbeit	Verbesserung fehlerhafter Produkte
Ungeplante Abwesenheit	Krankheitsbedingtes Fehlen	Grippe, arbeitsbedingte Krankheit / Unfälle
	Sonstiges Fehlen	Familiär bedingtes Fehlen
Geplante Abwesenheit	Urlaub & Pausen	Urlaub und Pausen innerhalb der bezahlten Arbeitszeit
	Weiterbildung	Schulungen, Zertifizierung
Ausschuss	Prozessfähigkeit	Fehleranfälligkeit des Produktions- / Montageprozesses

Das Modell stellt die Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität mithilfe von Regel- und Stellgrößen dar und schlägt Aufgabenfelder zur Verbesserung der Arbeitsproduktivität vor. Das Modell besteht aus fünf Regel- und 13 Stellgrößen (Tabelle 2-1). Den Stellgrößen sind jeweils Gestaltungsaufgaben zugeordnet, die eine Orientierung für mögliche Produktivitätsverbesserungen geben. Für die Regelgröße *Durchführung der Arbeitsaufgabe* sind die Zuordnungen der Gestaltungsaufgaben zu den Stellgrößen exemplarisch in Abbildung 2-3 dargestellt.

Eine optimale Gestaltung der Materialbereitstellung, der Informationsbereitstellung, des Arbeitsplatzes sowie des Arbeitsvorgangs führt dem Modell zufolge zu einer Minimierung der notwendigen Zeit für die Durchführung der Arbeitsaufgabe. Da Suchvorgänge typischerweise bei der Material- und Informationshandhabung auftreten, sind die Gestaltungsfelder der Material- und Informationsbereitstellung für die Reduzierung von Suchaufwänden von besonderer Relevanz.

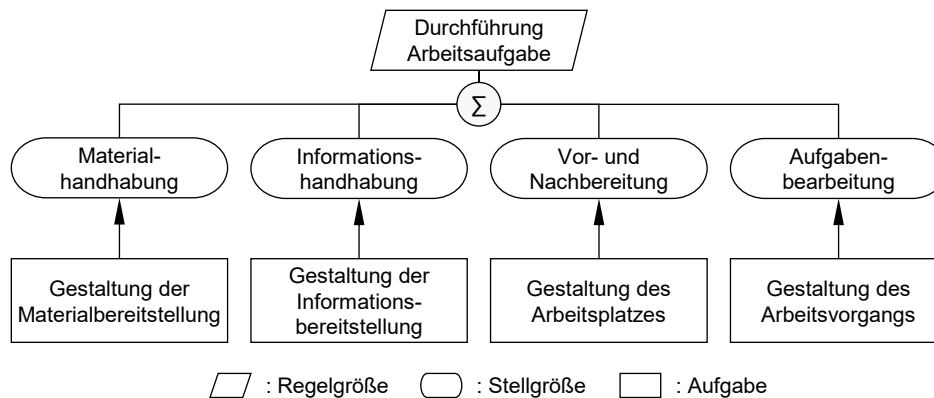


Abbildung 2-3: Stellgrößenmodell Durchführung der Arbeitsaufgabe [GLÖC20, S. 91]

2.2.2 Verbesserung der Arbeitsproduktivität

Produktivitätsverbesserungen können nur durch die Veränderung des Verhältnisses von Output zu Input erfolgen (vgl. Formel 1). Insgesamt sind somit die in Tabelle 2-2 dargestellten fünf Szenarien vorstellbar, um die Produktivität zu erhöhen [SINK85, S. 26]:

Tabelle 2-2: Möglichkeiten der Produktivitätssteigerung nach [SINK85, S. 26]

Szenario	Output	Input
1	steigt	sinkt
2	steigt	bleibt konstant
3	steigt stärker als Input	steigt
4	bleibt konstant	sinkt
5	sinkt	sinkt stärker als Output

Sowohl der Input als auch der Output einer Produktion hängen von einer Reihe von Einflussfaktoren ab [BOKR06, S. 4], [NEBL02, S. 11ff.]. So lässt sich der Input insbesondere durch die Leistungsfähigkeit und -bereitschaft des Personals, durch das Angebot und die Nutzung der Kapazität der Betriebsmittel sowie durch die Arbeitsorganisation beeinflussen. Der Output hingegen hängt maßgeblich von der Kundennachfrage bzw. den Kundenbedürfnissen ab [vgl. NEBL02, S. 13]. Wesentliche Einflussgrößen auf den Output sind die Geschäftsstrategie, die Marktstellung bzw. die Kunden- Lieferantenbeziehung und die Innovationsfähigkeit eines Unternehmens. [BOKR06, S. 4], [NEBL02, S. 126]

Da eine Einflussnahme auf die Kundennachfrage mit den Mitteln der Produktion kaum möglich ist, lassen sich Produktivitätsverbesserungen aus Produktionssicht nur durch eine Reduzierung des Inputs erreichen. Für die Arbeitsproduktivität bedeutet dies, dass Produktivitätssteigerungen durch Maßnahmen realisiert werden können, die den Kapazitätsbedarf je Output-Einheit senken (vgl. Formel 2-1).

Als Grundlage für die Bestimmung des Kapazitätsbedarfs dienen Auftragszeiten [vgl. WIEN97, S. 40]. Die Auftragszeit entspricht der Vorgabezeit und definiert die erforderliche Dauer der Bearbeitung eines Arbeitsvorgangs an einem Arbeitssystem [LÖDD16, S. 56]. Sie lässt sich mithilfe der Losgröße, der Einzelzeiten und der Rüstzeit bestimmen (Formel 2-2) und wird in Stunden angegeben.

$$ZAU = \frac{LG \cdot t_{ein} + t_r}{60 \text{ Min./Std.}} \quad 2-2$$

mit:

ZAU : Auftragszeit [Std.]

LG : Losgröße [-]

t_{ein} : Einzelzeit [Min.]

t_r : Rüstzeit [Min.]

Nach REFA können die Bestandteile der Auftragszeit, wie in Abbildung 2-4 dargestellt, weiter detailliert werden [REFA97, S. 42].

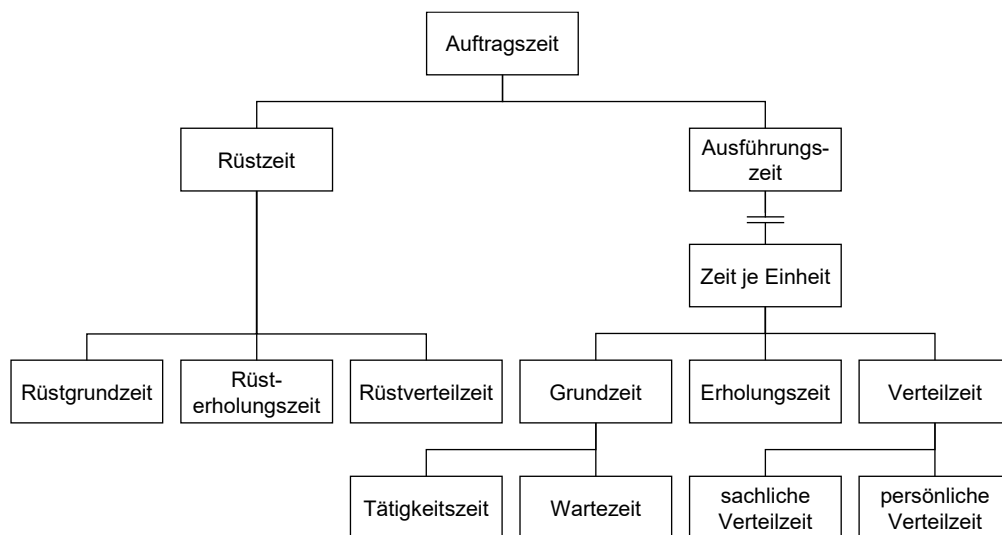


Abbildung 2-4: Zusammensetzung der Auftragszeit nach REFA [REFA97, S. 42]

So ergibt sich die Auftragszeit aus der Summe der Rüstzeit und der Ausführungszeit. Sowohl die Rüstzeit als auch die Einzelzeit lassen sich in einem weiteren Schritt in die drei Zeitarten einer Vorgabezeit unterteilen. Hierzu zählen die Grundzeit, die Erholzeit und die Verteilzeit. Für die Grundzeit der Einzelzeit schlägt die REFA eine weitere Unterteilung in Tätigkeitszeit und Wartezeit vor. Die Verteilzeit der Einzelzeit kann wiederum in eine sachliche und eine persönliche Verteilzeit gegliedert werden [REFA97, S. 42].

Neben der Auftragszeit ist es in der Praxis notwendig, weitere Zeitanteile für die Kalkulation des gesamten Kapazitätsbedarfs an bezahlter Arbeitszeit zu berücksichtigen. Hierzu zählen insbesondere Zeitanteile für geplante und ungeplante Abwesenheiten sowie für zusätzliche Tätigkeiten.

Für Unternehmen bietet die Auftragszeit häufig den wesentlichen Stellhebel für die Verringerung des Kapazitätsbedarfs. Der Fokus von Produktivitätsmaßnahmen in der Produktion liegt daher häufig auf der Reduzierung von Rüst- oder Einzelzeiten. Um Produktivitätspotentiale nicht zu Lasten der Mitarbeiter zu erschließen, sind insbesondere Maßnahmen gefragt, die produktivitätsmindernde Einflüsse auf die Grundzeiten und die sachliche Verteilzeiten reduzieren. Ein verbreiteter Ansatz hierzu ist die Vermeidung von Verschwendung nach der Lehre der sogenannten schlanken Produktion beziehungsweise des Lean Managements [OHNO93], [WOMA13]. Als Verschwendung werden in diesem Zusammenhang all jene Tätigkeiten bezeichnet, die den Wert des Produkts aus Sicht des Kunden nicht erhöhen. Hierzu zählen insbesondere die in der Auftragszeit enthaltenden Wartezeiten [OHNO93, S. 46]. Weitere Beispiele sind [vgl. LIKE09, S. 66f.]:

- *Nacharbeiten* durch fehlerhaft gefertigte Einzelteile oder falsch montierte Baugruppen
- *Störungsbedingtes Unterbrechen* aufgrund einer Maschinenstörung
- *Unnötige Bewegungen im Arbeitsablauf* in Folge eines nicht optimal gestalteten Arbeitsplatzes
- *Materialsuche* aufgrund einer unkoordinierten Materialbereitstellung
- *Informationssuche* durch zeitaufwändiges Lesen von unstrukturierten Auftragsinformationen

In der Praxis wirken häufig viele verschiedene produktivitätsmindernde Einflüsse auf ein Arbeitssystem ein. Für die Erschließung der Produktivitätspotentiale ist daher ein systematisches Vorgehen hilfreich, an dem sich Produktionsverantwortliche orientieren können. Abbildung 2-5 zeigt ein generisches Vorgehen zur Realisierung von Produktivitätspotentialen in fünf Schritten [LÖDD22].

In einem ersten Schritt sind Verbesserungspotentiale durch geeignete Methoden zu identifizieren. Daraufhin ist es erforderlich, wirksame Verbesserungsmaßnahmen zu planen (Schritt 2) und diese im Arbeitssystem umzusetzen (Schritt 3). Nachdem so die Voraussetzungen für die Produktivitätssteigerung geschaffen sind, ist es möglich, den neuen Kapazitätsbedarf zu bestimmen (Schritt 4). Im letzten Schritt ist die Produktivitätssteigerung durch eine entsprechende Anpassung des Kapazitätsangebots zu realisieren (Schritt 5).

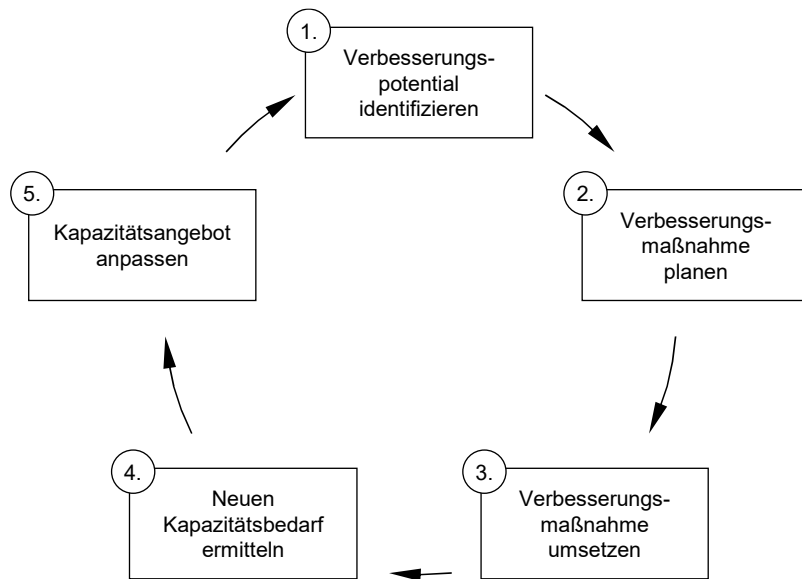


Abbildung 2-5: Produktivitätsverbesserungszyklus nach Lödding [LÖDD22]

Von besonderer Bedeutung für die Auswahl und Umsetzung wirksamer Verbesserungsmaßnahmen ist eine hinreichende Ursachenanalyse der identifizierten Produktivitätsverluste. Hierzu haben sich in der Praxis verschiedene Vorgehen etabliert. Einfache und häufig verwendete Methoden sind beispielsweise das Ursache-Wirkungs-Diagramm (auch Ishikawa-Diagramm) [ISHI87, S. 63] und die 5W-Methode [OHNO93, S. 43f.].

Das Ursache-Wirkungs-Diagramm dient der graphischen Darstellung von Ursachen, die zu einem bestimmten Ereignis führen. Kern der Darstellung ist ein horizontaler Pfeil, der auf ein definiertes Problem gerichtet ist.

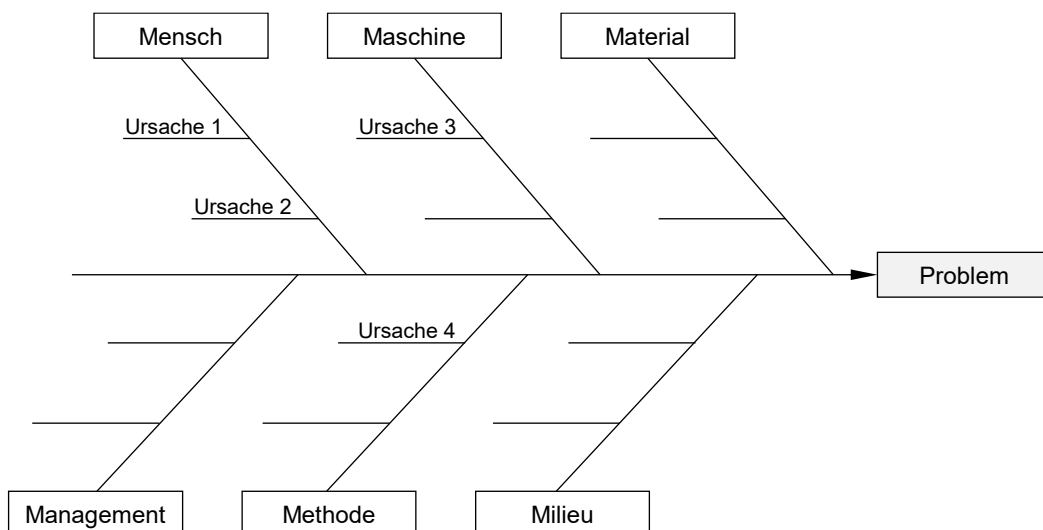


Abbildung 2-6: Ursache-Wirkungs-Diagramm in Anlehnung an VDI 2870 [VDI2870b, S. 29]

Auf diesen Pfeil treffen Linien verschiedener Ursachenkategorien. Jeder Ursachenkategorie werden entsprechende Ursachen zugeordnet, die auf das Problem einwirken. Sowohl die Anzahl als auch die Art der Kategorien können dabei variieren. Typisch sind Kategorien wie Mensch, Maschine, Material, Methode, Management und Milieu [VDI2870b, S. 29]. Abbildung 2-6 zeigt beispielhaft ein Ursache-Wirkungs-Diagramm mit sechs Ursachenkategorien.

Die 5W-Methode dient dem Zweck, die Kernursache eines spezifischen Problems systematisch zu identifizieren. Dazu ist es notwendig, die Ereigniskette, die zu der Entstehung des Problems führt, durch das wiederholte Hinterfragen des „Warums“ offenzulegen [vgl. OHNO93, S. 43f.]. Dies ermöglicht es, Verbesserungsmaßnahmen zu bestimmen, die das Problem nachhaltig lösen, ohne lediglich einzelne Symptome zu optimieren.

2.2.3 Produktivitätsmanagement

In einem wettbewerbsorientierten Umfeld ist die kontinuierliche Verbesserung der Produktivität von besonderer Bedeutung und daher häufig Bestandteil der strategischen Unternehmensziele [vgl. NEBL02, S. 1]. Dieser Aufgabe widmet sich innerhalb produzierender Unternehmen das Produktivitätsmanagement, indem es auf Grundlage von Kennzahlen systematisch Verbesserungspotentiale analysiert und Verbesserungsmaßnahmen plant, steuert, umsetzt und überwacht [EISE21, S. 19]. Wichtige Ziele innerhalb des Produktivitätsmanagements sind beispielsweise, die Wertschöpfung zu steigern und die Komplexität bestehender Abläufe zu reduzieren sowie diese an den Kundenbedürfnissen auszurichten [NEBL02, S. 1]. Dabei orientieren sich Verbesserungen des Auftragsabwicklungsprozesses sowie notwendiger Unterstützungsprozesse in der Regel an den übergeordneten Zieldimensionen Zeit, Kosten und Qualität [VDI2870a, S. 11].

In der Literatur existieren allerdings unterschiedliche Definitionen für den Begriff des Produktivitätsmanagements. Viele Management-Systeme, die einen Beitrag zum heutigen Produktivitätsmanagement liefern, entstanden bereits in den 1970er und 1980er Jahren. Hierzu zählen beispielsweise die Werke von Marshall [MARS75], Belcher [BELC82], Sumanth [SUMA84] und Sink [SINK85]. Eine erste modellbasierte Vorgehensweise für das Produktivitätsmanagement beschreibt Sumanth durch die vier Schritte Messen, Evaluation, Planung und Verbesserung [SUMA84, S. 47f.].

Um die unterschiedlichen Konzepte des Produktivitätsmanagements zu untersuchen, hat Dorner eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt und aus den bestehenden Ansätzen ein allgemeines Modell des Produktivitätsmanagements entwickelt [DORN14, S. 119ff.]. Kern des Modells ist ein Regelkreis, der das Produktivitätsmanagement in fünf Funktionen gliedert (Abbildung 2-7) [EISE21, S. 20].

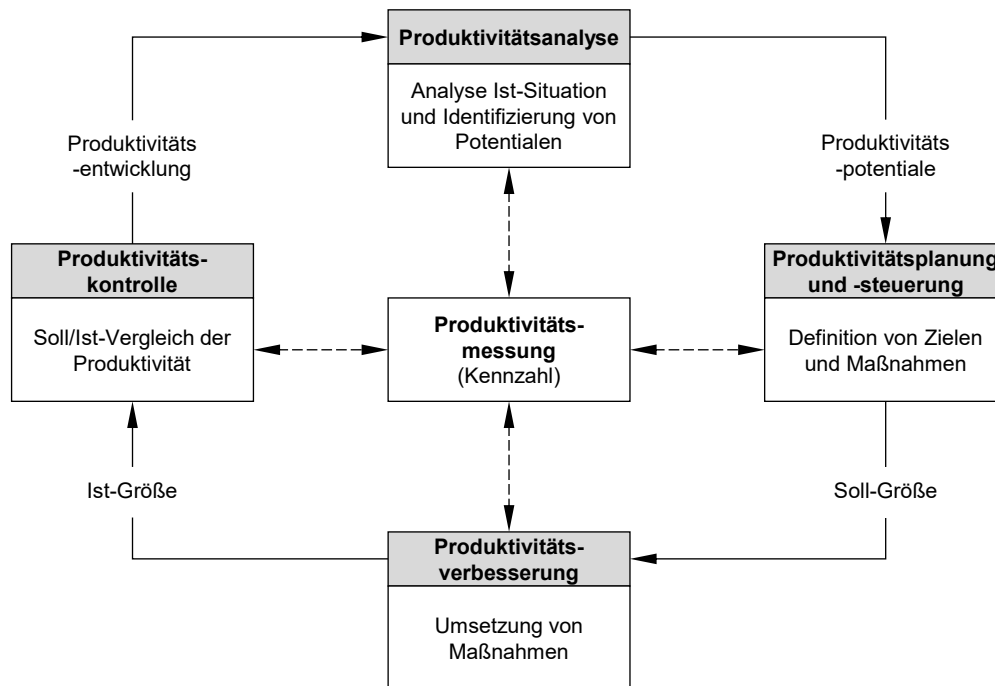


Abbildung 2-7: Regelkreis des Produktivitätsmanagements in Anlehnung an [EISE21, S. 20], [DORN14, S. 129]

Die *Produktivitätsmessung* stellt den Mittelpunkt des Regelkreises dar, indem es die wesentliche Informationsgrundlage für alle anderen Funktionen liefert. Dazu sind Produktivitätsdaten zu verarbeiten und auszuwerten, um diese den anderen Teilbereichen in geeigneter Form zur Verfügung zu stellen.

Die *Produktivitätsanalyse* verfolgt das Ziel, den Ist-Zustand eines Untersuchungsbereiches möglichst genau zu erfassen und auf Grundlage der erhobenen Daten Produktivitätspotentiale zu identifizieren.

Die *Produktivitätsplanung und -steuerung* definiert auf Grundlage identifizierter Potentiale Produktivitätsziele sowie geeignete Maßnahmen, um diese zu erreichen. Dazu werden Produktivitätskonzepte ausgearbeitet und Soll-Größen definiert, um eine Erfolgsmessung nach Umsetzung zu ermöglichen.

Die *Produktivitätsverbesserung* befasst sich im Wesentlichen mit der operativen Umsetzung der geplanten Maßnahmen. Das Ziel ist es, Prozesse optimal zu gestalten und den Personaleinsatz bedarfsgerecht zu steuern.

Die *Produktivitätskontrolle* hat zum Ziel, den Erfolg der umgesetzten Maßnahmen zu evaluieren. Hierzu sind Produktivitätsdaten zu erheben, um die Veränderung der Produktivität auf Grundlage eines Vergleichs von Ist- und Soll-Zuständen zu bewerten. Die erzielte Produktivitätsentwicklung ist die Basis für weitere Produktivitätsanalysen.

Das Konzept des regelkreisbasierten Produktivitätsmanagements lässt sich auf verschiedene Produktivitätskennzahlen anwenden. Denkbar wäre daher auch, den Suchaufwand in den Mittelpunkt der Produktivitätsbetrachtung zu stellen. In der Folge ist es notwendig, die einzelnen Funktionen auf die Erfassung und Verarbeitung der relevanten Informationen über Suchvorgänge abzustimmen. Insbesondere für die detaillierte Analyse von Suchaufwänden sowie die zielgerichtete Ableitung geeigneter Verbesserungsmaßnahmen existieren bisher allerdings keine systematischen Vorgehensweisen.

2.3 Suchvorgänge in der industriellen Produktion

Der Begriff des Suchens ist im allgemeinen Sprachgebrauch als Vorgang bzw. Tätigkeit bekannt, die dem Ziel dient, einen Gegenstand oder eine Information zu finden. In diesem Sinne definiert der Duden Suchen als „die Bemühung, eine Person oder Sache, die verloren gegangen oder versteckt ist, wiederzufinden oder etwas Bestimmtes, das gebraucht wird, zu erlangen oder zu erwerben“ [DUDE23a]. Folglich kann beispielsweise im Bereich der Produktion die Materialbereitstellung oder das Ablesen eines Spaltmaßes aus einer technischen Zeichnung bereits als Suchvorgang nach Material bzw. Information bezeichnet werden. Der Begriff des Findens beschreibt den erfolgreichen Abschluss einer Suche, der im Wesentlichen durch das Erlangen, Erwerben von etwas, das man braucht, gekennzeichnet ist [DUDE23b].

2.3.1 Relevanz von Suchaufwänden in der Produktion

In Theorie und Praxis besteht Einigkeit darüber, dass alle Arbeitsprozesse, die nicht direkt zur Wertschöpfung des Produktes beitragen, als Verschwendung zu bezeichnen sind [WOMA13, S. 43ff.]. Da die Tätigkeit des Suchens keine direkte Auswirkung auf das Produkt hat, kann sie im Rahmen der betrieblichen Leistungserstellung als Verschwendung angesehen werden [LIKE09, S. 67], [KLEP16, S. 133], [vgl. WOMA13, S. 103f./243]. Besonders relevant sind Suchvorgänge insbesondere dann, wenn sie häufig auftreten oder lange dauern.

Im Bereich der Produktion treten Suchvorgänge insbesondere dann auf, wenn Material oder Informationen nicht übersichtlich oder nicht zum richtigen Zeitpunkt bereitgestellt werden. Somit ist in einem ersten Schritt die Suche nach physischen Materialien und nach Informationen zu unterscheiden. Innerhalb der Produktion lässt sich die Tätigkeit des Suchens den Blindleistungen zuordnen, da sie meist ungeplant auftritt, Ressourcen verbraucht und dabei den Nutzen für den Kunden nicht erhöht [BAND10, S. 373], [WEST06, S. 60f.]. Da die Tätigkeit des Suchens Ressourcen verbraucht, ohne den Output der Produktion zu beeinflussen, entsteht ein negativer Einfluss auf die Produktivität.

In der Folge ist die Reduzierung von Suchvorgängen bereits seit langem als Potential für Prozessverbesserungen erkannt worden. Insbesondere im Rahmen der schlanken Produktion sind verschiedene Prinzipien und Methoden entstanden, die die Suche nach Material und Informationen reduzieren können. Hierzu zählen beispielsweise das Prinzip des *Visuellen Managements* [GORE13, S. 125ff.] sowie die *5S-Methode* [HIRA09, S. 237ff.].

Das Prinzip des *Visuellen Managements* verfolgt das Ziel, Informationen transparent, übersichtlich und leicht verständlich an dem Ort bereitzustellen, an dem sie benötigt werden [REFA16, S. 260]. Ein Beispiel hierfür ist die elektronische Darstellung von Soll- und Ist-Werten (beispielsweise Produktionstakt, -menge oder -störungen) [VDI2870b, S. 44]. Werkzeuge zur Visualisierung sind beispielsweise farbige Kennzeichnungen für Behälterstandorte, Shopfloor-Tafeln, Diagramme oder auch Explosionszeichnungen [REFA16, S. 262].

Die *5S-Methode* beschreibt ein systematisches Vorgehen, um Arbeitsplätze zu strukturieren und übersichtlich und sauber zu halten [TÖPF09, S. 37]. Bei der japanischen Firma Toyota entwickelt, beschreiben die 5S die fünf Schritte des Vorgehens [HIRA09, S. 243ff.]:

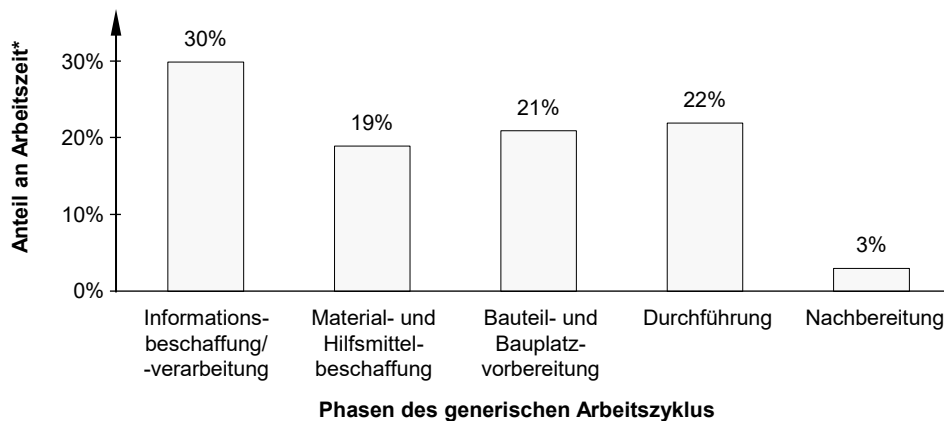
- Seiri (Aussortieren),
- Seiton (Aufräumen),
- Seiso (Anordnen),
- Seiketsu (Arbeitsplatz sauber halten)
- Shitsuke (Anordnung zur Regel machen)

Vorrangiges Ziel der Methode ist es, die Arbeitseffizienz zu steigern, Abweichungen vom Standard aufzudecken und die Flächennutzung zu verbessern. Durch die standardisierte Bereitstellung von Materialien an ihrem Bedarfsort ermöglicht die Methode es, Suchvorgänge zu reduzieren beziehungsweise vollständig zu vermeiden [BERT18, S. 136f.], [HIRA09, S. 154].

Im Zuge der kontinuierlichen Verbesserung und Standardisierung von Produktionsprozessen konnten Suchvorgänge, insbesondere im Bereich der Großserien- und Massenfertigung, häufig bereits stark reduziert werden. So lagert das Material in der Regel in ausreichender Menge am Bedarfsort und die große Anzahl sich wiederholender Tätigkeiten führt dazu, dass die Mitarbeiter alle Abläufe und notwendigen Informationen sehr gut kennen.

In anderen Bereich der Produktion führt der Trend des zunehmenden Variantenreichtums allerdings dazu, dass die Wiederholhäufigkeit der Tätigkeiten innerhalb der Produktionsprozesse sinkt. Gleichzeitig steigt die Komplexität der Abläufe durch eine wachsende Vielfalt an Materialien und Informationen. Vor diesem Hintergrund gewinnt die Reduzierung von Material- und Informationssuchen erneut an Bedeutung. So zeigen Produktivitätsanalysen im Bereich der Unikatfertigung (Abbildung 2-8), dass die Beschaffung von Material und Informationen einen großen Anteil der Arbeitszeit ausmacht [TIET14, S. 65].

Auch wenn die Analyse den Suchaufwand nicht direkt ausweist, zeigen die Ergebnisse die große Relevanz von Suchvorgängen für das Produktivitätsmanagement. Weitere Arbeiten betonen die Relevanz von Suchvorgängen als Produktivitätspotential am Beispiel der Informationssuche im Bereich der Instandhaltung [MELU19, S. 185].



*ca. 11.000 Datensätze in 12 Bereichen von 4 Unternehmen, nicht erfasste Zeit: 5%

Abbildung 2-8: Arbeitszeitanteile in der Schiffbauproduktion [TIET14, S. 65]

2.3.2 Beschreibung von Suchvorgängen

Auch wenn es unstrittig ist, dass Suchvorgänge im Rahmen der betrieblichen Leistungserstellung möglichst zu vermeiden sind, beschäftigen sich bewährte Ansätze des Produktivitätsmanagements nur am Rande mit der Tätigkeit des Suchens. Eine mögliche Ursache hierfür ist die Schwierigkeit, Suchvorgänge eindeutig von anderen Tätigkeiten zu unterscheiden. Dadurch lassen sich Suchtätigkeiten oft nur sehr grob und unvollständig beobachten (vgl. Abschnitt 2.4.4). Die vorhandenen Ansätze und Systematiken zur Beschreibung und Analyse von Tätigkeiten in der Produktion eignen sich somit kaum für die Beschreibung von Suchtätigkeiten, da sie diese nicht klar abgrenzen.

Die dem Gedanken der *Lean-Production* folgende Unterteilung von Arbeitsprozessen in wertschöpfende und nicht-wertschöpfende Tätigkeiten ist ein weit verbreiteter Ansatz zur Beschreibung der Arbeitszeit. Die Grundidee geht auf das Toyota Produktionssystem nach Ohno [OHNO93] zurück und sieht vor, alle Tätigkeiten, die den Produktwert aus Sicht des Kunden nicht erhöhen (nicht-wertschöpfend), zu vermeiden oder auf ein Minimum zu reduzieren. Ohno beschreibt dazu sieben Arten der Verschwendung [OHNO93, S. 45f.]:

- Überproduktion
- Wartezeit
- unnötige Transporte
- unnötige Bearbeitung
- hohe Lagerbestände
- unnötige Bewegungen
- defekte Produkte

Eine eindeutige Zuordnung von Suchvorgängen zu einer der Verschwendungsarten ist nicht möglich. Einige Verschwendungsarten sind vielmehr als Ursache (hohe Lagerbestände) oder als Folge von Suchtätigkeiten (unnötige Bewegungen/Transporte) denkbar. Für die Beschreibung von Suchvorgängen eignet sich dieser Ansatz daher nicht.

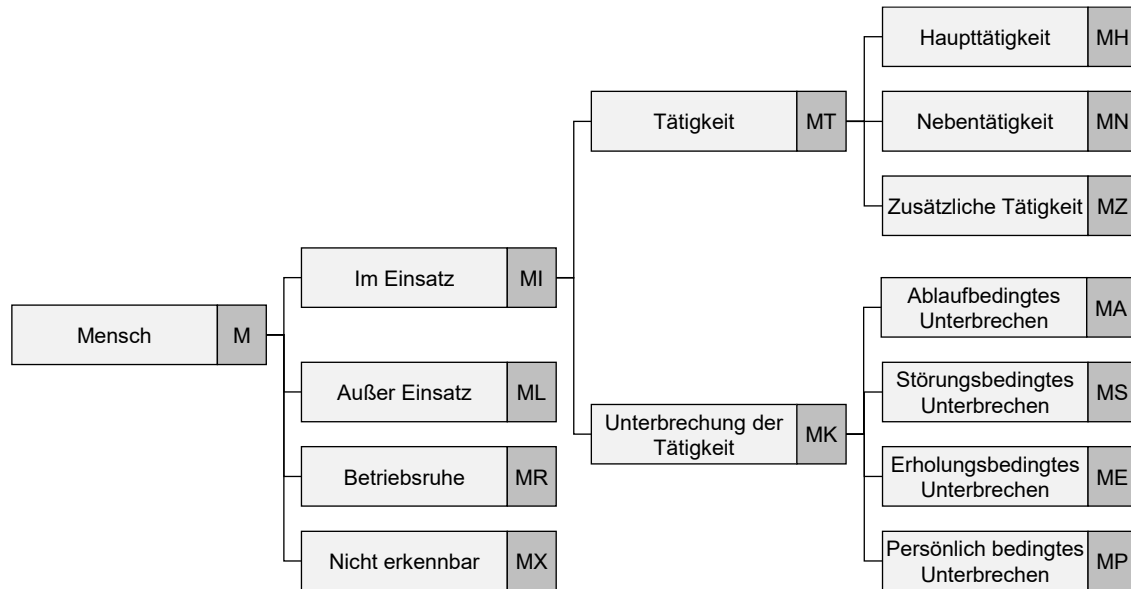


Abbildung 2-9: Gliederung der Ablaufarten für Mitarbeiter nach REFA [REFA97, S. 25]

Eine, insbesondere im deutschsprachigen Raum bekannte Systematik, zur Beschreibung der Arbeitszeit ist die *REFA-Systematik* [REFA97, S. 24ff.]. Diese ermöglicht es, die Arbeitszeit in festgelegte Ablaufarten zu unterteilen (Abbildung 2-9). Für die Tätigkeit des Suchens existiert dabei keine eigene Ablaufart, vielmehr lassen sich Suchvorgänge je nach Anwendungsfall den unterschiedlichen Ablaufarten der Kategorie *Tätigkeit* und *Unterbrechung der Tätigkeit* zuordnen. Durch die fehlende Abgrenzung zu anderen Tätigkeiten eignet sich die REFA-Systematik nicht, um Suchvorgänge zu beschreiben und detailliert zu analysieren.

Einen weiteren Ansatz zur Beschreibung von Tätigkeiten innerhalb der Produktion bieten die Systeme vorbestimmter Zeiten mit *MTM* (Methods-Time Measurement) als bekanntestem Vertreter. Sie dienen der Bestimmung von Plan-Zeiten durch die Unterteilung von Arbeitsabläufen in Arbeitselemente mit standardisierten Zeitdauern. Da Suchvorgänge unerwünscht sind, werden sie bei der Erstellung von Plan-Zeiten in der Regel nicht betrachtet. Zudem lassen sich insbesondere informatorische Tätigkeiten, die nicht auf eine binäre Ja-Nein-Entscheidung zu reduzieren sind, mit den vorhandenen Prozessbausteinen nicht modellieren [BOKR06, S. 518f.]. Aus diesen Gründen eignet sich der MTM-Ansatz ebenfalls nicht für die Analyse von Suchvorgängen.

Lediglich im Bereich der Materialbereitstellung in der Produktion erfolgt eine Beschreibung der Suchtätigkeit als Bestandteil der Arbeitszeit. So ist die Tätigkeit *Suchen und Identifizieren* Bestandteil der sogenannten Totzeit, die der Bearbeitungszeit des Kommissionier-Prozesses zugeordnet ist [HOMP11, S. 133]. Die Totzeit umfasst zusätzlich Zeiten für das Lesen, Kontrollieren,

Reagieren und das Öffnen von Verpackungen. Da gängige Verfahren die einzelnen Bestandteile der Bearbeitungszeit allerdings nur als Ganzes untersuchen, kann auch hier die Suchtätigkeit nicht eindeutig erfasst und von anderen Tätigkeiten abgegrenzt werden.

Insgesamt grenzen die bekannten Ansätze zur Beschreibung der Arbeitszeit Suchvorgänge nicht klar von anderen Tätigkeiten ab. In der Folge ist eine detaillierte Beschreibung des Suchaufwands mit bekannten Methoden kaum möglich. Insbesondere die Unterscheidung von Aufwänden für die Informations- und Materialsuche sowie die Analyse einzelner Suchtätigkeiten gestaltet sich somit schwierig.

2.4 Verfahren der Zeitermittlung

Die Analyse der Arbeitsproduktivität erfordert es in der Regel, Informationen über Zustände und Tätigkeiten der Mitarbeiter zu erheben. Dabei können unterschiedliche Verfahren der Zeitermittlung angewandt werden, über die Abschnitt 2.4.1 einen Überblick gibt. Anschließend werden ausgewählte Verfahren der kontinuierlichen Beobachtung (Abschnitt 2.4.2) und der Stichprobenbeobachtung (Abschnitt 2.4.3) vorgestellt. Abschnitt 2.4.4 stellt abschließend wichtige Verfahren zur statistischen Beurteilung von Zustandsdaten vor.

2.4.1 Überblick über Zeitermittlungsverfahren

Die Grundlage für die Analyse der bezahlten Arbeitszeit ist die Erfassung der Zeitanteile einzelner Tätigkeiten mithilfe geeigneter Verfahren. Die im Laufe der Zeit entstandenen unterschiedlichen Verfahren der Zeitermittlung lassen sich anhand unterschiedlicher Kriterien kategorisieren [MATI01, S. 1411]. Einen Überblick über gängige Zeitermittlungsverfahren gibt Abbildung 2-10.

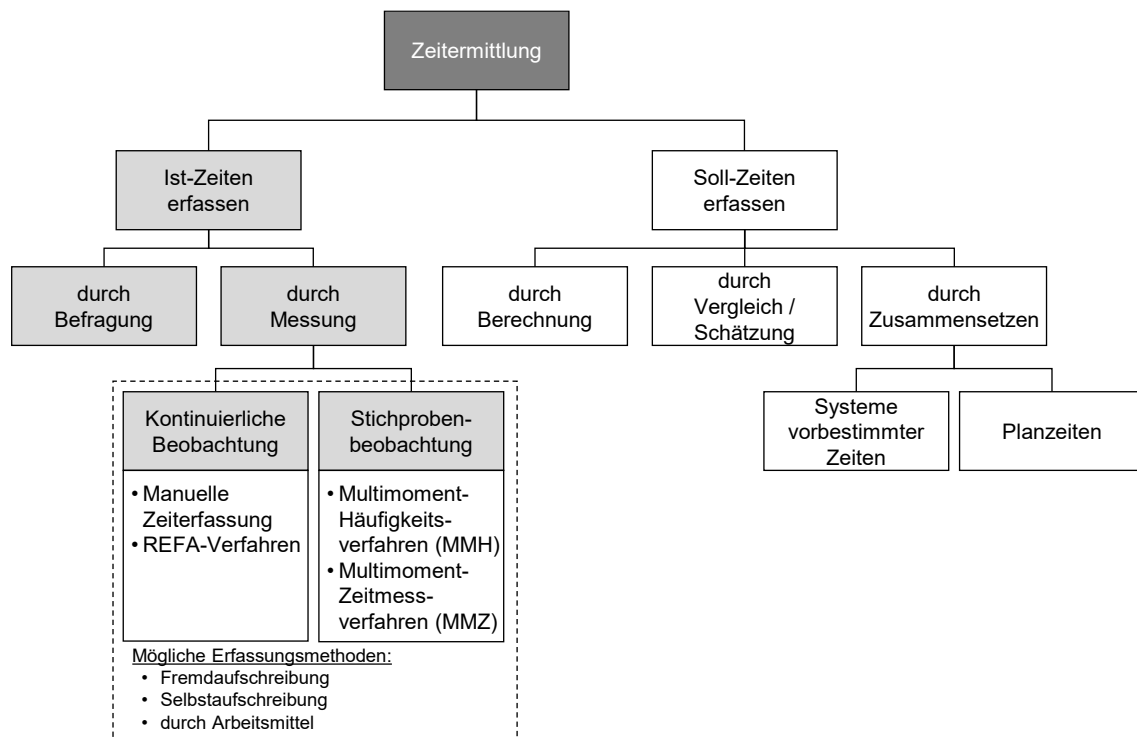


Abbildung 2-10: Zeitermittlungsverfahren in Anlehnung an [REFA97, S. 61], [SCHL18, S. 578]

Die Abbildung unterscheidet in Verfahren zur Erfassung von Ist- und Soll-Zeiten der REFA [REFA97, S. 61]. Soll-Zeiten beschreiben die Zeiten, die planmäßig für einzelne Ablaufschritte zur Verfügung stehen. Für den Fall, dass Daten zu Ist-Zeiten vorhanden sind, besteht die Möglichkeit, durch die Multiplikation mit einem Leistungsgrad Soll-Zeiten zu berechnen [REFA97, S. 125]. Sollten keine Daten vorliegen, besteht weiterhin die Möglichkeit, Soll-Zeiten abzuschätzen oder durch einen Vergleich mit ähnlichen Ablaufschritten zu bestimmen. Planzeiten und Systeme vorbestimmter Zeiten sind Verfahren, die es erlauben, Soll-Zeiten durch die Kombination einzelner Zeitelemente zusammenzusetzen.

Ist-Zeiten sind die Zeiten, die ein Mensch bzw. ein Arbeitsmittel tatsächlich benötigt, um einen bestimmten Ablaufschritt auszuführen. Im einfachsten Fall können Ist-Zeiten durch die Befragung von Personen ermittelt werden, die die entsprechenden Ablaufschritte ausführen beziehungsweise sich mit diesen auskennen. Hierbei ist zu beachten, dass die Erhebung von Zeiten durch Befragung nur einen groben Richtwert für die Ist-Zeiten von Ablaufschritten liefern kann, da sie auf subjektiven Schätzungen beruht. Die Messung von Ist-Zeiten hingegen erlaubt eine genaue und vergleichbare Erfassung der tatsächlich benötigten Zeiten. Die hierzu angewandten Verfahren lassen sich im Hinblick auf die Art der Beobachtung unterscheiden [vgl. HALL69, S. 18]. Wichtige Verfahren der kontinuierlichen Beobachtung sind die manuelle Zeiterfassung sowie das *REFA-Verfahren* (siehe Abschnitt 2.4.2). Wesentliche Verfahren mit Stichprobenbeobachtung sind das *Multimoment-Häufigkeitsverfahren* (MMH) und das *Multimoment-Zeitmessverfahren* (MMZ) (siehe Abschnitt 2.4.3)

Da Suchvorgänge kein erwünschter Bestandteil der Tätigkeiten in der Produktion sind, sind die Zeitermittlungsverfahren der Ist-Zeiten für Suchaufwände von besonderer Bedeutung.

Grundsätzlich kann die Messung von Zeitdaten in Form einer Fremdaufschreibung, einer Selbstaufschreibung oder unter Zuhilfenahme von Arbeitsmitteln erfolgen:

- Bei der *Fremdaufschreibung* beobachtet eine externe Person die an einem Prozess beteiligten Mitarbeiter und Betriebsmittel und erhebt entsprechende Daten. Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens ist es, dass die Mitarbeiter nicht in ihren Arbeitsabläufen gestört werden und eine objektive Datenerhebung erfolgt. Auf der anderen Seite birgt die Fremdaufschreibung die Gefahr, dass sich die Mitarbeiter durch die Beobachtung gestört fühlen oder ihr Verhalten im Zeitraum der Analyse anpassen, um ungünstige Zeitanteile zu vermeiden. Darüber hinaus ist es teilweise schwer, bestimmte Ereignisse von außen sicher zu erkennen [SCHL18, S. 582]. Hierzu zählen auch Suchvorgänge, da diese häufig ohne Kontext nicht direkt zu erkennen sind. Hierbei kann die Methode *Lautes Denken* [ERIC93] helfen, bei der die zu beobachtende Person ihre Tätigkeit kontinuierlich verbalisiert.
- Die *Selbstaufschreibung* ist ein Verfahren, bei dem eine am Prozess beteiligte Person die notwendigen Erhebungsdaten selbst erfasst. Sie kann eingesetzt werden, um Aufgaben, Aktivitäten, Zeiten oder Mengen zu erfassen [SAND13, S. 52]. Ein Vorteil der Selbstaufschreibung ist die Möglichkeit, sehr detaillierte und subjektive Informationen zu erfassen. Auf der anderen Seite kann die Tätigkeit der Selbstaufschreibung von der eigentlichen Arbeit ablenken. In der Regel wird daher eine Struktur in Form von vorbereiteten Formularen mit Ausfüllhilfen zur Verfügung gestellt, die es erleichtert, die relevanten Daten zu erfassen, zu vergleichen und auszuwerten. Da die Selbstaufschreibung ohne einen externen Beobachter erfolgt, ist die Überprüfung der Plausibilität der Daten schwierig [SAND13, S. 53]. So besteht die Möglichkeit, dass die aufnehmende Person die Daten in einer Weise beeinflusst, die ungünstige Zeitarten vermeidet [SCHL18, S. 582].
- Die Zeitdatenmessung *unter Zuhilfenahme von Arbeitsmitteln* ermöglicht eine automatisierte Erhebung von Zeitdaten. Insbesondere Systeme wie eine Betriebsdatenerfassung oder eine Maschinendatenerfassung können so Zeitdaten zur Verfügung stellen, die viele Unternehmen ohnehin aufnehmen. Für die Mitarbeiter liefern diese Systeme allerdings häufig nur sehr grobe Informationen, wie Anwesenheits- oder Krankheitszeiten. Für die detaillierte Analyse von Ablaufschritten in der Produktion eignen sich diese Daten daher in der Regel nur sehr eingeschränkt.

2.4.2 Kontinuierliche Beobachtung

Ein typisches Verfahren der kontinuierlichen Beobachtung ist die manuelle Zeitaufnahme. Diese erfasst Ist-Zeiten einzelner Ablaufabschnitte eines Arbeitssystems mithilfe eines Zeitmessgeräts [SCHL18, S. 579]. Dazu ist es in einem vorgelagerten Schritt notwendig, die Arbeitsabläufe und Arbeitsbedingungen zu beschreiben.

Die Zeitaufnahme nach REFA [REFA97, S. 81ff.] ist eine in Deutschland weit verbreitete systematische Vorgehensweise, um Ist-Zeiten systematisch zu erfassen. Das Vorgehen gliedert sich in die in Abbildung 2-11 dargestellten Teilschritte.

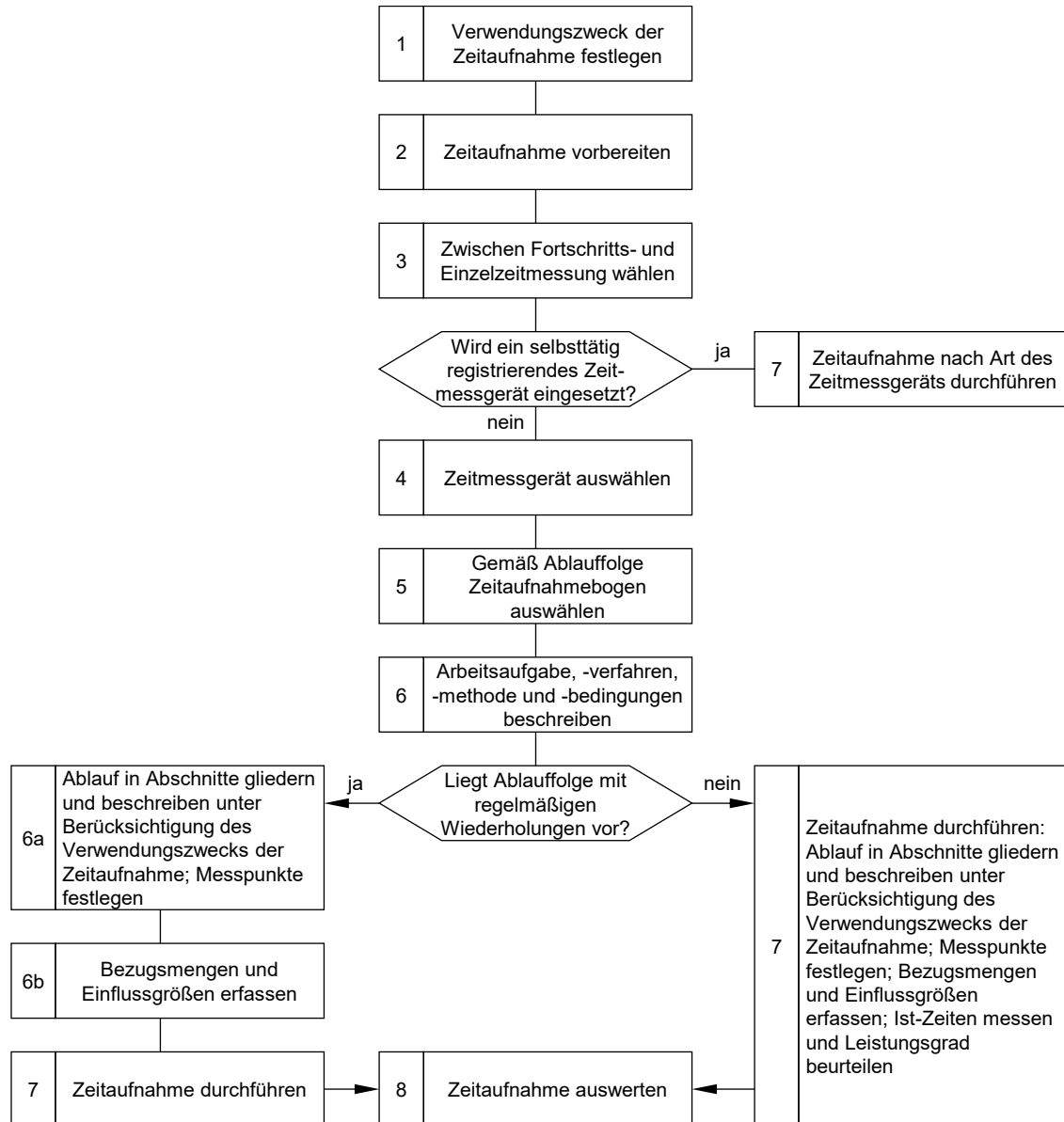


Abbildung 2-11: REFA-Standardprogramm Zeitaufnahme [REFA97, S. 83]

Zu Beginn der Zeitaufnahme ist ein eindeutiger Verwendungszweck zu definieren, wobei insbesondere festzulegen ist, ob die zu erhebenden Zeiten für die Bildung von Planzeiten verwendet werden sollen.

Bei der Vorbereitung der Aufnahmen ist darauf zu achten, dass die relevanten Vorschriften und Pflichten beachtet werden. Hierzu zählen beispielsweise die Unterrichtung der Personen, die im

2. Grundlagen und bestehende Ansätze

Rahmen der Analyse beobachtet werden, sowie die Gewährleistung der Einhaltung von Sicherheitsvorschriften.

Im dritten Schritt ist die Art der Zeitmessung zu wählen. Dabei besteht die Möglichkeit zur Fortschritts- oder Einzelzeitmessung (Abbildung 2-12).

Ablaufabschnitte	Messpunkt	Teil einspannen	loslassen	Teil bearbeiten	Maschine hält	Teil ausspannen, weglegen	loslassen	Teil einspannen	loslassen
		F_1		F_2		F_3		F_4	
Fortschrittszeitmessung	0	30	60	85	120				
Einzelzeitmessung	0	30	0	30	0	25	0	35	
Einzelzeit t_i in MH		$t_1 = 30$	$t_2 = 30$	$t_3 = 25$	$t_4 = 35$				

Abbildung 2-12: Fortschritts- und Einzelzeitmessung [vgl. REFA97, S. 86f.]

Bei einer Fortschrittszeitmessung erfasst das Zeitmessgerät lückenlos die Gesamtdauer der Aufnahme. Während der Aufnahme hält der Beobachter die Fortschrittszeit zum Ende eines jeden Ablaufabschnitts fest. Die Einzelzeiten können dann über die Differenz der einzelnen Fortschrittszeiten errechnet werden. Bei der Einzelzeitmessung wird das Zeitmessgerät zu Beginn eines Ablaufabschnitts gestartet und beim jeweils nächsten Messpunkt gestoppt, um die Dauer der Ablaufschritte (Einzelzeiten) direkt zu erfassen. Eine wesentliche Herausforderung der Einzelzeitmessung ist die lückenlose Erfassung aufeinander folgender Ablaufabschnitte.

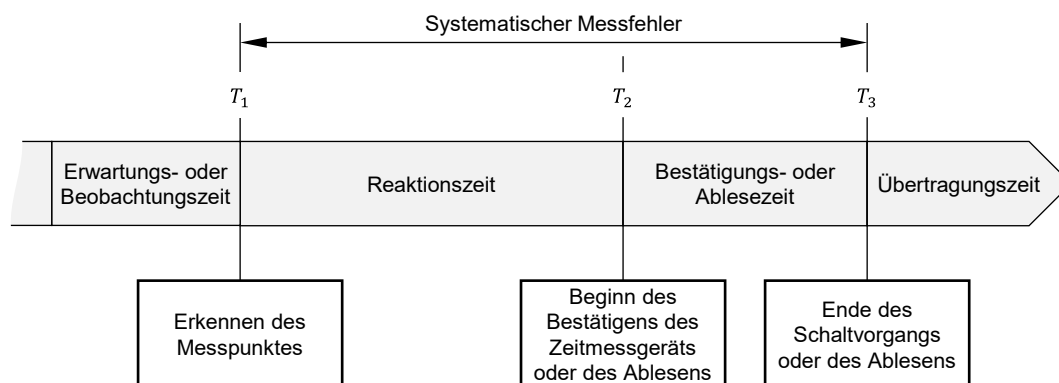


Abbildung 2-13: Messfehler bei der Zeitaufnahme in Anlehnung an [REFA97, S. 89]

In Abbildung 2-13 ist zu erkennen, dass es durch die Tätigkeit der Erfassung von Messpunkten zu einem systematischen Messfehler kommen kann (Reaktionszeit und Bestätigungs- bzw. Ablesezeit).

Im vierten Schritt wird das Zeitmessgerät bestimmt. Dabei ist insbesondere zwischen einem System der Fremdaufschreibung und der Selbstaufschreibung zu unterscheiden. Als Zeitmessgeräte kommen heutzutage überwiegend mobile Endgeräte in Kombination mit entsprechenden Softwareprodukten zum Einsatz [SCHL18, S. 579].

Im Anschluss ist ein geeigneter Aufnahmebogen auszuwählen. Dieser orientiert sich an der Folge und Anzahl der zu messenden Ablaufabschnitte.

Im sechsten Schritt erfolgt die Beschreibung der einzelnen Ablaufabschnitte sowie der Arbeitsbedingungen. Der Arbeitsablauf ist dazu in Arbeitsabschnitte einzuteilen, zu denen jeweils Messpunkte (Beginn und Ende) festgelegt werden. Zusätzlich sind die Bezugsmengen und Einflussgrößen zu erfassen.

Der siebte Schritt ist die eigentliche Durchführung der Zeitaufnahme. Dazu wird mit der entsprechenden Methode für jeden Arbeitsabschnitt die Ist-Zeit gemessen. Auf Grundlage der Intensität und der Wirksamkeit der beobachteten Arbeit kann zudem ein Leistungsgrad bestimmt werden. Dieser ermöglicht es, auf Basis der erfassten Ist-Zeiten Sollzeiten für die einzelnen Arbeitsabschnitte zu berechnen.

Der letzte Schritt umfasst die Auswertung der erhobenen Daten. Dabei werden die Daten auf Richtigkeit und Vollständigkeit überprüft, es werden statistische Auswertungen vorgenommen sowie Soll-Zeiten bestimmt.

2.4.3 Verfahren der Stichprobenbeobachtung

Wichtige Anforderungen an ein Verfahren zur Ermittlung von Zustandsanteilen sind die Aktualität der Information, die aufwandsarme Erhebung sowie die einfache Verwendbarkeit der Informationen. Multimomentverfahren sind in der Praxis erprobte Vorgehen, die diese Anforderungen häufig gleichermaßen erfüllen können [HALL69, S. 16]. Sie basieren auf einem mathematischen, analytischen Ansatz der Statistik und sind in der Lage, Daten über die prozentuale Häufigkeit und die Dauer von Arbeitsabschnitten zu liefern. Dabei kann die notwendige Genauigkeit der statistischen Aussage im Einzelfall festgelegt werden. Diese bestimmt maßgeblich den Aufwand für die Datenerhebung, da für eine höhere statistische Genauigkeit die notwendige Stichprobengröße ansteigt [SCHL18, S. 584], [REFA97, S. 241]. Je nach Zielsetzung lassen sich zwei Arten von Multimomentverfahren unterscheiden. Das Multimoment-Häufigkeitsverfahren erfasst die absolute und prozentuale Häufigkeit von Zustandsarten, wohingegen das Multimoment-Zeitmessverfahren die Dauer einzelner Zustandsarten bestimmen kann. Im Folgenden werden die beiden Verfahren genauer beschrieben.

Multimoment-Häufigkeitsverfahren (MMH)

Das Multimoment-Häufigkeitsverfahren ist ein in der Praxis häufig angewendetes Vorgehen, um Ablaufarten zu erfassen. Das Verfahren basiert auf der stichprobenartigen Erhebung von Ablaufarten durch unregelmäßig durchgeführte Beobachtungsrundgänge. Sofern die zu untersuchenden Ablaufarten bestimmten statistischen Kriterien entsprechen, ist das Verfahren in der Lage, die absolute und prozentuale Häufigkeit von Ablaufarten innerhalb eines Untersuchungszeitraumes mit einer gegebenen statistischen Sicherheit zu bestimmen.

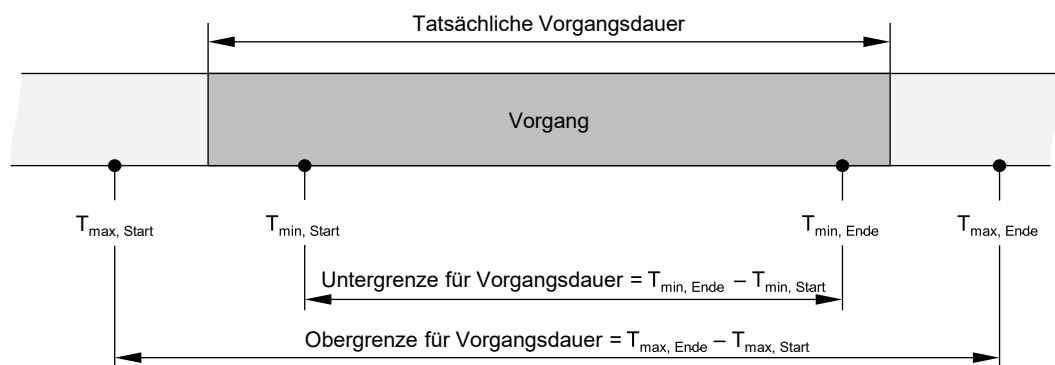
Für die Anwendung des MMH existieren unterschiedliche Vorgehensmodelle [HALL69, S. 51ff.] [MATI01, S. 1449ff.], [REFA97, S. 236ff.]. Das Standardprogramm der REFA ist ein in der Praxis häufig angewandtes und bewährtes Vorgehen für die Durchführung von MMH, das sich in acht Teilschritte gliedert [REFA97, S. 236ff.]:

1. Zu Beginn ist es erforderlich, das Ziel der MMH zu formulieren und die zu beobachtenden Arbeitssysteme auszuwählen und zu beschreiben.
2. Im nächsten Schritt sind die Ablaufarten zu definieren, die bei der Datenaufnahme unterschieden werden sollen. Je feiner die Ablaufarten untergliedert werden, desto besser sind die Voraussetzungen für eine aussagekräftige Beschreibung des Gesamtgeschehens.
3. Anschließend ist ein Rundgangsplan zu erstellen, der festlegt, in welcher Reihenfolge und an welchen Beobachtungspunkten die Einzelaufnahmen durchgeführt werden. Um das Zufallsprinzip zu wahren, sind mehrere unterschiedliche Beobachtungsfolgen zu erstellen, aus denen vor jedem Rundgang eine zufällig ausgewählt wird.
4. Daraufhin ist der erforderliche Stichprobenumfang zu bestimmen. Dazu ist es notwendig, den gewünschten Vertrauensbereich zu wählen und den Anteil der Ablaufart zu schätzen, die für die Erhebung am interessantesten ist. Mithilfe der beiden Werte kann dann die Anzahl der notwendigen Beobachtungen berechnet werden. Je höher die gewünschte Aussagewahrscheinlichkeit, desto größer ist die notwendige Anzahl an Beobachtungen.
5. Im Anschluss sind die Zeitpunkte für die Rundgänge festzulegen. Dabei ist es wichtig, diese zufallsverteilt zu wählen, um die statistischen Bedingungen des Verfahrens zu erfüllen und eine Beeinflussung der Ergebnisse durch beteiligte Personen zu vermeiden.
6. Im nächsten Schritt wird eine erste Multimomentaufnahme auf Grundlage der Planung in den vorherigen Schritten mit etwa 500 Beobachtungen durchgeführt.
7. Nach der ersten Aufnahme ist anhand der durchgeführten Beobachtungen zu überprüfen, ob die geschätzte Anzahl notwendiger Beobachtungen realistisch ist. Sollte ein Schätzfehler vorliegen, ist die Anzahl notwendiger Beobachtungen neu zu bestimmen, bevor weitere Beobachtungen durchgeführt werden.
8. Im letzten Schritt erfolgt dann die Auswertung aller Beobachtungen. Dabei wird die Gesamtanzahl, der prozentuale Anteil, der erzielte Vertrauensbereich für jede Ablaufart bestimmt und bewertet.

Für die Analyse mehrerer Arbeitsstationen bietet das MMH im Vergleich zu der kontinuierlichen Zeitmessung den Vorteil eines geringeren Durchführungsaufwands sowie die Möglichkeit, Informationen über einen längeren Zeitraum zu sammeln [LOTT12, S. 96]. Nachteile des MMH sind beispielsweise die unzureichende Erfassung von Einflussgrößen auf die erfassten Ablaufarten sowie eine fehlende Genauigkeit für Ablaufarten mit einem Anteil von unter 5 % [HALL69, S. 104f.], [REFA16, S. 96]. Darüber hinaus können bestimmte Zustandsarten, wie beispielsweise Suchtätigkeiten, nicht immer eindeutig durch einen Beobachter identifiziert und eingeordnet werden. Vor diesem Hintergrund ist das Vorgehen für eine detaillierte Analyse unterschiedlicher Suchaufwände nur bedingt geeignet.

Multimoment-Zeitmessverfahren (MMZ)

Das Multimoment-Zeitmessverfahren ermöglicht es, mithilfe von stichprobenartig erhobenen Daten die Dauer einzelner Ablaufarten statistisch zu beschreiben. Es basiert grundsätzlich auf dem gleichen Vorgehen wie das MMH. Allerdings werden in unregelmäßig durchgeführten Rundgängen zusätzlich zu den Ablaufarten Zeit-Messpunkte erfasst. Anhand dieser Messpunkte werden die Start- und Endzeitpunkte der einzelnen Ablaufarten statistisch hergeleitet.



T_i : Zeit-Messpunkt der Aufnahme i

Abbildung 2-14: Prinzip des Multimoment-Zeitmessverfahrens in Anlehnung an Haller-Wedel [HALL69, S. 106]

In Abbildung 2-14 ist zu erkennen, dass insgesamt vier Messpunkte notwendig sind, um eine Vorgangsdauer zu beschreiben. Davon muss ein Messpunkt vor und einer nach dem Vorgang liegen. Mindestens zwei weitere Messpunkte sollten innerhalb des Vorgangs liegen. Die tatsächliche Dauer eines Vorgangs lässt sich dann mithilfe des Mittelwerts der maximalen und der minimalen Dauer abschätzen (Formel 2-3).

$$t_m = \frac{t_{max} + t_{min}}{2} \quad 2-3$$

mit:

t_m : mittlere Vorgangsdauer [Min.]

t_{max} : maximale Vorgangsdauer (Obergrenze für Vorgangsdauer) [Min.]

t_{min} : minimale Vorgangsdauer (Untergrenze für Vorgangsdauer) [Min.]

Aufgrund der notwendigen Anzahl an Messpunkten je Vorgang ist der Erhebungsaufwand für kürzere Ablaufarten sehr hoch, sodass sich das Verfahren auf die Analyse langzyklischer Arbeitsvorgänge beschränkt [SCHL18, S. 582]. In der Praxis ist die MMZ daher für die Analyse von Produktionsabläufen von geringer Bedeutung und eignet sich kaum für die Erfassung von Suchaufwänden.

2.4.4 Statistische Analyse produktivitätsrelevanter Daten

Der Aufwand für die Analyse von Mitarbeiterzuständen steigt in der Regel mit der Anzahl an erfassten Informationen. Statistische Verfahren bieten die Möglichkeit, auf Grundlage einer Stichprobe Aussagen über die Grundgesamtheit der untersuchten Merkmale zu machen. So können sie dazu beitragen, den Aufwand für die Datenerfassung zu begrenzen und es ermöglichen, Analyseergebnisse auf die Grundgesamtheit zu übertragen. Insbesondere für annähernd normalverteilte Daten existieren vergleichsweise einfache statistische Hilfsmittel, die im Folgenden exemplarisch erläutert werden.

Anpassungstests

Die Dauer einzelner Mitarbeiterzustände kann sich stark unterscheiden. Für sehr ähnliche Zustände ist aber anzunehmen, dass die Grundgesamtheit der Zustandsdauern normalverteilt mit einem unbekanntem Mittelwert \bar{x} und einer unbekanntem Standardabweichung s ist [vgl. NIEB03, S. 393]. Um zu überprüfen, ob eine Menge an Stichproben annähernd einer Normalverteilung entspricht, existieren verschiedene Verfahren. Zwei einfache und häufig verwendete Verfahren sind der *Kolmogorov-Smirnov-Test* und der *Shapiro-Wilk-Test*.

Der *Kolmogorov-Smirnov-Test* ermöglicht es, mit einer gewählten Fehlerwahrscheinlichkeit zu bewerten, ob eine Menge an Messwerten normalverteilt ist. Dazu wird die Verteilungsfunktion der Stichprobe (Kumulierte Häufigkeitsverteilung) mit der Verteilungsfunktion der Normalverteilung verglichen, indem der maximale Abstand zwischen den beiden Funktionen (Teststatistik) bestimmt wird [HENZ13, S. 159ff.]. Liegt die Teststatistik unterhalb eines von der Fehlerwahrscheinlichkeit abhängigen kritischen Werts, kann die Nullhypothese (Die Grundgesamtheit der Stichprobe ist normalverteilt) nicht verworfen werden [vgl. ECKE05, S. 267f.]. In diesem Fall kann für die Verteilung der Stichprobe eine Normalverteilung angenommen werden.

$$KS_n = \max_{x \in \mathbb{R}} |H_n(x) - F(x)| \quad 2-4$$

mit:

KS_n : Teststatistik

$H_n(x)$: Verteilungsfunktion (Kumulierte Häufigkeit) der Stichprobe

$F(x)$: Verteilungsfunktion der Normalverteilung

n : Stichprobenumfang [-]

Der *Shapiro-Wilk -Test* überprüft ebenfalls die Hypothese, ob für eine Zufallsstichprobe eine Normalverteilung angenommen werden kann. Dazu vergleicht der Test zwei Schätzer für die Varianz einer Stichprobe. Das Ergebnis ist die Teststatistik \widehat{W} (Formel 2-5), die sich aus dem Quotienten des Quadrats einer kleinsten Fehlerquadratschätzung für die Steigung einer Regressionsgrade und der Stichprobenvarianz ergibt. Je näher der Wert der Teststatistik an 1 liegt, desto eher kann für die Stichprobe eine Normalverteilung angenommen werden [vgl. HEDD20, S. 498].

$$\widehat{W} = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad 2-5$$

mit:

\widehat{W} : Teststatistik

a_i : Maßzahl der Ordnungsstatistik einer normalverteilten Zufallsvariablen

$x_{(i)}$: Beobachtung i aus der aufsteigend geordneten Stichprobe [Min.]

\bar{x} : Mittelwert der Stichprobe [Min.]

n : Stichprobenumfang [-]

Die für die Bestimmung der Steigung der Regressionsgraden notwendigen Maßzahlen der Ordnungsstatistik einer normalverteilten Zufallsvariablen (a_i) sind entsprechenden Tabellen zu entnehmen.

Vertrauensbereich

Der Vertrauensbereich (auch Konfidenzintervall) beschreibt den Bereich um den berechneten Mittelwert einer Stichprobe, in dem sich mit einer gewählten Fehlerwahrscheinlichkeit der echte Mittelwert der Grundgesamtheit befindet [ECKE05, S. 201]. Für kleine Stichprobengrößen im Rahmen der Zeitaufnahme von Zustandsdauern ($n \leq 30$) verwendet man die im Vergleich zur Normalverteilung robustere t-Verteilung, um den Vertrauensbereich zu bestimmen. [FAHR04, S. 304]. Mithilfe des Mittelwerts und der Standardabweichung der Stichprobe lässt sich mit Formel 2-6 so ein Vertrauensintervall bestimmen, in dem der echte Mittelwert mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit α enthalten ist [vgl. SUHL13, S. 283].

$$\left[\bar{x} - t_{n-1,\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{x} + t_{n-1,\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}} \right] \quad 2-6$$

mit:

\bar{x} : Mittelwert der Stichprobe [Min.]

$t_{n-1,\alpha}$: *t*-Wert für zweiseitigen Vertrauensbereich bei Fehlerwahrscheinlichkeit α und $n-1$ Freiheitsgraden

α : Fehlerwahrscheinlichkeit

S : Standardabweichung der Stichprobe [Min.]

n : Stichprobenumfang [-]

Da sowohl die Normalverteilung als auch die *t*-Verteilung eine symmetrische Verteilung aller Werte um den Mittelwert voraussetzen, ist ebenfalls das Vertrauensintervall symmetrisch zum Mittelwert.

2.5 Ansätze zur Analyse der Arbeitsproduktivität

Im Laufe der Zeit haben sich verschiedene Ansätze zur Analyse der Arbeitsproduktivität in der Praxis etabliert. Im Folgenden werden die wesentlichen Ansätze kurz vorgestellt.

Zeitwirtschaftlich geprägte Ansätze

Ein weit verbreitetes Vorgehen, um die Arbeitsproduktivität in der industriellen Praxis zu beschreiben ist die *REFA-Zeitaufnahme* [REFA97, S. 81ff.] (vgl. Abschnitt 2.4.2). Diese ermöglicht es, Ist-Abläufe im Rahmen einer Fortschritts- oder -Einzelzeitmessung zu erfassen. Darüber hinaus werden die beobachteten Arbeitsbedingungen dokumentiert und für die Bestimmung eines Leistungsgrades verwendet. Dieser gibt Aussage über die Leistungsfähigkeit und -bereitschaft der beobachteten Werker und ermöglicht es, auf Grundlage der erfassten Ist-Zeiten eine normierte Soll-Zeit für jeden Arbeitsablauf zu bestimmen. Für die Klassifikation der Arbeitsabläufe stellt die REFA eine Einteilung in Ablaufarten zur Verfügung (vgl. Abbildung 2-9). Über den Vergleich der erfassten Ist-Zeiten mit den berechneten Soll-Zeiten besteht die Möglichkeit, die Arbeitszeit zu bewerten. Zusätzlich liefern die erfassten Einflussfaktoren Informationen für potenzielle Verbesserungsmaßnahmen.

Eine weitere Möglichkeit, um Soll-Zeiten für einzelne Arbeitsabläufe zu bestimmen, bieten Systeme vorbestimmter Zeiten. Einer der bekanntesten Vertreter ist das Verfahren des *Methods-Time Measurement* (MTM). Mit MTM lassen sich Soll-Zeiten mithilfe von Prozessbausteinen modellieren, ohne dass eine Aufnahme von Ist-Zeiten notwendig ist. Im Rahmen des Produktivitätsmanagements bietet der MTM-Ansatz darüber hinaus ein umfangreiches Gestaltungssystem, das den Anwender durch Gestaltungsprinzipien [BOKR06, S. 197ff.] und geeignete Hilfsmittel wie Checklisten für die Prozessgestaltung [BOKR06, S. 196] bei der Verbesserung von Abläufen unterstützt.

Im Kern besteht das Ziel beider Ansätze darin, über den Vergleich von Soll- und Ist-Zeiten Produktivitätspotentiale aufzudecken und geeignete Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. Über das Verhältnis der kumulierten Soll-Zeiten und der bezahlten Arbeitszeit lässt sich schließlich die Arbeitsproduktivität beschreiben (Formel 2-7) [vgl. SAUT11, S. 20].

$$\text{Arbeitsproduktivität} = \frac{\sum_{i=0}^n \text{Ausbringungsmenge}_i \times \text{Sollzeit}_i}{\text{bezahlte Arbeitszeit}} \quad 2-7$$

mit:

i : Produkt

n : Anzahl Produkte

Sowohl die REFA-Systematik als auch MTM liefern geeignete Werkzeuge, um die Produktivität eines Arbeitssystems zu beschreiben und zu verbessern. Allerdings sind beide Ansätze nicht in der Lage, Suchaufwände explizit zu erfassen.

Wertschöpfungsorientierte Ansätze

Das *Lean Management* [WOMA05] ist ein in der industriellen Praxis weit verbreiteter Ansatz, um die Produktivität sowie weitere Zielgrößen zu verbessern. Die Grundlagen des Ansatzes basieren auf den Elementen und der Philosophie des Toyota-Produktionssystems [OHNO93]. Der Kerngedanke ist es, jegliche Verschwendung (vgl. Abschnitt 2.3.2) innerhalb der Prozesse zu vermeiden beziehungsweise auf ein Minimum zu reduzieren. Dazu gibt das *Lean Management* verschiedene Prinzipien und Methoden vor, die es dem Anwender ermöglichen, Produktionsverbesserungen zu erreichen [WOMA13, S. 23ff.], [LIKE14, S. 111ff.]. Ein wesentlicher Aspekt ist es beispielsweise, Verschwendungen im Rahmen eines kontinuierlichen Vorgehens zu identifizieren, geeignete Verbesserungsmaßnahmen zu entwickeln und diese durch Standards nachhaltig zu etablieren [LIKE09, S. 157ff.]. Aus wertschöpfungsorientierter Sicht sind Suchtätigkeiten generell als Verschwendung anzusehen, da sie den Wert des Produkts aus Kundensicht nicht erhöhen. Einen systematischen Ansatz, um die Verschwendung, die durch Suchaufwände entsteht, zu identifizieren, liefert das *Lean Management* allerdings nicht.

Die *Primär-Sekundär-Analyse* unterteilt alle Aufwendungen, die für die Herstellung eines Produktes notwendig sind, in wertschöpfende (primäre) und nicht-wertschöpfende (sekundäre) Aufwendungen [LOTT16, S. 33]. Das Kriterium für wertschöpfende Aufwendungen ist, dass diese unmittelbar der Veränderung bzw. der Vervollständigung des Produktes dienen. Zu den nicht-wertschöpfenden Aufwendungen gehören alle übrigen Aufwendungen wie beispielsweise die Produktionslogistik (Lager, Transport, Kommissionierung, usw.). Über das Verhältnis von Primär- zu Sekundäraufwand kann ein sogenannter Wirkungsgrad der Wertschöpfung errechnet werden, der ein Maß für die Effizienz der Prozesse liefert [LOTT16, S. 33ff.]. Da Suchtätigkeiten in den unterschiedlichsten Sekundäraufwänden vorkommen können, ist die *Primär-Sekundär-Analyse* nicht in der Lage, diese explizit zu bestimmen.

Analyseorientierte Ansätze

Die *Rüstanalyse nach Frühwald* [FRÜH90] ist ein Verfahren, um Rüstabläufe detailliert zu untersuchen und zu verbessern. Das Ziel besteht darin, die Maschinenverfügbarkeit zu erhöhen, indem rüstbasierte Stillstandszeiten reduziert werden. Dazu werden in einem ersten Schritt die Phasen des Rüstvorgangs analysiert, indem diese durch Rüstelemente beschrieben werden. Ein Rüstelement besteht dabei immer aus der Kombination eines Rüstobjekts und einer Rüsttätigkeit. Eine Kodierung der gängigen Objekte und Tätigkeiten erleichtert die Erfassung der Rüstelemente. Im zweiten Schritt sind dann die erfassten Rüstelemente in eine optimale Reihenfolge zu bringen und interne in externe Rüstvorgänge umzuwandeln, um die Stillstandszeit der Maschine zu reduzieren. Die Methode eignet sich eingeschränkt für die Analyse von Materialsuchen, da sie die Erfassung von Suchvorgängen als Kombination der Rüsttätigkeit Suchen und einem beliebigen Rüstobjekt erlaubt. Die Methode beschränkt sich allerdings auf die Suche von Material während des Rüstprozesses und erlaubt neben der Suchdauer keine detaillierte Beschreibung einzelner Suchvorgänge.

Die *Integrale Handlungsorientierte Produktivitätsanalyse nach Czumanski* [CZUM13] ist ein aufwandsarmes Verfahren, um die Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität in der Serienfertigung zu analysieren. Kern des Verfahrens ist die Bestimmung von Mitarbeiterzuständen durch die Erfassung von Tätigkeiten mithilfe reduzierter Zeitaufnahmen. Die Einteilung wiederkehrender Tätigkeiten in die Kategorien zyklusgebunden, losgebunden oder periodisch ermöglicht es, den Anteil an der bezahlten Arbeitszeit durch Multiplikation mit entsprechenden Faktoren (Zyklen, Lose, Perioden) zu bestimmen und dadurch den Aufwand für die Analyse zu reduzieren. Eine generische Zustandshierarchie bildet die Grundlage für eine horizontale und vertikale Datenaggregation der Mitarbeiterzustände. Das Verfahren ist in der Lage, produktivitätshemmende Faktoren zu identifizieren und diese zu bewerten. Nachdem die Informationshandhabung in der volumenreichen Serienfertigung häufig keinen relevanten Teil der Arbeitszeit ausmacht, vernachlässigt das Verfahren diese Zeitanteile. Darüber hinaus gibt es keine suchspezifischen Zustände vor. Für die Analyse von Material- und Informationssuchen eignet sich das Verfahren daher nicht.

Das *Verfahren zur Analyse der Arbeitsproduktivität in der Unikatfertigung* [TIET17] ermöglicht die Analyse der bezahlten Arbeitszeit im Bereich der Unikatfertigung. Dazu hat Tietze einen generischen Arbeitszyklus aus fünf Phasen entwickelt (vgl. Abbildung 2-15), der die Grundlage für die Modellierung der Arbeitszeit bildet. Den einzelnen Phasen werden Zustände auf Grundlage von Objekt-Tätigkeits-Kombinationen zugeordnet. Dies ermöglicht es, Mitarbeiterzustände sehr detailliert zu beschreiben.

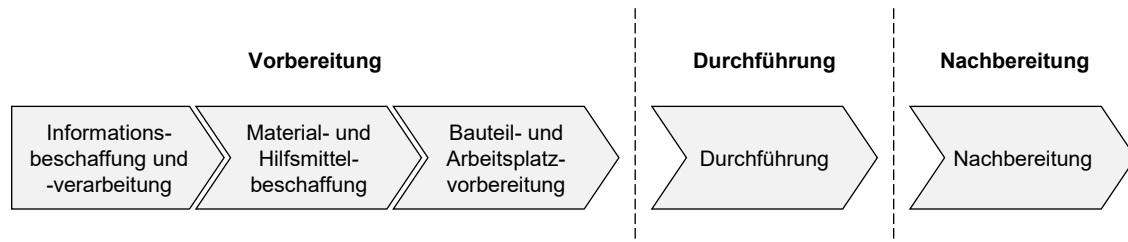


Abbildung 2-15: Generischer Arbeitszyklus für direkte Bereiche [TIET17, S. 36]

Im weitesten Sinne können Suchvorgänge insbesondere durch die Tätigkeiten der beiden Phasen Informationsbeschaffung und -verarbeitung sowie Material- und Hilfsmittelbeschaffung beschrieben werden. Allerdings erfolgt keine eindeutige Abgrenzung von Suchtätigkeiten zu anderen Tätigkeiten. Die auf Grundlage einer Multimomentaufnahme erhobenen Daten können darüber hinaus keine Aussage über die einzelnen Suchdauern liefern. Das Verfahren ist daher grundsätzlich geeignet, Suchaufwände abzuschätzen, eine detaillierte Beschreibung und Zusammensetzung von Suchvorgängen sowie die Erfassung relevanter Einflussgrößen auf den Suchaufwand sind allerdings nicht möglich.

Das von Grabner entwickelte *methodengestützte Produktivitätsmanagement* erlaubt es, die bezahlte Arbeitszeit zu analysieren und den Einfluss der Gestaltungsfelder einer Produktion auf die Arbeitsproduktivität zu beschreiben [GRAB20]. Indem die Mitarbeiterzustände den Stellgrößen des Modells der Arbeitsproduktivität zugeordnet werden, ist es möglich, die relevanten Gestaltungsfelder für Produktivitätsverbesserungen zu identifizieren. Die Datenerfassung erfolgt dabei in Form einer Multimomentaufnahme in Fremd- oder Selbstaufschreibung auf Grundlage eines Entscheidungsbaums (Abbildung 2-16).

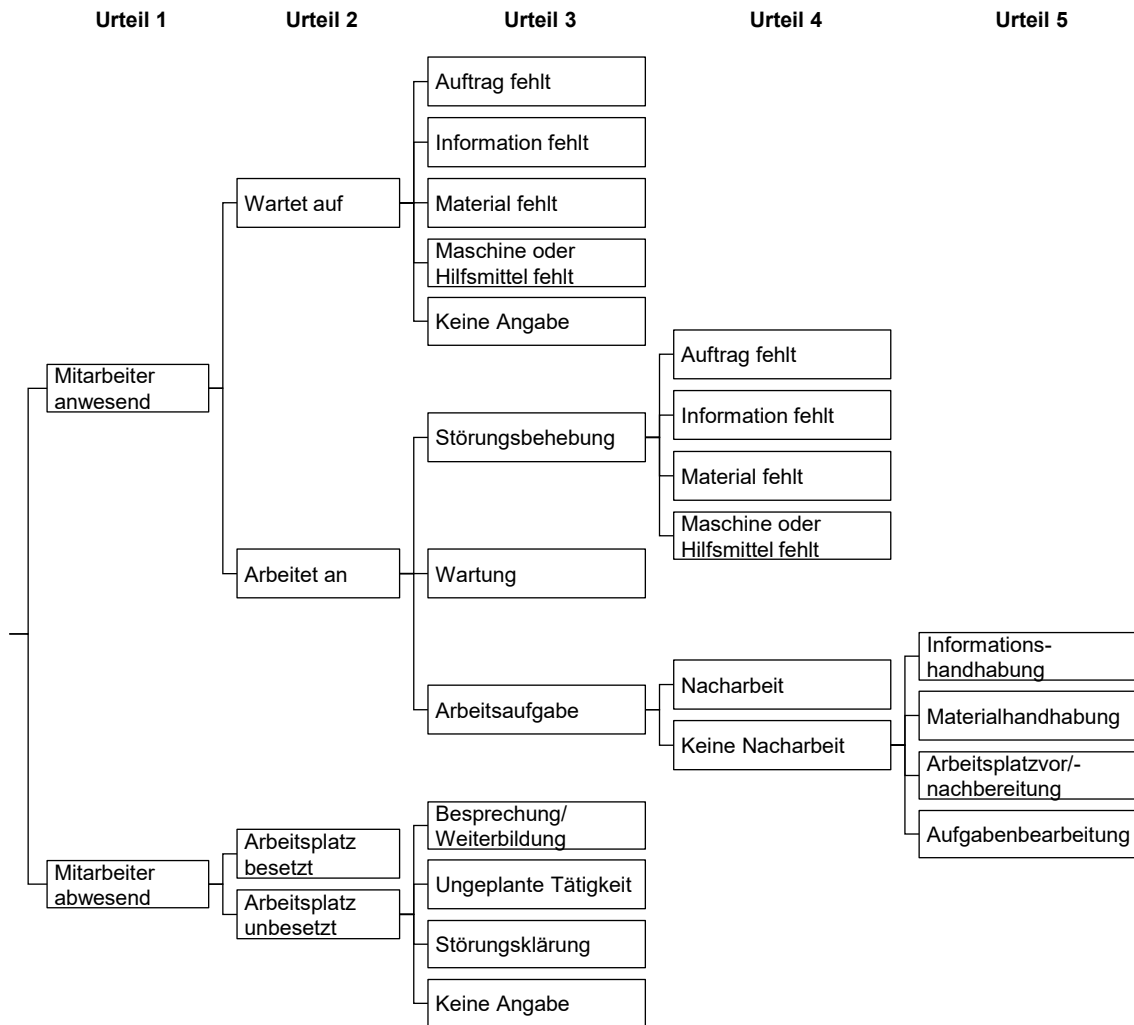


Abbildung 2-16: Entscheidungsbaum für die Multimomentaufnahme [GRAB20, S. 66]

Um die Datenaufnahme und -auswertung zu vereinfachen, hat Grabner eine Softwareanwendung („checkIT“) entwickelt, die es erlaubt, relevante Zustände zu konfigurieren und mithilfe von mobilen Endgeräten aufwandsarm zu erfassen [GRAB20, S. 114ff.]. Die Auswertung der Daten erfolgt in Form eines Dashboards ebenfalls in der Web-Anwendung. Das Vorgehen ist grundsätzlich in der Lage, den Anteil von Tätigkeiten der Material- und Informationsbeschaffung an der gesamten Arbeitszeit zu bestimmen. Jedoch ist die auf das Multimomentverfahren abgestimmte Aufnahme-logik nicht dafür ausgelegt, Zeitdauern und umfangreiche Detailinformationen zu erfassen. Daher eignet sich das Verfahren nur begrenzt für die Analyse von Suchvorgängen, da wichtige Informationen wie die Suchdauer, das Suchobjekt und einzelne Suchtätigkeit nicht oder nur unzureichend erfasst werden können. Die Softwareanwendung stellt allerdings eine vielversprechende Grundlage für die aufwandsarme Erfassung suchrelevanter Informationen dar.

2.6 Ansätze zur Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen

Eine wesentliche Herausforderung im Produktivitätsmanagement besteht darin, wirksame Verbesserungsmaßnahmen zu beschreiben, zu bewerten und auszuwählen. Zu diesem Zweck haben sich verschiedene Ansätze in der Praxis etabliert.

Gestaltungsorientierter Ansatz

Ein inzwischen weit verbreiteter Ansatz zur Gestaltung von Produktionsprozessen sind *Ganzheitliche Produktionssysteme* (GPS). Ein GPS ist als unternehmensspezifisches, methodisches Regelwerk zur umfassenden und durchgängigen Gestaltung der Unternehmensprozesse zu verstehen [DOMB06, S. 114] und stellt einen übergeordneten Rahmen für das Zusammenwirken verschiedener Methoden des *Lean Managements* dar [DOMB15, S. 19]. Auch wenn GPS von Natur aus unternehmensspezifisch sind, ähneln sie sich in Aufbau und Struktur [vgl. DOMB15, S. 26f.]. So beschreibt die VDI-Richtlinie 2870 den allgemeinen Aufbau eines GPS in vier Ebenen (Abbildung 2-17).

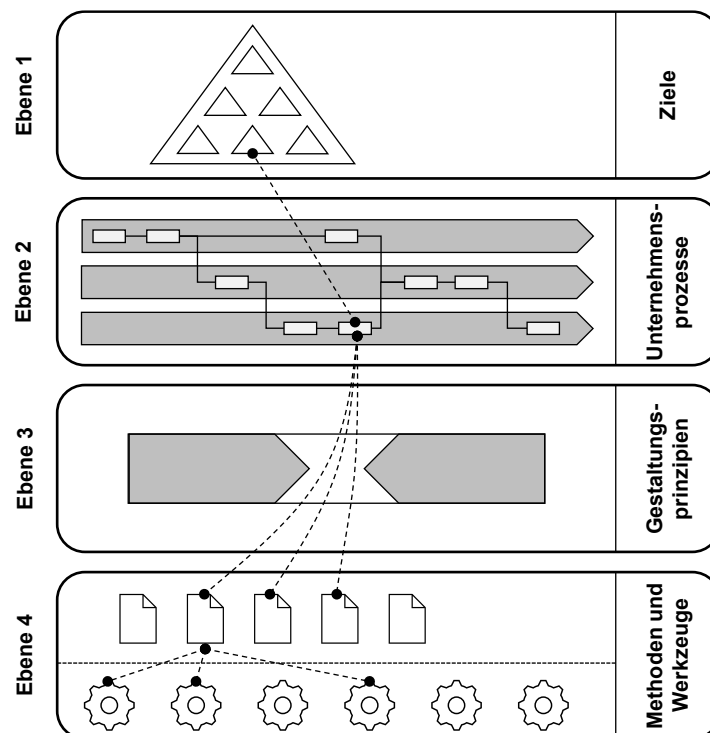


Abbildung 2-17: Aufbau und Struktur von Ganzheitliche Produktionssystem[VDI2870a, S. 10]

Auf der ersten Ebene sind Ziele und Teilziele zu definieren und den einzelnen Unternehmensprozessen (Ebene 2) zuzuordnen. Durch die Anwendung von Gestaltungsprinzipien (Ebene 3) werden die anzuwendenden Methoden und Werkzeuge (Ebene 4) strukturiert und abgestimmt. Die Auswahl geeigneter Verbesserungsmethoden orientiert sich innerhalb eines GPS an den umzusetzenden Gestaltungsprinzipien [VDI2870b, S. 6]. Dabei muss jedoch darauf geachtet werden, dass

die jeweilige Methode unter den gegebenen Rahmenbedingungen geeignet ist. Insgesamt beschreibt die VDI-Richtlinie 2870 ein Methodenportfolio von 35 Methoden [DOMB15, S. 30].

Ein grundlegendes Problem des Ansatzes ist die sehr aufwändige Entwicklung und Umsetzung eines GPS sowie die Beschränkung auf ein begrenztes Portfolio an Verbesserungsmethoden. Die starke Orientierung an den abstrakten Gestaltungsprinzipien erschwert die zielgerichtete Auswahl geeigneter Methoden für die Verringerung der Häufigkeit und Dauer bestimmter Zustandsarten wie der Suchtätigkeit.

Problemorientierter Ansatz

Für die Lösung situativer Problemstellungen stellen *allgemeine Problemlösungszyklen* ein systematisches Vorgehen zur Verfügung [vgl. TÖPF09, S. 128f.]. So bietet der allgemeine Problemlösungszyklus nach Daenzer ein generisches Vorgehen zur Entwicklung von Verbesserungslösungen [DAEN02, S. 109ff.]. Daenzer gliedert das Vorgehen zur Problemlösung grundsätzlich in die Teilschritte Zielsuche, Lösungssuche und Auswahl geeigneter Lösungen. Durch die Synthese von Lösungen erfolgt dabei die Entwicklung von Lösungsvarianten. In diesem Schritt stellt die Systematik allgemeingültige Strategien für die Entwicklung von Lösungsideen wie beispielsweise die Begrenzung des Lösungsfeldes oder Suchstrategien und Heuristiken zur Verfügung.

Ein weiterer Problemlösungszyklus, der insbesondere im Bereich der Produktion zum Einsatz kommt, ist der *PDCA-Zyklus* von Deming [DEMI86, S. 88f.]. Dieser unterteilt kontinuierliche Verbesserungsprojekte in die Phasen Plan, Do, Check und Act (Abbildung 2-18).

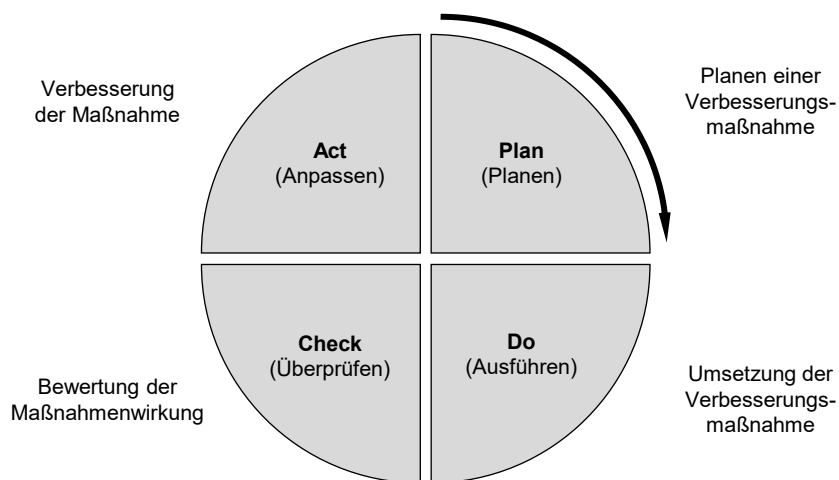


Abbildung 2-18: PDCA-Zyklus in Anlehnung an [KAMI15, S. 39]

Die grundlegende Idee ist es, die Problemursache zu analysieren, geeignete Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten und – häufig in einem abgegrenzten Bereich – testweise umzusetzen. Eine Überprüfung, ob die in der Planung formulierte Hypothese über den Maßnahmenenerfolg eintritt, ermöglicht es, das Problemverständnis zu überprüfen und weiterzuentwickeln [KAMI15, S. 39]. Erfolgreiche Maßnahmen werden standardisiert, um Probleme langfristig abzustellen. Der PDCA-Zyklus beschreibt somit den nie endenden Prozess der kontinuierlichen Verbesserung

[ZOLL01, S. 148]. Um wirksame Verbesserungsmaßnahmen auszuwählen und umzusetzen, fehlt es dem operativen Produktionsmanagement allerdings häufig an detaillierten Informationen über Produktionsabläufe.

Vor diesem Hintergrund hat Czumanski einen auf dem PDCA-Ansatz aufbauenden *Produktivitätsmanagementzyklus* für die Analyse der Arbeitsproduktivität in der Serienfertigung entwickelt [CZUM13, S. 24f.]. Dieser gliedert sich in die vier Phasen [CZUM13, S. 25]:

- Datenerhebung
- Datenauswertung und -analyse
- Maßnahmenableitung
- Maßnahmenumsetzung

Für die Auswahl geeigneter Methoden zur Steigerung der Produktivität hat Czumanski ein eigenes Vorgehen entwickelt [CZUM13, S. 98ff.]. Dieses ermöglicht eine zielgerichtete Methodenauswahl auf Grundlage von identifizierten Handlungsfeldern und einer Methodenklassifikation. Die Klassifikation bewährter Standardmethoden erfolgt dabei anhand von fünf Merkmalen in Anlehnung an Pavnaskar [vgl. PAVN03, S. 3077ff.]. Die Integration einer systematischen Ursachenanalyse stellt zudem sicher, dass die ausgewählten Methoden an den Einflussgrößen der Arbeitsproduktivität ansetzen, um eine produktivitätssteigernde Wirkung zu entfalten.

Im Rahmen eines methodengestützten Produktivitätsmanagements hat Grabner ein sogenanntes *Methoden-Matching* entwickelt, das die Auswahl von Standardmethoden ermöglicht. Die Grundlage des Verfahrens bildet die Beschreibung bekannter Standardmethoden sowie die Modellierung ihrer Wirkung auf die Stellgrößen der Arbeitsproduktivität [GRAB20, S. 73ff.]. Eine detaillierte Analyse der bezahlten Arbeitszeit erlaubt es, Gestaltungsfelder zu identifizieren und das Produktivitätspotential einzelner Methoden für einen spezifischen Anwendungsfall zu bewerten. Die Priorisierung potenzieller Methoden erfolgt auf zwei Arten: zum einen anhand der kumulierten Gesamtwirkung einer Methode auf alle Stellgrößen der Arbeitsproduktivität, zum anderen anhand der für die Produktion wichtigsten Stellgröße [GRAB20, S. 89]. Das Verfahren sieht vor, das Methodenportfolio kontinuierlich durch neue Methoden und Best-Practices zu erweitern und schlägt hierfür ein systematisches Workshop-Format vor [GRAB20, S. 90ff.].

2.7 Fazit der Grundlagen und bestehenden Ansätze

Die beschriebenen Ansätze und Vorarbeiten leisten auf vielfältige Weise einen Beitrag für das Produktivitätsmanagement und helfen Unternehmen dabei, ihre Produktivität zu steigern. Trotz der bekannten Tatsache, dass Suchvorgänge eine produktivitätsmindernde Wirkung haben, liefern die vorhandenen Ansätze jedoch keine Möglichkeit, Suchaufwände gezielt zu erfassen, auszuwerten und zu reduzieren. Für die Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen in der industriellen Produktion lassen sich daher mehrere Defizite beschreiben (Abschnitt 2.7.1), aus denen sich die wesentlichen Anforderungen an eine Analyse- und Verbesserungsmethodik ableiten lassen (Abschnitt 2.7.2).

2.7.1 Defizite

Aus der Untersuchung bewährter Verfahren des Produktivitätsmanagements ergeben sich vier Hauptdefizite für die Beschreibung, Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen in der industriellen Produktion.

Fehlende Beschreibung und Abgrenzung von Suchvorgängen

Innerhalb des Produktivitätsmanagements haben sich verschiedene Ansätze entwickelt, die es ermöglichen, die bezahlte Arbeitszeit in Ablaufarten zu unterteilen und deren Zusammensetzung zu analysieren. Trotz der verbreiteten Erkenntnis über die produktivitätsmindernde Wirkung von Suchvorgängen ist allerdings keiner der bewährten Ansätze in der Lage, industrielle Suchvorgänge allgemeingültig zu beschreiben und eindeutig von anderen Tätigkeiten abzugrenzen.

Einflussfaktoren auf den Suchaufwand sind unbekannt

Eine wirksame und nachhaltige Verbesserung von Produktionsprozessen erfordert eine ausreichende Kenntnis über die Kernursachen des zu verbessernden Problems [vgl. OHNO93, S. 43f.]. Für die Vermeidung beziehungsweise die Reduzierung von Suchaufwänden ist es daher von besonderer Bedeutung, die relevanten Einflussgrößen zu kennen, die auf die Häufigkeit und die Dauer von Suchvorgängen einwirken. Bestehende Ansätze liefern abgesehen von einzelnen Standardmethoden der schlanken Produktion kaum Hinweise auf Einflussgrößen, die den Suchaufwand qualitativ und quantitativ beeinflussen.

Fehlendes Vorgehen zur detaillierten Analyse von Suchaufwänden

Bekannte Produktivitätsanalysen sind in der Lage, die bezahlte Arbeitszeit durch die Beschreibung der wesentlichen Tätigkeitsanteile zu beschreiben und zu analysieren. Bisher erfassen die üblichen Analysen aber allenfalls, wie groß der Anteil der Informations-, Material- und Hilfsmittelbeschaffung an der Arbeitszeit ist. Aufgrund der fehlenden Abgrenzung von Suchvorgängen zu anderen Tätigkeiten bleibt der genaue Zeitaufwand für Suchvorgänge unklar. Ein wesentliches Problem für die Erfassung von Suchtätigkeiten ist, dass diese häufig von außen nur schwer zu erkennen sind.

Fehlendes Vorgehen zur Reduzierung von Suchaufwänden

Vereinzelt können Standardmethoden dazu beitragen, Suchaufwände in der Produktion zu reduzieren oder sogar zu vermeiden. Durch die fehlende Grundlage zur Beschreibung des Ablaufs von Suchvorgängen und die unbekanntes Einflussgrößen auf den Suchaufwand ist es allerdings nicht möglich, die Eignung sowie den Nutzen der einzelnen Methoden vor deren Umsetzung zu bewerten. Ein systematisches Vorgehen zur Auswahl beziehungsweise zur Gestaltung von Verbesserungsmaßnahmen für Suchaufwände existiert daher bisher nicht.

2.7.2 Anforderungen an die Gesamtmethodik

Aus den beschriebenen Defiziten lassen sich vier wesentliche Anforderungen an die Analyse- und Verbesserungsmethodik ableiten, die sich an der in Abschnitt 1.2 beschriebenen Zielsetzung der Arbeit orientieren.

Allgemeingültige Beschreibung und Modellierung von Suchaufwänden

Grundlage für die Entwicklung einer Gesamtmethodik zur Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen in der industriellen Produktion ist eine generische Beschreibung von Suchvorgängen. Eine geeignete Modellierung soll es daher zum einen ermöglichen, den Suchaufwand und seine wesentlichen Einflussgrößen detailliert zu beschreiben. Zum anderen soll die Modellierung die Grundlage dafür bilden, sowohl Informations- als auch Materialsuchen im Bereich der industriellen Produktion systematisch erfassen und vergleichen zu können.

Detaillierte Analyse von Suchaufwänden in der industriellen Produktion

Das Analyseverfahren, als Hauptbestandteil der Gesamtmethodik, soll dazu in der Lage sein, Suchvorgänge in unterschiedlichen Prozessen der industriellen Produktion erfassen und bewerten zu können. Insbesondere Bereiche mit einem hohen Anteil manueller Tätigkeiten sind dabei von besonderer Bedeutung, da diese im Gegensatz zu automatisierten Prozessen ein grundsätzliches Potential für das Auftreten von Suchvorgängen bieten.

Für eine allgemeingültige Anwendbarkeit soll das Analyseverfahren sowohl Material- als auch Informationssuchen erfassen und analysieren können. Die Auswertung der Analysedaten soll es ermöglichen, verschiedene Suchaufwände miteinander zu vergleichen und die Wirkung wichtiger Einflussfaktoren auf den Suchaufwand zu bewerten. Für die systematische Identifikation von Handlungsfeldern ist es außerdem sinnvoll, den Suchaufwand für einzelne Tätigkeiten und Suchobjekte in verschiedenen Bereichen der Produktion zusammenzufassen und vergleichen zu können.

Vorgehen zur systematischen Reduzierung von Suchaufwänden

Als zweiter Bestandteil der Gesamtmethodik ist ein Verbesserungsvorgehen zu entwickeln, das auf Grundlage der Analyseergebnisse die Ableitung geeigneter Verbesserungsmaßnahmen ermöglicht. Das Vorgehen soll Anwender in die Lage versetzen, die Ursachen für das Auftreten bestimmter Suchaufwände zu identifizieren und auf dieser Grundlage Maßnahmen zu beschreiben, die den Suchaufwand gezielt reduzieren. Wesentliche Grundlage für die Ableitung wirksamer Verbesserungsmaßnahmen ist die Modellierung des Suchaufwands. Das Vorgehen soll insbesondere die Ausprägung wichtiger Einflussfaktoren nutzen, um Maßnahmen zu beschreiben, die Suchaufwände vollständig vermeiden oder auf ein Minimum reduzieren.

Gewährleistung einer hohen Praxistauglichkeit

Für die industrielle Anwendung der Analyse- und Verbesserungsmethode ist es erforderlich, dass diese es ermöglicht, Suchaufwände zu erfassen und auszuwerten. Insbesondere die quantitative

Beschreibung des Suchaufwands stellt dabei eine neue Perspektive für die Steigerung der Produktivität in der Praxis dar. Grundanforderung für einen wirtschaftlichen Einsatz der Gesamtmethodik in der industriellen Praxis ist es, den Aufwand für die Analyse und Auswertung der suchrelevanten Informationen möglichst gering zu halten. Dazu ist ein Vorgehen zu entwickeln, mit dem die Datenerfassung in unterschiedlichen Detaillierungsgraden erfolgen kann, um den Aufwand für die Datenerfassung an die Anforderungen der jeweiligen Analyse anpassen zu können. Zusätzlich soll ein IT-gestütztes Vorgehen zur Datenerfassung den Aufwand reduzieren und die Genauigkeit der erfassten Daten verbessern.

Weiterhin ist es von besonderer Bedeutung, dass sowohl die Produktionsverantwortlichen als auch die Produktionsmitarbeiter die Methodik akzeptieren und verstehen. Eine einfache und nachvollziehbare Modellierung des Suchaufwands sowie eine verständliche Beschreibung des Analyse- und Verbesserungsvorgehens bilden hierzu die Grundlage. Um die Rechte der betroffenen Produktionsmitarbeiter zu wahren, soll die Methode es ermöglichen, Suchaufwände zu erfassen, ohne personenbezogene Leistungsdaten zu erheben.

3 Modellierung des Suchaufwands

Dieses Kapitel beschreibt die grundlegenden Begriffe und Zusammenhänge für die Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen und fasst diese in einem Modell zur Beschreibung des Suchaufwands zusammen. Zu Beginn erfolgt die Beschreibung der Ziele und Anforderungen an die Modellierung (Abschnitt 3.1) sowie die Definition der grundlegenden Begrifflichkeiten (Abschnitt 3.2). Anschließend geht Abschnitt 3.3 auf die Beschreibung typischer Suchobjekte in der industriellen Produktion ein. Abschnitt 3.4 stellt die wesentlichen Suchtätigkeiten vor und fasst diese in einem generischen Phasenmodell zusammen. Darauf aufbauend erfolgt die Modellierung des Suchaufwands in Abschnitt 3.5, bevor abschließend wichtige Einflussfaktoren auf den Suchaufwand in Abschnitt 3.6 evaluiert werden.

3.1 Ziele und Anforderungen an die Modellierung

Das Ziel der Modellierung ist es, Suchvorgänge in der Produktion beschreibbar zu machen und eine theoretische Grundlage für ihre Analyse und Verbesserung zu schaffen. Dazu ist es notwendig, die Suchtätigkeit generisch zu beschreiben und wesentliche Einflussgrößen zu integrieren.

Um verschiedene Suchvorgänge miteinander vergleichen, analysieren und verbessern zu können, soll die Modellierung die in Abschnitt 1.2 genannten Anforderungen erfüllen:

- *Generische Beschreibung:* Eine generische Beschreibung von Suchvorgängen soll es ermöglichen, ein einheitliches Verständnis für die Suche nach Material und Informationen zu schaffen und unterschiedliche Suchvorgänge zu vergleichen und zusammenzufassen.
- *Vollständigkeit und Verständlichkeit:* Um den Aufwand für die Suche nach Material und Informationen realistisch beschreiben zu können, sind möglichst alle Suchobjekte und Suchtätigkeiten zu berücksichtigen. Um den Aufwand für die Modellierung in der vorliegenden Arbeit auf ein beherrschbares Maß zu begrenzen, sind aus der Vielzahl denkbarer Einflussfaktoren die besonders wichtigen zu identifizieren und in die Modellierung zu integrieren.
- *Allgemeingültige Anwendbarkeit:* Mit Hilfe der Modellierung sollen sich alle Suchvorgänge, die in der industriellen Praxis auftreten, darstellen lassen. Um die Wirkung von Verbesserungsmaßnahmen realistisch abschätzen zu können, soll das Modell außerdem die grundsätzlichen Wirkzusammenhänge auf den Suchaufwand abbilden.

3.2 Definition von Suchzuständen

Eine bewährte Vorgehensweise, die Arbeitszeit in der industriellen Produktion zu gliedern ist es, diese in einzelne Zustände zu unterteilen. Um die unterschiedlichen Mitarbeiterzustände in einer Produktion generisch und dennoch möglichst genau beschreiben zu können, bietet es sich an, diese aus der Kombination einer Tätigkeit und einem Objekt zusammensetzen [FRÜH90, S. 31], [CZUM13, S. 34ff.], [TIET14, S. 34f.]. Für die Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen in der industriellen Produktion kann ein Suchzustand daher wie folgt definiert werden:

Ein Suchzustand beginnt mit einem Bedarf nach einem physischen Objekt oder einer Information (Suchobjekt) und beschreibt die Bemühung (Suchtätigkeit) einer Person, die dazu dient, diesen Bedarf zu decken.

Um Suchzustände möglichst detailliert beschreiben zu können, ist es somit notwendig, sowohl die Suchobjekte als auch die Suchtätigkeiten möglichst genau zu definieren. Übergeordnet lässt sich ein Suchzustand bereits durch die Definition des Suchobjekts einordnen. Für eine genauere Analyse des Suchzustands ist es zudem hilfreich, die einzelnen Tätigkeiten während des Suchvorgangs zu kennen. Bei genauerer Betrachtung lassen sich einzelne Tätigkeiten identifizieren, die häufig Bestandteil von Suchvorgängen sind und die unabhängig vom eigentlichen Suchobjekt auftreten (Abschnitt 3.4). Hierzu gehören beispielsweise das Aufsuchen und das Sichten eines Aufenthaltsortes im Rahmen einer Materialsuche (Abbildung 3-1).

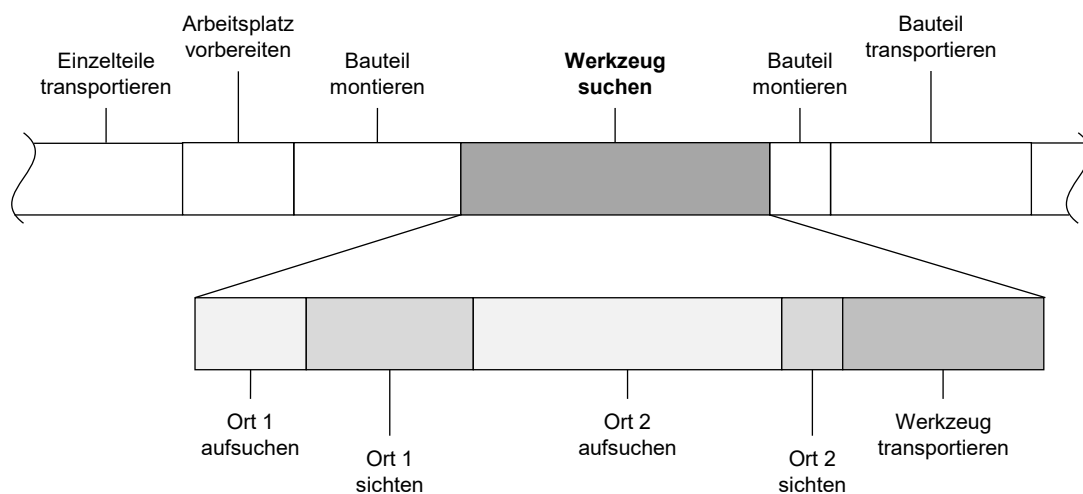


Abbildung 3-1: Beispiel zur Beschreibung von Suchzuständen

Für die Einordnung und die Aggregation von Suchzuständen kommt dem Suchobjekt eine wesentliche Bedeutung zu. Vor diesem Hintergrund ist eine erweiterbare Klassifikation entstanden, die für die wesentlichen Suchobjekte innerhalb einer Produktion einheitliche Klassen vorgibt.

3.3 Suchobjekte

Die industrielle Produktion stellt Produkte durch eine zielgerichtete Kombination von Material und Information her. Für eine möglichst effiziente Erfüllung der Arbeitsaufgabe ist es daher von besonderer Bedeutung, dass jeder Mitarbeiter zu jedem Zeitpunkt einen möglichst aufwandsarmen Zugriff auf alle benötigten Materialien und Informationen hat. Sofern ein direkter Zugriff nicht möglich ist, ist ein Suchvorgang notwendig, um diesen Bedarf zu decken. Innerhalb der Produktionsprozesse können Suchvorgänge in unterschiedlicher Form vorkommen. Das Suchobjekt ist dabei eine wesentliche Grundlage für die Beschreibung jedes Suchvorgangs. Je spezifischer ein Suchobjekt klassifiziert werden kann, desto besser lässt sich der Suchvorgang rekonstruieren und desto besser ist die Ausgangssituation für die Analyse und die Verbesserung des

Suchvorgangs. Auf der anderen Seite ist es für die Aggregation mehrerer Suchvorgänge notwendig, eine möglichst generische Klassifikation zu wählen, um gleichartige Suchobjekte sinnvoll zusammenfassen zu können. Im Hinblick auf die Analyse von Suchaufwänden kann eine allgemeingültige Objekthierarchie außerdem dazu beitragen, den Anpassungsaufwand zu reduzieren und die Verständlichkeit der Auswertung zu verbessern.

Ausgehend von den Elementen eines Arbeitssystems [SCHL18, S. 21] lassen sich Suchobjekte in einem ersten Schritt grundsätzlich in die beiden Klassen Material und Information unterteilen. Die Detaillierungsstufen der beiden Objekt-Klassen werden im Folgenden erläutert.

3.3.1 Physische Suchobjekte

Physische Suchobjekte sind in der Regel die wesentlichen materiellen Ressourcen der Produktion. Dazu zählen das Werkstück, das Arbeitssystem, die Logistik, die Informationsträger sowie der Mensch (Abbildung 3-2). Mithilfe dieser Klassen lassen sich physische Suchobjekte bereits in einem ersten Schritt gut differenzieren.

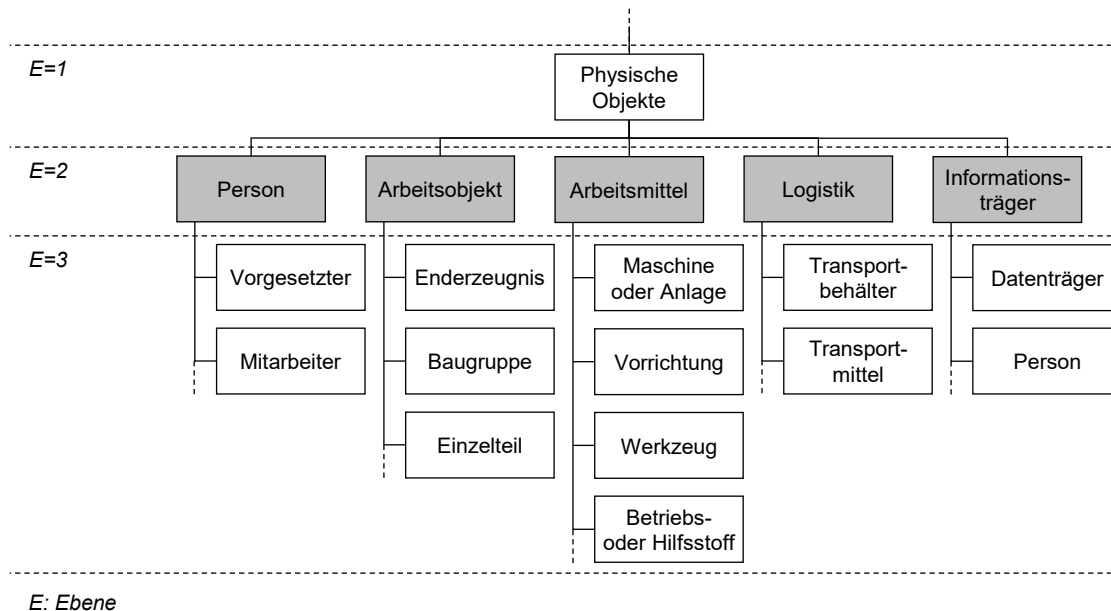


Abbildung 3-2: Suchobjekthierarchie für physische Objekte

Jeder dieser Kategorien lassen sich wiederum Unterklassen zuordnen, die eine hinreichend gute Beschreibung des Suchobjekts ermöglichen sollen:

- *Person*: Arbeitsabläufe in der industriellen Produktion sind häufig stark vernetzt, teilweise unvorhersehbar und durch eine Vielzahl von Informationen geprägt. Daher kann es vorkommen, dass es für die Ausführung einer Arbeitsaufgabe notwendig ist, andere Personen, wie beispielsweise einen Vorgesetzten oder einen Mitarbeiter, zu finden, die über benötigte Informationen verfügen.

3. Modellierung des Suchaufwands

- *Arbeitsobjekt*: Im Mittelpunkt der Arbeitsabläufe an einem Arbeitssystem stehen die Bestandteile bzw. die Fertigungsstufen des Werkstücks, aus denen im Laufe des Wertstroms das Produkt entsteht. Je nach Produktionsfortschritt kann es sich dabei beispielsweise um ein Einzelteil, eine Baugruppe oder ein Enderzeugnis handeln.
- *Arbeitsmittel*: Als Arbeitsmittel sind all jene Objekte zu betrachten, die den Menschen bei der unmittelbaren Erfüllung der Arbeitsaufgabe unterstützen. Hierzu zählen vor allem Maschinen und Anlagen, Vorrichtungen, Werkzeuge sowie Betriebs- und Hilfsstoffe.
- *Logistik*: Je nach räumlicher Größe des Arbeitssystems ist der Transport und die Lagerung von Gegenständen notwendig. Alle materiellen Transport-, Lager- und Bereitstellungshilfsmittel lassen sich in dieser Kategorie zusammenfassen. Dazu zählen unter anderem Transportmittel und -behälter.
- *Informationsträger*: Jede Information ist in der Regel mit einem Informationsträger verknüpft, auf dem sie gespeichert ist. Hierzu zählen beispielsweise digitale und analoge Datenträger, wie Festplatten, Speicherkarten, Papier, Shopfloor-Tafel oder auch Personen.

Je nach Anwendungsfall können sich die relevanten Suchobjekte stark unterscheiden, sodass die Ergänzung weiterer Objekt-Klassen sowie die Definition von Unterklassen vorstellbar ist. Es liegt nahe, dass die Klasse der Informationsträger für die Analyse und Beschreibung von Informationssuchen von besonderer Bedeutung ist. Daher ist es sinnvoll, die unterschiedlichen Arten von Informationsträgern genauer zu beschreiben (Abbildung 3-3).

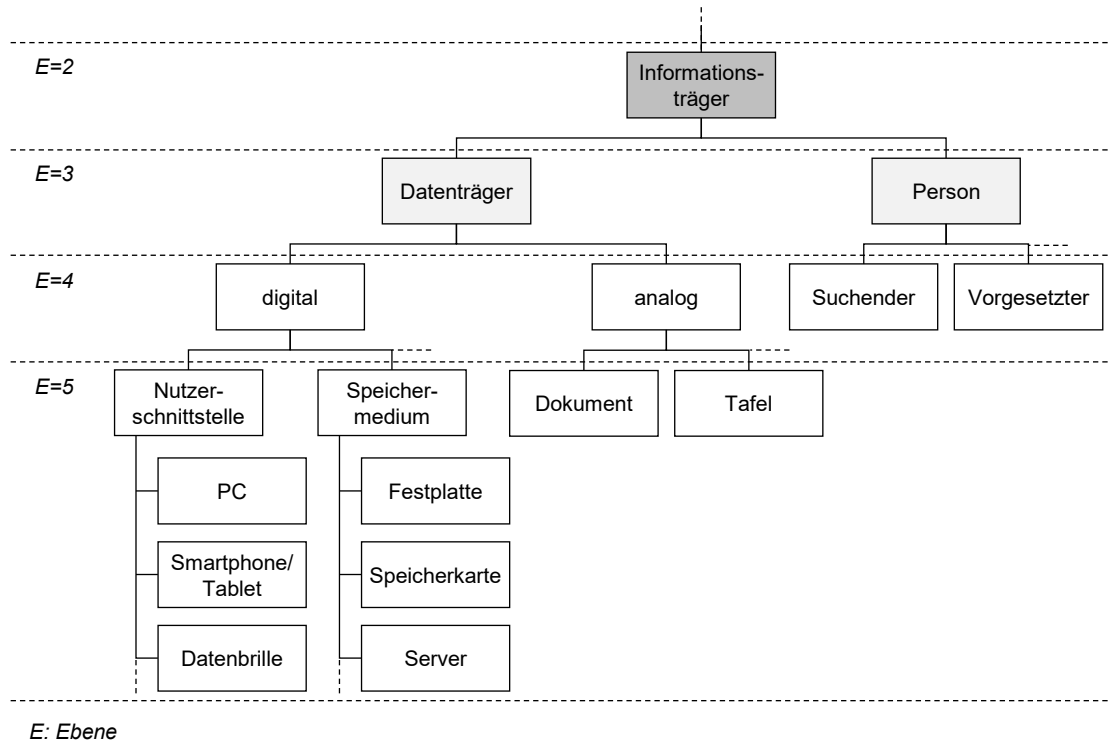


Abbildung 3-3: Klassifikation von Informationsträgern

Grundsätzlich lassen sich Informationsträger in einem ersten Schritt in Datenträger und Personen unterteilen. Personen speichern Informationen in Form von Wissen ab und ermöglichen im Gegensatz zu Datenträgern auch einen Zugang zu Informationen, die nur als implizites Wissen vorliegen. Im Idealfall ist der Suchende selbst der Informationsträger, sodass die gesuchte Information direkt abgerufen werden kann und die Suchdauer minimal ist. Ansonsten sind alle Personen, die unmittelbar oder mittelbar an der betrieblichen Leistungserstellung beteiligt sind, potenzielle Informationsträger für produktionsrelevante Informationen.

Datenträger bieten die Möglichkeit, Informationen in Form von explizitem Wissen zu speichern und zur Verfügung zu stellen. Im Gegensatz zu analogen Datenträgern, wie beispielsweise Papierdokumenten und Shopfloor-Tafeln ermöglichen es digitale Datenträger, unterschiedlichste Informationen auch in großen Mengen zu speichern und ortsunabhängig zur Verfügung zu stellen. Eine Besonderheit digitaler Datenträger ist es, dass der Zugang zu Informationen in der Regel nur durch eine Kombination aus Speichermedium und Nutzerschnittstelle möglich ist. Somit kommen sowohl die Nutzerschnittstelle wie ein PC, ein Smartphone oder eine Datenbrille als auch die Speichermedien, wie Festplatten, Speicherkarten oder Server als physisches Suchobjekt in Betracht.

3.3.2 Information als Suchobjekt

Grundsätzlich sind Informationen Daten, die durch ihren Bedeutungskontext zur Vorbereitung von Handlungen und Entscheidungen dienen [NORT16, S. 36]. Der Nutzen von Informationen hängt maßgeblich davon ab, ob sie mit anderen abrufbaren Informationen vernetzt werden können [NORT16, S. 36f.]. Informationen sind für die erfolgreiche Durchführung von Produktionsprozessen von besonderer Bedeutung, da sie eine grundlegende Ressource für jede Tätigkeit und jede Entscheidung sind [WEST06, S. 21].

Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Informationen besteht die Schwierigkeit, diese allgemeingültig zu klassifizieren. Für die Analyse von Suchvorgängen bietet es sich allerdings an, Informationen auf Grundlage ihres Kerninhalts zu gliedern, da sich dieser in der Regel einem Objekt oder einer Entscheidung zuordnen lässt. So können im Rahmen der Produktion zum einen Informationen über materielle Ressourcen fehlen, wie beispielsweise die Materialnummer eines Einzelteils oder der Lagerort eines Werkzeugs. Zum anderen besteht die Möglichkeit, dass Informationen bezüglich der Arbeitsaufgabe, wie die Stückliste oder die Arbeitsschritte eines Auftrags, benötigt werden. Für die materiellen Ressourcen bietet die in Abschnitt 3.3.1 beschriebene Klassifikation für physische Suchobjekte bereits eine gute Grundlage. Aufbauend auf dieser Grundlage ist die Klassifikation für Informationen als Suchobjekt in Abbildung 3-4 dargestellt.

3. Modellierung des Suchaufwands

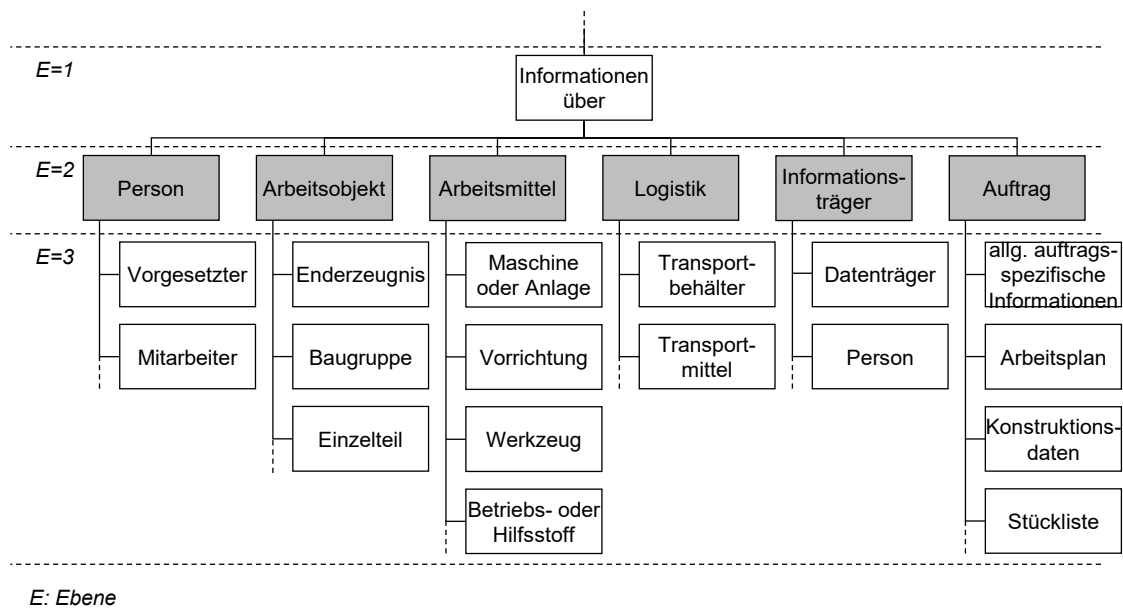


Abbildung 3-4: Suchobjekthierarchie für Informationen

Für die Klassifikation von Informationen wurden die Kategorien der physischen Objekte um die Kategorie Auftrag erweitert, um zusätzlich Informationen über den Arbeitsablauf einzuordnen:

- *Person:* Informationen, die eine Person betreffen, können beispielsweise ein Name oder eine Funktion sein. So kann es vorkommen, dass der Name eines Mitarbeiters benötigt wird, der einen bestimmten Arbeitsschritt durchgeführt hat.
- *Arbeitsobjekt:* Typische Informationen, die das Arbeitsobjekt beschreiben, können unter anderem die Bezeichnung, die Abmaße, die Farbe sowie weitere Merkmale des Objekts betreffen.
- *Arbeitsmittel:* Jedes Arbeitsmittel verfügt über spezifische Eigenschaften, die ebenfalls Gegenstand einer Informationssuche sein können. Dazu zählt beispielsweise die chemische Zusammensetzung eines Betriebsstoffs.
- *Logistik:* Informationen bezüglich logistischer Objekte können beispielsweise technische Eigenschaften oder die Abmaße von Transportbehältern und -mitteln sein, die über deren Eignung zum Transport von Objekten entscheiden.
- *Informationsträger:* Um Informationen zu speichern oder abzurufen, können ebenfalls technische und organisatorische Eigenschaften wichtig sein. So entscheidet beispielsweise die Speichergröße eines Mediums darüber, ob ein Datensatz abgelegt werden kann. Auch Zugriffsrechte können von besonderer Relevanz sein, wenn Informationen von verschiedenen Personen genutzt werden sollen.

- *Auftrag*: Für die fehlerfreie und termingerechte Durchführung der Arbeitsaufgabe innerhalb der Produktion sind auftragsbezogene Informationen von besonderer Bedeutung. Hierzu zählen neben allgemeinen auftragspezifischen Informationen weitere Informationen, die beispielsweise den Arbeitsplan, die Konstruktionsdaten oder die Stückliste betreffen können.

Eine für die Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen besonders wesentliche Information, die jeder der in Abbildung 3-4 dargestellten Kategorien zugeordnet werden kann, ist der Aufenthaltsort. Dieser beschreibt einen örtlichen Bereich, in dem sich ein physisches Objekt befindet. Um ein physisches Suchobjekt mit möglichst geringem Aufwand zu finden, ist es notwendig, den entsprechenden Aufenthaltsort zu kennen. Sofern der Aufenthaltsort des Suchobjekts zu Beginn einer Materialsuche nicht bekannt ist, ist es daher notwendig, diesen im Rahmen einer Informationssuche herauszufinden. Somit wird bereits deutlich, dass die Suche nach Material und die Suche nach Informationen ineinander übergehen und voneinander abhängen können.

3.4 Suchtätigkeiten

Betrachtet man Material- und Informationssuchen genauer, ist zu erkennen, dass bestimmte Tätigkeiten immer wieder Bestandteil einer Suche sind. Vor diesem Hintergrund wurde ein generisches Phasenmodell für Suchvorgänge entwickelt, das den grundlegenden Ablauf von Suchvorgängen anhand generischer Suchtätigkeiten sowohl für die Suche nach Material als auch für die Suche nach Informationen beschreiben soll. Das Modell ist in Abbildung 3-5 abgebildet.

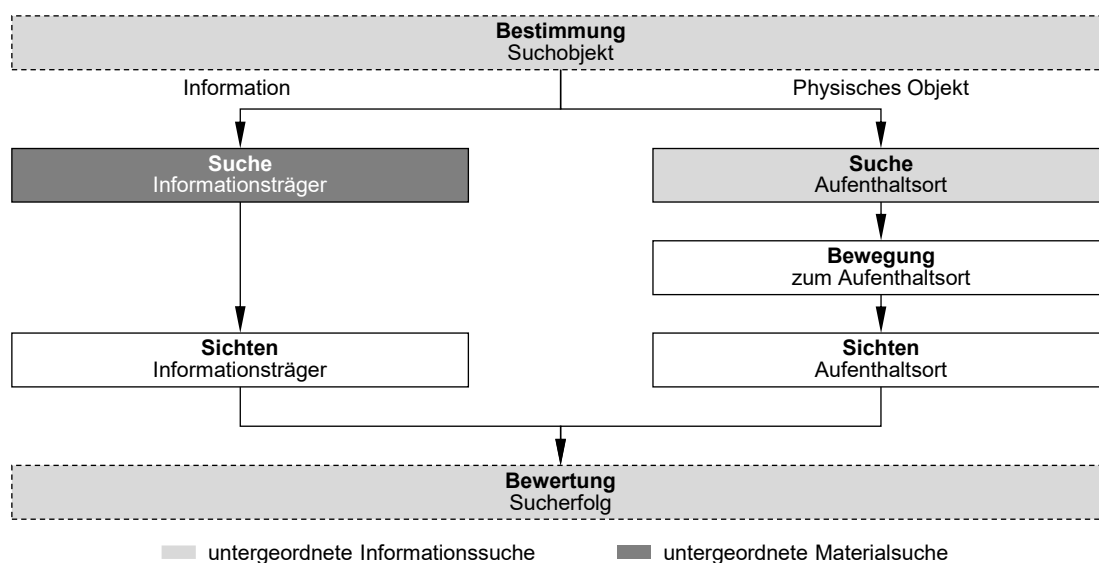


Abbildung 3-5: Generische Suchphasen in Anlehnung an [STEE19, S. 513]

Ein Suchvorgang beginnt dabei stets mit einem Bedarf, für den ein Suchobjekt (Material oder Information) zu bestimmen ist. Ein Suchvorgang endet mit der Bewertung, ob der Bedarf durch das Auffinden des Suchobjekts befriedigt werden kann. Da sich physische Suchobjekte immer an

3. Modellierung des Suchaufwands

einem abgegrenzten Aufenthaltsort befinden, während Informationen auf Informationsträgern gespeichert sind, unterscheiden sich die dazwischen liegenden Phasen der Informations- und der Materialsuche.

Sofern eine Information das Suchobjekt eines Suchvorgangs ist, ist es notwendig, den entsprechenden Informationsträger zu suchen. Das anschließende Sichten des Informationsträgers beschreibt die Tätigkeit, die notwendig ist, um die gesuchte Information innerhalb des Informationsträgers zu finden.

Im Gegensatz zur Informationssuche ist die zweite Phase der Suche nach einem physischen Objekt die Suche nach der Information über den Aufenthaltsort, an dem das Suchobjekt vermutet wird. Im Anschluss ist dieser Ort aufzusuchen, bevor dieser gesichtet wird, um das entsprechende Suchobjekt zu finden.

Die einzelnen Phasen sollen es ermöglichen, die Tätigkeiten während eines gesamten Suchvorgangs einheitlich zu beschreiben. In der Realität können einzelne Phasen so kurz sein, dass sie nicht beobachtet werden können. Jede Phase kann erfolgreich oder erfolglos abgeschlossen werden. Nachdem eine Phase erfolglos beendet wurde, kann die Suche durch einen weiteren Suchvorgang fortgesetzt oder erfolglos beendet werden.

Das Modell skizziert, dass ein Suchprozess weitere Suchvorgänge enthalten kann. Die Suche nach Material beinhaltet beispielsweise immer die Suche nach Informationen über den Aufenthaltsort (Informationssuche). Umgekehrt beinhaltet die Suche nach Informationen immer auch die Suche nach einem Informationsträger (Materialsuche). Die Phasen *Bestimmung des Suchobjekts* und *Bewertung des Sucherfolgs* können ebenfalls durch untergeordnete Informationssuchen beschrieben werden. Durch diese Logik ist das Modell in der Lage, auch komplexe Suchvorgänge detailliert zu beschreiben.

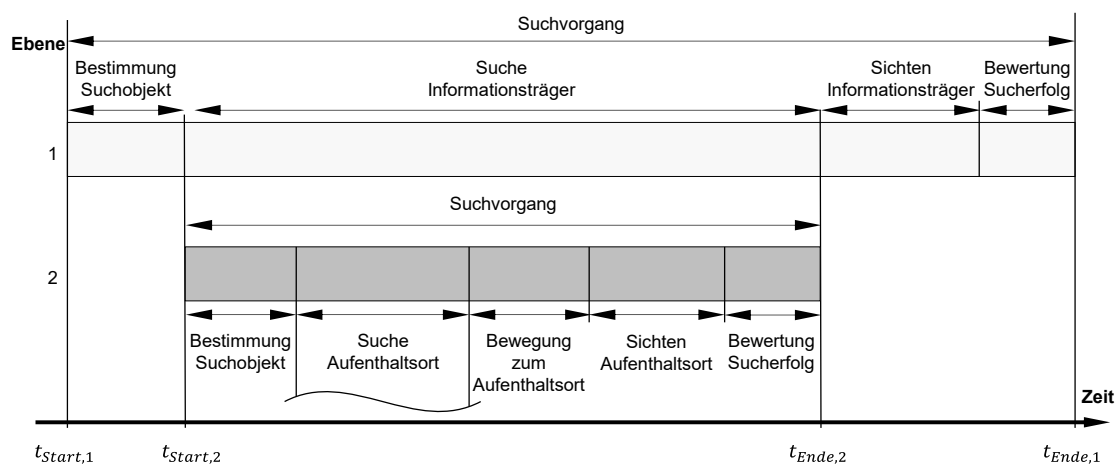


Abbildung 3-6: Konzept der untergeordneten Suchvorgänge [vgl. Stee19, S. 515]

Abbildung 3-6 zeigt schematisch den Suchvorgang einer Informationssuche (Ebene 1). Die Phase *Suche Informationsträger* kann dabei als eigenständiger Suchvorgang einer Materialsuche dargestellt werden (Ebene 2). Das Beispiel veranschaulicht das Konzept der untergeordneten Suchvorgänge und zeigt, dass sich der Gesamtaufwand für eine Suche häufig aus mehreren Suchvorgängen der Informations- und Materialsuche zusammensetzt.

3.5 Suchaufwand

Die Gesamtdauer, die benötigt wird, um ein Suchobjekt zu finden, ist ein wichtiges Merkmal von Suchprozessen [STEE19, S. 515]. Für die vorliegende Arbeit wird daher der Begriff des Suchaufwands eingeführt, der die gesamte Zeitdauer beschreibt, die für die Suche nach einem Objekt benötigt wird. Das einmalige Durchlaufen der generischen Suchphasen entspricht einem Suchvorgang. Das Auffinden eines Suchobjekts nach nur einem Suchvorgang stellt einen Idealfall dar, der in der Realität nicht immer zutrifft. Vielmehr kommt es insbesondere bei längeren Suchen vor, dass einzelne Phasen erfolglos beendet werden. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, einen neuen Suchvorgang zu starten oder die gesamte Suche erfolglos zu beenden. In der Folge lässt sich der Suchaufwand als die Summe aller Suchvorgänge beschreiben, die für das Auffinden eines bestimmten Suchobjekts erforderlich sind:

$$SA = \sum_{i=1}^n SD_i \quad 3-1$$

mit:

SA : Suchaufwand [Min.]

SD_i : Dauer Suchvorgang i [Min.]

n : Anzahl Suchvorgänge innerhalb einer Suche [-]

Sofern mehrfach nach einem ähnlichen Suchobjekt gesucht wird, besteht die Möglichkeit, einen kumulierten sowie einen mittleren Suchaufwand zu bestimmen:

$$SA_m = \frac{SA_{ges}}{m} = \frac{\sum_{j=1}^m SA_j}{m} \quad 3-2$$

mit:

SA_{ges} : gesamter Suchaufwand [Min.]

SA_j : Suchaufwand für Suchobjekt j [Min.]

SA_m : mittlerer Suchaufwand [Min.]

m : Anzahl Suchobjekte [-]

Die Suchhäufigkeit beschreibt die Anzahl aller Suchvorgänge, unabhängig davon, ob sie erfolgreich waren oder nicht. Sie ergibt sich aus der Summe aller Suchvorgänge für ähnliche Suchobjekte:

3. Modellierung des Suchaufwands

$$SH = \sum_{j=1}^m n_j \quad 3-3$$

mit:

SH : Suchhäufigkeit [-]

m : Anzahl Suchobjekte [-]

n_j : Anzahl Suchvorgänge für Suchobjekt j [-]

Die Erfolgsquote gibt das Verhältnis der Anzahl an Suchobjekten zu der Gesamtanzahl an Suchvorgängen an (Formel 3-4). Umgekehrt lässt sich die Suchhäufigkeit als Quotient der Anzahl an Suchobjekten und der Erfolgsquote berechnen.

$$ER = \frac{m}{SH} \quad 3-4$$

mit

ER : Erfolgsrate $\{0 < ER \leq 1\}$

m : Anzahl Suchobjekte [-]

SH : Suchhäufigkeit [-]

Auf Grundlage der mittleren Suchdauer und der Erfolgsrate ist es möglich, den mittleren Suchaufwand zu bestimmen. Dieser ergibt sich aus dem Quotienten der mittleren Suchdauer und der Erfolgsquote und kann daher auch als Produkt aus der mittleren Suchdauer und dem Quotienten der Suchhäufigkeit und der Anzahl der Suchobjekte dargestellt werden:

$$SA_m = \frac{SD_m}{ER} = SD_m \times \frac{SH}{m} \quad 3-5$$

mit:

SD_m : mittlere Suchdauer [Min.]

SA_m : mittlerer Suchaufwand [Min.]

ER : Erfolgsrate $\{0 < ER \leq 1\}$

SH : Suchhäufigkeit [-]

m : Anzahl Suchobjekte [-]

Da sich der gesamte Suchaufwand aus dem Produkt des mittleren Suchaufwands und der Anzahl an Suchobjekten ergibt, folgt, dass die Suchhäufigkeit und die mittlere Suchdauer die wesentlichen Einflussgrößen für die Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen sind. Je geringer die Suchhäufigkeit und die mittlere Suchdauer, desto geringer ist ebenfalls der resultierende Suchaufwand:

$$SA_{ges} = SD_m \times SH$$

3-6

mit:

SA : Suchaufwand [Min.]

SD_m : mittlere Suchdauer [Min.]

SH : Suchhäufigkeit (Anzahl aller Suchvorgänge) [-]

Auf Grundlage der beschriebenen Zusammenhänge ist es möglich, den Suchaufwand als wesentliche Zielgröße für die Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen zu modellieren. Zu diesem Zweck bietet es sich an, einen analytischen Modellierungsansatz zu verwenden, der die Analyse der Einflussgrößen auf den Suchaufwand ermöglicht. Ein bewährter Ansatz dazu ist es, die Einflüsse auf eine Zielgröße mithilfe von Stell- und Regelgrößen zu beschreiben [vgl. LÖDD16, S. 7ff.], [vgl. GLÖC20, S. 51ff.]. Dabei wirken Aufgaben auf die einzelnen Stellgrößen, die wiederum durch mathematische Operatoren verknüpft werden und die Regelgrößen beeinflussen. Aus den Regelgrößen resultiert die Zielgröße. Abbildung 3-7 veranschaulicht den Modellierungsansatz schematisch.

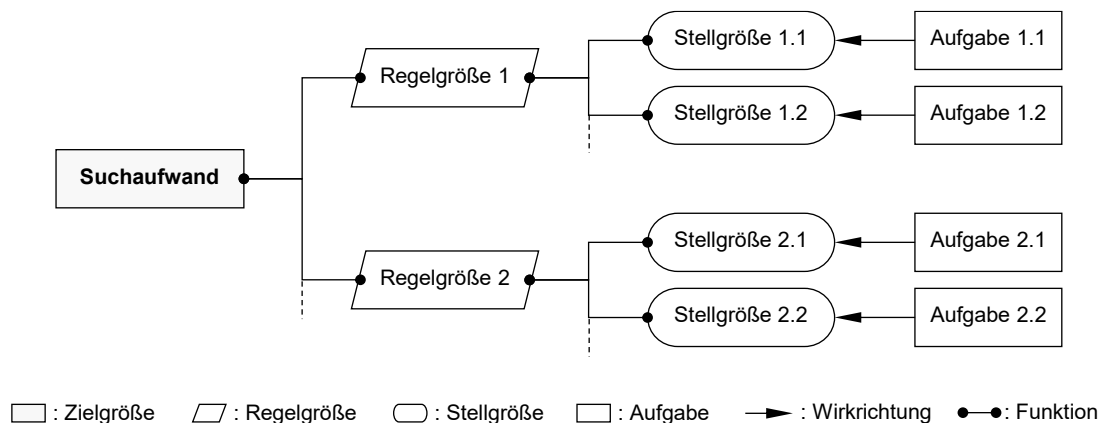


Abbildung 3-7: Schematische Darstellung des Modellierungsansatzes

Der Ansatz ermöglicht es, die Einflussgrößen auf den Suchaufwand darzustellen und Gestaltungsfelder in Form von Aufgaben zu beschreiben, die auf den Suchaufwand einwirken. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung von Material- und Informationssuchen (vgl. Abschnitt 3.4) erscheint es sinnvoll, jeweils ein eigenes Modell zu beschreiben. Die beiden Modelle werden im Folgenden vorgestellt.

3.5.1 Suchaufwand bei der Materialsuche

Die Modellierung des Suchaufwands für die Materialsuche ist in Abbildung 3-8 dargestellt. Der Suchaufwand beschreibt die Gesamtdauer für die Suche nach Objekten einer Suchobjekt-Klasse und setzt sich aus den Regelgrößen mittlere Suchdauer und Suchhäufigkeit zusammen. Mithilfe des generischen Phasenmodells lassen sich die einzelnen Zeitanteile der Suchdauer bereits genauer spezifizieren. So stellen die einzelnen Suchphasen die relevanten Stellgrößen dar, die die

3. Modellierung des Suchaufwands

Suchdauer direkt beeinflussen. In der Folge lässt sich die mittlere Suchdauer als die Summe der mittleren Dauern der einzelnen Suchphasen beschreiben:

$$SD_m = \sum_{i=1}^n SP_{i,m} \quad 3-7$$

mit:

SD_m : mittlere Suchdauer [Min.]

$SP_{i,m}$: mittlere Dauer der Suchphase i [Min.]

n : Anzahl Suchphasen [-]

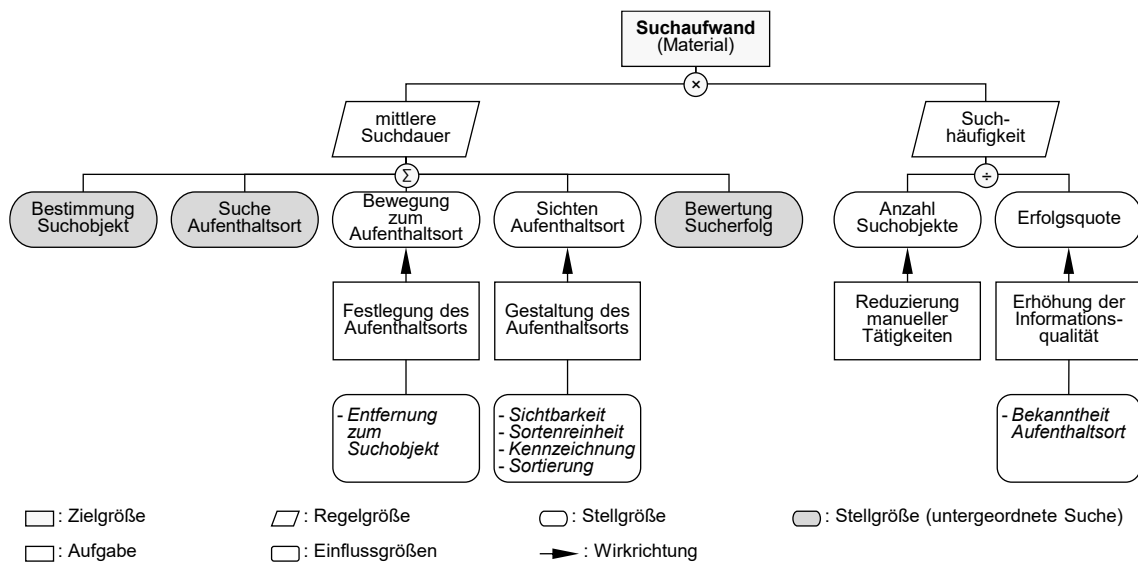


Abbildung 3-8: Modellierung der Suchdauer für die Suche nach Material

Den Stellgrößen, die keine untergeordneten Suchen darstellen, sind Aufgaben zugeordnet. Dennoch können auch diese Stellgrößen relevante Zustandsanteile darstellen. In dem Fall lassen sie sich als eigene Informations- bzw. Materialsuche beschreiben (vgl. Abschnitt 3.4). Die Stellgrößen *Bewegung zum Aufenthaltsort* und *Sichten Aufenthaltsort* lassen sich durch die Aufgaben *Festlegung des Aufenthaltsorts* bzw. *Gestaltung des Aufenthaltsorts* beeinflussen. Der Aufwand für die Bewegung zum Aufenthaltsort hängt maßgeblich von der Entfernung des Suchenden zum Suchobjekt sowie von der Geschwindigkeit der suchenden Person ab. Da der Einfluss der Geschwindigkeit mit sinkender Entfernung ebenfalls abnimmt, wird im Folgenden nur der Einflussfaktor Entfernung zum Suchobjekt (am Arbeitsplatz/nicht am Arbeitsplatz) betrachtet. Die Dauer für das Sichten von physischen Suchobjekten am Aufenthaltsort wird insbesondere von der Sichtbarkeit (direkt sichtbar/nicht direkt sichtbar), der Anzahl anderer Objekte am Aufenthaltsort (sortenrein/gemischt) sowie der Kennzeichnung (gekennzeichnet/nicht gekennzeichnet) und der Sortierung (sortiert/unsortiert) der Objekte beeinflusst.

Die zweite Regelgröße ist die Suchhäufigkeit als Quotient aus der Anzahl an Suchobjekten (Suchaufträgen) und der Erfolgsquote. Die Anzahl an Suchobjekten kann insbesondere durch eine Reduzierung manueller Tätigkeiten erreicht werden. Ein Beispiel wäre die Verwendung von vormontierten Modulen. Die Erfolgsquote wird durch die Erhöhung der Informationsqualität bezüglich des Aufenthaltsorts beeinflusst und hängt maßgeblich von der Bekanntheit des Aufenthaltsorts ab.

3.5.2 Suchaufwand bei der Informationssuche

Die Modellierung des Suchaufwands für die Informationssuche ist in Abbildung 3-9 dargestellt. Der Suchaufwand setzt sich ebenfalls aus dem Produkt von mittlerer Suchdauer und Suchhäufigkeit zusammen. Die mittlere Suchdauer ergibt sich aus der Summe der Stellgrößen, die wiederum durch das generische Phasenmodell vorgegeben sind. Analog zu dem Modell der Informationssuche lässt sich die mittlere Suchdauer sowie deren Zusammensetzung durch Formel 3-7 beschreiben.

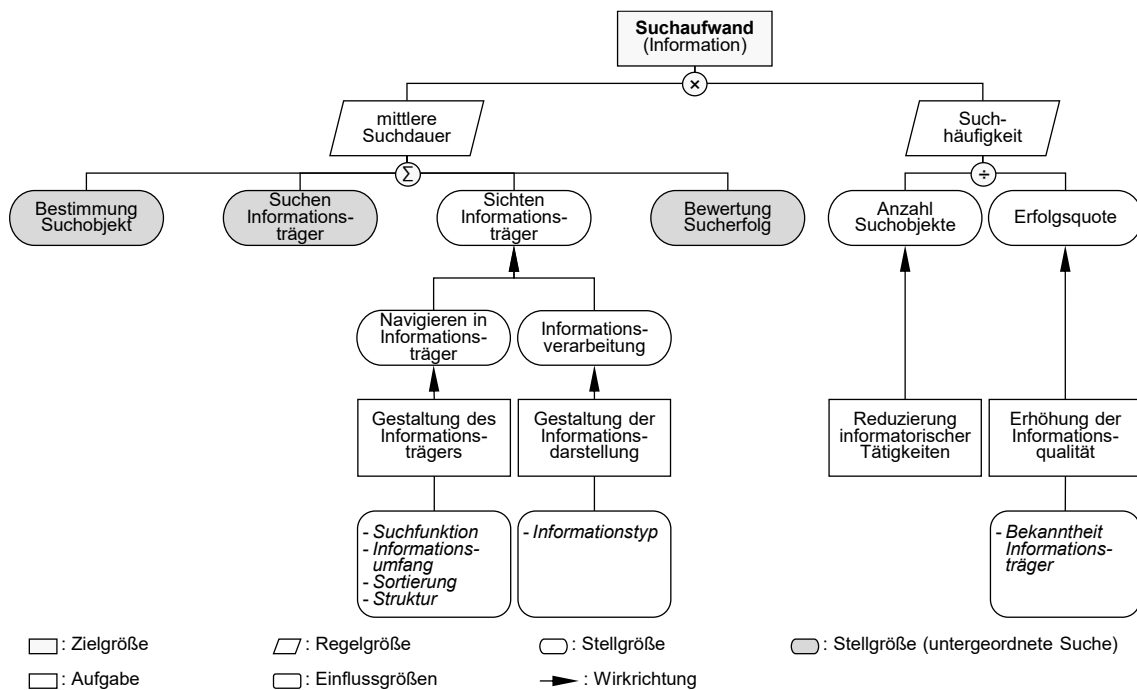


Abbildung 3-9: Modellierung der Suchdauer für die Suche nach Information

Den Stellgrößen, die nach dem generischen Phasenmodell eine untergeordnete Suche darstellen, sind keine Aufgaben und Einflussfaktoren zugeordnet. Direkt beeinflussen lässt sich somit nur die Phase *Sichten Informationsträger*.

Das Sichten des Informationsträgers kann in unterschiedlichsten Formen erfolgen und setzt sich aus zwei weiteren Stellgrößen zusammen. Die Stellgröße *Navigieren in Informationsträger* beschreibt die Zeit, die aufgewendet wird, um innerhalb eines Informationsträgers den Bereich zu finden, dem die gesuchte Information zu entnehmen ist. Die Stellgröße *Informationsverarbeitung*

hingegen beschreibt die Zeit, die für die Verarbeitung der gesuchten Information benötigt wird. Über die *Gestaltung des Informationsträgers* beziehungsweise die *Gestaltung der Informationsdarstellung* können die beiden Stellgrößen direkt beeinflusst werden. Wesentliche Einflussgrößen auf die Gestaltung des Informationsträgers sind die Verfügbarkeit einer Suchfunktion (mit Suchfunktion/ohne Suchfunktion), der Informationsumfang (klein/groß), die Sortierung (sortiert/unsortiert) sowie die Strukturierung (strukturiert/unstrukturiert). Für die Gestaltung der Informationsdarstellung ist insbesondere der Informationstyp (explizit/implizit) eine wichtige Einflussgröße. So kann es bei einer impliziten Informationsdarstellung vorkommen, dass unterschiedliche Personen eine Information unterschiedlich interpretieren oder sogar übersehen können.

Die Suchhäufigkeit setzt sich aus der Anzahl an Suchobjekten und der Erfolgsquote zusammen. Die Anzahl an Suchobjekten (Suchaufträgen) kann durch die *Reduzierung informatorischer Tätigkeiten* verringert werden. Ein Beispiel hierfür wäre die automatisierte Verarbeitung auftragspezifischer Daten mit Hilfe eines RFID-Tags. Die Erfolgsquote kann über die *Erhöhung der Informationsqualität* bezüglich des richtigen Informationsträgers beeinflusst werden. Der wesentliche Einflussfaktor, der auf diese Aufgabe einwirkt, ist daher die Bekanntheit des richtigen Informationsträgers für den Suchenden.

3.6 Evaluation wichtiger Einflussgrößen

Innerhalb der Modellierung des Suchaufwands wurden bereits wichtige Einflussfaktoren identifiziert, die auf den Suchaufwand wirken. Je nach Anwendungsfall sind weitere Einflussgrößen denkbar. So könnte ein weiterer möglicher Einflussfaktor auf die Erfolgsquote die Verfügbarkeit des Suchobjekts sein, da insbesondere Suchen nach Dingen, die nicht verfügbar sind, erfahrungsgemäß sehr lange andauern können. Um den Aufwand für die Evaluation auf ein beherrschbares Maß zu begrenzen, werden im Folgenden nur die in Abbildung 3-8 und Abbildung 3-9 dargestellten Einflussgrößen betrachtet. Diese sind als Auswahl zu verstehen, die bei Bedarf ergänzt werden kann.

Um die Wirkung der genannten Einflussgrößen auf den Suchaufwand besser beschreiben zu können, wurden diese in systematischen Laborversuchen untersucht. Der Versuchsaufbau sowie die Versuchsdurchführung orientieren sich dabei an den Richtlinien des Design of Experiments [KLEP16, S. 17ff.]. Auch wenn die Ergebnisse der Versuche aufgrund der geringen Anzahl an Probanden nicht als repräsentativ angesehen werden können, bestätigen sie die meist intuitive Vermutung über die Wirkung der einzelnen Einflussgrößen auf den Suchaufwand.

3.6.1 Materialsuche

Die Modellierung des Suchaufwands für Materialsuchen beschreibt sechs wesentliche Einflussgrößen auf die Aufgaben zur Festlegung beziehungsweise zur Gestaltung des Aufenthaltsorts:

- Entfernung zum Suchobjekt
- Sichtbarkeit
- Sortenreinheit

- Kennzeichnung
- Sortierung
- Bekanntheit des Aufenthaltsorts

Um die Wirkung der einzelnen Einflussgrößen auf den Suchaufwand nachzuweisen, wurden im Rahmen einer studentischen Arbeit Experimente unter Laborbedingungen durchgeführt¹. Insgesamt haben 15 Versuchspersonen an den Experimenten teilgenommen. Jede Versuchsperson absolvierte 10 Versuchsdurchgänge, wobei die Einflussgrößen für jeden Versuchsdurchgang systematisch verändert wurden. Die Reihenfolge der Tests zwischen den Probanden wurde randomisiert, um eine Verfälschung der Ergebnisse durch Lerneffekte zu verhindern.

Hallenlayout IPMT-Versuchsfeld:

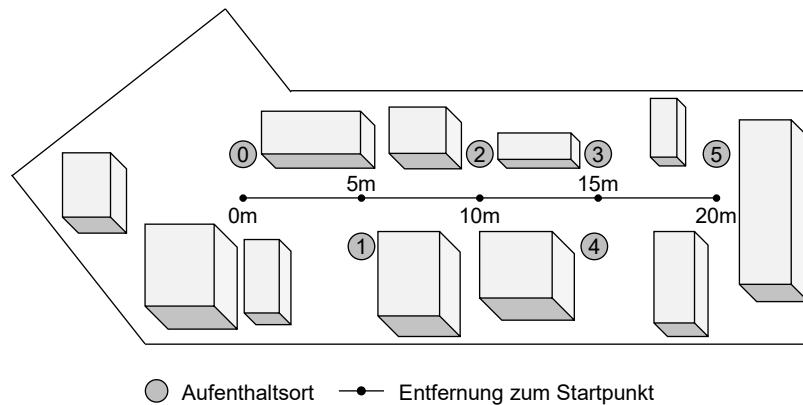


Abbildung 3-10: Versuchsaufbau zur Bewertung der Einflussgrößen (Materialsuche)

In jedem Versuchsdurchlauf galt es, ein definiertes Objekt (Kugellager und Schrauben) zu finden. Für das Experiment wurden insgesamt sechs Arbeitsplätze in einem Abstand von jeweils 5 Metern in einer Versuchshalle aufgebaut. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 3-10 dargestellt.

Die Versuchspersonen wurden zunächst mit dem Versuchsaufbau, den Standorten der Arbeitsstationen sowie dem Suchobjekt vertraut gemacht. Bei einer Hälfte der Versuchsdurchläufe wurde zu Beginn der Suche eine Karte mit Informationen über den Standort des Suchobjekts ausgehändigt, bei der anderen Hälfte nicht. Die Zeit, die die Versuchsperson für den Weg zum jeweiligen Arbeitsplatz und zurück zum Ausgangspunkt benötigte, wurde mit einer Stoppuhr durch einen externen Beobachter erfasst und dokumentiert.

¹ Eldakak, G.: Modelling of the effort of searching for physical objects in industrial productions. (Projektarbeit), Prüfer: H. Lödding, Betreuer: P. Steenwerth, Institut für Produktionsmanagement und -technik, Hamburg, 2021.

3. Modellierung des Suchaufwands

Entsprechend der Gestaltungsmatrix wurden die Einflussfaktoren an den Arbeitsplätzen in jedem Versuchsdurchlauf variiert. Für den Einflussfaktor "Sichtbarkeit" wurden die Objekte entweder in geschlossenen oder in offenen Boxen platziert. Zusätzlich wurde das Suchobjekt entweder zusammen mit anderen Teilen oder sortenrein bereitgestellt. Sofern unterschiedliche Teile am Arbeitsplatz vorhanden waren, erfolgte eine sortierte oder unsortierte Bereitstellung. Darüber hinaus waren alle Teile am Arbeitsplatz entweder beschriftet oder unbeschriftet. Die Zeit, die die Versuchspersonen am richtigen Arbeitsplatz benötigten, um das Suchobjekt zu finden, wurde ebenfalls mit einer Stoppuhr aufgezeichnet. Die Ergebnisse der Versuchsdurchführung sind in Abbildung 3-11 dargestellt.

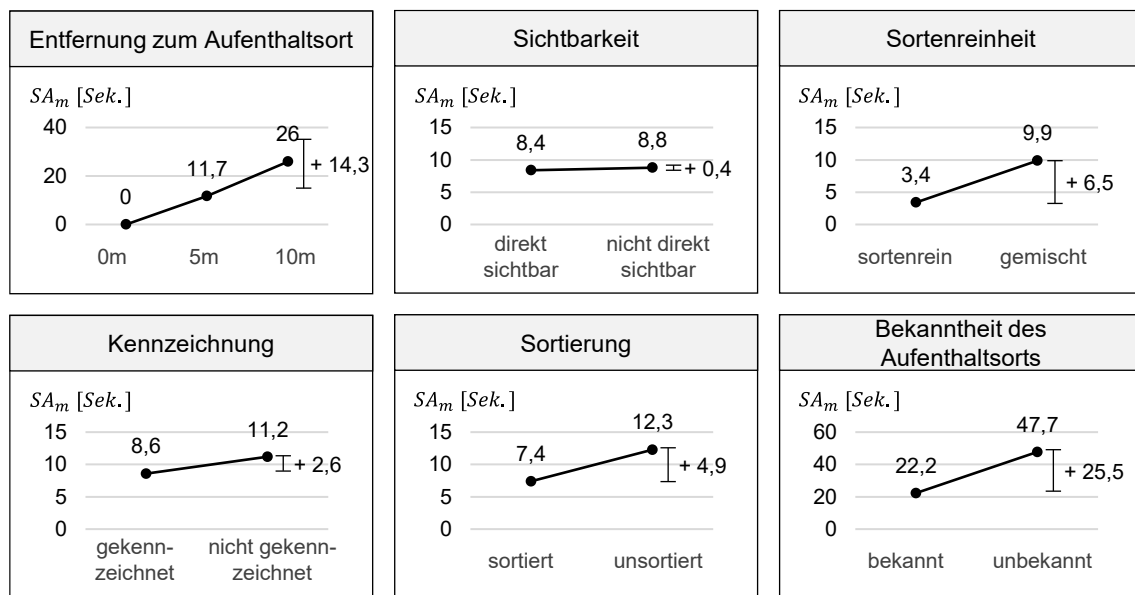


Abbildung 3-11: Einflüsse auf den mittleren Suchaufwand (Materialsuche)

Es ist zu erkennen, dass innerhalb des Experiments jede Einflussgröße eine Wirkung auf die mittleren Suchaufwand (SA_m) hat. Neben der Entfernung zum Aufenthaltsort führten insbesondere eine sortenreine Bereitstellung sowie die Bekanntheit des Aufenthaltsortes zu einer erheblichen Reduzierung des mittleren Suchaufwands. Die statistische Signifikanz der einzelnen Effekte auf den mittleren Suchaufwand wurde mithilfe des *Wilcoxon signed rank test* [WILC93] überprüft. Die Auswertung der erfassten Daten lässt sich dem Anhang Teil A entnehmen. Anhand der Ergebnisse lässt sich festhalten, dass alle Einflussgrößen außer der Sichtbarkeit eine statistisch signifikante Wirkung (Konfidenzintervall von 99 %) auf den Suchaufwand haben. Durch die Einflussgröße Sichtbarkeit des Suchobjekts konnte der mittlere Suchaufwand innerhalb des Experiments unerwarteter Weise kaum reduziert werden. Dies lässt sich im Nachhinein auf den Versuchsaufbau zurückführen, bei dem sehr ähnliche Suchobjekte verwendet wurden, die nur bei genauerer Betrachtung auseinander zu halten waren. Somit hat die direkte Sichtbarkeit nicht dazu geführt, dass das Objekt unmittelbar gefunden werden konnte. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass eine direkte Sichtbarkeit sich in der Regel positiv auf den Suchaufwand auswirken wird.

Zusätzlich zu den direkten Auswirkungen auf den Suchaufwand wurden die gegenseitigen Wechselwirkungen der Einflussgrößen untersucht. Hierbei hat sich herausgestellt, dass sich insbesondere die Einflussgrößen Sortierung und Kennzeichnung gegenseitig unterstützen (positive Wechselwirkung). Abbildung 3-12 veranschaulicht diesen Effekt.

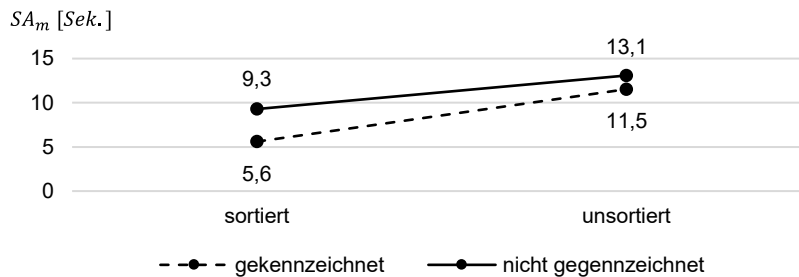


Abbildung 3-12: Wechselwirkung der Einflussgrößen Sortierung und Kennzeichnung

So konnte der mittlere Suchaufwand nur durch die Kennzeichnung der Suchobjekte um etwa 1,6 Sekunden (12 %) verringert werden. Eine zusätzliche Sortierung der Objekte führte dazu, dass der mittlere Suchaufwand sogar um 40 % von 9,3 auf 5,6 Sekunden (40 %) gesenkt werden konnte. Die Auswertung der übrigen Wechselwirkungen der untersuchten Einflussfaktoren der Materialsuche können dem Anhang Teil C entnommen werden.

3.6.2 Informationssuche

Die Evaluation der in der Modellierung des Suchaufwands für Informationssuchen genannten Einflussgrößen erfolgte ebenfalls in einem Experiment unter Laborbedingungen. Dazu wurde an einem Büroarbeitsplatz untersucht, welche Wirkung folgende Einflussgrößen auf den Suchaufwand haben:

- Suchfunktion
- Informationsumfang
- Sortierung
- Struktur
- Informationstyp

Die Einflussgröße *Bekanntheit des Informationsträgers* wurde an dieser Stelle nicht untersucht, um den Aufwand der Evaluation zu begrenzen. Es ist außerdem anzunehmen, dass die Wirkung ähnlich der Einflussgröße *Bekanntheit des Aufenthaltsortes* bei der Materialsuche ist.

Insgesamt wurde das Experiment mit 15 Versuchspersonen durchgeführt. Jeder Proband absolvierte 16 Versuchsdurchläufe, wobei die Einflussfaktoren für jeden Versuchsdurchlauf systematisch nach dem Design of Experiment-Ansatz angepasst wurden. Die Reihenfolge der Tests wurde zwischen den Probanden randomisiert. Ziel war es, in jedem Testlauf die tatsächliche und geplante Durchlaufzeit eines bestimmten Auftrags zu finden.

3. Modellierung des Suchaufwands

Für die Untersuchung der Einflussgrößen auf die Gestaltung des Informationsträgers wurden entsprechend der Gestaltungsmatrix verschiedene Ordnerstrukturen mit sprechend oder kryptisch benannten Ordnern (Struktur) angelegt. Weiterhin befanden sich innerhalb der Ordner neben der gesuchten Datei eine unterschiedliche Anzahl weiterer Dateien (Informationsumfang). Die Dateien wurden sortiert oder unsortiert bereitgestellt. Die Verwendung einer Suchfunktion war in diesem Durchgang nicht erlaubt, um die Anzahl der Faktorkombinationen auf ein beherrschbares Maß zu begrenzen. Die einzelnen Suchdauern wurden mit Hilfe einer Stoppuhr erfasst und dokumentiert.

Innerhalb der gesuchten Datei mussten die Versuchsteilnehmer nach einer bestimmten Information (tatsächliche und geplante Durchlaufzeit eines bestimmten Auftrags) suchen. Diese wurde entweder in Form von Fließtext oder in tabellarischer Form dargestellt (Struktur). Darüber hinaus betrug die Gesamtzahl der angezeigten Datensätze entweder 10 oder 50 (Informationsumfang). Bei der Hälfte aller Testläufe durften die Probanden eine Suchfunktion nutzen. Außerdem erfolgte die Bereitstellung der Informationen sortiert nach Auftragsnummer oder unsortiert. Da es sich bei der gesuchten Information um einen Zahlenwert handelt, wurde die Information zudem entweder explizit angezeigt oder musste aus anderen Informationen berechnet werden (Informationsdarstellung). Die Zeit, die die Probanden benötigten, um die richtigen Informationen in den richtigen Dokumenten zu finden, wurde erfasst und dokumentiert. Abbildung 3-13 zeigt die Auswertung der Ergebnisse der durchgeführten Versuche.

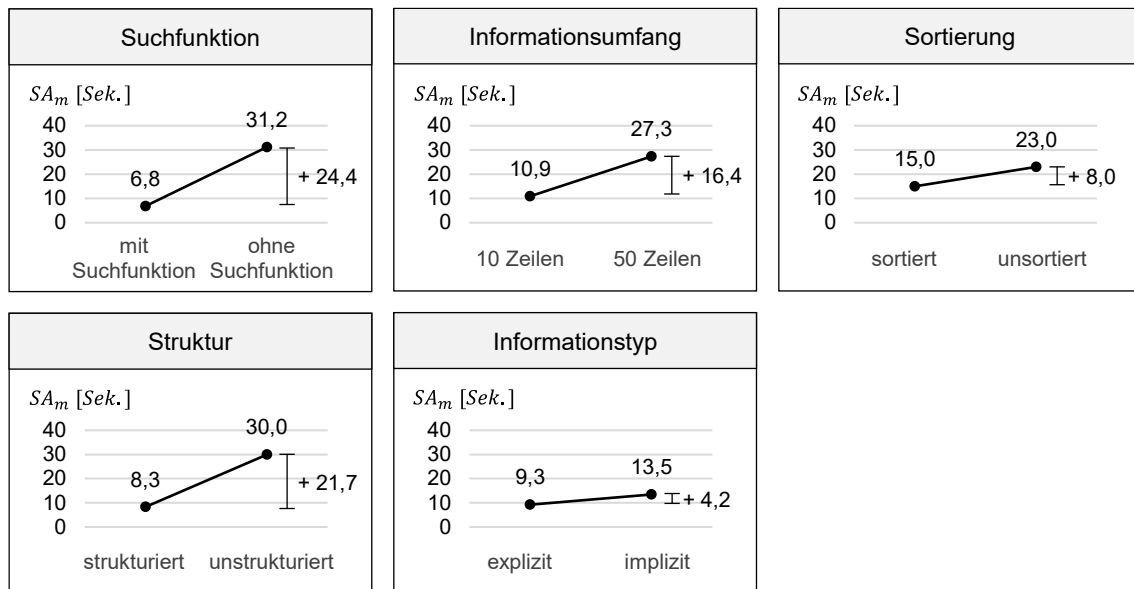


Abbildung 3-13: Einflüsse auf den mittleren Suchaufwand (Informationssuche)

Im Rahmen der Experimente hat sich gezeigt, dass alle untersuchten Einflussgrößen einen Einfluss auf den mittleren Suchaufwand (SA_m) bei der Informationssuche haben. Der Suchaufwand konnte insbesondere durch das Nutzen einer Suchfunktion, die Strukturierung von Informationen sowie die Reduzierung von Datensätzen verringert werden. Die statistische Signifikanz der einzelnen Effekte auf den mittleren Suchaufwand wurde mithilfe des *Wilcoxon signed rank test*

[WILC93] überprüft. Die Ergebnisse zeigen, dass alle Einflussgrößen eine statistisch signifikante Wirkung (Konfidenzintervall von 99 %) auf den Suchaufwand haben.

Analog zum Vorgehen in Abschnitt 3.6.1 wurden ebenfalls die gegenseitigen Wechselwirkungen der Einflussgrößen untersucht. Dabei hat sich herausgestellt, dass sich die Effekte der Einflussfaktoren häufig gegenseitig hemmen (negative Wechselwirkung). So führt beispielsweise die Verwendung einer Suchfunktion dazu, dass eine zusätzliche Sortierung der Informationen kaum eine Auswirkung auf den Suchaufwand hat. Ein weiteres Beispiel für eine negative Wechselwirkung sind die Einflussgrößen Sortierung und Strukturierung (Abbildung 3-14).

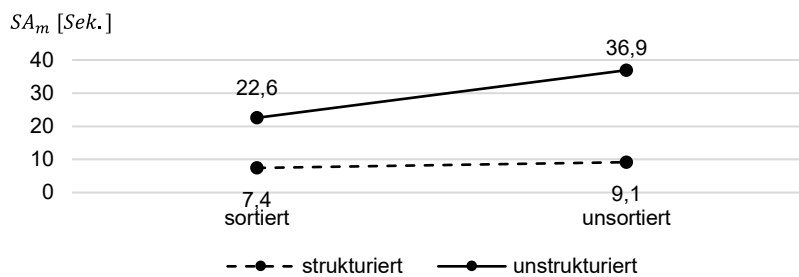


Abbildung 3-14: Wechselwirkung der Einflussgrößen Sortierung und Strukturierung

So reduziert eine Strukturierung der Informationen den mittleren Suchaufwand im unsortierten Zustand um 75% (27,8 Sekunden), im sortierten Zustand nur um 67% (15,2 Sekunden). Dennoch ist der Suchaufwand minimal (7,4 Sekunden), wenn beide Einflussfaktoren positiv ausgeprägt sind (strukturiert und sortiert). Da im abgebildeten Beispiel die Strukturierung der Informationen allerdings bereits einen Großteil des Suchaufwands vermeidet, wäre abzuwägen, ob sich der Aufwand für eine zusätzliche Sortierung lohnt. Die Auswertung der übrigen Wechselwirkungen der untersuchten Einflussfaktoren der Informationssuche können dem Anhang Teil D entnommen werden.

4 Datenerhebung von Suchzuständen

Um den Suchaufwand in einem Unternehmen bewerten zu können, ist es in einem ersten Schritt notwendig, suchrelevante Daten zu erheben. Eine einheitliche Datenstruktur (Abschnitt 4.1) stellt dabei die Grundlage für eine systematische Analyse von Suchaufwänden dar. Kern des erarbeiteten Konzepts für die Datenerhebung (Abschnitt 4.2) ist die Erfassung von Zuständen mithilfe gestufter Zeitaufnahmen. Abschnitt 4.3 beschreibt detailliert die Vorgehensweise zur Erfassung von Suchaufwänden innerhalb eines definierten Analysebereichs. Abschließend stellt Abschnitt 4.4 ein IT-Werkzeug vor, das den Anwender bei der Datenerhebung unterstützt und die Aufnahme zusätzlicher Informationen ermöglicht.

4.1 Datenstruktur

Eine geeignete Datenstruktur ermöglicht es, im Rahmen einer Analyse relevante Zustandsinformationen effektiv zu sammeln, zu speichern und zu analysieren. Eine gute Datenstruktur ist somit ein wesentliches Instrument für die Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen, das es ermöglichen soll, fundierte Entscheidungen für wirksame Verbesserungsmaßnahmen zu treffen.

Für die Analyse und Reduzierung von Suchaufwänden in der Produktion ist es von besonderer Bedeutung, möglichst detaillierte Informationen über die einzelnen Suchvorgänge zu erfassen und zu speichern, um eine zielgerichtete Interpretation der Daten zu ermöglichen. Eine geeignete Datenstruktur für die Analyse und Reduzierung von Suchaufwänden soll daher:

- die Erfassung von grundlegenden Daten über den Analysebereich erlauben (Abschnitt 4.1.1),
- Transparenz über den Anteil von Suchaufwänden an der gesamten Arbeitszeit schaffen (Abschnitt 4.1.2),
- eine horizontale Datenaggregation zulassen, um den Suchaufwand für bestimmte Tätigkeiten bestimmen zu können (Abschnitt 4.1.3),
- eine vertikale Datenaggregation ermöglichen, um den gesamten Suchaufwand in bestimmten Produktionsbereichen zu bewerten (Abschnitt 4.1.4),
- die Zusammensetzung des Suchaufwands beschreiben können (Abschnitt 4.1.5),
- die Zuordnung verursachungsrelevanter Einflussgrößen ermöglichen (Abschnitt 4.1.6).

4.1.1 Strukturierung des Betrachtungsbereichs

Häufig haben Prozessbeteiligte in der industriellen Produktion bereits ein Gefühl dafür, in welchen Bereichen der Suchaufwand besonders groß ist. Als Grundlage für eine zielgerichtete Analyse dieser Suchaufwände ist es daher sinnvoll, den Analysebereich anwendungsspezifisch wählen zu können. Durch eine klare Abgrenzung des Betrachtungsbereichs besteht die Möglichkeit, den Aufwand für die Datenerfassung zu begrenzen und gleichzeitig die Rahmenbedingungen und Einflussgrößen auf den Suchaufwand besser beschreiben zu können.

Für den Bereich der industriellen Produktion bietet es sich an, den Betrachtungsbereich je nach Anwendungsfall arbeitssystembezogen oder aufbauorganisationsbezogen zu strukturieren. Eine Strukturierung nach Arbeitssystem erscheint immer dann sinnvoll, wenn sich der entsprechende Produktionsbereich in Arbeitssysteme einteilen lässt, denen wiederum bestimmte Werker zuzuordnen sind. In diesem Fall können mehrere Arbeitssysteme zu übergeordneten Einheiten (beispielsweise Linien und Segmente) zusammengefasst werden (vgl. Abbildung 4-1 a)). Die Anzahl der Ebenen lässt sich dabei frei wählen, wobei auf der untersten Ebene immer die den Arbeitssystemen zugeordneten Werker zu finden sind.

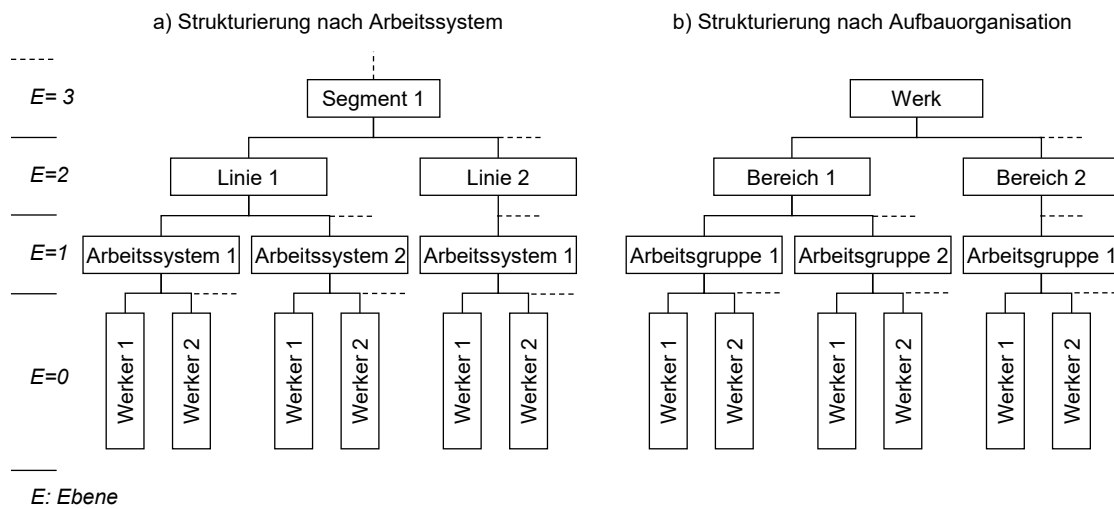


Abbildung 4-1: Beispiel für die Strukturierung unterschiedlicher Produktionsbereiche

Eine Strukturierung des Produktionsbereichs nach Aufbauorganisation bietet sich dagegen immer dann an, wenn Mitarbeiter weniger ortsgebunden tätig sind und sich daher keine eindeutigen Arbeitssysteme beschreiben lassen. Hierzu zählen insbesondere Produktionen, die im Baustellenprinzip organisiert sind. Auch hier sind die Werker die kleinste Einheit der Produktionsstruktur und können je nach Organisation zu Gruppen und Bereichen zusammengefasst werden (vgl. Abbildung 4-1 b)).

Weitere Arten der Strukturierung sind vorstellbar. Für die Analyse von Suchaufwänden sollten sich diese allerdings immer an einem hierarchischen Schema orientieren. So besteht im Baugewerbe beispielsweise die Möglichkeit, den Suchaufwand für räumliche Bereiche zu analysieren und diesen bestimmten Werker zuzuordnen.

4.1.2 Bestandteile der bezahlten Arbeitszeit

Häufig ist es sinnvoll, den gemessenen Suchaufwand in das Verhältnis zur gesamten Arbeitszeit zu setzen. Hierzu ist die Anwesenheit eines Werkers im Analysebereich eine wichtige Information. Produktivitätsanalysen versuchen in der Regel, einen möglichst großen Anteil der gesamten bezahlten Arbeitszeit zu beschreiben und für die Auswertung von Produktivitätspotentialen zu nutzen. Für einen Mitarbeiter beschreibt die bezahlte Arbeitszeit die Gesamtdauer, die sich dieser

4. Datenerhebung von Suchzuständen

innerhalb des Analysebereichs aufhält. Sie setzt sich aus der erfassten und der nicht erfassten Arbeitszeit zusammen:

$$Z_{bez} = Z_e + Z_{ne} \quad 4-1$$

mit:

Z_{bez} : bezahlte Arbeitszeit [Min.]

Z_e : erfasste Arbeitszeit [Min.]

Z_{ne} : nicht erfasste Arbeitszeit [Min.]

Da Suchaufwände in der Regel immer als Bestandteil anderer Tätigkeiten auftreten, ist es in einem ersten Schritt notwendig, diese Tätigkeiten aufzunehmen. Die erfasste Zeit lässt sich somit auch als Summe aller beobachteten Tätigkeiten beschreiben:

$$Z_e = \sum_{i=1}^n Z_{i,kum} \quad 4-2$$

mit:

Z_e : erfasste Arbeitszeit [Min.]

$Z_{i,kum}$: kumulierte Dauer der beobachteten Tätigkeit i [Min.]

n : Anzahl für den Untersuchungsbereich definierter Tätigkeiten [-]

Indem der Suchaufwand innerhalb einer Tätigkeit erfasst wird, lassen sich die Tätigkeitsdauern in einen Bestandteil mit Suchaufwand und einen ohne Suchaufwand unterteilen (Formel 4-8). Die nicht erfasste Arbeitszeit bleibt als Differenz zur bezahlten Arbeitszeit weiterhin bestehen, da es für die Analyse von Suchaufwänden häufig sinnvoll sein kann, nur einen bestimmten Teil der bezahlten Arbeitszeit zu beschreiben, um den Erfassungsaufwand zu begrenzen. Für die Analyse von Suchaufwänden ist es häufig sinnvoll, sich auf die Tätigkeiten und Bereiche mit einem hohen Suchanteil zu fokussieren und Tätigkeiten mit einem sehr geringen Suchaufwand zu vernachlässigen. In diesem Fall ist es nicht möglich, die gesamte bezahlte Arbeitszeit zu beschreiben.

Der erfasste Anteil der bezahlten Arbeitszeit ergibt sich schließlich aus dem Quotienten der insgesamt erfassten und der bezahlten Arbeitszeit.

$$AZ_{bez} = \frac{Z_e}{Z_{bez}} \quad 4-3$$

mit:

AZ_{bez} : erfasster Anteil der bezahlten Arbeitszeit [%]

Z_e : erfasste Arbeitszeit [Min.]

Z_{bez} : bezahlte Arbeitszeit [Min.]

4.1.3 Horizontale Datenaggregation

Grundsätzlich ermöglicht die Unterteilung der Arbeitszeit in Elemente eine detailliertere Beschreibung und Analyse der bezahlten Arbeitszeit [MATI01, S. 1418]. Da der Aufwand für die Erfassung von Arbeitszeiten mithilfe von Zeitaufnahmen proportional zur Länge des Erfassungszeitraums steigt, ist es in der Regel nicht wirtschaftlich, die gesamte Arbeitszeit aufzunehmen, so dass man sich auf Stichproben beschränkt (vgl. z. B. [CZUM13]).

Ein bewährtes Verfahren zur Beschreibung der Bestandteile der Arbeitszeit ist die horizontale Aggregation von Analysedaten (vgl. [CZUM13, S. 48ff.], [TIET17, S. 59ff.]). Idee der horizontalen Datenaggregation ist es, die kumulierten Dauern der einzelnen Bestandteile der bezahlten Arbeitszeit zu der gesamten erfassten Arbeitszeit zusammenzufassen. Zu diesem Zweck ist es möglich, die Einzeldauer bestimmter Tätigkeiten über eine Stichprobe zu erfassen und diese dann mithilfe eines entsprechenden Multiplikators auf die gesamte bezahlte Arbeitszeit zu übertragen. Der Suchaufwand während einer Tätigkeit kann so als Bestandteil der Einzeldauer ebenfalls auf die gesamte bezahlte Arbeitszeit übertragen werden. Auf diese Weise ist es möglich, den Suchaufwand als Bestandteil der gesamten bezahlten Arbeitszeit zu beschreiben, auch wenn deren übrige Zusammensetzung nicht vollständig bekannt ist.

Grundlage für eine horizontalen Datenaggregation ist es, die Arbeitsaufgaben der Mitarbeiter in Tätigkeitselemente zu unterteilen und diese entsprechend ihrer Wiederholhäufigkeit einer von vier Kategorien zuzuordnen [CZUM13, S. 37f.]. Zyklusgebundene Tätigkeiten treten bei der Bearbeitung jedes Werkstücks auf, sodass sich die Häufigkeit über die Anzahl an bearbeiteten Werkstücken innerhalb einer Betrachtungsperiode abschätzen lässt. Demgegenüber treten losgebundene Tätigkeiten einmalig bei der Bearbeitung eines Loses auf, sodass die Häufigkeit der Anzahl der bearbeiteten Lose in einer Betrachtungsperiode entspricht. Die Häufigkeit von periodisch auftretenden Tätigkeiten lässt sich auf Grundlage der Periodenlänge bestimmen. Für unregelmäßig auftretende Tätigkeiten kann naturgemäß keine Häufigkeit bestimmt werden. Abbildung 4-2 zeigt den generischen Aufbau einer Tätigkeitshierarchie für die Analyse von Suchaufwänden.

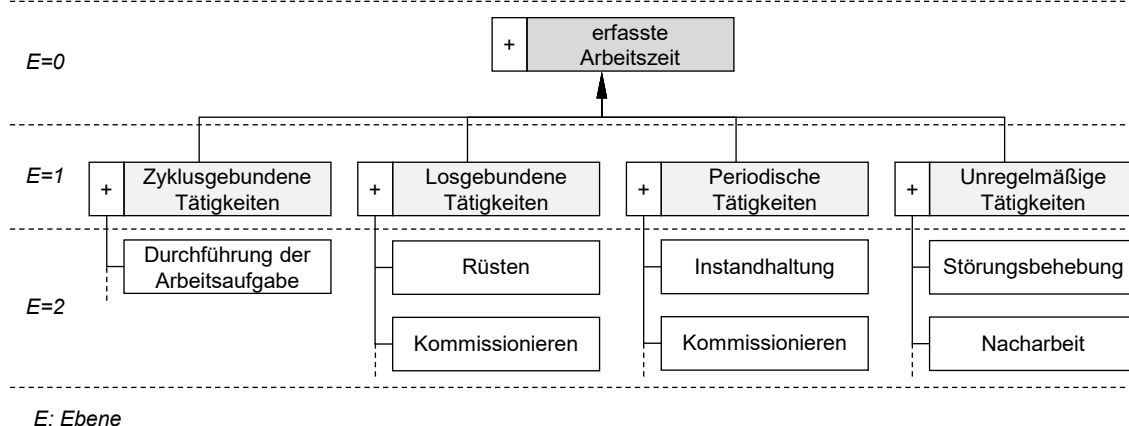


Abbildung 4-2: Generische Tätigkeitshierarchie (in Anlehnung an [CZUM13, S. 39])

Je nach Anwendungsfall lassen sich den einzelnen Tätigkeitskategorien spezifische und gut zu beobachtende Tätigkeiten unterordnen (Ebene 2). Je detaillierter die Tätigkeitshierarchie aufgebaut ist, desto genauer können einzelne Suchaufwände bestimmten Tätigkeiten zugeordnet und innerhalb der Analyse beschrieben werden.

Je nach Wiederholhäufigkeit der einzelnen Tätigkeit ergeben sich in Anlehnung an Czumanski [CZUM13, S. 48ff.] unterschiedliche Vorgehen zur Aggregation der Analysedaten.

Regelmäßige Tätigkeiten

Tätigkeiten, die im Rahmen der betrieblichen Leistungserstellung regelmäßig auftreten, können in Stichproben erfasst werden. Um den Suchaufwand während bestimmter Tätigkeiten zu analysieren, ist es sinnvoll, diesen separat zu erfassen. Die mittlere Tätigkeitsdauer setzt sich somit aus einem Bestandteil mit Suchaufwand und einem Bestandteil ohne Suchaufwand zusammen.

$$t_{i,ges,m} = t_{i,S,m} + t_{i,oS,m} \quad 4-4$$

mit:

$t_{i,ges,m}$: mittlere Gesamtdauer der Tätigkeit i [Min.]

$t_{i,S,m}$: mittlere Dauer der Tätigkeit i mit Suchaufwand [Min.]

$t_{i,oS,m}$: mittlere Dauer der Tätigkeit i ohne Suchaufwand [Min.]

Um den mittleren Suchaufwand einer Tätigkeit zu bestimmen, ist der kumulierte Suchaufwand durch die Anzahl der erfassten Tätigkeiten zu teilen:

$$t_{i,S,m} = \frac{1}{u} \times \sum_{j=1}^u SA_{i,j} \quad 4-5$$

mit:

$t_{i,S,m}$: mittlere Dauer der Tätigkeit i mit Suchaufwand [Min.]

$SA_{i,j}$: Suchaufwand während Tätigkeit i bei Aufnahme j [Min.]

u : Anzahl erfasster Tätigkeiten [-]

Der Mittelwert der Dauer des Bestandteils der Tätigkeit ohne Suchaufwand errechnet sich analog:

$$t_{i,os,m} = \frac{1}{u} \times \sum_{j=1}^u (t_{i,ges,j} - SA_{i,j}) \quad 4-6$$

mit:

$t_{i,os,m}$: mittlere Dauer der Tätigkeit i ohne Suchaufwand [Min.]

$t_{i,ges,j}$: Gesamtdauer der Tätigkeit i bei Aufnahme j [Min.]

$SA_{i,j}$: Suchaufwand während Tätigkeit i bei Aufnahme j [Min.]

u : Anzahl erfasster Tätigkeiten [-]

Durch die Multiplikation der mittleren Tätigkeitsdauer mit der Häufigkeit der Tätigkeit innerhalb der bezahlten Arbeitszeit lassen sich schließlich die Bestandteile mit und ohne Suchaufwand auf die bezahlte Arbeitszeit übertragen.

$$Z_{i,kum} = t_{i,ges,m} \times H_i \quad 4-7$$

mit:

$Z_{i,kum}$: kumulierte Gesamtdauer der Tätigkeit i [Min.]

$t_{i,ges,m}$: mittlere Gesamtdauer der Tätigkeit i [Min.]

H_i : Häufigkeit der Tätigkeit i [-]

Eine notwendige Voraussetzung für die Bestimmung der kumulierten Tätigkeitsdauer mithilfe eines Multiplikators ist, dass dieser bekannt ist. Je nach Tätigkeitskategorie lassen sich hierzu unterschiedliche Multiplikatoren definieren. Für zyklische Tätigkeiten ist es beispielsweise notwendig, die Anzahl der Zyklen innerhalb der bezahlten Arbeitszeit zu kennen. Diese lässt sich häufig über den Ist-Abgang einer Periode bestimmen. Ähnliches gilt für losgebundene Tätigkeiten, für die der Ist-Abgang in Losen als Multiplikator verwendet werden kann. Für periodische Tätigkeiten verwendet man die Anzahl der Perioden als Multiplikator.

Unregelmäßige Tätigkeiten

Im Gegensatz zu den regelmäßigen Tätigkeiten können im Bereich der Produktion weitere Tätigkeiten vorkommen, die ungeplant beziehungsweise unregelmäßig auftreten. Diese Tätigkeiten lassen sich nur einzeln erfassen und auswerten. Die Gesamtdauer der Tätigkeiten lässt sich aber ebenfalls in einen Bestandteil mit Suchaufwand und einen Bestandteil ohne Suchaufwand unterteilen.

4. Datenerhebung von Suchzuständen

$$t_{i,ges} = t_{i,S} + t_{i,os} \quad 4-8$$

mit:

$Z_{i,ges}$: Gesamtdauer der Tätigkeit i [Min.]

$t_{i,S}$: Dauer der Tätigkeit i mit Suchaufwand [Min.]

$t_{i,os}$: Dauer der Tätigkeit i ohne Suchaufwand [Min.]

Die Tätigkeitsdauer mit Suchaufwand entspricht dabei dem erfassten Suchaufwand. Die Tätigkeitsdauer ohne Suchaufwand ergibt sich somit aus der Differenz der gesamten Tätigkeitsdauer und dem erfassten Suchaufwand.

$$t_{i,S} = SA_i \quad 4-9$$

mit:

$Z_{i,S}$: Dauer der Tätigkeit i mit Suchaufwand [Min.]

SA_i : erfasster Suchaufwand während Tätigkeit i [Min.]

Für die Berechnung der kumulierten Tätigkeitsdauer dieser Kategorie ist es notwendig, alle erfassten Einzeldauern zu addieren.

$$Z_{i,kum} = \sum_{j=1}^n t_{i,ges,j} \quad 4-10$$

mit:

$Z_{i,kum}$: kumulierte Gesamtdauer der Tätigkeit i [Min.]

$t_{i,ges,j}$: Gesamtdauer der erfassten Tätigkeiten i bei Erfassung j [Min.]

n : Anzahl der erfassten Tätigkeiten i [-]

Die Beschreibung der bezahlten Arbeitszeit durch die Erfassung von Tätigkeiten dieser Kategorie ist aufgrund des fehlenden Multiplikators mit einem höheren Erfassungsaufwand verbunden. Für die Analyse von Suchaufwänden in der Produktion ist sie dennoch von besonderer Bedeutung, da insbesondere bei unregelmäßig auftretenden Tätigkeiten ein hoher Suchaufwand zu vermuten ist.

Abbildung 4-3 fasst die horizontale Datenaggregation für die Strukturierungsebene 0 abschließend zusammen.

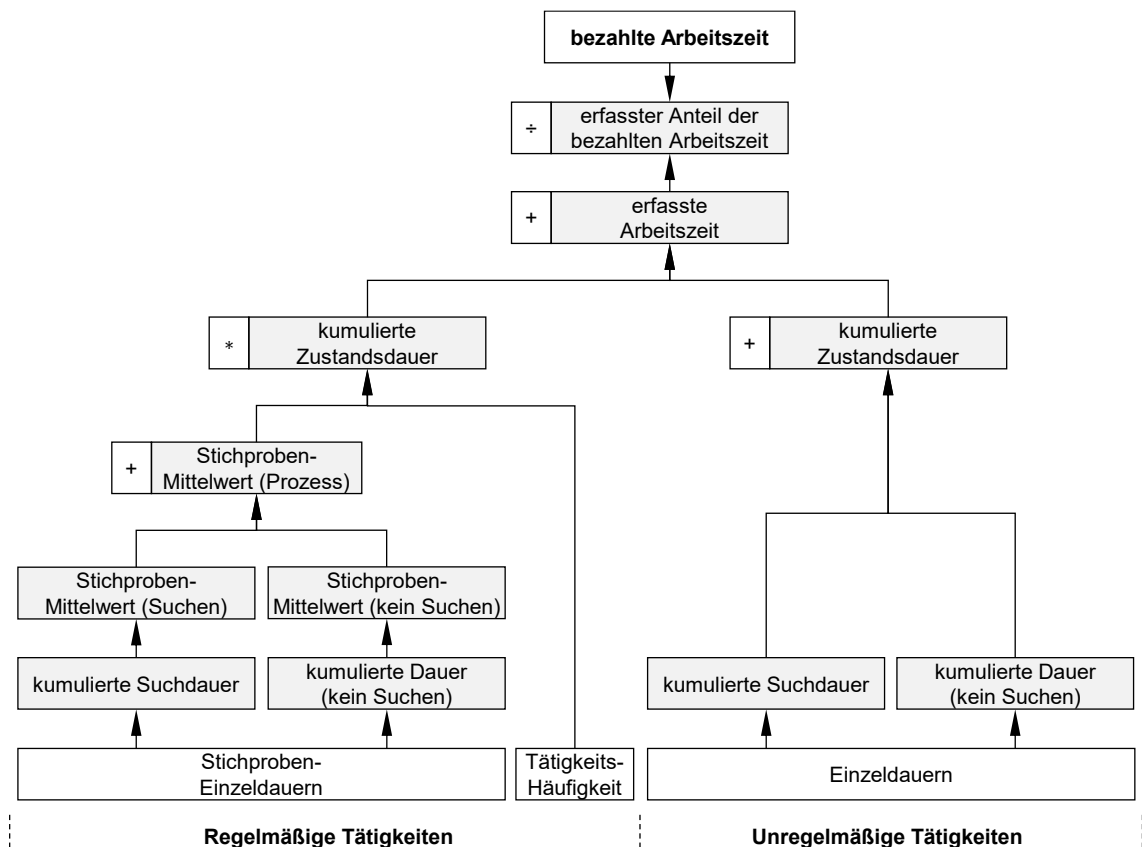


Abbildung 4-3: Horizontale Datenaggregation auf Ebene 0

4.1.4 Vertikale Datenaggregation

Ein Ziel der Analysemethodik ist es, den auf Ebene der Werker erfassten Suchaufwand auf übergeordnete Betrachtungsbereiche zu übertragen. Die in Abschnitt 4.1.1 vorgestellte Strukturierung bietet hierzu die Möglichkeit, die Informationen über einzelne Suchaufwände der Werker auf übergeordnete Strukturebenen zu verdichten, um innerhalb der einzelnen Ebenen Potentiale für die Reduzierung von Suchaufwänden zu identifizieren. Dazu können die erfassten Tätigkeitsinformationen für aller Werker zusammengefasst werden, die einer Organisationseinheit untergeordnet sind. So resultiert der Gesamtaufwand für die Suche an einer Produktionslinie aus der Summe der Einzelaufwände der zugeordneten Werker.

$$Z_{i,kum,q,e} = \sum_{p=1}^r Z_{i,kum,p,e-1} \quad ; \quad e \geq 1 \quad 4-11$$

mit:

$Z_{i,kum,q,e}$: kumulierte Dauer des Zustands i für Strukturelement q auf Ebene e [Min.]

$Z_{i,kum,p,e-1}$: kumulierte Dauer des Zustands i für das dem Strukturelement q untergeordnete Strukturelement p auf Strukturebene $e-1$ [Min.]

r : Anzahl der dem Strukturelement q untergeordneten Elemente [-]

Abbildung 4-4 fasst das Konzept der vertikalen Datenaggregation zusammen. In einer ersten Aggregation lassen sich die auf Ebene 0 erfassten Tätigkeiten und Suchaufwände für das übergeordnete Arbeitssystem auf Ebene 1 zusammenfassen. Eine weitere Aggregation erlaubt es, die Suchaufwände einzelner Arbeitssysteme zu einem Gesamtaufwand für die übergeordnete Produktionslinie auf Ebene 2 zusammenzufassen.

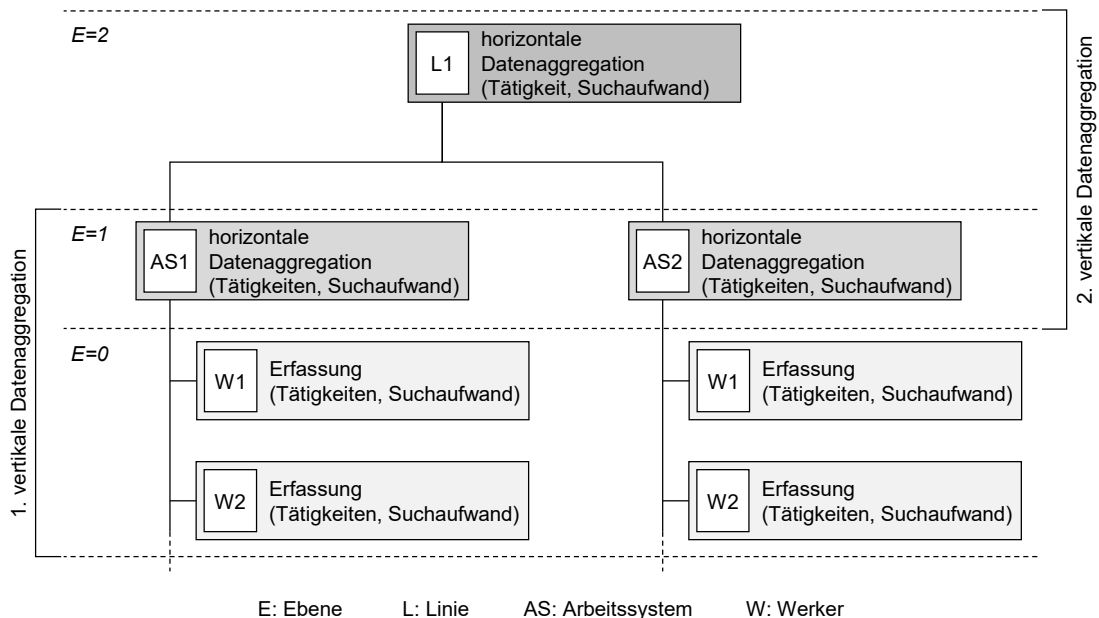


Abbildung 4-4: Logik der vertikalen Datenaggregation (in Anlehnung an [CZUM13, S. 54])

4.1.5 Zusammensetzung von Suchphasen

Ziel der Analyse und Reduzierung von Suchaufwänden ist es, den Suchaufwand innerhalb bestimmter Tätigkeiten zu verringern. Eine wichtige Information für die Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen ist die Beschreibung der Dauer der einzelnen Suchphasen eines Suchaufwands. So helfen Informationen über die Häufigkeit und Dauer einzelner Suchphasen zum einen dabei, die Ursachen für die Entstehung von Suchaufwänden zu verstehen. Zum anderen können sie als

Ansatzpunkte für die Entwicklung wirksamer Verbesserungsmaßnahmen dienen. Für eine detaillierte Analyse einzelner Suchaufwände ist es daher notwendig, die Suchphasen innerhalb eines Suchvorgangs zu beschreiben und die Datenstruktur entsprechend zu gestalten.

4.1.6 Zuordnung relevanter Einflussgrößen

Mithilfe der Modellierung des Suchaufwands lassen sich auf Grundlage der Suchphasen besonders relevante Einflussgrößen, wie z. B. die Sortierung oder die Kennzeichnung, für einzelne Suchaufwände bestimmen. Für die Analysemethodik bietet es sich daher an, die Bewertung wesentlicher Einflussgrößen zu integrieren. Für jede Ausprägung einer Einflussgröße lässt sich unterscheiden, ob diese den Suchaufwand reduziert oder erhöht. Im Rahmen der Datenerfassung sind daher die Ausprägungen relevanter Einflussgrößen als Suchaufwand reduzierend (+) beziehungsweise Suchaufwand erhöhend (-) zu bewerten.

4.2 Konzept zur Datenerhebung

Die Datenstruktur beschreibt die grundlegenden Informationen, die für die Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen in der Produktion wichtig sind. Im Folgenden wird ein Vorgehen beschrieben, das es erlauben soll, diese Informationen mithilfe einer angepassten Methode der Zeitmessung effizient zu erheben.

4.2.1 Auswahl von Methoden zur Datenerhebung

Die Grundlage für die Identifikation von Suchaufwänden ist die Erfassung ausgewählter Tätigkeiten in der Produktion. Abschnitt 2.4 hat bereits unterschiedliche Methoden zur Erhebung von Daten in einer Produktion vorgestellt. Aufgrund der häufig sehr heterogenen Zusammensetzung von Suchaufwänden ist es von besonderer Bedeutung, möglichst viele Informationen über die einzelnen Suchvorgänge zu erfassen. Die Grundanforderung an die Analysemethodik ist daher, dass sie mindestens die Dauer sowie das jeweilige Suchobjekt erfassen kann. Daher kommt eine Datenerfassung mithilfe von Multimoment-Stichprobenverfahren nicht infrage: Das Multimoment-Häufigkeitsverfahren kann die Suchdauer nicht erfassen. Das Multimoment-Zeitmessverfahren würde für kürzere Suchdauern eine sehr große Stichprobengröße erfordern.

Weiterhin ist es für die Reduzierung von Suchaufwänden notwendig, die Zusammensetzung von Suchaufwänden sowie die Ausprägung wichtiger Einflussgrößen zu erfassen. Vor diesem Hintergrund kommt als Erfassungsmethodik besonders die Zeitaufnahme nach REFA infrage.

Ein wesentlicher Nachteil der Zeitaufnahme nach REFA ist der sehr hohe Aufwand für die Datenerfassung zur Beschreibung der bezahlten Arbeitszeit. Da eine Analysemethodik für Suchaufwände allerdings den Fokus auf die Erfassung von Suchvorgängen legt und nicht den Anspruch hat, die gesamte Arbeitszeit lückenlos zu beschreiben, bietet es sich an, das Vorgehen der klassischen Zeitaufnahme an die Anforderungen für die Erfassung von Suchvorgängen anzupassen. Die von Czumanski beschriebene Methodik der reduzierten Zeitaufnahme [vgl. CZUM13, S. 57ff.] bietet hierzu eine geeignete Grundlage.

4.2.2 Gestufte Zeitaufnahmen

Czumanski hat das Konzept der reduzierten Zeitaufnahme für die Analyse von Mitarbeiterzuständen in der Serienfertigung entwickelt. Grundgedanke ist es, Zustandsdauern in Form von Stichproben zu erfassen. Das Vorgehen verzichtet auf viele Schritte der klassischen Zeitaufnahme nach REFA und beschränkt sich auf die Erfassung von Zustandsdauern. Für die Analyse von Suchaufwänden kann das Konzept daher genutzt werden, um die Dauer unterschiedlicher Tätigkeiten innerhalb der Analysedauer vollständig zu erfassen. Allerdings reicht die Erfassung der Tätigkeitsdauer allein nicht aus, um alle für die Analyse und Verbesserung von Suchaufwänden notwendigen Informationen zu erheben.

So ist es für die Darstellung von Suchaufwänden als Bestandteil von Tätigkeiten notwendig, sowohl die Tätigkeitsdauer als auch die Einzeldauer jedes Suchvorgangs zu dokumentieren. Darüber hinaus sind weitere Informationen über das Suchobjekt und ggf. die einzelnen Suchphasen sowie die Ausprägung der Einflussfaktoren von besonderer Bedeutung. Um diese Informationen systematisch erfassen zu können, wurde die Methodik der gestuften Zeitaufnahme entwickelt.

Grundgedanke der Methodik ist es, parallele Zeitaufnahmen in mehreren Ebenen zu ermöglichen, um die Zusammensetzung des Suchaufwands während einer Tätigkeit genauer beschreiben zu können. Auf der ersten Ebene erfolgt die Aufnahme der Dauer einer bestimmten Produktionstätigkeit. Auf der zweiten Ebene besteht die Möglichkeit, einzelne Suchvorgänge mithilfe einer weiteren Zeitaufnahme zu erfassen. Neben der Suchdauer ist dabei das jeweilige Suchobjekt festzuhalten. Weitere Zeitaufnahmen ermöglichen es auf der dritten Ebene, die Dauer einzelner Suchphasen während eines Suchvorgangs zu dokumentieren und weitere Informationen wie die Ausprägung relevanter Einflussgrößen aufzunehmen. In Abbildung 4-5 ist die Dauer einer Tätigkeit dargestellt, während der drei Suchvorgänge erfasst wurden. Für den zweiten Suchvorgang sind außerdem die Suchphasen auf der dritten Ebene abgebildet.

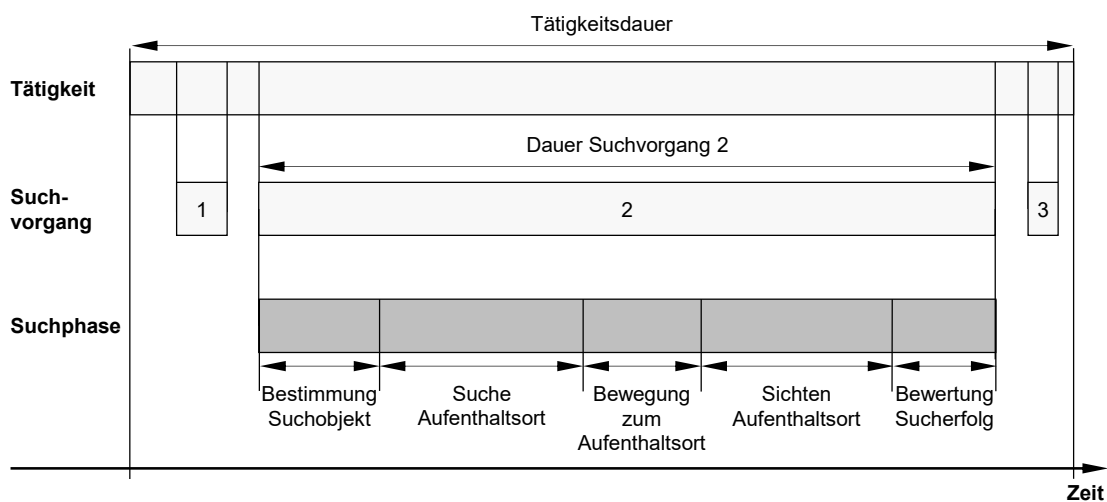


Abbildung 4-5: Konzept der gestuften Zeitaufnahme

Die Datenerhebung kann bei der gestuften Zeitaufnahme sowohl in Fremdaufschreibung als auch in Selbstaufschreibung erfolgen. Die Wahl der Erhebungsform hängt insbesondere von den Rahmenbedingungen sowie der Zielsetzung der Analyse ab.

Datenerhebung durch Fremdaufschreibung

Eine Möglichkeit gestufte Zeitaufnahmen durchzuführen ist die Datenerfassung durch einen externen Beobachter (vgl. Abschnitt 2.4.1). Dieser begleitet einen Werker in der Produktion über einen definierten Analysezeitraum und erfasst alle wichtigen Informationen zu Tätigkeiten, Suchaufwänden und ggf. Suchphasen.

In der Praxis existieren dabei zwei wesentliche Herausforderungen für das Konzept der Fremdaufschreibung bei der gestuften Zeitaufnahme. Zum einen ist es für einen Beobachter von außen nicht immer möglich, den Beginn und das Ende der Suchtätigkeiten sowie die entsprechenden Suchobjekte fehlerfrei zu erkennen. Daher ist es notwendig, dass der Werker, der die Tätigkeit durchführt, die Methode *Lautes Denken* anwendet und so dem Beobachter die relevanten Informationen über die auftretenden Suchvorgänge mitteilt. Zum anderen ist der Erfassungsaufwand durch die verschachtelten Zeitaufnahmen sowie die Dokumentation der relevanten Zusatzinformationen hoch. Insbesondere häufige Wechsel der Tätigkeiten sowie kurze und schnell aufeinander folgende Suchvorgänge oder -phasen stellen den Anwender vor große Herausforderungen bei der Datenerhebung.

In der Folge erfordert die Methode die Verwendung geeigneter Hilfsmittel, um die Datenerfassung zu unterstützen. Eine Möglichkeit ist es, Smartphones oder Tablets mit einer speziellen Zeitaufnahme-App zu verwenden (siehe Abschnitt 4.4). Die Verwendung von Zeitstempeln erleichtert es, Start- und Endzeitpunkte zu erfassen. Auswahlmöglichkeiten vereinfachen es, Zusatzinformationen zu ergänzen. Das Ziel ist es, mithilfe der App Zustände und vor allem Suchaufwände möglichst genau erfassen und kategorisieren zu können. Eine Zeitaufnahme-App ist insbesondere für die Aufnahme kurzer und häufiger Suchvorgänge sehr hilfreich.

Datenerhebung durch Selbstaufschreibung

Beim Verfahren der Selbstaufschreibung erfolgt die Datenerhebung nicht durch einen externen Beobachter, sondern durch den Werker selbst (vgl. Abschnitt 2.4.1). Die Selbstaufschreibung eignet sich grundsätzlich sowohl für die Erfassung regelmäßiger als auch für unregelmäßige Tätigkeiten.

Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens ist es, dass der Erfassungsaufwand im Gegensatz zur Zeitaufnahme durch Dritte geringer ist, da kein externer Beobachter notwendig ist. Ein Nachteil ist zum einen, dass die Datenqualität von der Sorgfältigkeit des Werkers abhängt. Zudem kann ihn die Datenerfassung von seiner eigentlichen Tätigkeit ablenken. Die Selbstaufschreibung eignet sich daher eher für unregelmäßig auftretende und lang andauernde Tätigkeiten, zumal die Erfassung ungeplant auftretender Tätigkeiten durch einen externen Beobachter häufig mit einem großen Anteil an Wartezeit verbunden ist.

Um die erforderlichen Informationen über die Suchvorgänge möglichst aufwandsarm erfassen zu können, besteht auch bei der Selbstaufschreibung die Notwendigkeit, geeignete Hilfsmittel zu verwenden. Die in Abschnitt 4.4 beschriebene Web-App kann den Werker dazu ebenso unterstützen wie einen externen Beobachter.

4.3 Vorgehensweise bei der Datenerhebung

Das Ziel der Datenerhebung ist es, besonders relevante Suchaufwände innerhalb einer Produktion zu erkennen und zu beschreiben. Dazu ist es notwendig, einen abgegrenzten Analysebereich zu bestimmen und die Datenerhebung für diesen Bereich systematisch vorzubereiten.

Das Vorgehen zur Erhebung von Suchaufwänden in der industriellen Produktion gliedert sich in fünf Schritte:

- Zieldefinition der Analyse
- Strukturierung der Produktion
- Auswahl des Analysebereichs
- Erstellung der Tätigkeits- und Suchobjekthierarchie
- Datenerfassung

Die Abschnitte 4.3.1 - 4.3.3 beschreiben, wie Unternehmen den Analysezweck definieren, die Produktion strukturieren und den Analysebereich auswählen. Abschnitt 4.3.4 beschreibt die Erstellung der Tätigkeits- und Suchobjekthierarchien, die auf den zuvor ausgewählten Analysebereich abzustimmen sind. Schließlich beschreiben die Abschnitte 4.3.5 - 4.3.7, wie die Daten in der Produktion zu erfassen sind.

4.3.1 Zieldefinition der Analyse

Erster Schritt der Analyse ist es, die Ziele zu definieren, die erreicht werden sollen. Diese bilden den Rahmen für die Datenerfassung und helfen, die Analyse effizient umzusetzen. Als Grundlage für die Definition der Zielsetzung sollten folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- *Fokus*: Soll der Suchaufwand für bestimmte Tätigkeiten oder für einzelne Bereiche analysiert werden?
- *Potential*: Sind bestimmte Tätigkeiten oder Bereiche bereits bekannt für besonders hohe Suchaufwände oder müssen diese erst identifiziert werden?
- *Detailtiefe*: Soll nur der vorhandene Suchaufwand ermittelt oder sollen auch die Suchphasen und Einflussfaktoren analysiert werden?
- *Zeitraum*: Über welchen Zeitraum soll die Analyse erfolgen?
- *Qualität*: Welche Ergebnisgüte ist erwünscht?

- *Mitarbeiterschutz*: Ist die Erfassung von Tätigkeiten mit den betroffenen Mitarbeitern abgestimmt?

Die Beantwortung der Fragen sowie die Definition von Zielen soll es ermöglichen, die Analyse individuell auf einzelne Anwendungsfälle abzustimmen und den Umsetzungsaufwand möglichst gering zu halten.

4.3.2 Strukturierung der Produktion

Grundsätzlich entstehen in allen Bereichen einer Produktion Suchaufwände. Um die Untersuchungsbereiche für die Analyse einheitlich definieren zu können, ist es notwendig, die Produktion in Systemebenen zu unterteilen, sodass auch eine systematische Analyse einzelner Teilbereiche ermöglicht wird. Wie in Abschnitt 4.1.1 erläutert, kann die Struktur der Produktion, je nach Fertigungstyp und Aufbau, unterschiedlich beschrieben werden: Für eine *Strukturierung nach Arbeitssystem* ist es erforderlich, Informationen über die einzelnen Arbeitssysteme sowie ihre Zuordnung zu erfassen. Für eine *Strukturierung nach Aufbauorganisation* sind Informationen über die Organisationseinheiten erforderlich, wie beispielsweise Abteilungen und Gruppen.

Da Suchaufwände immer als Bestandteil der Mitarbeitertätigkeit erfasst werden, müssen die Werker als unterste Strukturierungsebene (Ebene 0) der nächsthöheren Organisationseinheit zugeordnet werden.

4.3.3 Auswahl des Analysebereichs

Suchaufwände sind Bestandteil unterschiedlichster Tätigkeiten und daher auch im Bereich der Produktion weit verbreitet. Für eine gezielte Analyse und Verbesserung von Suchvorgängen bietet es sich daher an, den Suchaufwand in einzelnen Bereichen zu analysieren und zu verringern. So kann der Aufwand für die Datenerfassung begrenzt werden. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse können anschließend eine Grundlage bieten, um auch in anderen Bereichen Suchaufwände zu reduzieren. Um eine möglichst große Wirkung auf die Produktivität zu erzielen, bietet es sich an, Bereiche auszuwählen, in denen ein hoher Suchanteil vermutet wird.

Grundsätzliche Anhaltspunkte für die Auswahl des Analysebereichs sind:

- *Anteil manueller Tätigkeit*: Je höher der Anteil der geplanten und ungeplanten Tätigkeiten ist, die durch Mitarbeiter durchgeführt werden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass Suchvorgänge auftreten. Bei automatisierten Tätigkeiten können im engeren Sinne keine Suchaufwände entstehen.
- *Wiederholhäufigkeit von Abläufen*: Je seltener ein Arbeitsablauf vorkommt, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Suchvorgänge auftreten. Insbesondere Routinen und Standards führen dazu, dass Suchvorgänge bei sich häufig wiederholenden Abläufen vermieden werden können. Für den Fall, dass Suchvorgänge auftreten, bietet eine hohe Wiederholhäufigkeit allerdings die Chance, auch durch kleine Verbesserungsmaßnahmen eine signifikante Auswirkung auf die gesamte Arbeitszeit zu bewirken.

- *Anzahl an Schnittstellen:* Je mehr Schnittstellen zu anderen Bereichen vorhanden sind, desto umfangreicher ist in der Regel der Austausch von Material und Informationen. Dadurch steigt das Risiko, dass Materialien oder Informationen nicht zur richtigen Zeit am richtigen Ort zur Verfügung stehen und gesucht werden müssen.
- *Vorgabezeiten pro Stück:* Höhere Vorgabezeiten pro Stück im Vergleich zu anderen Bereichen können auf ineffiziente Arbeitsabläufe hindeuten, für die unter anderem eingeplante Suchaufwände verantwortlich sein können.
- *Abweichung vom geplanten Output:* Sofern der geplante Output (beispielsweise Planstückzahl) innerhalb eines Bereichs regelmäßig unterschritten wird, kann dies ein Hinweis auf ungeplante Suchvorgänge sein, die zu einem erhöhten Arbeitsaufwand führen.

Nachdem der zu untersuchende Bereich bestimmt ist, sind die betroffenen Mitarbeiter über das Vorhaben zu unterrichten. Für die Zeitaufnahmen ist die Zustimmung der Mitarbeiter und ggf. auch des Betriebsrats erforderlich. Für die Datenerfassung ist es außerdem wichtig, dass die Mitarbeiter während ihrer Tätigkeit gut zu beobachten sind und ihrer üblichen Tätigkeit uneingeschränkt nachgehen können. Auf Grundlage der Anzahl zu erfassender Mitarbeiter und der gewünschten Ergebnisgüte ist abschließend der Betrachtungszeitraum für die Analyse festzulegen.

4.3.4 Erstellung der Tätigkeits- und Objekthierarchien

Für die Bewertung von Suchaufwänden ist es von besonderer Bedeutung zu erkennen, während welcher Tätigkeiten Suchaufwände auftreten. Eine besonders wichtige Information zur Beschreibung von Suchvorgängen ist das Suchobjekt. Da sowohl die relevanten Tätigkeiten als auch die Suchobjekte je nach Anwendungsfall variieren können, sind diese als Vorbereitung für die Analyse eindeutig zu definieren.

1. Schritt: Definition der Tätigkeiten

Für die Beschreibung der relevanten Tätigkeiten innerhalb eines Analysebereichs ist es notwendig, dass sich der Methodenanwender mit den Arbeitsabläufen des Bereichs vertraut macht. Sofern vorhanden, sind hierzu insbesondere Informationen über das Produktionslayout sowie Arbeitspläne und Aufgabenbeschreibungen hilfreich, um einen Überblick über die räumlichen Gegebenheiten sowie die Kerntätigkeiten zu erlangen. Zusammen mit Produktionsmitarbeitern und -verantwortlichen können daraufhin die wesentlichen Tätigkeiten der Werker innerhalb des Analysebereichs definiert werden. Der Methodenanwender sollte sich bei einer Produktionsbegehung mit den Gegebenheiten des Analysebereichs vertraut machen. Die Begehung ermöglicht es zudem, die tatsächlichen Arbeitsabläufe zu beobachten und besonders wichtige Tätigkeiten zu erkennen.

Um die erfassten Tätigkeitsinformationen auf die gesamte Arbeitszeit übertragen zu können, sind die Multiplikatoren für die einzelnen Tätigkeitskategorien zu ermitteln. Hilfreich hierfür sind insbesondere Informationen über das Produktionsprogramm sowie Wartungs- und Reinigungspläne.

Sofern für eine Tätigkeit kein eindeutiger Multiplikator zu definieren ist, ist sie der Kategorie unregelmäßiger Tätigkeiten zuzuordnen.

Grundsätzlich bietet es sich an, die Tätigkeiten vom Groben zum Feinen zu beschreiben. Für die Definition der Tätigkeiten bietet die in Abschnitt 4.1.3 beschriebene Tätigkeitshierarchie, die eine Einteilung im Hinblick auf die Wiederholhäufigkeit vorschlägt, eine gute Grundlage. Ausgehend von den vier Tätigkeitskategorien lassen sich die spezifischen Tätigkeiten innerhalb des Analysebereichs zuordnen (Abbildung 4-6).

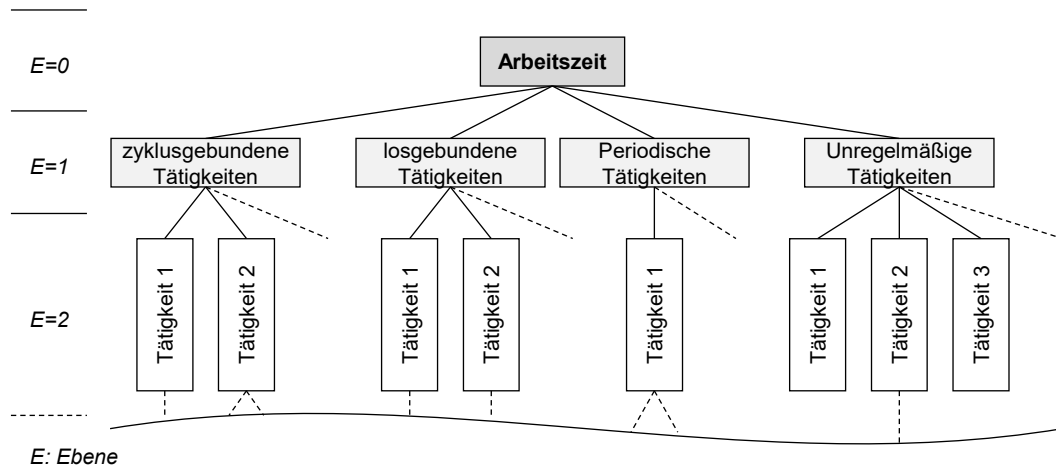


Abbildung 4-6: Struktur der Tätigkeitshierarchie

So können beispielsweise Tätigkeiten wie die Montage einer Baugruppe den zyklusgebundenen Tätigkeiten zugeordnet werden. Die Vorbereitung des Arbeitsplatzes für einen neuen Auftrag ist dagegen den losgebundenen Tätigkeiten zuzuordnen. Je nach gewünschtem Detailierungsgrad können die einzelnen Tätigkeiten in weitere Ebenen unterteilt werden, wobei der Erfassungsaufwand mit zunehmender Detailtiefe ansteigt. Grundsätzlich bietet bereits eine Beschreibung der wesentlichen Tätigkeiten auf Ebene 2 die Möglichkeit, einen Großteil der bezahlten Arbeitszeit auf Suchaufwände hin zu untersuchen.

Nachdem eine Tätigkeitshierarchie erstellt wurde, kann diese als Vorlage für weitere Analysen in anderen Bereichen genutzt werden. Dazu ist zu überprüfen, ob die Hierarchie alle erfassungsrelevanten Tätigkeiten für den Bereich enthält. Sofern Tätigkeiten fehlen, sind diese zu ergänzen. Um eine möglichst einfache Datenerfassung zu ermöglichen, sind außerdem nicht benötigte Tätigkeiten aus der Hierarchie zu entfernen. Dies verbessert die Übersichtlichkeit der Auswahlmöglichkeiten während der Aufnahme und trägt dazu bei, dass die Änderung einer Tätigkeit schneller erfasst werden kann.

2. Schritt: Definition der Suchobjekte

Die Tätigkeitshierarchie ist die Grundlage, um die Arbeitsabläufe innerhalb des Analysebereichs zu erfassen. In einem nächsten Schritt lassen sich die für die Durchführung der einzelnen Tätigkeit notwendigen Objekte identifizieren. Jedes dieser Objekte stellt ein potenzielles Suchobjekt dar.

4. Datenerhebung von Suchzuständen

Für die Tätigkeit Rüsten können wesentliche Objekte beispielsweise Werkzeuge, Hilfsstoffe und Informationen über den nächsten Auftrag sein. Aufgrund der vielfältigen Tätigkeiten unterschiedlicher Produktionsumgebungen ist es notwendig, die Suchobjekte für jeden Analysebereich anzupassen. Als Grundlage für die Einordnung bieten sich die in Abschnitt 3.3 beschriebenen Suchobjekthierarchien für physische Objekte und Informationen an (Abbildung 4-7). Diese kann zusammen mit den Produktionsmitarbeitern und -verantwortlichen angepasst beziehungsweise ergänzt werden.

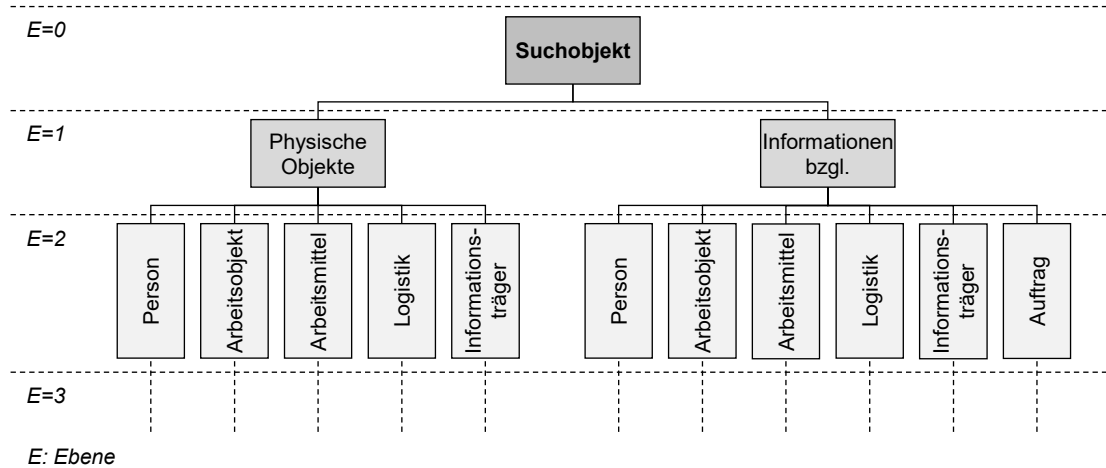


Abbildung 4-7: Grundlage für die Definition und Einordnung von Suchobjekten

Hilfreiche Informationen für die Definition der einzelnen Objekte sind insbesondere Arbeitspläne, Stücklisten sowie Aufgabenbeschreibungen. Bei der Einordnung der Suchobjekte in die Objekthierarchie ist darauf zu achten, dass diese für den Methodenanwender leicht nachvollziehbar ist, um eine möglichst schnelle Auswahl während der Analyse zu gewährleisten. Zudem sollte die Bezeichnung der einzelnen Suchobjekte an den unternehmensinternen Sprachgebrauch angepasst werden. Dies hilft dabei, das Verständnis und die Nachvollziehbarkeit der Analyseergebnisse für alle Beteiligten zu verbessern.

Jeder Tätigkeit auf der untersten Hierarchieebene können potenzielle Suchobjekte aus der Objekthierarchie zugeordnet werden. Abbildung 4-8 veranschaulicht das Zusammenwirken von Tätigkeits- und Suchobjekthierarchie im Rahmen der Analyse. In der Praxis sind häufig nur bestimmte Kombinationen von Tätigkeiten und Suchobjekten sinnvoll und relevant. Daher ermöglicht die Zuordnung bestimmter Suchobjekt-Klassen zu einzelnen Tätigkeiten eine Reduzierung der Auswahlmöglichkeiten und damit eine einfache und schnelle Aufnahme. So bilden die Tätigkeits- und Objekthierarchien die Grundlage für eine effiziente Datenerfassung, da sie es dem Anwender erlauben, sowohl Tätigkeiten als auch Suchobjekte während der Aufnahme systematisch auszuwählen.

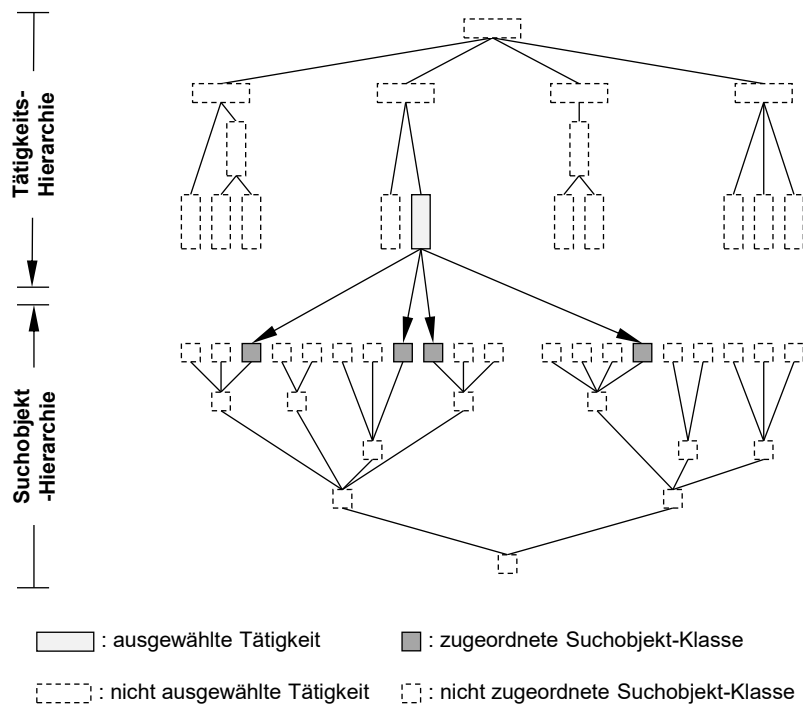


Abbildung 4-8: Beziehung von Tätigkeits- und Objekthierarchie

3. Auswahl besonders relevanter Tätigkeiten

Die Methode der gestuften Zeitaufnahme ist grundsätzlich dazu geeignet, die gesamte bezahlte Arbeitszeit zu erfassen. Allerdings steigen der Erfassungsaufwand sowie die Belastung der beteiligten Mitarbeiter mit zunehmender Analysedauer. Zum einen erfordert die kontinuierliche Beobachtung und Datenerfassung eine hohe Konzentrationsfähigkeit. Zum anderen stellt die Anwendung der Methode *Lautes Denken* eine Zusatzbelastung für den Mitarbeiter dar.

Daher kann es für längere Analysezeiträume notwendig sein, den Aufwand der Datenerhebung zu begrenzen, indem nur besonders relevante Tätigkeiten erfasst und analysiert werden. Dazu sind in der Vorbereitung der Analyse Tätigkeiten zu bestimmen, deren Suchaufwand besonders relevant ist. Die Erfassung dieser Tätigkeiten im Stichprobenverfahren verringert den Erfassungsaufwand und ermöglicht eine gezielte Analyse von Suchaufwänden. Für die Auswahl einzelner Tätigkeiten bietet es sich an, auf die Erfahrung der Produktionsmitarbeiter und -verantwortlichen oder auf Ergebnisse bereits durchgeführter Analysen zurückzugreifen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, auf die Kriterien für die Auswahl des Analysebereichs in Abschnitt 4.3.3 zurückzugreifen, um Tätigkeiten zu identifizieren, die einen potenziell hohen Suchaufwand aufweisen. Ergebnis der Auswahl ist eine begrenzte Menge an Tätigkeiten, für die der Suchaufwand im Rahmen der Gesamtmethodik zu analysieren und zu reduzieren ist.

4.3.5 Konzept der Datenerfassung

Kern der Datenerfassung ist die gestufte Zeitaufnahme. Diese ermöglicht es, den Detaillierungsgrad an die Relevanz der Tätigkeit anzupassen: Für besonders relevante Tätigkeiten können so

neben der Suchdauer auch die einzelnen Suchphasen und Einflussfaktoren erfasst werden. Für andere Tätigkeiten kann die Erfassung der reinen Suchdauer ausreichend sein.

Je nach Detaillierungsgrad lassen sich Suchvorgänge anhand von vier Informationen beschreiben:

- Suchobjekt
- Suchdauer
- Suchphasen
- Einflussfaktoren

Grundvoraussetzung für die Erfassung der genannten Informationen durch einen externen Beobachter ist, dass die beobachtete Person die Methode *Lautes Denken* anwendet. Auf diese Weise soll sichergestellt werden, dass der Methodenanwender Tätigkeitswechsel, Suchobjekte und Suchphasen sicher erkennt. Für die Datenerhebung wurde ein Vorgehen entwickelt, das sich in vier Schritte gliedern lässt.

1. Bestimmung des Aufnahmebereichs

Zu Beginn einer Aufnahme wählt der Anwender den Aufnahmebereich aus, dem die in der Folge aufgenommenen Tätigkeiten zugeordnet werden. Wenn der Methodenanwender oder der Werker den Aufnahmebereich wechselt, ist der neue Bereich auszuwählen, um die folgenden Tätigkeitsinformationen und Suchaufwänden richtig zuzuordnen zu können.

2. Auswahl der beobachteten Tätigkeit

Sobald eine Tätigkeit auftritt, für die der Suchaufwand untersucht werden soll, sind die Tätigkeitskategorie und -bezeichnung (bspw. Rüsten, Montieren, Kommissionieren) sowie der Startzeitpunkt zu vermerken. Die nachfolgend aufgenommenen Suchvorgänge werden dann dieser Tätigkeit zugeordnet. Sobald die Tätigkeit beendet ist, ist der Endzeitpunkt zu dokumentieren. Im Anschluss kann die Aufnahme einer weiteren Tätigkeit erfolgen.

3. Aufnahme von Suchdauer und Suchobjekt

Die Aufnahme eines Suchvorgangs beginnt mit der Dokumentation des Startzeitpunkts. Während des Suchvorgangs muss das Suchobjekt identifiziert und notiert werden. Teilweise kann es vorkommen, dass zu Beginn eines Suchvorgangs das Suchobjekt noch nicht bekannt ist oder nicht eindeutig beschrieben werden kann. In diesem Fall bietet es sich an, den Suchvorgang weiter zu beobachten und ggf. den Werker um Informationen über das Suchobjekt zu bitten. Sobald das Suchobjekt gefunden oder die Suche erfolglos beendet ist, ist der Endzeitpunkt des Suchvorgangs zu vermerken. Sofern die übergeordnete Tätigkeit nicht beendet ist, kann im Anschluss die Aufnahme weiterer Suchvorgänge erfolgen.

4. Detailaufnahme zusätzlicher Informationen

Zusätzlich zu der Information über das Suchobjekt kann der Anwender die Suchphasen während eines Suchvorgangs erfassen. Dazu ist der entsprechende Start- und Endzeitpunkt der einzelnen Phasen zu vermerken. Nach der Beendigung eines Suchvorgangs können die wesentlichen Einflussfaktoren bewertet und dokumentiert werden. Die Informationen über die Suchphasen sowie über die Ausprägung der Einflussgrößen sind eine wichtige Grundlage für die Beschreibung und Auswahl geeigneter Verbesserungsmaßnahmen.

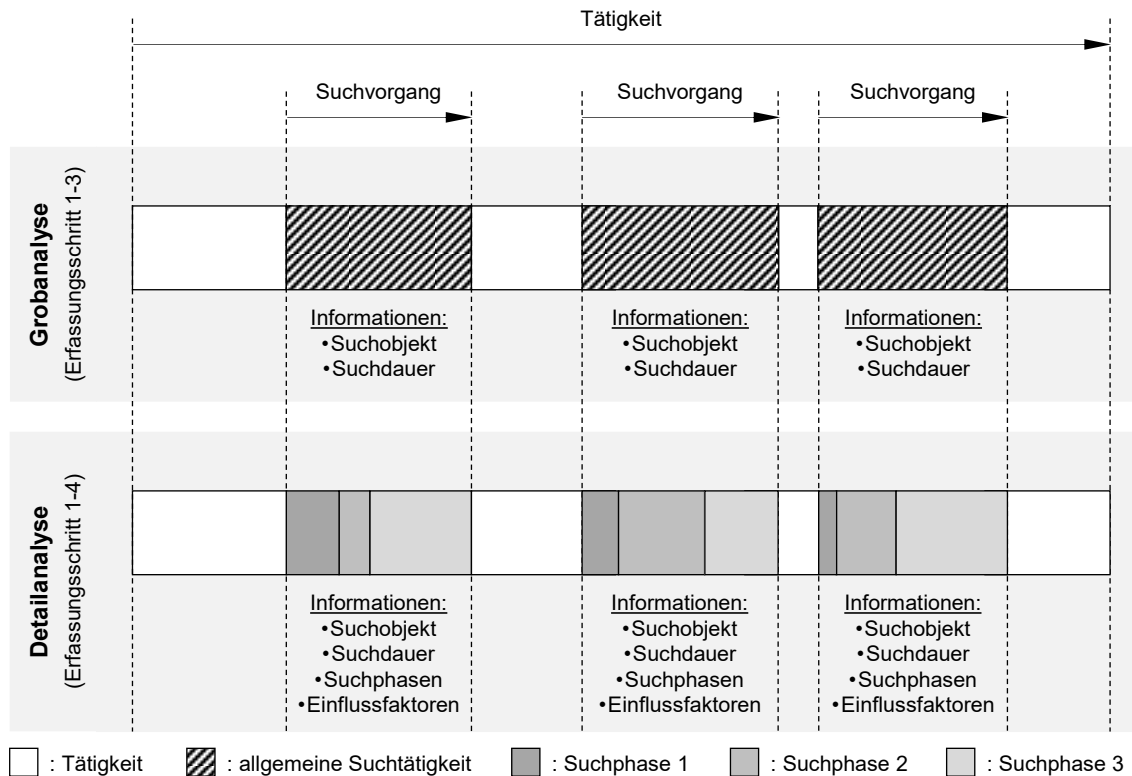


Abbildung 4-9: Detailstufen der Analysemethode am Beispiel einer Informationssuche

Die genaue Erfassung der beschriebenen Informationen stellt für den Anwender in der Praxis eine Herausforderung dar. Gerade bei kurzen Suchvorgängen, die häufig und aufeinander folgend auftreten, kann es vorkommen, dass die Zeit für die Erfassung und Dokumentation der relevanten Informationen insbesondere in Schritt 4 nicht ausreichend ist. Um auch diese Suchvorgänge mit dem Vorgehen aufnehmen zu können, wurde ein zweistufiges Verfahren für die Datenerfassung entwickelt (Abbildung 4-9).

Grundidee ist es, die Datenerfassung in zwei aufeinander aufbauende Schritte zu unterteilen. In einem ersten Analysedurchgang (Grobanalyse) sind die wesentlichen Potentiale für die Reduzierung von Suchaufwänden zu identifizieren. Somit bildet die Grobanalyse die Grundlage für die Erfassung jedes Suchaufwands. Sie umfasst die Angabe der Suchobjektkategorie sowie die Anfangs- und Endzeitpunkte jedes einzelnen Suchvorgangs. Die Grobanalyse zeichnet sich somit

durch eine sehr einfache Aufnahmelogik aus, wodurch sie sich auch für die Aufnahme sehr kurzer Suchvorgänge eignet.

In einem zweiten Schritt beschreibt die Detailanalyse die Zusammensetzung des Suchaufwands ausgesuchter Tätigkeiten genauer. Sie erfasst dazu zusätzlich Informationen über den Anfang und das Ende der einzelnen Suchphasen. Dies ermöglicht eine tiefergehende Analyse der Suchaufwände, indem die gesamte Suchdauer in die einzelnen Suchphasen aufgeteilt werden kann. Zusätzlich ist die Aufnahme der wesentlichen Einflussfaktoren am Ende eines Suchvorgangs vorgesehen. Der erhöhte Informationsgehalt führt allerdings gleichermaßen zu einem erhöhten Erfassungsaufwand von Suchvorgängen in der Detailanalyse. Daher eignet sie sich eher für die Erfassung von Detailinformationen in Stichproben oder von sehr langen Suchvorgängen.

Die Kombination der beiden Ansätze in dem zweistufigen Vorgehen soll den Erfassungsaufwand begrenzen und gleichzeitig eine möglichst detaillierte Analyse von Suchaufwänden ermöglichen. Theoretisch ist allerdings auch eine isolierte Anwendung der beiden Vorgehen vorstellbar. So genügt die Durchführung einer Grobanalyse für die Bewertung des gesamten Suchaufwands in einem Analysebereich. Für Tätigkeiten mit einem hohen Suchaufwand bietet die Detailanalyse die Möglichkeit, den Suchaufwand genauer zu beschreiben und Ansatzpunkte für Verbesserungsmaßnahmen zu identifizieren. Im Folgenden wird das Vorgehen der beiden Ansätze genauer beschrieben.

4.3.6 Datenerfassung für die Grobanalyse

Vorrangiges Ziel der Grobanalyse ist es, die Suchaufwände möglichst vollständig zu erfassen und den Anteil des Suchaufwands an einzelnen Tätigkeiten genau zu beschreiben. Dazu ist es wichtig den Zeitaufwand für die Erfassung der suchrelevanten Informationen möglichst gering zu halten. Weil sich der Erfassungsaufwand mit zunehmender Informationsmenge erhöht, beschränkt sich das Vorgehen der Grobanalyse auf die Schritte 1 bis 3 des in Abschnitt 4.3.5 beschriebenen Konzepts.

Für die praktische Umsetzung der Datenerfassung wurde ein IT-Tool entwickelt (vgl. Abschnitt 4.4), das die Aufnahme der Daten des Aufnahmebogens unterstützt und vereinfacht. Die Struktur der Datenerhebung innerhalb des IT-Tools folgt der Struktur eines einfachen Aufnahmebogens (Abbildung 4-10), mit dem im Folgenden das Vorgehen der Grobanalyse beschrieben werden soll. Der Aufnahmebogen gliedert sich in zwei Bestandteile: Der Kopf (1.) enthält Informationen über den Analysebereich, dem die Daten des Aufnahmebogens zuzuordnen sind. Die Erfassungstabelle ermöglicht es, die Tätigkeiten des Werkers (2.) zu dokumentieren und Suchaufwände (3.) anhand des jeweiligen Suchobjekts festzuhalten.

1. Aufnahmebereich						
Kennung		Bereich				
2-1-4		Maschinenarbeitsplatz 4				

Start	Ende	2. Tätigkeit		3. Suchobjekt		Bemerkung
		Kennung	Bezeichnung	Kennung	Bezeichnung	
10:43:06	11:26:53	L-2	Rüsten			/
10:46:33	10:52:02			M-3-1	Werkzeug	/
11:02:47	11:15:22			I-6-2	Auftragsinfo	/
11:20:53	11:27:04	Z-1	Montage			/
11:23:01	11:23:49			I-6-2	Auftragsinfo	/
...

Abbildung 4-10: Beispiel eines Aufnahmebogens für die Grobanalyse

Für die Analyse ist in einem ersten Schritt der zu beobachtende Aufnahmebereich im Kopf des Aufnahmebogens zu vermerken. Es bietet sich an, in der Vorbereitung der Analyse einen Aufnahmebogen für jeden Aufnahmeort vorzubereiten, sodass bei einem Wechsel des Aufnahmebereichs nur der Aufnahmebogen ausgetauscht werden muss. Zu Beginn einer Prozessbeobachtung ist der Startzeitpunkt und die Beschreibung der Tätigkeit (hier: Rüsten) zu erfassen. Wenn innerhalb der Tätigkeit Suchvorgänge vorkommen, sind diese durch das entsprechende Suchobjekt sowie den Start- und Endzeitpunkt zu dokumentieren (hier: Werkzeug und Auftragsinfo). Der Abschluss einer Tätigkeit ist anhand des Endzeitpunkts festzuhalten. Um auch besonders kurze Suchvorgänge erfassen zu können, ist es notwendig, alle Zeitpunkte in Stunden, Minuten und Sekunden zu dokumentieren.

Je nach Zielsetzung und Rahmenbedingungen kann die Durchführung der Grobanalyse durch einen externen Beobachter oder durch den Werker selbst erfolgen. Das beschriebene Vorgehen eignet sich dabei sowohl für die Fremd- als auch für die Selbstaufschreibung.

4.3.7 Datenerfassung für die Detailanalyse

Das Ziel der Detailanalyse ist es, die Zusammensetzung einzelner Suchaufwände zu beschreiben und Einflüsse auf den Suchaufwand zu bewerten. Daher liegt der Schwerpunkt dieser Analyse auf der detaillierten Erfassung einzelner Suchtätigkeiten. Dafür muss die Detailanalyse zusätzliche Informationen über Suchphasen und Einflussfaktoren (Schritt 4 des Erfassungskonzepts in Abschnitt 4.3.5) aufnehmen können, sodass der Aufwand für die Datenerhebung größer ist. Für die praktische Umsetzung der Detailanalyse ist das entwickelte IT-Tool (vgl. Abschnitt 4.4.2) daher von besonderer Bedeutung. Analog zur Grobanalyse erfolgt die Erläuterung des Vorgehens im Folgenden anhand einer klassischen Datenaufnahme mithilfe eines Aufnahmebogens. Abbildung 4-11 zeigt einen exemplarischen Ausschnitt eines Aufnahmebogens für die detaillierte Erfassung von Suchvorgängen.

4. Datenerhebung von Suchzuständen

1. Aufnahmebereich	
Kennung	Bereich
2-1-4	Maschinenarbeitsplatz 4

Start	Ende	Tätigkeit		Suchobjekt		Suchphase		Einflussfaktoren Material					Einflussfaktoren Information					Bemerkung			
		Kennung	Bezeichnung	Kennung	Bezeichnung	Kennung	Bezeichnung	Bekanntheit Aufenthaltsort	Entfernung zum Suchobjekt	Sichtbarkeit	andere Objekte	Kennzeichnung	Sortierung	Bekanntheit Informationsträger	Suchfunktion	Informationsumfang	Strukturierung		Sortierung	Informationstyp	
10:43:06	11:26:53	L-2	Rüsten																		/
10:46:33	10:52:02			M-3-1	Werkzeug			+	-	-	+	+	+								/
10:47:16	10:48:39					M-3	Bewegung														/
10:48:39	10:53:00					M-4	Sichten														/
11:02:47	11:15:22			I-6-2	Auftragsinfo									-	-	+	-	+	+		/
...

Abbildung 4-11: Beispiel eines Aufnahmebogens für die Detailanalyse

Im Kopf des Aufnahmebogens ist der Aufnahmebereich festzuhalten. Tätigkeiten sowie die enthaltenen Suchvorgänge sind analog zur Grobanalyse zu erfassen. Zusätzlich bietet der Aufnahmebogen die Möglichkeit, innerhalb eines Suchvorgangs Suchphasen aufzunehmen. Hierzu sind jeweils die entsprechende Suchphase sowie der Start- und Endzeitpunkt zu notieren. Durch die Erfassung aller Suchphasen in ihrer zeitlichen Reihenfolge besteht später die Möglichkeit, die Anzahl erfolgloser Suchvorgänge zu bestimmen. Weiterhin bietet der Aufnahmebogen die Möglichkeit, nach Beendigung einer Suche die Ausprägung der wesentlichen Einflussfaktoren als positiv (+) oder negativ (-) zu bewerten.

Ebenso wie bei der Grobanalyse kann die Detailanalyse durch einen externen Beobachter oder in Selbstaufschreibung erfolgen. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Erfassungsmethoden sind im Einzelfall gegenüberzustellen und zu bewerten. Eine stichprobenartige Erfassung bestimmter Suchvorgänge kann beispielsweise aufgrund der geringeren Aufnahmehäufigkeit besser in Selbstaufschreibung erfolgen als die kontinuierliche Erfassung unterschiedlicher Suchvorgänge. Auch im Hinblick auf eine klare Abgrenzung der einzelnen Suchphasen bietet die Selbstaufschreibung einen Vorteil, da diese für einen externen Beobachter besonders schwierig zu erkennen ist. Auf der anderen Seite erfordert die Datenerfassung der Detailanalyse grundsätzlich einen vergleichsweise hohen Dokumentationsaufwand, der den Werker von seiner eigentlichen Tätigkeit ablenkt.

4.4 Einsatz von IT-Werkzeugen zur Datenerfassung

Grundidee des Vorgehens zur Erfassung von Suchaufwänden ist es, diese als Bestandteil typischer Produktionstätigkeiten zu beschreiben. Die dazu notwendigen gestuften Zeitaufnahmen erfordern einen erhöhten Erfassungsaufwand im Vergleich zu klassischen Zeitaufnahmen, wodurch die Verwendung von Papier und Stift nur eingeschränkt möglich ist. Insbesondere für kurze und schnell aufeinander folgende Suchvorgänge stößt die manuelle Datenerfassung schnell an ihre Grenzen. Vor diesem Hintergrund bietet es sich an, den Methodenanwender durch ein IT-Werkzeug zu unterstützen, das die Aufnahme der relevanten Informationen durch eine geeignete Automatisierung unterstützt und so den Erfassungsaufwand senkt.

4.4.1 Anforderungen an eine Software zur Datenerhebung

Die gleichzeitige Erfassung von unternehmensindividuellen Produktionstätigkeiten und Suchvorgängen durch unterschiedliche Anwender stellt vier wesentliche Anforderungen an eine Software zur Datenerhebung:

1. *Funktionalität*: Die Software muss in der Lage sein, alle Daten, die für die Analyse von Suchaufwänden notwendig sind, erfassen zu können. Hierzu zählen sowohl die Daten der Grob- als auch der Detailanalyse.
2. *Schnelle Dateneingabe*: Um die notwendigen Daten erfassen zu können und gleichzeitig die Aufnahme aller Suchvorgänge zu ermöglichen, ist es erforderlich, die für die Dateneingabe notwendige Zeit zu minimieren. Je weniger Zeit benötigt wird, um suchrelevante Informationen zu dokumentieren, desto früher kann ein neuer Suchvorgang oder ein anderer Zustandswechsel erfasst werden.
3. *Anpassbarkeit*: Um das Vorgehen auf die unternehmensinternen Abläufe und Begrifflichkeiten anpassen zu können, muss die Software in der Lage sein, auch die Schritte der Analyse-vorbereitung abbilden zu können. Hierzu zählt insbesondere die Konfiguration der Analysebereiche, der Tätigkeiten sowie der Suchobjekte.
4. *Verständlichkeit*: Die Software soll sowohl für externe Methodenanwender als auch für Produktionsmitarbeiter schnell und einfach zu erlernen und zu bedienen sein. Dazu ist es notwendig, dass die Funktionalitäten verständlich gestaltet sind. Um auch eine fortlaufende Anwendung des Vorgehens durch unterschiedliche Produktionsmitarbeiter und -verantwortliche zu ermöglichen, sollte auch die Konfiguration der Analyse innerhalb der Software einfach und verständlich gestaltet sein.

Neben den funktionalen Anforderungen sind zwei weitere Anforderungen zu berücksichtigen:

5. *Kostengünstige Umsetzung*: Für eine wirtschaftliche Umsetzung des Vorgehens in unterschiedlichen Bereichen der Produktion ist es von besonderer Bedeutung, dass die Software möglichst einfach und kostengünstig in bestehenden Produktionsinfrastrukturen genutzt werden kann.

6. *Mitarbeiterschutz*: Die Software soll die Rechte der Produktionsmitarbeiter schützen und möglichst verhindern, dass Daten auf einzelne Mitarbeiter zurückzuführen sind.

4.4.2 Software zur IT-gestützten Datenerhebung

Um den Anforderungen an eine möglichst aufwandsarme und schnelle Erfassung der suchrelevanten Informationen zu ermöglichen, wurde die Aufnahmelogik (Abschnitt 4.3.5) in einer Webapplikation implementiert. Die Grundlage hierfür bildet die Software „checkIT“, die am Institut für Produktionsmanagement und -technik entstanden ist [vgl. GRAB20, S. 114ff.]. Die Software ist webbrowsersbasiert und kann daher auf jedem Endgerät mit Internetzugang verwendet werden. Durch ein responsives Design passen sich die Darstellungen an die verschiedenen Bildschirmgrößen unterschiedlicher Endgeräte an.

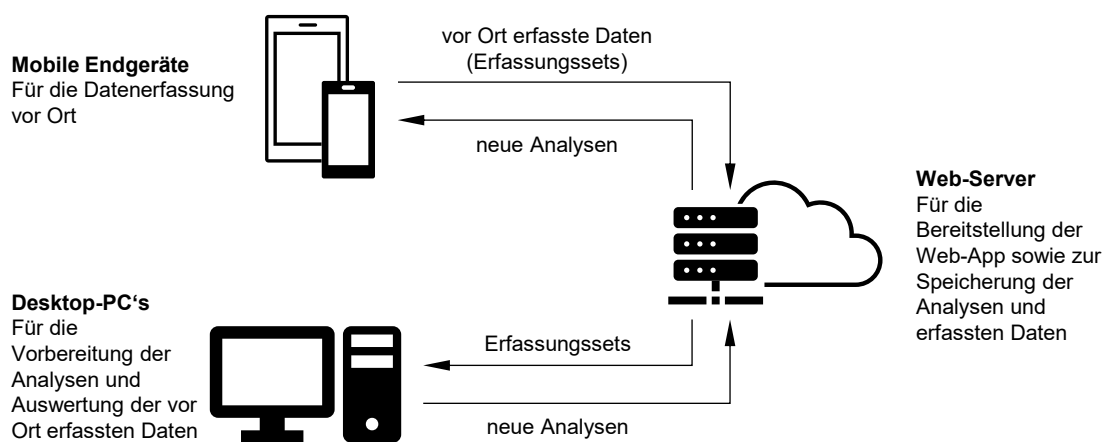


Abbildung 4-12: Aufbau der Software „checkIT“ in Anlehnung an [GRAB20, S. 115]

Der Anwender kann sowohl mit mobilen Endgeräten (Smartphones und Tablets) als auch mit Desktop PCs auf die Funktionen der Web-App zugreifen (Abbildung 4-12). An Desktop PCs besteht die Möglichkeit, bewährte Produktivitätsanalysen anwendungsspezifisch anzupassen und die im Rahmen einer Datenerhebung erfassten Daten in Form von individuell programmierten Dashboards zu visualisieren. Ein Web-Server dient zum einen dazu, die Web-App zur Verfügung zu stellen und zum anderen dazu, die konfigurierten Analysen sowie die erfassten Daten zu speichern. Die Datenerhebung erfolgt mithilfe von mobilen Endgeräten vor Ort.

Die Software unterstützt in ihrer ursprünglichen Form sowohl Multimoment- als auch Zeitaufnahmen. Mithilfe der Konfigurations-Funktion kann der Anwender die Datenstruktur an das spezifische Unternehmen anpassen, was eine breite Anwendbarkeit ermöglicht. Die Software ist darauf ausgelegt, Zustandsinformationen in Erfassungssets aufzunehmen. Dazu wählt der Anwender die notwendigen Informationen in einer vorkonfigurierten linearen Reihenfolge aus. Eine zyklische Aufnahme bestimmter Informationen innerhalb eines Erfassungssets ist nicht vorgesehen, sodass die Software nicht in der Lage ist, die in Abschnitt 4.3.5 beschriebene Logik zur Erfassung

von Suchaufwänden abzubilden. Insbesondere fehlt die Möglichkeit, innerhalb einer Zeitaufnahme (Tätigkeitsdauer) beliebig viele weitere Zeitaufnahmen (Suchvorgänge) sowie Zusatzinformationen (Einflussfaktoren) aufnehmen zu können.

Um „checkIT“ auf die Erfassung und Analyse von Suchvorgängen anzupassen, wurden daher folgende Erweiterungen vorgenommen:

- (1) Entwicklung eines neuen Datentyps, um eine zyklische Dateneingabe zu ermöglichen.
- (2) Implementierung einer neuen Aufnahmelogik, um gestufte Zeitaufnahmen durchführen zu können.

Der entwickelte Datentyp ermöglicht es, Fortschrittszeitmessungen (Abschnitt 2.4.2) mit zyklischen Eingaben durchzuführen. Dies erlaubt es dem Anwender, innerhalb eines Erfassungssets beliebig viele Suchdurchläufe aufzunehmen (Grobanalyse) bzw. beliebig viele Suchphasen innerhalb eines Suchvorgangs (Detailanalyse) zu erfassen. Auf dieser Grundlage wurde eine Logik entwickelt, die es ermöglicht, Suchaufwände mithilfe der Web-App zu erfassen. Abbildung 4-13 stellt die Erfassungslogik mithilfe der Web-App schematisch dar.

4. Datenerhebung von Suchzuständen

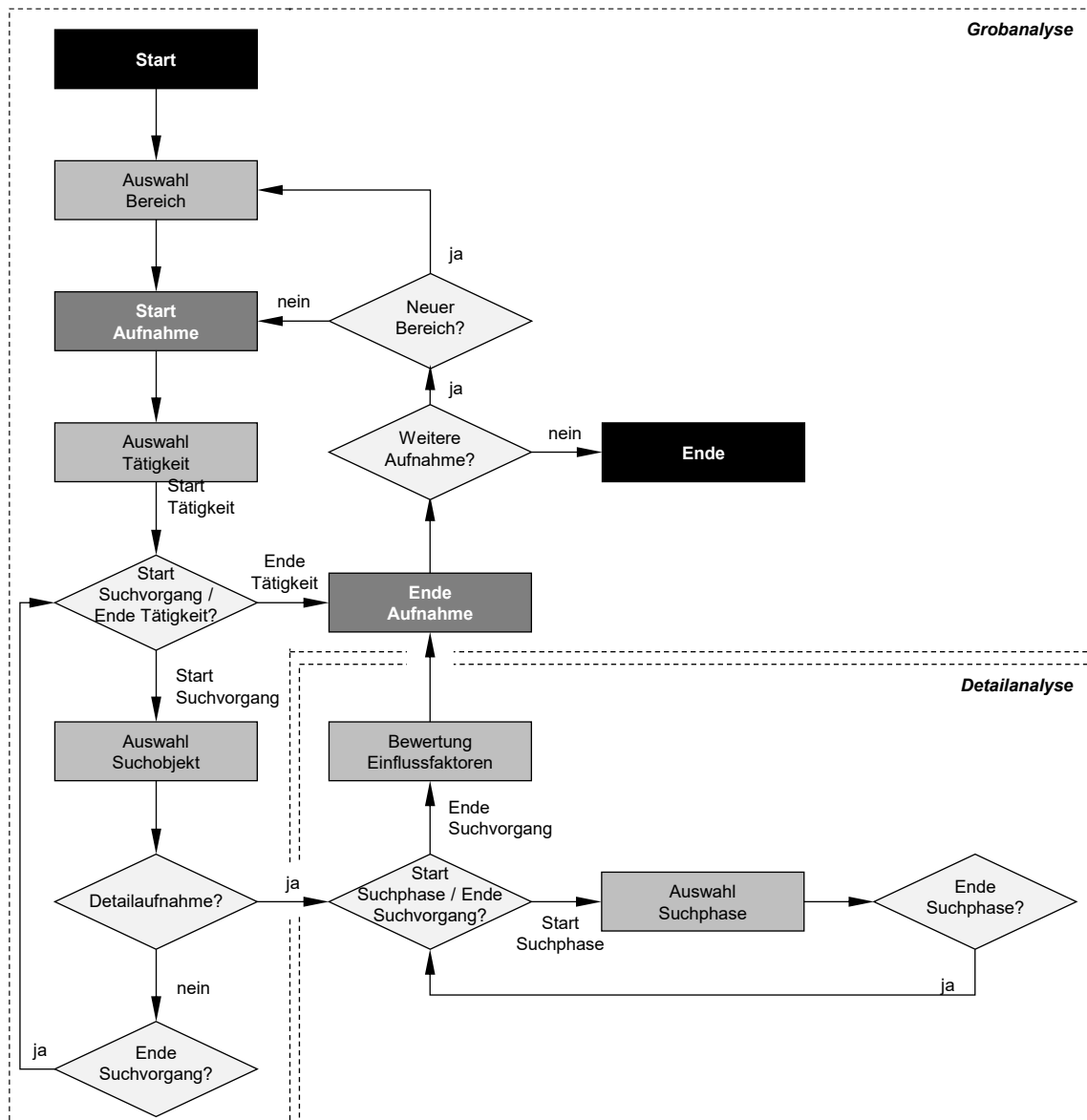


Abbildung 4-13: Logik zur softwareunterstützten Erfassung von Suchaufwänden

Im ersten Schritt wählt der Nutzer den Analysebereich aus, in dem sich die zu beobachtende Person aufhält. Mit der Auswahl des Analysebereichs beginnt gleichzeitig das erste Erfassungssset und der ausgewählte Bereich wird automatisch für alle folgenden Erfassungssets übernommen. Die Oberfläche der Web-App ermöglicht es dem Anwender, Tätigkeiten aus der hinterlegten Tätigkeitshierarchie auszuwählen. Sobald eine relevante Tätigkeit auftritt, ist diese auszuwählen. Die Auswahl einer Tätigkeit markiert gleichzeitig deren Startzeitpunkt. Anschließend ermöglicht die Web-App es, eine Material- oder Informationssuche zu starten oder das Ende der aktuellen Tätigkeit zu bestätigen. Sobald ein Suchvorgang auftritt, startet der Anwender die Zeitaufnahme durch die Auswahl der entsprechenden Schaltfläche. Anschließend stellt die Web-App eine Auswahl von Suchobjekten auf Grundlage der entsprechenden Hierarchien zur Verfügung, von denen

der Anwender das entsprechende Objekt auswählen kann. In der Grobanalyse beendet der Anwender die Zeitaufnahme über eine entsprechende Schaltfläche, sobald der Suchvorgang beendet ist.

Daraufhin kann die Erfassung eines weiteren Suchvorgangs durch die erneute Auswahl eines Suchobjekts gestartet oder die Aufnahme der Tätigkeit beendet werden. Ist ein einzelner Suchvorgang mit der Detailanalyse genauer zu erfassen, hat der Anwender die Möglichkeit, beliebig viele Suchphasen aufzunehmen. Der Start der Aufnahme einer Suchphase erfolgt ebenfalls durch die Auswahl der entsprechenden Phase. Sobald eine Suchphase beendet ist, stellt die Oberfläche der Web-App dem Anwender erneut eine Auswahl aller relevanten Suchphasen zur Verfügung, sodass die Möglichkeit besteht, umgehend eine weitere Phase aufzunehmen. Zum Abschluss eines Suchvorgangs sind im letzten Schritt die Einflussgrößen durch die Auswahl der entsprechenden Ausprägung zu bewerten, bevor das Erfassungssset abgeschlossen ist. Im Anschluss kann direkt eine neue Aufnahme gestartet oder die Analyse beendet werden.

In Abbildung 4-14 ist die Benutzeroberfläche der Web-App zu sechs Eingabezeitpunkten dargestellt. Zu Beginn erfolgt der Start einer Tätigkeit durch die Auswahl der entsprechenden Tätigkeits-Kategorie (1. Eingabe). Darauffolgend ist die genaue Beschreibung der beobachteten Tätigkeit auszuwählen (2. Eingabe). Der Anwender kann dann die Aufnahme einer Suche durch die Auswahl der entsprechenden Schaltfläche (Material- oder Informationssuche) starten (3. Eingabe). Im Anschluss ist das Suchobjekt genauer zu spezifizieren, indem die Suchobjekt-Klasse (4. Eingabe) und das Suchobjekt (5. Eingabe) ausgewählt werden. Abschließend kann der Anwender die Aufnahme der Suche durch die entsprechende Schaltfläche beenden oder zusätzliche Informationen mithilfe der Detailanalyse erfassen (6. Eingabe). Nachdem eine Suche beendet ist, kehrt der Anwender zur 3. Eingabe zurück, sodass die Möglichkeit besteht, eine weitere Suche zu erfassen oder die Tätigkeit zu beenden.

Grundsätzlich unterstützt die App die Datenerfassung dadurch, dass sie den Anwender systematisch durch die Aufnahme leitet und in jedem Erfassungsschritt nur relevante Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung stellt. Auf diese Weise ist es möglich, den Aufwand für die Auswahl und Dokumentation der relevanten Informationen zu reduzieren. Außerdem ermöglicht die App es, Start- und Endzeitpunkte der einzelnen Zeitaufnahmen automatisch zu erfassen, indem jede Auswahl mit einem Zeitstempel in der Datenbank abgespeichert wird. Insgesamt trägt die Nutzung der Web-App somit dazu bei, den systematischen Messfehler durch die Minimierung der Bestätigungs- und Ablesezeit (Abschnitt 2.4.2) zu reduzieren.

4. Datenerhebung von Suchzuständen

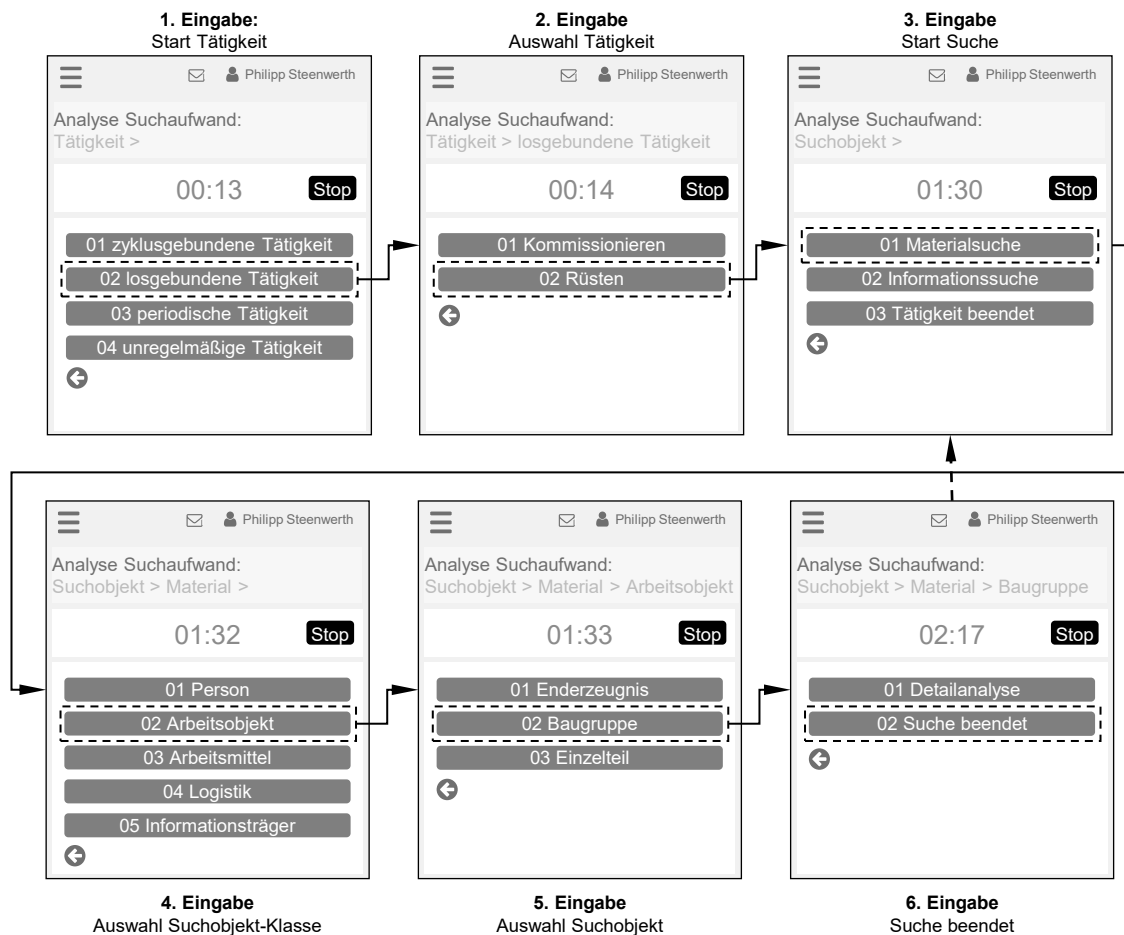


Abbildung 4-14: Benutzeroberfläche für die Datenerfassung

Die angepasste Web-Applikation unterstützt somit die Erfassung von suchrelevanten Informationen und erfüllt die formulierten Anforderungen an eine Software zur Datenerhebung von Suchaufwänden:

1. *Funktionalität*: Die Software ist in der Lage, alle Informationen der in Abbildung 4-13 dargestellten Logik zur Erfassung von Suchaufwänden aufzunehmen. Dies schließt sowohl die Informationen für die Grob- als auch für die Detailanalyse ein.
2. *Schnelle Dateneingabe*: Durch die Gestaltung der Aufnahmelogik sowie durch die Möglichkeit zyklische Zeitaufnahmen zur Erfassung von Suchvorgängen und Suchphasen durchzuführen, trägt die Software dazu bei, die notwendige Zeit für die Dateneingabe stark zu reduzieren.
3. *Anpassbarkeit*: Die Software „checkIT“ ist bereits darauf ausgelegt, hierarchische Daten zu konfigurieren und dem Anwender in geeigneter Form im Rahmen der Datenerfassung zur Verfügung zu stellen [vgl. GRAB20, S. 116ff.]. So lassen sich die allgemeingültigen Tätigkeits- und Suchobjekthierarchien als Startkonfiguration hinterlegen und im Rahmen der Analysevorbereitung anwendungsspezifisch konfigurieren.

4. *Verständlichkeit*: Die Bedienbarkeit der Software wurde bereits im Rahmen umfangreicher Produktivitätsanalysen nachgewiesen [vgl. GRAB20, S. 153], sodass die Verwendung auch für die Erfassung von Suchaufwänden als nachvollziehbar und leicht zu erlernen angenommen werden kann.
5. *Kostengünstige Umsetzung*: Die Verwendung der Software ist besonders kostengünstig, da es möglich ist, unternehmensinterne Hardware (Smartphones oder Tablets) für die Datenerfassung zu verwenden. Die Datenbank sowie die Web-App können über einen Webserver eingerichtet und zur Verfügung gestellt werden.
6. *Mitarbeiterschutz*: Im Rahmen der Datenerfassung werden zu keinem Zeitpunkt mitarbeiter-spezifische Daten aufgenommen. Somit sind Rückschlüsse von den Analysedaten auf bestimmte Mitarbeiter nicht direkt möglich. Allerdings besteht die Möglichkeit, dass die Kombination von Erfassungsort und -zeitpunkt sowie dem Personaleinsatzplan indirekte Rückschlüsse zulässt. Dieses Risiko ist allerdings gering, da die Zeitstempel der einzelnen Aufnahmen nur in den Rohdaten und nicht in der Ergebnisauswertung ersichtlich sind.

5 Analyse und Auswertung von Suchzuständen

Auf Grundlage der erhobenen Daten kann die Analyse und Auswertung der suchrelevanten Zustände erfolgen. Um Potentiale für die Reduzierung des Suchaufwands identifizieren zu können, ist es notwendig, die gesammelten Rohdaten in geeigneter Weise auszuwerten und zu visualisieren (Abschnitt 5.1). Je nach Zielsetzung ist darüber hinaus die Ergebnisgüte zu bewerten und zu entscheiden, ob ggf. weitere Aufnahmen notwendig sind (Abschnitt 5.2). Eine automatisierte Auswertung und Visualisierung der erfassten Daten innerhalb der Web-App soll den Aufwand für die Erstellung der Analyseergebnisse reduzieren (Abschnitt 5.3).

5.1 Auswertung der erfassten Daten

Das Ziel der Datenauswertung ist es, Handlungsfelder aufzuzeigen und Ansatzpunkte für Verbesserungen zu identifizieren. Dazu ist es notwendig, die gesammelten Daten zu aggregieren, in geeigneter Weise auszuwerten und mithilfe von Diagrammen übersichtlich darzustellen.

5.1.1 Datenaggregation

Das Vorgehen aggregiert die Suchaufwände in zwei Dimensionen: Die horizontale Datenaggregation fasst die Informationen für Suchaufwände auf gleicher Arbeitssystem-Ebene zusammen, z. B. den Suchaufwand nach einzelnen Suchobjekt-Klassen an einem Arbeitsplatz oder alle Suchaufwände, die während bestimmter Tätigkeiten aufgetreten sind. Die vertikale Datenaggregation aggregiert Informationen zu Suchaufwänden auf übergeordneten Organisations-Ebenen, indem sie z. B. den Suchaufwand an mehreren Arbeitssystemen zum Suchaufwand eines Produktionsbereichs addiert.

Grundsätzlich lässt sich so der Anteil des Suchaufwands an der Dauer der erfassten Produktionsprozesse bestimmen. Je nach Schwerpunkt der Analyse besteht die Möglichkeit, Suchaufwände für einzelne Produktionsbereiche, Tätigkeiten und für bestimmte Suchobjekt-Klassen zu bestimmen. Zusätzlich lassen sich ebenfalls die qualitativ erhobenen Ausprägungen der Einflussfaktoren aggregieren, indem diese für bestimmte Bereiche, Tätigkeiten und Suchobjekt-Klassen zusammengefasst werden.

Das Ziel der Datenaggregation ist es somit zum einen, innerhalb eines bestimmten Produktionsbereichs Tätigkeiten und Suchobjekte mit hohen Suchaufwänden zu identifizieren. Zum anderen kann die Aggregation der Informationen über die Zusammensetzung von Suchaufwänden dazu beitragen, Ansatzpunkte für geeignete Verbesserungsmaßnahmen aufzuzeigen.

5.1.2 Kennzahlen

Besonders relevante Informationen für die Analyse von Suchaufwänden sind die Häufigkeit, die mittlere Dauer und die Erfolgsrate der Suchvorgänge. Die grundlegende Berechnung dieser Größen wurde in Abschnitt 3.5 eingeführt. Für die Analyse von Suchaufwänden ist es darüber hinaus sinnvoll, diese Informationen einzelnen Bereichen, Tätigkeiten und Objekten zuzuordnen, um die Grundlage für konkrete Verbesserungsmaßnahmen zu schaffen. Die Auswertung von Suchphasen

und Einflussfaktoren kann darüber hinaus dazu beitragen, die Entstehung der Suchaufwände besser zu verstehen.

Suchaufwand für Organisationseinheiten

Suchvorgänge kommen in unterschiedlichsten Bereichen der Produktion vor. Für die Analyse von Suchaufwänden ist es daher wichtig, in einem ersten Schritt die Bereiche zu identifizieren, die einen besonders hohen Anteil an Suchtätigkeiten aufweisen. Zu diesem Zweck lassen sich die in der Datenerhebung erfassten Suchaufwände den Organisationseinheiten zuordnen, in denen sie entstehen (Formel 4-11). Mithilfe der vertikalen Datenaggregation ist es möglich, den Suchaufwand untergeordneter Einheiten zusammenzufassen, um den Suchaufwand mehrerer Organisationseinheiten auf gleicher Ebene zu vergleichen und besonders suchintensive Einheiten zu identifizieren.

Suchaufwand für Tätigkeits-Klassen

Das Vorgehen zur Datenerhebung sieht vor, Suchaufwände als Bestandteil bestimmter Tätigkeiten zu erfassen. Für übergeordnete Klassen der Tätigkeitshierarchie lässt sich der Suchaufwand beschreiben, indem die Einzelaufwände der untergeordneten Kategorien zusammengefasst werden.

$$SA_{kum,i,e} = \sum_{j=1}^r SA_{kum,j,e+1} \quad ; \quad e \geq 0 \quad 5-1$$

mit:

$SA_{kum,i,e}$: *kumulierter Suchaufwand der Tätigkeit i auf Ebene e [Min.]*

$SA_{kum,j,e+1}$: *kumulierter Suchaufwand für die der Tätigkeit i untergeordnete Tätigkeit j auf Ebene e+1 [Min.]*

r : *Anzahl der Tätigkeit i untergeordneten Tätigkeiten [-]*

Suchaufwand für Objekt-Klassen

Um den Suchaufwand für bestimmte Tätigkeiten weiter zu detaillieren, kann dieser in Einzelaufwände für bestimmte Suchobjekt-Klassen aufgeteilt werden. Das Suchobjekt ist von zentraler Bedeutung für die Beschreibung eines Suchvorgangs und ist Bestandteil jedes Erfassungssets. Auf Grundlage des Suchobjekts lässt sich der erfasste Suchaufwand in Aufwände für Materialsuchen und Aufwände für Informationssuchen sowie weiter entsprechend der Suchobjekthierarchie in Aufwände für einzelne Objekt-Klassen zusammenfassen.

$$SA_{kum,k,e} = \sum_{l=1}^r SA_{kum,l,e+1} \quad ; e \geq 0 \quad 5-2$$

mit:

- $SA_{kum,k,e}$: *kumulierter Suchaufwand für Suchobjekt-Klasse k auf Ebene e [Min.]*
 $SA_{kum,l,e+1}$: *kumulierter Suchaufwand für der Suchobjekt-Klasse k untergeordnete Suchobjekt-Klasse l auf Ebene e+1 [Min.]*
 r : *Anzahl der Suchobjekt-Klasse k untergeordnete Klassen [-]*

Suchanteil

Grundsätzlich lässt sich für jedes Element der Tätigkeitshierarchie ein Suchanteil bestimmen. Dieser beschreibt die kumulierte Suchdauer innerhalb einer Referenzperiode. So lässt sich der Suchanteil für einen Analysebereich als Verhältnis des insgesamt erfassten Suchaufwands und der gesamten Beobachtungsdauer berechnen.

$$AS_b = \frac{SA_{ges,b}}{Z_{ges,b}} \times 100\% \quad 5-3$$

mit:

- AS_b : *Suchanteil im Bereich b [%]*
 $SA_{ges,b}$: *gesamter erfasster Suchaufwand im Bereich b [Min.]*
 $Z_{ges,b}$: *gesamte Beobachtungsdauer im Bereich b [Min.]*

Analog dazu ist es möglich, den Suchanteil für einzelne Tätigkeiten als Verhältnis von erfasstem Suchaufwand zu der gesamten Beobachtungsdauer der Tätigkeit zu beschreiben. Der Anteil des Suchaufwands an einer Tätigkeit ist ein gutes Maß für die Bewertung von Potentialen und ermöglicht es, besonders suchintensive Tätigkeiten zu identifizieren

$$AS_i = \frac{SA_{ges,i}}{Z_{ges,i}} \times 100\% \quad 5-4$$

mit:

- AS_i : *Suchanteil der Tätigkeit i [%]*
 $SA_{ges,i}$: *gesamter erfasster Suchaufwand während Tätigkeit i [Min.]*
 $Z_{ges,i}$: *gesamte Beobachtungsdauer der Tätigkeit i [Min.]*

Da sich der gesamte Suchaufwand aus Einzelaufwänden für bestimmte Suchobjekte zusammensetzt (vgl. Formel 5-2), besteht ebenfalls die Möglichkeit, den Suchanteil für einzelne Suchobjekt-Klassen zu berechnen. Dazu ist der kumulierte Suchaufwand nur für eine bestimmte Objektkategorie zu bestimmen und anstelle des gesamten Suchaufwands in Formel 5-3 und 5-4 einzusetzen.

Erfolgsraten

Die Erfolgsrate ist eine besonders wichtige Kennzahl für die Reduzierung von Suchaufwänden, da sie es ermöglicht, den Umfang an erfolglosen Suchvorgängen zu beschreiben. Jeder erfolglose Suchvorgang ist im Idealfall vollständig vermeidbar und bietet daher ein besonders großes Potential für die Reduzierung von Suchaufwänden. Die mittlere Erfolgsrate bestimmt den Anteil an erfolgreichen Suchvorgängen, indem sie die Anzahl durchgeführter Suchdurchgänge in das Verhältnis zur Anzahl an Suchobjekten setzt (Formel 3-4). Sie kann für eine beliebige Kombination von Tätigkeits- und Objekt-Klasse bestimmt werden.

$$ER_{i,k} = \frac{m_{i,k}}{SH_{i,k}} \quad 5-5$$

mit:

$ER_{i,k}$: Erfolgsrate für Tätigkeit i und Suchobjekt-Klasse k $\{0 < ER \leq 1\}$

$m_{i,k}$: Anzahl Suchobjekte für Tätigkeit i und Suchobjekt-Klasse k [-]

$SH_{i,k}$: Suchhäufigkeit für Tätigkeit i und Suchobjekt-Klasse k [-]

Ausprägung von Suchphasen

Um die Zusammensetzung bestimmter Suchaufwände detaillierter zu beschreiben, lassen sich die Ausprägungen der Suchphasen im Rahmen einer Detailanalyse untersuchen. Da sich Suchaufwände aus Suchvorgängen und diese wiederum aus Suchphasen zusammensetzen (vgl. Abschnitt 3.5), kann der Anteil der einzelnen Suchphasen am gesamten Suchaufwand einfach berechnet werden. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die entsprechenden Daten im Rahmen einer Detailanalyse erhoben wurden.

$$SP_{p,m,i,k} = \frac{\sum_{n=0}^{SH_{i,k}} SP_{p,i,k,n}}{SH_{i,k}} \quad 5-6$$

mit:

$SP_{p,m,i,k}$: mittlere Dauer der Suchphase p für Suchobjekt-Klasse o und Tätigkeit i [Min.]

$SP_{p,i,k,n}$: Dauer der Suchphase p für Suchobjekt-Klasse o und Tätigkeit i in Suchdurchgang n [Min.]

$SH_{i,k}$: Suchhäufigkeit für Suchobjekt-Klasse o und Tätigkeit i [-]

Die Zusammensetzung des Suchaufwands einer beliebigen Tätigkeits-Objekt-Kombination stellt wichtige Informationen darüber bereit, in welchen Suchphasen der Großteil des Suchaufwands entstanden ist. So kann ein großer Anteil einzelner Phasen bereits erste Ansatzpunkte für die Beschreibung geeigneter Verbesserungsmaßnahmen liefern. Beispielsweise lässt ein großer Anteil der Phase *Bewegung zum Aufenthaltsort* darauf schließen, dass eine Bereitstellung der Suchobjekte am Bedarfsort einen Großteil des Suchaufwands reduzieren kann.

Bewertung von Einflussfaktoren

Die Detailanalyse ermöglicht es dem Anwender, Informationen über die Ausprägung bestimmter Einflussfaktoren zu erheben. Die mittlere Ausprägung eines Einflussfaktors für den Suchaufwand einer beliebigen Tätigkeits-Objekt-Kombination lässt sich als Mittelwert der Ausprägung aller im Rahmen der Detailanalyse aufgenommenen Suchvorgänge bestimmen. Unter der Annahme, dass die Ausprägung der einzelnen Einflussfaktoren entweder gut (+1) oder schlecht (-1) ist, kann die mittlere Ausprägung eines Einflussfaktors ebenfalls nur einen Wert zwischen null und eins annehmen.

$$EF_{e,m,k,i} = \frac{\sum_{n=1}^{SH_{i,k}} EF_{e,k,i,n}}{SH_{k,i}} \quad 5-7$$

mit:

$EF_{e,m,i,k}$: mittlere Ausprägung des Einflussfaktors e für Suchobjekt-Klasse k und Tätigkeit i
 $\{-1 \leq EF_{e,m,i,k} \leq 1\}$

$EF_{e,i,k,n}$: Ausprägung des Einflussfaktors e für Suchobjekt-Klasse k und Tätigkeit i in
Suchdurchgang n $\{0 \leq EF_{e,i,k,n} \leq 1\}$

$SH_{i,k}$: Suchhäufigkeit für Suchobjekt-Klasse k und Tätigkeit i [-]

Die Informationen über die Ausprägung der Einflussgrößen einzelner Suchaufwände für bestimmte Tätigkeit-Objekt-Kombinationen sind dazu geeignet, die Ursachen für das Auftreten von Suchaktivitäten zu identifizieren. So könnte beispielsweise der Suchaufwand nach Konstruktionsinformationen während einer Prüftätigkeit durch das Sichten unsortierter und unstrukturierter Dokumente gekennzeichnet sein. Die Strukturierung und Sortierung der Informationen wäre somit ein geeigneter Ansatz, um den Suchaufwand zu reduzieren.

5.1.3 Darstellung von Analysen

Das Ziel der Datenvisualisierung ist es, vorhandene Produktivitätspotentiale durch eine einfache und übersichtliche Darstellung aufzuzeigen. Die im Folgenden beschriebenen Diagramme und Ranglisten können dazu genutzt werden, die Ergebnisse der Analyse von Suchaufwänden einfach und verständlich darzustellen.

Gestapelte Balkendiagramme

Gestapelte Balkendiagramme stellen im Allgemeinen die Beiträge einzelner Kategorien zu einem Gesamtwert in einer bestimmten Reihenfolge dar. Für die Analyse von Suchaufwänden bieten sie die Möglichkeit, den absoluten Suchaufwand als Bestandteil der insgesamt erfassten Arbeitszeit darzustellen. Die Gegenüberstellung mehrerer Darstellungen erlaubt es zudem, den absoluten Suchaufwand unterschiedlicher Bereiche oder Tätigkeiten zu vergleichen (Abbildung 5-1). Gleichzeitig ermöglicht die Darstellungsform es, neben dem absoluten Suchaufwand auch den Suchanteil der entsprechenden Bezugsperiode abzuschätzen.

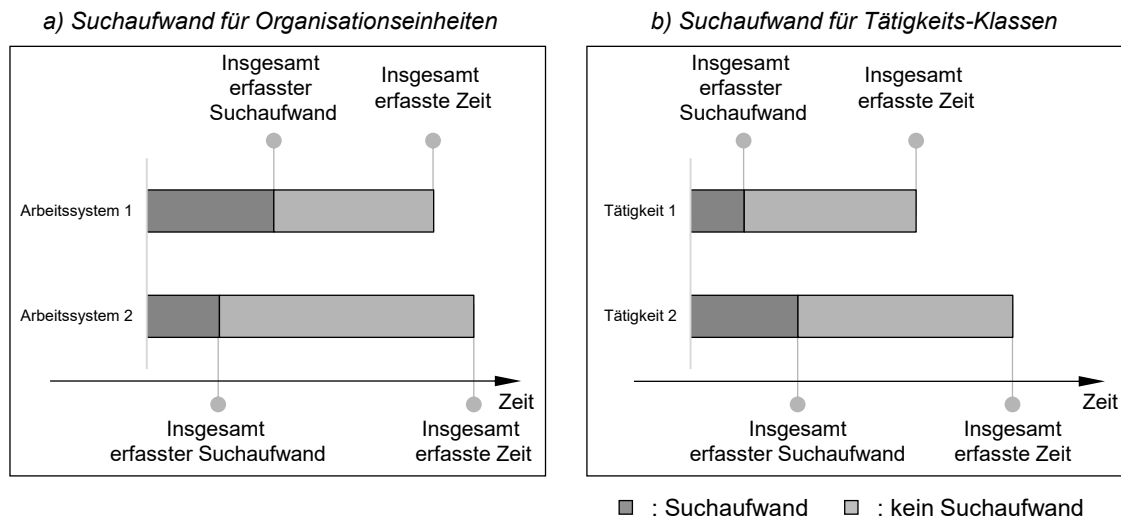


Abbildung 5-1: Gestapelte Balkendiagramme zur Darstellung des Suchaufwands

Kreisdiagramme

Kreisdiagramme visualisieren die Bestandteile einer Gesamtheit und eignet sich daher besonders gut für die Darstellung prozentualer Anteile. Für die Analyse von Suchvorgängen können sie die Zusammensetzung von Suchaufwänden übersichtlich darstellen.

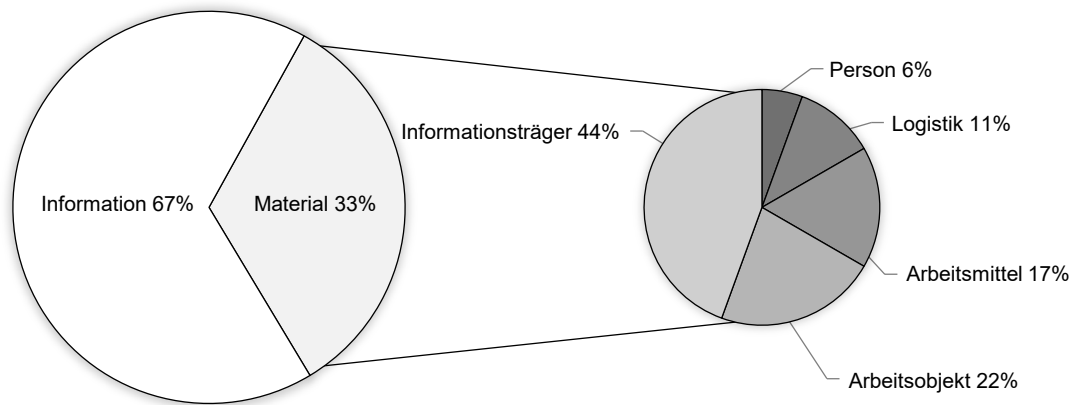


Abbildung 5-2: Kreisdiagramm zur Darstellung erfasster Suchobjekte

So ermöglichen sie es beispielsweise, auf einfache und übersichtliche Art darzustellen, welche Suchobjekt-Klassen für welchen Anteil des gesamten Suchaufwands verantwortlich sind. Im Beispiel von Abbildung 5-2 entfällt ein Drittel des Suchaufwands auf die Suche nach materiellen Objekten (linke Darstellung). Sofern sich eine Kategorie innerhalb eines Kreisdiagramms wiederum in einzelne Bestandteile aufteilen lässt, besteht zusätzlich die Möglichkeit, auch diese Zusammensetzung mithilfe eines weiteren Kreisdiagramms abzubilden (Abbildung 5-2 rechts). Im

Beispiel entfallen 44 % des Suchaufwands der Materialsuche auf die Suche nach Informations-trägern.

Blasendiagramme

Blasendiagramme stellen die Verteilung mehrerer Datensätze dar und visualisieren gleichzeitig deren Verhältnis zueinander. Jeder Datensatz wird durch drei Größen beschrieben, wobei zwei Messgrößen die Position des Punktes innerhalb eines kartesischen Koordinatensystems bestimmen. Die dritte Messgröße legt die Fläche der Blase fest, sodass sich die einzelnen Datensätze in drei Dimensionen miteinander vergleichen lassen.

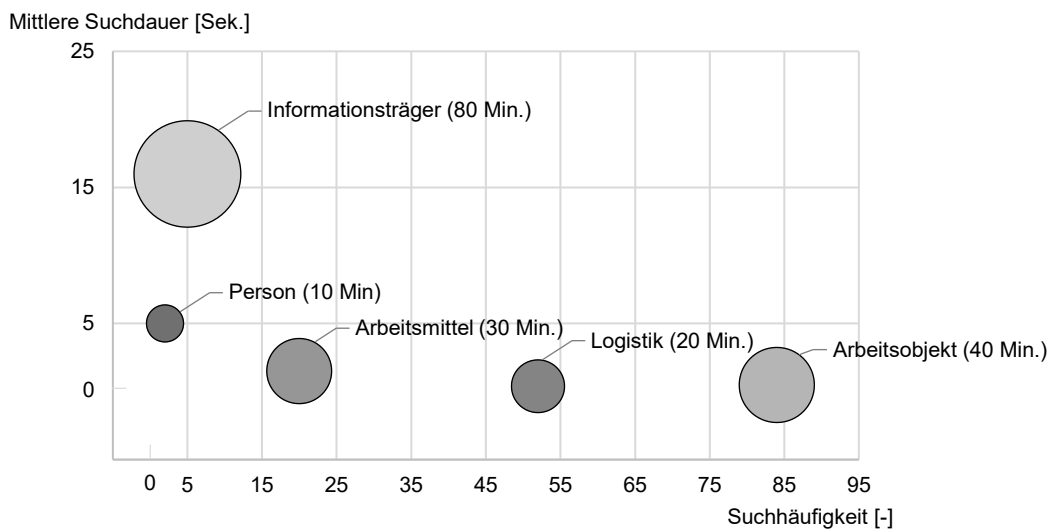


Abbildung 5-3: Blasendiagramm zur Darstellung des Suchaufwands

Die aus dem Beispiel bekannten Daten sind in Abbildung 5-3 in Form eines Blasendiagramms dargestellt. Die horizontale Achse stellt die Suchhäufigkeit, die vertikale Achse die mittlere Suchdauer der jeweiligen Suchobjekt-Klassen dar. Anhand der Blasengröße sind die relativen Anteile am gesamten Suchaufwand aus Abbildung 5-2 zu erkennen. Damit eignet sich die Darstellung von Suchaufwänden in einem Blasendiagramm besonders gut dazu, den Umfang einzelner Suchaufwände übersichtlich darzustellen und gleichzeitig zu analysieren, inwieweit die Häufigkeit oder die mittlere Dauer der Suchvorgänge zum Suchaufwand beitragen. Im Beispiel entsteht der größte Suchaufwand (80 Minuten) bei der Suche nach Informationsträgern, die eher selten auftritt, bei jeder einzelnen Suche aber verhältnismäßig viel Zeit in Anspruch nimmt. Der zweithöchste Suchaufwand (40 Minuten) hingegen entsteht durch die sehr häufige Suche von Arbeitsobjekten mit einer kurzen mittleren Suchdauer.

Ranglisten

Ranglisten erlauben es, den in Abbildung 5-3 dargestellten Sachverhalt in einer weiteren Darstellungsform abzubilden. Dazu sind die einzelnen Suchobjektkategorien entsprechend ihres gesam-

ten Suchaufwands zu sortieren und, wie in Abbildung 5-4 dargestellt, gegenüberzustellen. Vorteile von Ranglisten sind die einfache Erstellung, die Möglichkeit, unterschiedliche Informationen zu integrieren sowie eine gute Vergleichbarkeit der einzelnen Datensätze. So sind beispielsweise bereits geringfügige Unterschiede des Suchaufwands auf Grundlage des Rangs direkt zu erkennen.

Rang	Suchobjekt	Mittlere Dauer [Min]	Häufigkeit [-]	Suchaufwand [Min]	Anteil [%]
1	Informationsträger	16,0	5	80	44 %
2	Arbeitsobjekt	0,5	84	40	22 %
3	Arbeitsmittel	1,5	20	30	17 %
4	Logistik	0,4	52	20	11 %
5	Person	5,0	2	10	6 %

Abbildung 5-4: Rangliste zur Darstellung des Anteils am gesamten Suchaufwand

Graphische Einstufungsskala

Einstufungen stellen kriteriumsbezogene Beurteilungen bestimmter Aussagen durch Personen dar. Dabei lassen sich für jede zu beurteilende Aussage eigene Skalen mit diskreten Ausprägungen definieren [NERD14, S. 279]. Indem jeder Ausprägung ein numerischer Wert zugeordnet wird, ist es möglich, mehrere Beurteilungen einer Aussage mithilfe eines Mittelwerts zusammenfassen. Abbildung 5-5 zeigt die graphische Darstellung der mehrfachen Beurteilung von Einflussfaktoren einer Materialsuche. Die positive Ausprägung eines Einflussfaktors entspricht dem Wert 1, eine negative Ausprägung dem Wert -1.

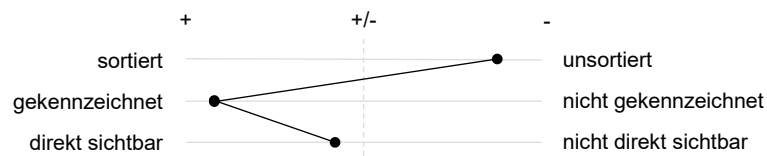


Abbildung 5-5: Graphische Einstufungsskala für Einflussfaktoren (Materialsuche)

Die Darstellungsform erlaubt es, die Ausprägung der einzelnen Einflussfaktoren direkt zu vergleichen, um zu erkennen, welche Faktoren das größte Potential für Verbesserungsmaßnahmen aufweisen. Im Beispiel deutet insbesondere der erste Einflussfaktor auf ein Potential hin, da dieser die höchste negative Ausprägung aufweist.

5.2 Bewertung der Ergebnisgüte

Für die Auswertung und Interpretation der Analyseergebnisse ist es wichtig, die Ergebnisgüte einschätzen zu können. Dazu ist zum einen die statistische Aussagewahrscheinlichkeit zu bewerten, die Aufschluss darüber gibt, inwieweit die ermittelten Ergebnisse auf die Grundgesamtheit der untersuchten Prozesse übertragbar sind. Zum anderen ist zu bewerten, wie groß der Abdeckungs- und Erfassungsgrad von Tätigkeiten bzw. Suchaufwänden ist.

Statistische Aussagewahrscheinlichkeit

Für die Bewertung von Suchaufwänden kann es von Interesse sein, die statistische Aussagekraft der erfassten Daten zu ermitteln. Insbesondere für die Übertragung der in Stichproben erfassten Suchaufwände auf die gesamte bezahlte Arbeitszeit ist es wichtig, die statistische Aussagekraft beziehungsweise den Vertrauensbereich der Analyseergebnisse zu bestimmen. Das Ziel einer statistischen Auswertung der Analyseergebnisse ist es, zu bewerten, inwieweit diese auf die Grundgesamtheit der Prozesse innerhalb des Analysebereichs zu übertragen sind. Dazu ist in einem ersten Schritt zu untersuchen, ob für die erfassten Daten eine Normalverteilung angenommen werden kann. Je unterschiedlicher die erfassten Suchvorgänge sind, desto wahrscheinlicher ist es, dass deren Verteilung nicht der Normalverteilung entspricht. Insbesondere die häufig sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen für die Suche nach bestimmten Suchobjekten (beispielsweise sehr unterschiedliche Entfernungen zum Aufenthaltsort) führen dazu, dass sich die mittleren Suchzeiten je nach Suchobjekt stark voneinander unterscheiden können. Somit ist es in einem ersten Schritt notwendig, die Daten hinsichtlich eines möglichst spezifischen Suchaufwands zu filtern. In einem zweiten Schritt ist zu überprüfen, ob die Verteilung der ausgewählten Datenmenge annähernd einer Normalverteilung entspricht. Dazu können die in Abschnitt 2.4.4 beschriebenen Anpassungstests verwendet werden. Sofern eine annähernde Normalverteilung nachgewiesen wurde, ist es möglich, den Vertrauensbereich nach Formel 2-6 zu bestimmen. Dazu sind der Mittelwert sowie die Standardabweichung der Stichprobe zu bestimmen und eine Fehlerwahrscheinlichkeit zu wählen. Ein typischer Wert für die Fehlerwahrscheinlichkeit ist 5 %.

Liegt der absolute Vertrauensbereich für einen spezifischen Suchaufwand vor, kann es für die Bewertung der Ergebnislage hilfreich sein, den relativen Vertrauensbereich zu berechnen. Dieser lässt sich als Verhältnis des Streumaßes des absoluten Vertrauensbereichs zum Stichprobenmittelwert berechnen [vgl. LOTT12, S. 95], [HALL69, S. 37] und ermöglicht eine bessere Einschätzung der Streuung der Daten.

$$\varepsilon = \pm \frac{|f|}{\bar{x}} \times 100\% \quad 5-8$$

mit:

- ε : *relativer Vertrauensbereich [%]*
- f : *Streumaß des absoluten Vertrauensbereichs [Min.]*
- \bar{x} : *Mittelwert der Stichprobe [Min.]*

Sofern sich für die zugrundeliegenden Daten eines Suchaufwands keine annähernde Normalverteilung nachweisen lässt, eignet sich Formel 5-8 allerdings nicht, um ein Vertrauensintervall zu bestimmen. In diesem Fall ist eine statistisch gesicherte Übertragung der Analyseergebnisse auf die Grundgesamtheit der beobachteten Prozesse nicht ohne weiteres möglich. Dennoch können die entsprechenden Analyseergebnisse wertvolle Informationen über den beobachteten Ist-Zustand liefern und dazu beitragen, Suchaufwände zu reduzieren. Es ist davon auszugehen, dass ein beobachteter Suchvorgang in den seltensten Fällen ein einmaliges Ereignis darstellt und damit ein

erneutes Auftreten in der Zukunft wahrscheinlich ist. Da jeder Suchaufwand ein Potential für Produktivitätsverbesserungen darstellt, besteht somit die Möglichkeit, Analyseergebnisse auch ohne statistische Aussagekraft für die Ableitung und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen zu nutzen.

Abdeckungsgrad

Eine weitere Möglichkeit, die Aussagekraft der Analyseergebnisse zu bewerten, ist es, den Abdeckungsgrad der erfassten Zeit im Hinblick auf die gesamte Anwesenheitszeit im Analysebereich zu bestimmen. Dazu ist die im Rahmen der Analyse insgesamt in einem Bereich erfasste Zeit der gesamten Anwesenheitszeit in diesem Bereich gegenüberzustellen [vgl. CZUM13, S. 56].

$$AG_b = \frac{Z_{e,b}}{Z_{anw,b}} \times 100\% = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{i,kum,b}}{Z_{anw,b}} \times 100\% \quad 5-9$$

mit:

AG_b : Abdeckungsgrad der bezahlten Arbeitszeit in Bereich b [%]

$Z_{e,b}$: erfasste Arbeitszeit in Bereich b [Min.]

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

$Z_{i,kum,b}$: kumulierte Dauer der Tätigkeit i in Bereich b [Min.]

n : Anzahl in Bereich b definierter Tätigkeiten [-]

Ein hoher Abdeckungsgrad ist die Voraussetzung für eine möglichst vollständige Erfassung von Suchaufwänden. Die nicht erfasste Zeit ergibt sich in der Regel aus:

- Einer begrenzten Kapazität für die Zeiterfassung von Tätigkeiten.
- Einem hohen Anteil an unregelmäßig auftretenden Tätigkeiten, deren Einzeldauern nicht mithilfe eines Multiplikators auf die gesamte bezahlte Arbeitszeit übertragen werden können.
- Tätigkeiten, die aufgrund einer unvollständigen Tätigkeitshierarchie nicht zugeordnet werden können.

Im Vergleich zu vielen anderen Mitarbeiterzuständen treten Suchvorgängen in vielen Unternehmen wesentlich unregelmäßiger in Häufigkeit und Dauer auf. Außerdem kann es vorkommen, dass Suchvorgänge während der Analyse nicht eindeutig einer Suchobjekt-Klasse zugeordnet werden können (unvollständige Suchobjekthierarchie) oder Suchvorgänge nicht als solche zu erkennen sind. Vor diesem Hintergrund lassen sich Idealbedingungen für die Durchführung der Analyse definieren:

- Es sind genügend Kapazitäten für Zeitaufnahmen vorhanden, um die bezahlte Arbeitszeit möglichst vollständig zu erfassen.
- Die Rahmenbedingungen im Untersuchungsbereich und im Erfassungszeitraum unterscheiden sich nicht von den typischen Bedingungen.

- Alle auftretenden Tätigkeiten sind definiert und gut zu erkennen.

In der Praxis sind diese Voraussetzungen in der Regel nur unvollständig erfüllt. Somit ist ein Abdeckungsgrad von 100 % kaum zu erreichen. Darüber hinaus ist zu beachten, dass der Abdeckungsgrad nur ein Indiz für die Güte der Analyseergebnisse sein kann, da er keine Aussage über den Anteil nicht erfasster Suchaufwände innerhalb der erfassten Arbeitszeit zulässt.

Erfassungsgrad

Der Erfassungsgrad schätzt ab, in welchem Umfang die im Analysezeitraum tatsächlich aufgetretenen Suchvorgänge aufgenommen werden konnten. Er lässt sich aufgrund fehlender Informationen über den tatsächlich vorhandenen gesamten Suchaufwand nur qualitativ bewerten. Dazu lassen sich drei Idealbedingungen für die umfassende Erhebung von Suchaufwänden innerhalb der erfassten Arbeitszeit definieren:

- Alle relevanten Suchvorgänge treten im Untersuchungszeitraum auf (Idealbedingung 1).
- Alle Suchobjekte sind definiert (Idealbedingung 2).
- Jeder Suchvorgang ist eindeutig zu erkennen und genau zu erfassen (Idealbedingung 3).

In der Praxis kommen Suchvorgänge in der Regel in sehr unterschiedlicher Form vor, sodass davon auszugehen ist, dass die genannten Bedingungen häufig nicht vollständig erfüllt sind und somit nicht alle Suchvorgänge erkannt werden können. Die Idee ist daher, dass die Prozessbeteiligten und die Methoden Anwender jede der Idealbedingungen prozentual abschätzen. So kann beispielsweise auf Grundlage der Erfahrung von Prozessbeteiligten bewertet werden, in welchem Umfang es Suchvorgänge und Suchobjekte gibt, die in der Analyse nicht erfasst wurden (Idealbedingung 1 und 2). Die Methoden Anwender können darüber hinaus bewerten, ob Schwierigkeiten aufgetreten sind, Suchvorgänge zu erkennen, einzuordnen oder zu erfassen (Idealbedingung 3). Um den Erfassungsgrad quantitativ beschreiben zu können, bietet es sich an, die drei Idealbedingungen anhand ihrer Ausprägung von 0 bis 100 % zu bewerten. Der gesamte Erfassungsgrad ergibt sich dann als Mittelwert der drei Bedingungen:

$$EG = \frac{IB_1 + IB_2 + IB_3}{3} \quad 5-10$$

mit:

EG : Erfassungsgrad innerhalb des Analysezeitraums [%]

IB_1 : Ausprägung der Idealbedingung 1 (Auftreten relevanter Suchvorgänge) [%]

IB_2 : Ausprägung der Idealbedingung 2 (vollständige Definition der Suchobjekte) [%]

IB_3 : Ausprägung der Idealbedingung 3 (Eindeutige Erkennung der Suchvorgänge) [%]

5.3 Software-Demonstrator für die automatisierte Auswertung

Die Web-App unterstützt die automatisierte Auswertung und Visualisierung der suchrelevanten Daten. Dadurch entfällt der Aufwand für die Datenauswertung und die Ergebnisse können unmittelbar visualisiert werden.

Grundsätzlich lässt sich die Datenvisualisierung in zwei Bereiche einteilen: die Grobanalyse und die Detailanalyse.

Visualisierung der Ergebnisse der Grobanalyse

Der erste Bereich der Datenvisualisierung (Abbildung 5-6) fasst die Ergebnisse der Grobanalyse zusammen, indem diese für die Auswahl eines Bereichs sowie einer beliebigen Tätigkeits-Objekt-Kombination gefiltert werden. Der Bereich *Stichprobenumfang* oben rechts stellt zum einen die auf die Auswahl bezogene Beobachtungsdauer und zum anderen die Anzahl erfasster Suchvorgänge dar. Unten sind die Anteile des Suchaufwands an der erfassten Arbeitszeit abgebildet. Die Visualisierung in Form gestapelter Balkendiagramme stellt die Ergebnisse für einzelne Analysebereiche (links) und für die erfassten Tätigkeiten (rechts) gegenüber. Durch die Auswahl eines Bereichs bzw. einer Tätigkeitskategorie ermöglicht das Dashboard es, die untergeordneten Bereiche bzw. Kategorien auf gleiche Weise zu visualisieren. Diese Funktion erlaubt es dem Anwender, die Daten vom Groben zum Feinen zu filtern und die Bereiche und Tätigkeiten zu identifizieren, die einen hohen Suchaufwand aufweisen.

5. Analyse und Auswertung von Suchzuständen

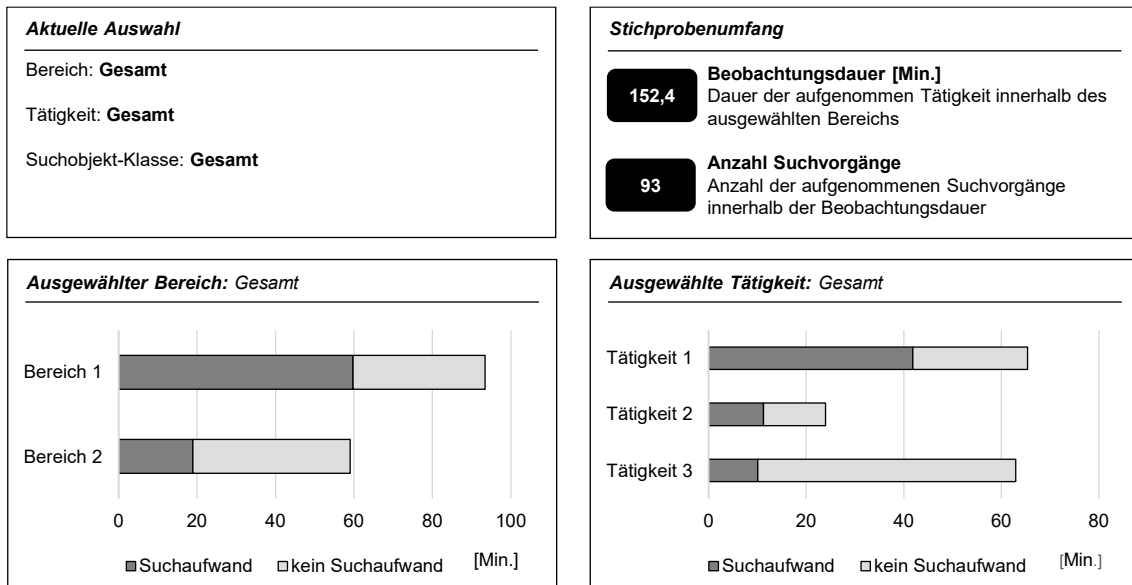


Abbildung 5-6: Überblick Grobanalyse und Visualisierung des Suchaufwands

Abbildung 5-7 stellt die Auswertung der Analyseergebnisse für den zuvor ausgewählten Bereich und die ausgewählte Tätigkeitskategorie dar und zeigt die prozentualen Anteile des relativen Suchaufwands (links), die absoluten Aufwände (Mitte) sowie die Suchhäufigkeit und -dauer (rechts) der einzelnen Suchobjektkategorien. Der Anwender kann die Ergebnisse auch hier durch die Auswahl einer Kategorie weiter filtern und so einzelne Suchobjektkategorien mit einem besonders hohen Suchaufwand identifizieren.

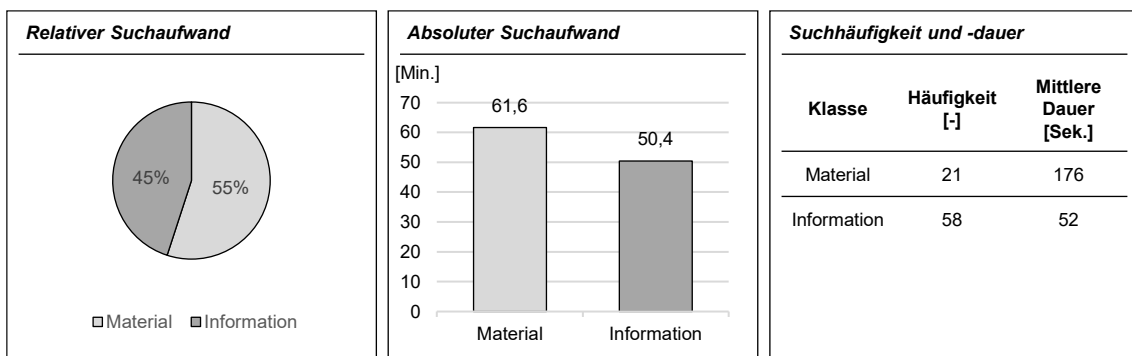


Abbildung 5-7: Visualisierung der Suchobjektkategorien

Die Darstellung der Suchhäufigkeit und der mittleren Suchdauer in Form eines Blasendiagramms (Abbildung 5-8) soll zusätzlich dazu beitragen, das Verständnis für die Entstehung des Suchaufwands weiter zu vertiefen. Mithilfe der Darstellung kann der Anwender direkt erkennen, inwieweit ein Suchvorgang durch die Häufigkeit bzw. die mittlere Dauer der erfassten Suchvorgänge entsteht.

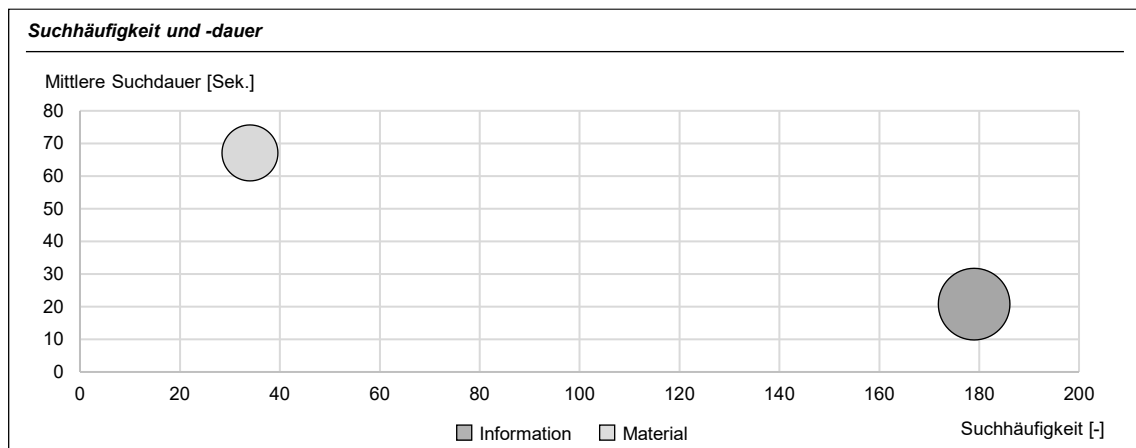


Abbildung 5-8: Darstellung der Suchhäufigkeit und der mittleren Suchdauer

Insgesamt sollen die beschriebenen Visualisierungen der Ergebnisse der Grobanalyse es ermöglichen, den Suchaufwand innerhalb des Analysebereichs zu quantifizieren. Außerdem kann die Funktionalität, den Suchaufwand für bestimmte Bereiche, Tätigkeiten und Objekte zu filtern, dazu beitragen, besonders relevante Handlungsfelder für die Reduzierung von Suchaufwänden zu identifizieren.

Visualisierung der Ergebnisse der Detailanalyse

Der zweite Bereich der Ergebnisvisualisierung fasst die Ergebnisse aller Suchvorgänge zusammen, die in Detailanalysen aufgenommen wurden (Abbildung 5-9). Dazu stellt der Bereich *Stichprobenumfang* (links) die aktuelle Auswahl des Bereichs sowie der Tätigkeits-Objekt-Kombination dar und nennt die Anzahl der innerhalb der Auswahl erfassten Detailaufnahmen.

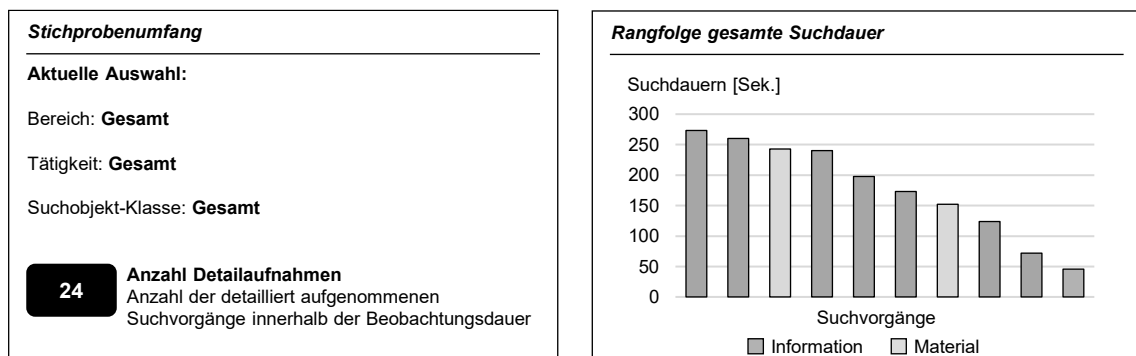


Abbildung 5-9: Überblick Detailanalyse und Rangfolge erfasster Suchvorgänge

Zusätzlich erfolgt die Visualisierung der 10 längsten Suchdauern in absteigender Reihenfolge und unter Angabe der jeweiligen Suchobjektkategorie. Auf diese Weise lassen sich besonders lange Suchvorgänge einfach identifizieren.

Im Anschluss erfolgt die Bewertung der Einflussfaktoren durch die Visualisierung der jeweiligen Ausprägung (Abbildung 5-10). Für jeden Einflussfaktor wird die mittlere Ausprägung durch ei-

5. Analyse und Auswertung von Suchzuständen

nen Punkt auf der entsprechenden diskreten Ratingskala (positive Ausprägung/negative Ausprägung) dargestellt. Im linken Bereich von Abbildung 5-10 ist beispielsweise zu erkennen, dass der Aufenthaltsort des Suchobjektes überwiegend bekannt, das Suchobjekt am Aufenthaltsort aber nie direkt sichtbar ist. Zusätzlich stellt das Dashboard im rechten Bereich von Abbildung 5-10 eine Auswertung der mittleren Häufigkeit und der mittleren Dauer der erfassten Suchphasen dar.

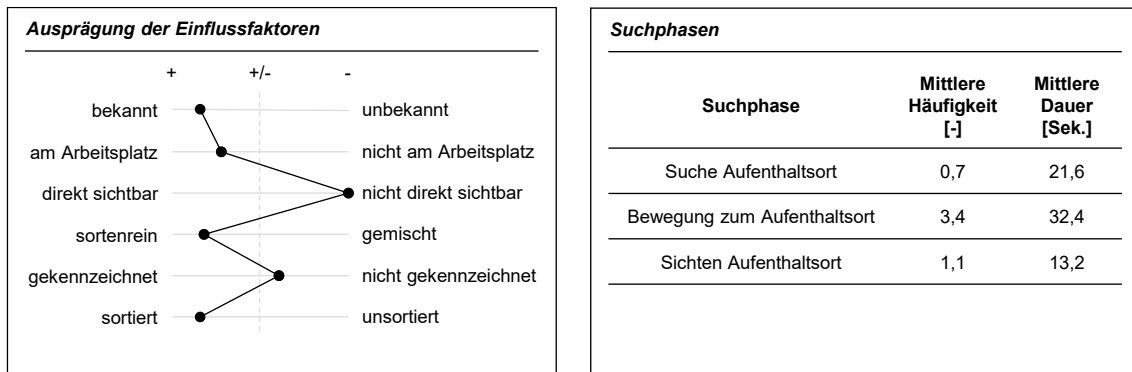


Abbildung 5-10: Auswertung der Einflussfaktoren sowie der Suchphasen

Abschließend stellt ein Balkendiagramm über alle Suchvorgänge den mittleren Suchaufwand je Suchphase dar (Abbildung 5-11). Dies ermöglicht es, den Suchaufwand der einzelnen Phasen einfach zu vergleichen und besonders zeitaufwändige Phasen zu identifizieren. Zusätzlich visualisiert ein Blasendiagramm die mittlere Anzahl und die mittlere Dauer der einzelnen Suchphasen für einen Suchvorgang. Eine mittlere Häufigkeit von über 1 deutet dabei darauf hin, dass die entsprechende Phase teilweise erfolglos abgebrochen und erneut durchlaufen werden musste, um das Suchobjekt zu finden. Dabei ist zu beachten, dass es in der Praxis vorkommen kann, dass einzelne Phasen eines Suchvorgangs so kurz sind, dass es nicht möglich ist, sie mithilfe der Analysemerkmale zu erfassen. Dennoch erscheint die mittlere Häufigkeit als ein guter Indikator, um die Erfolgsquote abzuschätzen.

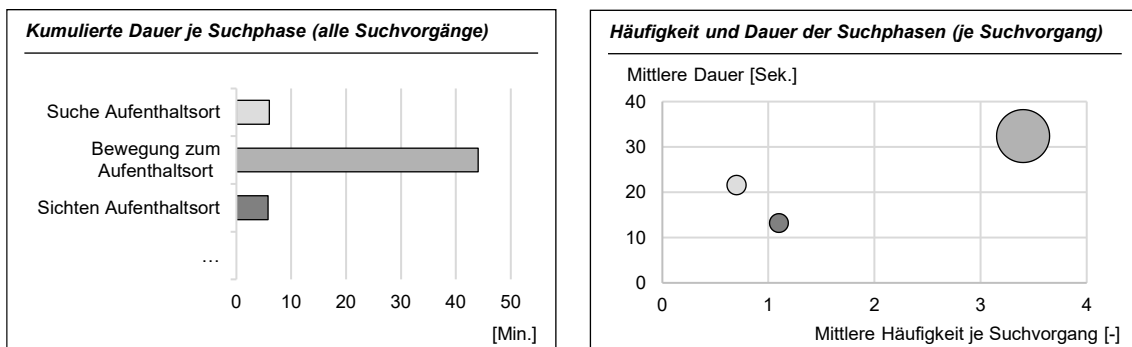


Abbildung 5-11: Häufigkeit und Dauer der Suchphasen

6 Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen

Die Reduzierung von Suchaufwänden ist ein wichtiger Stellhebel, um Verschwendung zu vermeiden und die Produktivität einer Produktion zu steigern. Im Wesentlichen lassen sich Suchaufwände auf zwei Arten reduzieren: Zum einen kann die Häufigkeit und zum anderen die Dauer von Suchvorgängen verringert werden.

Das folgende Kapitel stellt ein Verbesserungsvorgehen vor, das aus den Analyseergebnissen in vier Schritten systematisch geeignete Verbesserungsmaßnahmen ableitet:

- Auswahl von Handlungsfeldern (Abschnitt 6.1)
- Ursachenanalyse (Abschnitt 6.2)
- Ableitung und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen (Abschnitt 6.3)
- Bewertung umgesetzter Verbesserungsmaßnahmen (Abschnitt 6.4)

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte erläutert.

6.1 Auswahl von Handlungsfeldern

Suchvorgänge lassen sich in erster Linie durch das entsprechende Suchobjekt beschreiben. Allerdings können sich selbst Suchvorgänge nach gleichen oder sehr ähnlichen Suchobjekten in der Praxis stark voneinander unterscheiden und damit auch unterschiedliche Verbesserungsmaßnahmen erfordern. Daher ist es für die Auswahl wirksamer Verbesserungsmethoden wichtig, möglichst detaillierte Handlungsfelder zu beschreiben, in denen die Bedingungen für die einzelnen Suchvorgänge möglichst ähnlich sind. Die Definition eines Handlungsfelds soll die Aussagefähigkeit der Analyseergebnisse erhöhen und die Auswahl wirksamer Verbesserungsmaßnahmen ermöglichen.

Ein Handlungsfeld beschreibt den insgesamt erfassten Suchaufwand für einen Produktionsbereich, eine bestimmte Tätigkeitskategorie sowie für eine Suchobjektkategorie. Zur systematischen Beschreibung eines Handlungsfelds bietet sich daher ein dreistufiges Vorgehen an:

1. *Auswahl eines suchintensiven Produktionsbereichs:* Auswahl eines Bereichs, für den ein hoher Suchaufwand ermittelt wurde. Zu diesem Zweck besteht die Möglichkeit, die Analyseergebnisse einzelner Aufnahmebereiche gegenüberzustellen und zu vergleichen.
2. *Auswahl einer suchintensiven Tätigkeitskategorie:* Innerhalb des ausgewählten Bereichs ist im Anschluss eine Tätigkeitskategorie auszuwählen, für die der Suchanteil gesenkt werden soll. Hierzu bietet es sich an, die Analyseergebnisse der Tätigkeitskategorien auf gleicher Strukturierungsebene zu vergleichen und aufgrund des absoluten oder relativen Suchaufwands zu bewerten.
3. *Auswahl einer suchintensiven Objektkategorie:* Im letzten Schritt ist dann eine Suchobjektkategorie auszuwählen, die für einen besonders großen Anteil des Suchaufwands verantwortlich

ist. Dazu sind die Analyseergebnisse für den ausgewählten Bereich und die ausgewählte Tätigkeits-Klasse im Hinblick auf auffällige Suchobjektkategorien zu filtern. Dabei sind Suchobjekt-Klassen zu identifizieren, die zu besonderen Suchaufwänden geführt haben.

Je genauer die Auswahl jedes einzelnen Bestandteils erfolgt, desto besser können die Analyseergebnisse für die Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen genutzt werden. Daher kann es von Vorteil sein ein großes Handlungsfeld in mehrere kleinere und damit detailliertere Handlungsfelder aufzuteilen, um diese dann individuell zu verbessern.

6.2 Ursachenanalyse

Ein einfaches Vorgehen soll es für jedes Handlungsfeld ermöglichen, systematisch Ursachen für den erfassten Suchaufwand zu identifizieren. Dazu sind in einem ersten Schritt die Merkmale des Suchaufwands mit denen eines idealen Suchvorgangs zu vergleichen. Ein idealer Suchvorgang zeichnet sich dadurch aus, dass sich der Suchaufwand auf ein nicht vermeidbares Minimum begrenzt. Dies ist der Fall, wenn der Aufenthaltsort bzw. der Informationsträger bekannt (Erfolgsquote = 1) und direkt am Bedarfsort zugänglich ist und das Suchobjekt ohne Aufwand direkt zu identifizieren ist. Somit lassen sich drei wesentliche Merkmale bewerten, die Abweichungen vom Idealprozess aufzeigen (vgl. Abbildung 6-1):

1. Bekanntheit des Aufenthaltsorts bzw. Informationsträgers (Erfolgsquote)
2. Aufenthaltsort des Suchobjekts bzw. Zugang zum Informationsträger
3. Aufwand für das Sichten des Aufenthaltsorts bzw. Informationsträgers

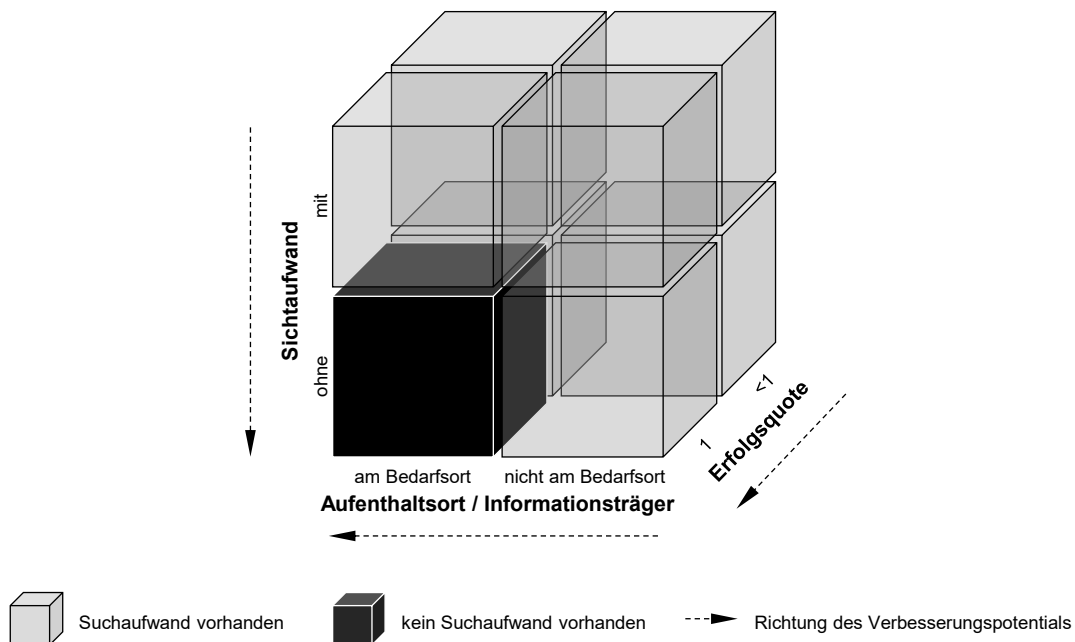


Abbildung 6-1: Systematik zur Charakterisierung von Suchaufwänden

Eine Bewertung dieser Merkmale wird durch die Analyseergebnisse der entwickelten Methode unterstützt. Insbesondere die Analyse der Suchphasen sowie die Ausprägungen der Einflussfaktoren erlauben es, die einzelnen Merkmale zu bewerten. Eine entsprechende Zuordnung von charakteristischen Analyseergebnissen der Suchphasen und Einflussfaktoren zu den Bewertungsmerkmalen ist in Tabelle 6-1 dargestellt.

Tabelle 6-1: Zuordnung der Einflussfaktoren zu den Merkmalen von Suchvorgängen

	Merkmals	Charakteristika einzelner Suchphasen	Einflussfaktor
Material	1. Erfolgsquote	– Mittlere Häufigkeit mindestens einer Suchphase > 1	Bekanntheit Aufenthaltsort
	2. Aufenthaltsort	– Lange kumulierte Dauer der Phase Suche Aufenthaltsort	(Informationssuche)
		– Lange kumulierte Dauer der Phase Bewegung zum Aufenthaltsort	Entfernung zum Suchobjekt
3. Sichtaufwand	– Lange kumulierte Dauer der Phase Sichten (Aufenthaltsort)	Sichtbarkeit	
		andere Objekte	
		Kennzeichnung	
		Sortierung	
Information	1. Erfolgsquote	– Mittlere Häufigkeit mindestens einer Suchphase > 1	Bekanntheit Informationsträger
	2. Aufenthaltsort	– Lange kumulierte Dauer der Phase Suche Informationsträger	(Materialsuche)
			Suchfunktion
3. Sichtaufwand	– Lange kumulierte Dauer der Phase Sichten (Informationsträger)	Informationsumfang	
		Strukturierung	
		Sortierung	
		Informationstyp	

Insbesondere die mittlere Häufigkeit und die Dauer der einzelnen Suchphasen liefern wichtige Informationen, um die Merkmale zu bewerten. Ein hoher Aufwand in der Bewegungsphase lässt beispielsweise darauf schließen, dass sich das Suchobjekt nicht am Bedarfsort befunden hat (Aufenthaltsort). Ist die mittlere Häufigkeit einer Phase je Suchvorgang größer als eins, waren mehrere Suchvorgänge erforderlich, um das Suchobjekt zu finden (Erfolgsquote). Eine längere Phase des Sichtens deutet wiederum darauf hin, dass ein physisches Objekt oder eine Information nicht direkt am Aufenthaltsort beziehungsweise auf dem Informationsträger gefunden werden konnte (Sichtaufwand). Auch die Einflussfaktoren geben Hinweise auf relevante Merkmale und geeignete Verbesserungsmaßnahmen (vgl. Abschnitt 3.5).

Nachdem ein oder mehrere Merkmale identifiziert wurden, ist es notwendig, eine detaillierte Ursachenanalyse durchzuführen. Dazu ist die Expertise der Mitarbeiter mit einzubeziehen. Eine strukturierte Diskussion mit bewährten Methoden hilft, konkrete und beeinflussbare Ursachen für den identifizierten Suchaufwand zu ermitteln. Beispielsweise bietet sich die Erstellung eines *Ursache-Wirkungs-Diagramms* sowie die Anwendung der *5W-Methode* an, um die Ursachenanalyse zu unterstützen (vgl. Abschnitt 2.2.2).

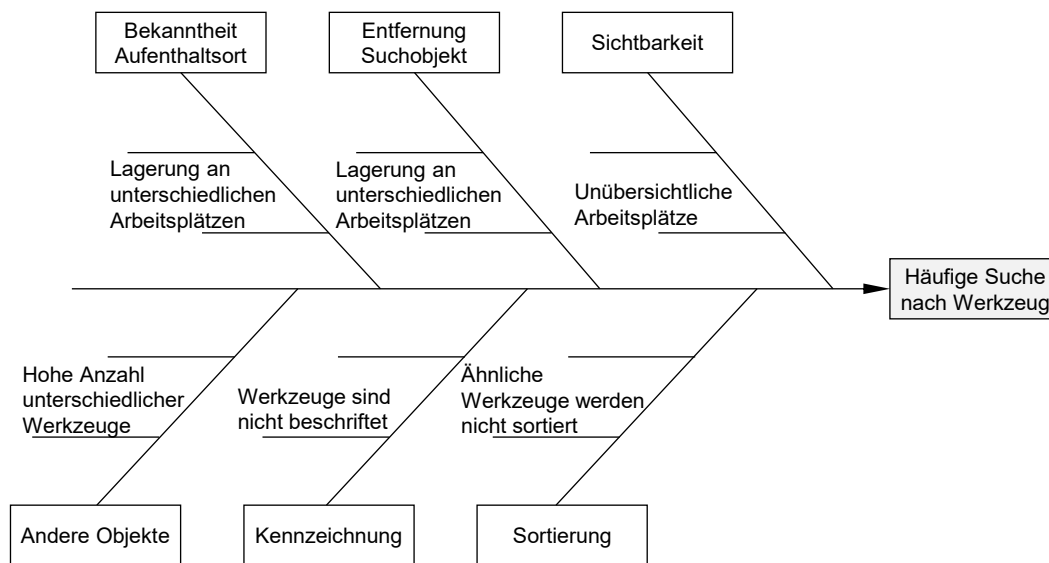


Abbildung 6-2: Beispiel für ein Ursache-Wirkungs-Diagramm

Abbildung 6-2 zeigt ein beispielhaftes *Ursache-Wirkungs-Diagramm* für das Problem einer häufigen Werkzeugsuche. Die einzelnen Kategorien entsprechen den relevanten Einflussfaktoren. Den Kategorien sind mögliche Ursachen zugeordnet, die zu bewerten und in einem nächsten Schritt detaillierter zu untersuchen sind. Abbildung 6-3 zeigt, wie die *5W-Methode* dabei unterstützen kann, Ursachen für ein Problem zu identifizieren. So könnte beispielsweise die häufig auftretende Suche nach einem bestimmten Werkzeug in der Montage dadurch verursacht werden, dass dieses häufig an unterschiedlichen Arbeitsplätzen abgelegt wird. Ursächlich dafür ist die Tatsache, dass sich mehrere Mitarbeiter an unterschiedlichen Arbeitsplätzen ein Werkzeug teilen. Der Grund dafür ist, dass es insgesamt zu wenig Werkzeuge in dem Produktionsbereich gibt, da einige dieser Werkzeuge seit längerer Zeit bereits defekt sind und daher nicht verwendet werden können. Die Kernursache des Beispiels könnte daher sein, dass es keine eindeutigen Zuständigkeiten für die Instandhaltung der betroffenen Werkzeuge gibt. Einen Ansatzpunkt für eine geeignete Verbesserungsmaßnahme könnte daher sein, einen Mitarbeiter dauerhaft mit der Zuständigkeit für die Überprüfung und Instandhaltung der betroffenen Werkzeuge zu beauftragen.

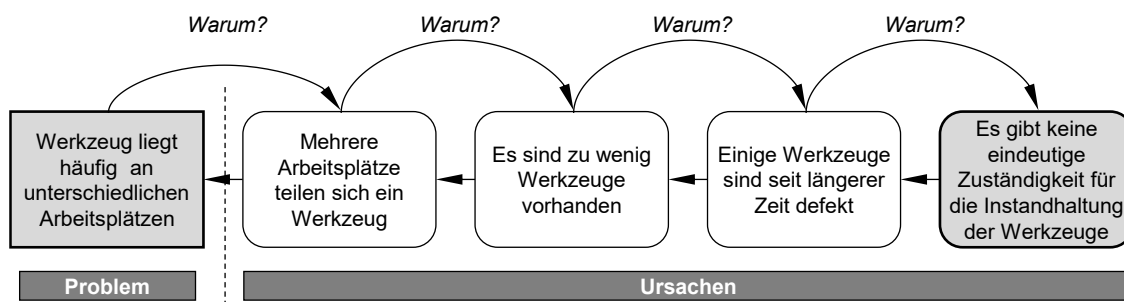


Abbildung 6-3: Beispielhafte Ereigniskette

Sofern keine eindeutigen Ursachen für den Suchaufwand innerhalb eines Handlungsfelds zu finden sind, ist es möglich, dass die erhobene Datenqualität für das entsprechende Handlungsfeld unzureichend ist. In der Folge kann eine weitere Detaillierung des Handlungsfelds oder eine erneute Analyse der Tätigkeiten innerhalb des Handlungsfelds dabei helfen, relevante Ursachen für den Suchaufwand zu bestimmen.

6.3 Ableitung und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen

In einem letzten Schritt sieht das Vorgehen vor, Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten, die in der Lage sind, den Suchaufwand zukünftig zu reduzieren, indem sie den identifizierten Ursachen entgegenwirken.

Verbesserungsmaßnahmen zur Reduzierung von Suchaufwänden sind Aktivitäten, die einen unmittelbaren Einfluss auf eine Tätigkeit in der Produktion haben und die den Suchaufwand während dieser Tätigkeit nachhaltig verringern. Hierzu zählen bekannte Maßnahmen aus dem Bereich der Lean Production wie beispielsweise die *5S-Methode* oder das *Visuelle Management*. Die *5S-Methode* senkt durch wiederkehrende Aktivitäten (vgl. Abschnitt 2.3.1) insbesondere den Suchaufwand für das Sichten von Objekten am Arbeitsplatz. Das Prinzip des *Visuellen Managements* hingegen hilft durch die optische Kennzeichnung und Standardisierung dabei, die Erfolgsquote zu erhöhen, da erfolglose Suchvorgänge so vermieden werden können. Weitere Verbesserungsmaßnahmen lassen sich aber auch für jeden individuellen Anwendungsfall aus der Verbesserung der vorgestellten Einflussfaktoren ableiten. So sind beispielsweise das Sortieren oder Kennzeichnen von Objekten oder das Strukturieren und die explizite Darstellung von Informationen Maßnahmen, die sich positiv auf den Suchaufwand auswirken können.

6.4 Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen

Das Ziel des Verbesserungsvorgehens muss es sein, den Suchaufwand in ausgewählten Bereichen der industriellen Produktion nachhaltig zu senken. Neben der Auswahl und Umsetzung geeigneter Verbesserungsmethoden zur Verringerung des Suchaufwands ist es daher sinnvoll, diese systematisch zu bewerten. Für die Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen eignen sich verschiedene Kriterien. Insbesondere Informationen über die Wirksamkeit sowie den Umsetzungsaufwand helfen Produktionsverantwortlichen dabei, Maßnahmen zu bewerten und ggf. anzupassen, um Suchaufwände nachhaltig zu reduzieren.

Die Wirksamkeit einer Maßnahme lässt sich bewerten, indem der Suchaufwand vor und nach der Umsetzung einer Maßnahme verglichen wird. Dazu ist es notwendig, Informationen über den Suchaufwand nach der Maßnahmenumsetzung zu erheben. Zum einen kann dies durch eine erneute Analyse des Suchaufwands innerhalb des Handlungsfelds geschehen. Zum anderen besteht die Möglichkeit, die betroffenen Produktionsmitarbeiter im Hinblick auf die Veränderung des Suchaufwands nach Maßnahmenumsetzung zu befragen. Generell ist darauf zu achten, die Wirksamkeit möglichst schnell nach der Maßnahmenumsetzung durchzuführen, um zu verhindern, dass andere Einflussfaktoren, wie Prozessveränderungen, neue Produkte oder andere Mitarbeiter die Ergebnisse verfälschen. Auch die Wechselwirkung zwischen unterschiedlichen Maßnahmen,

die gleichzeitig umgesetzt werden, kann die Bewertung der Wirksamkeit der einzelnen Methoden verfälschen. Der Umsetzungsaufwand einzelner Verbesserungsmaßnahmen lässt sich insbesondere durch die Befragung der beteiligten Mitarbeiter bewerten [GRAB17, S. 115].

Die Erfahrungen zu den einzelnen Verbesserungsmaßnahmen bieten die Möglichkeit, Best Practices zu etablieren. Dazu sind besonders gut geeignete Maßnahmen zu identifizieren, zu dokumentieren und auf andere Produktionsbereiche zu übertragen. Gleichzeitig können ungeeignete Maßnahmen für zukünftige Projekte ausgeschlossen werden. Darüber hinaus können die Erkenntnisse aus der Maßnahmenbewertung im Sinne des PDCA-Zyklus dazu verwendet werden, um vorhandene Maßnahmen weiter zu verbessern, indem die Wirksamkeit gesteigert bzw. der Umsetzungsaufwand verringert wird.

6.5 Einordnung in ein Produktivitätsmanagement

Die Gesamtmethodik unterstützt Produktionsverantwortliche dabei, Suchaufwände innerhalb der Produktion zu erkennen und gezielt zu verringern. Die Reduzierung bzw. Vermeidung von Suchaufwänden führt in der Regel zu einem sinkenden Kapazitätsbedarf, wodurch die Voraussetzung für Produktivitätssteigerungen geschaffen wird. Die Realisierung dieser Produktivitätspotentiale ist die Aufgabe des Produktivitätsmanagements.

Im Hinblick auf die Nutzung der Gesamtmethodik im Rahmen eines Produktivitätsmanagements zeigt Abbildung 6-4 ein regelkreisbasiertes Vorgehen zur Reduzierung von Suchaufwänden. Grundlage ist das vorgestellte Vorgehen zur Analyse- und Verbesserung von Suchaufwänden in der industriellen Produktion.

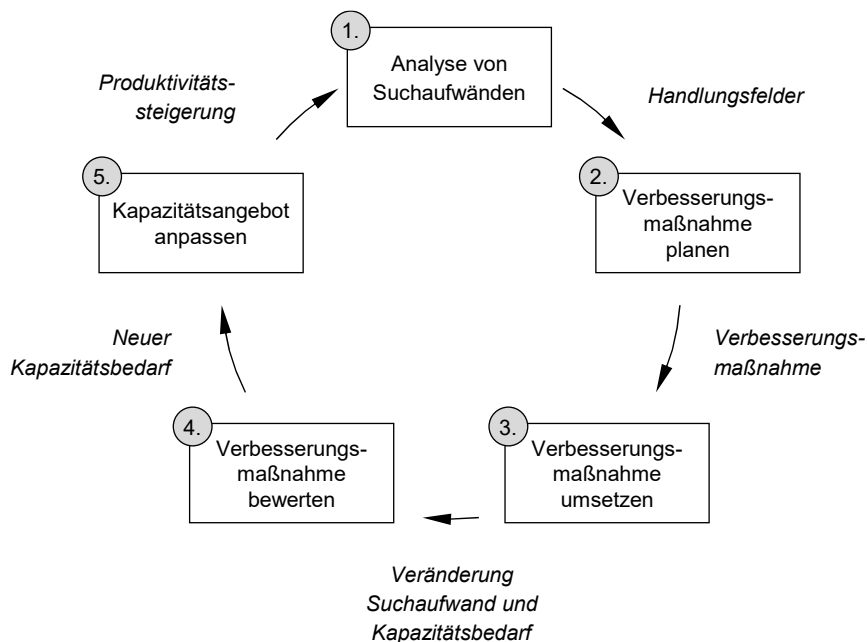


Abbildung 6-4: Regelkreisbasiertes Produktivitätsmanagement für Suchaufwände

Das Vorgehen beschreibt die Verbesserung der Produktivität durch die Reduzierung von Suchaufwänden in fünf Schritten. Der erste Schritt besteht aus der Durchführung des Analysevorgehens für Suchaufwände (Abschnitt 4 - 5) und resultiert in der Beschreibung einzelner Handlungsfelder (Abschnitt 6.1). Anschließend folgt das in Abschnitt 6 beschriebene Verbesserungsvorgehen mit Schritt 2 bis 4. Die Umsetzung geplanter Verbesserungsmaßnahmen hat zum Ziel, den Suchaufwand zu senken und in der Folge den Kapazitätsbedarf der betrachteten Prozesse zu verringern. Im fünften Schritt können die Produktivitätspotentiale durch eine Anpassung des Kapazitätsangebots realisiert werden. Im Anschluss besteht die Möglichkeit einer erneuten Analyse des Ist-Zustands, um weitere Handlungsfelder zu identifizieren und den Zyklus erneut zu durchlaufen.

7 Evaluation

Die Anwendung des entwickelten Vorgehens zur Analyse und Reduzierung von Suchaufwänden in der industriellen Produktion soll die Praxistauglichkeit der Methodik belegen (Abschnitt 7.1). Das Anwendungsbeispiel ist eine typische Montage im Bereich der variantenreichen Kleinserienfertigung (Abschnitt 7.2). Hier wurde der Suchaufwand an zwei Arbeitsplätzen durch einen externen Beobachter mithilfe der Web-App erfasst und ausgewertet. Die Evaluation beinhaltet sowohl eine Grobanalyse als auch eine Detailanalyse ausgewählter Suchvorgänge. Im Anschluss an die Auswertung der erfassten Suchaufwände erfolgt die Beschreibung des Verbesserungsvorgehens für ein exemplarisches Handlungsfeld. Abschließend erfolgt eine Bewertung der Gesamtmethodik auf Grundlage der Erfahrungen des Anwendungsbeispiels (Abschnitt 7.3).

7.1 Ziele und Anforderungen

Die Evaluation des Gesamtverfahrens verfolgt zwei wesentliche Ziele: Zum einen sollen die theoretischen Grundlagen der Methodik evaluiert werden, um zu überprüfen, ob diese Fehler enthalten. So ist insbesondere zu bewerten, inwieweit die Modellierung geeignet ist, um unterschiedliche Suchvorgänge zu beschreiben und zu analysieren. Grundlage hierfür sind die in Abschnitt 3.1 beschriebenen Anforderungen an die Modellierung. Zum anderen ist die Anwendbarkeit und Praxistauglichkeit des Vorgehens anhand der in Abschnitt 1.2 beschriebenen Anforderungen an die Gesamtmethodik zu bewerten.

7.2 Anwendungsbeispiel

Die Modellierung sowie das Analyseverfahren mit Fremdaufschreibung konnten im Praxisumfeld eines mittelständischen Herstellers von Embedded Systems evaluiert werden. Das Anwendungsbeispiel ist ein Montagebereich in der variantenreichen Kleinserienfertigung. Insbesondere der häufige Wechsel zwischen unterschiedlichen Varianten sowie der große Anteil manueller Tätigkeiten an den untersuchten Arbeitsplätzen begünstigen das Auftreten von Suchvorgängen. Auch die Evaluation der Verbesserungsmethode erfolgte in einem Team aus Produktionsleitung, Teamleitung und Werkern bei dem Industrieunternehmen vor Ort. Die einzelnen Vorgehensschritte der Gesamtmethodik werden im Folgenden erläutert.

7.2.1 Zielsetzung der Analyse

Die Zielsetzung der Analyse von Suchaufwänden im Rahmen des Anwendungsbeispiels hat sich im Wesentlichen an den Anforderungen der Produktionsverantwortlichen orientiert. So sollte der Suchaufwand insbesondere für einen Montagebereich (Montageinsel) beschrieben werden, in dem der geplante Output regelmäßig nicht erreicht wurde und für den bekannt war, dass die Mitarbeiter häufiger nach Material oder Informationen suchen müssen. Da keine quantitativen Informationen über mögliche Suchvorgänge vorlagen, stand die Grobanalyse des Suchaufwands während der typischen Montageabläufe im Vordergrund. Hauptziel der Analyse war es, somit den allgemeinen Suchaufwand für den Bereich der Montageinsel zu beschreiben und relevante Tätigkeiten und Suchobjekte zu identifizieren.

Um das Gesamtvorgehen umfänglich evaluieren zu können, wurden darüber hinaus mit der Kommissionierung und einem Einzelarbeitsplatz zusätzlich zwei weitere Bereiche mithilfe der Grobanalyse aufgenommen. Insgesamt war ein Zeitraum von zweieinhalb Schichten für die Analyse vorgesehen. Während der gesamten Analyse sollten einzelne Suchvorgänge stichprobenartig durch das Vorgehen der Detailanalyse erfasst werden, um Informationen für mögliche Verbesserungsmaßnahmen zu erfassen. Die Datenerfassung wurde im Vorfeld mit zwei Mitarbeitern abgestimmt, die zu unterschiedlichen Anteilen in den einzelnen Bereichen gearbeitet haben.

7.2.2 Beschreibung des Analysebereichs

Die Produktion des mittelständischen Herstellers von Embedded Systems lässt sich in die drei Bereiche Bestückung, Montage und Qualitätssicherung einteilen. In der Bestückung und der Qualitätssicherung sind die Arbeitsschritte hochautomatisiert, sodass nur wenige Mitarbeiter für die Bedienung der Maschinen erforderlich sind. Im dritten Bereich erfolgt die manuelle Montage unterschiedlicher Baugruppen und Endprodukte durch mehrere Mitarbeiter.

In Absprache mit der Produktionsleitung wurde für die Anwendung der Gesamtmethodik ein Montagebereich ausgewählt, für den ein hoher Suchaufwand vermutet wurde. Anhaltspunkte hierfür waren der häufige Wechsel von Aufträgen aufgrund kleiner Losgrößen sowie die wiederholte Unterschreitung der Planstückzahl in der Vergangenheit. Zusätzlich wurden zwei weitere Bereiche in der Montage bestimmt, in denen zusätzlich der Suchaufwand bestimmt werden sollte.

Der Analysebereich für die Erprobung des Gesamtvorgehens umfasste somit insgesamt drei Bereiche (Abbildung 7-1).

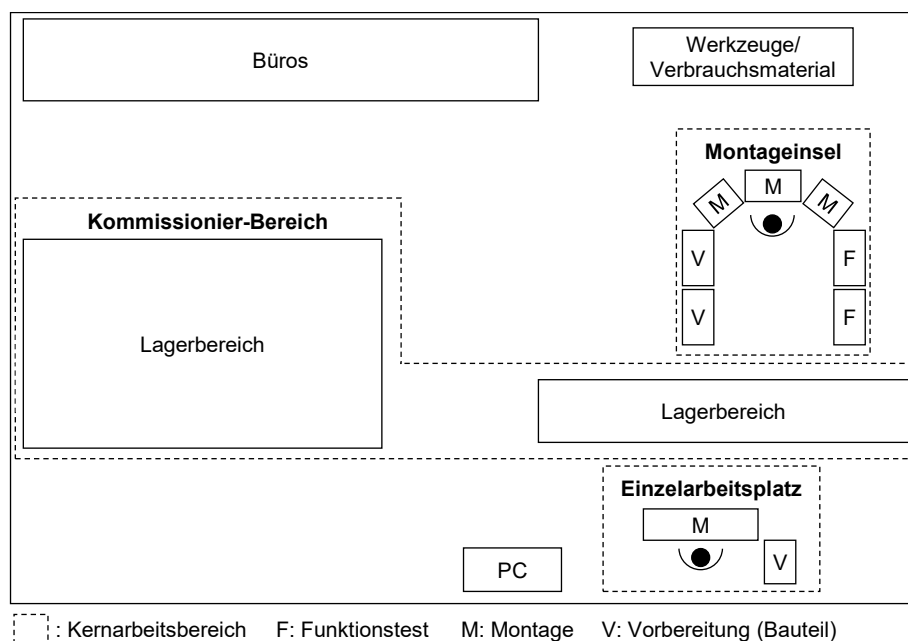


Abbildung 7-1: Schematisches Layout des Analysebereichs

Im ersten Bereich erfolgen die vollständige Montage, sowie die Qualitätsprüfung von Human Machine Interfaces (HMI) durch einen Mitarbeiter an einer Montageinsel. Der Arbeitsablauf ist so gestaltet, dass der Mitarbeiter zu Beginn jedes Auftrags die einzelnen Arbeitsstationen der Montageinsel vorbereitet und mit den notwendigen Materialien und Werkzeugen und Verbrauchsmaterialien bestückt. Anschließend bereitet er die Produkte vor, indem er einzelne Bauteile mit einem Aufkleber versieht. Am nächsten Arbeitsplatz erfolgt dann die Montage der HMI. Je nach Auftrag ist es vorgesehen, einzelne Produkte abschließend mit einem Funktionstest zu prüfen. Dies war für den im Anwendungsbeispiel betrachteten Auftrag nicht notwendig.

Im zweiten Bereich montierte eine Mitarbeiterin einzelne Baugruppen eines HMI ebenfalls ohne Funktionstest (Einzelarbeitsplatz). Der Arbeitsinhalt hier war geringer als an der Montageinsel und umfasste die *Vorbereitung* sowie die *Montage* der HMI.

Der dritte Analysebereich war die Kommissionierung, in dem Mitarbeiter die für einen Auftrag notwendigen Baugruppen und Einzelteile zusammenstellen und zum entsprechenden Arbeitsplatz bringen. Im Rahmen des Anwendungsbeispiels haben der Mitarbeiter an der Montageinsel und die Mitarbeiterin am Einzelarbeitsplatz diese Aufgabe für ihren Auftrag zusätzlich selbst übernommen.

In allen Analysebereichen mussten die Mitarbeiter Material und auftragsspezifische Informationen beschaffen, sodass die Grundvoraussetzung für das Auftreten von Suchvorgängen gegeben war. Darüber hinaus bestand die Möglichkeit, dass ungeplante Störungen im Arbeitsablauf zu Suchvorgängen führen.

7.2.3 Erstellung der Tätigkeits- und Suchobjekthierarchie

Für die Erstellung der Tätigkeitshierarchie wurden die Mitarbeiter an den einzelnen Arbeitsplätzen im Vorfeld der Analyse zu ihren einzelnen Tätigkeiten befragt. Da die grundsätzlichen Arbeitsaufgaben in der Montageinsel und am Einzelarbeitsplatzes sehr ähnlich waren, konnte für beide Montagearbeitsplätze dieselbe Tätigkeitshierarchie verwendet werden (Tabelle 7-1).

Tabelle 7-1: Tätigkeitshierarchie für das Anwendungsbeispiel

Ebene			Erfasst
0	1	3	
Arbeitszeit	Zyklusgebundene Tätigkeiten	Durchführung der Arbeitsaufgabe	✓
	Losgebundene Tätigkeiten	Abrüsten	✓
		Aufrüsten	✓
		Logistische Tätigkeit	✓
	Periodische Tätigkeiten	Geplante Instandhaltung	✗
		Logistische Tätigkeit	✗
	Unregelmäßige Tätigkeiten	Störungsbehebung	✗
		Nacharbeit	✗

Die wesentliche zyklische Tätigkeit war die *Durchführung der Arbeitsaufgabe*. Als losgebundene Tätigkeiten wurden das *Auf-* und *Abrüsten* sowie *logistische Tätigkeiten* identifiziert. Zu den pe-

riodischen Tätigkeiten wurden die *geplante Instandhaltung* sowie ebenfalls *logistische Tätigkeiten* zugeordnet. Als unregelmäßige Tätigkeiten wurden die *Störungsbehebung* sowie *Nacharbeit* identifiziert.

Für den Bereich der Kommissionierung war insbesondere die logistische Tätigkeit (losgebunden und periodisch) von Bedeutung, da sich die Arbeitsaufgabe auf die Zusammenstellung und den Transport von Materialien beschränkte. Von den insgesamt 8 definierten Tätigkeiten auf Ebene 3 wurden innerhalb der durchgeführten Analysen vier Tätigkeiten erfasst.

Tabelle 7-2: Suchobjekthierarchie für das Anwendungsbeispiel

		Ebene			Erfasst
0	1	2	3		
Suchobjekte	Physische Objekte	Person	Vorgesetzter	X	
			Mitarbeiter	X	
		Arbeitsobjekt	Enderzeugnis	X	
			Baugruppe	✓	
			Einzelteil	✓	
		Arbeitsmittel	Maschine oder Anlage	X	
			Vorrichtung	✓	
			Werkzeug	✓	
			Betriebs- oder Hilfsstoff	✓	
		Logistik	Transportbehälter	✓	
			Transportmittel	✓	
		Informationsträger	Digitaler Datenträger	X	
			Analoger Datenträger	X	
			Person	X	
	Informationen bzgl.	Person	Vorgesetzter	X	
			Mitarbeiter	X	
		Arbeitsobjekt	Enderzeugnis	✓	
			Baugruppe	✓	
			Einzelteil	✓	
		Arbeitsmittel	Maschine oder Anlage	X	
			Vorrichtung	X	
			Werkzeug	✓	
			Betriebs- oder Hilfsstoff	X	
		Logistik	Transportbehälter	X	
			Transportmittel	X	
		Informationsträger	Digitaler Datenträger	✓	
			Analoger Datenträger	X	
			Person	X	
Auftrag	Allg. auftragsspezifische Informationen	✓			
	Arbeitsplan	✓			
	Konstruktionsdaten	X			
	Stückliste	✓			
	Produktänderungen	✓			

Auch die Suchobjekthierarchie konnte aufgrund der ähnlichen Produkte und Arbeitsinhalte für die beiden Montagebereiche und die Kommissionierung gemeinsam erstellt werden (Tabelle 7-2).

Die in Abschnitt 3.3 vorgestellte allgemeine Suchobjekthierarchie hat sich dabei als geeignet herausgestellt, um die wesentlichen Suchobjekte in den Analysebereichen zu beschreiben. Lediglich die Kategorie *Produktänderungen* wurde als Information bzgl. eines Auftrags ergänzt, da bereits bekannt war, dass teilweise unvollständige Informationen zu Produktänderungen zu größeren Suchaufwänden führen können. Von den insgesamt 33 definierten Suchobjekt-Klassen auf Ebene 0 wurden im Rahmen der Analyse 16 erfasst.

Insgesamt konnten die notwendigen Hierarchien mit sehr geringem Aufwand erstellt bzw. angepasst werden. Ebenso waren die Anpassungen der Hierarchien in der Web-App nur mit einem geringen Zeitaufwand verbunden.

7.2.4 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte in Form von gestuften Zeitaufnahmen unter Verwendung der Web-App. Insgesamt wurden über einen Zeitraum von zwei Tage verteilt, verschiedene Tätigkeiten in den einzelnen Analysebereichen aufgenommen. Die Gesamtdauer aller erfassten Tätigkeiten beträgt etwa 6,5 Stunden. Die Datenerfassung erfolgte vollständig auf Ebene 0 (Werker) und umfasste die Bereiche Bauteilvorbereitung und -montage an der Montageinsel und dem Einzelarbeitsplatz sowie die Kommissionierung. Während der offiziellen Pausen wurde die Datenerfassung unterbrochen. Da vor Durchführung der Analyse noch nicht bekannt war, welche Tätigkeiten und Suchobjekte den höchsten Suchaufwand verursachen, wurde der Großteil der Tätigkeiten mithilfe der Grobanalyse erfasst. Vereinzelte Suchdurchgänge wurden stichprobenartig mit der Detailanalyse aufgenommen.

Zur Vorbereitung der Analyse wurde den betroffenen Mitarbeitern die Methodik erläutert. Während der Analyse haben beide Mitarbeiter die Methode *Lautes Denken* angewandt, sodass die Tätigkeiten gut erkannt und mithilfe der App aufgenommen werden konnten. Nach Rücksprache mit den Produktionsverantwortlichen sollten im Rahmen der Analyse nur die Tätigkeiten in den Bereichen *Kommissionierung*, *Vorbereitung* und *Montage* erfasst werden. Da beide Mitarbeiter zusätzlich in anderen Bereichen der Produktion eingesetzt waren und teilweise zusätzliche Tätigkeiten ausgeübt haben (bspw. Produktionsbesprechungen), entspricht die Aufnahmezeit nicht der gesamten Schichtlänge.

Die Montage der einzelnen Baugruppen an den Montagearbeitsplätzen erfolgte nicht im One-Piece-Flow, sondern in Losen unterschiedlicher Größe. Daher war es mit dem beschriebenen Vorgehen nicht möglich, die Montagetätigkeit für eine einzelne Baugruppe zu erfassen und diese mithilfe eines Multiplikators auf die gesamte bezahlte Arbeitszeit zu übertragen. Die erfassten Daten wurden für die Auswertung daher wie unregelmäßige Tätigkeiten aggregiert.

7.2.5 Auswertung der Analyseergebnisse

Mithilfe der Analysemethode ist es im Rahmen der Evaluation gelungen, an den beschriebenen Arbeitsplätzen insgesamt 203 Suchvorgänge zu erfassen. 113 Suchvorgänge traten an der Montageinsel in einem Zeitraum von 3 Stunden und 40 Minuten auf. Am Einzelarbeitsplatz konnten insgesamt 71 Suchvorgänge über einen Zeitraum von 2 Stunden und 14 Minuten aufgenommen

werden. Über einen Zeitraum von 35 Minuten traten im Bereich der Kommissionierung 19 Suchvorgänge auf. Insgesamt erfolgte die Erfassung von 29 Suchvorgängen mit der Detailanalyse in Form von Stichproben.

Grobanalyse

Das Ergebnis der Grobanalyse zeigt den jeweils erfassten Suchaufwand für die drei Bereiche sowie für die jeweiligen Tätigkeitskategorien (Abbildung 7-2).

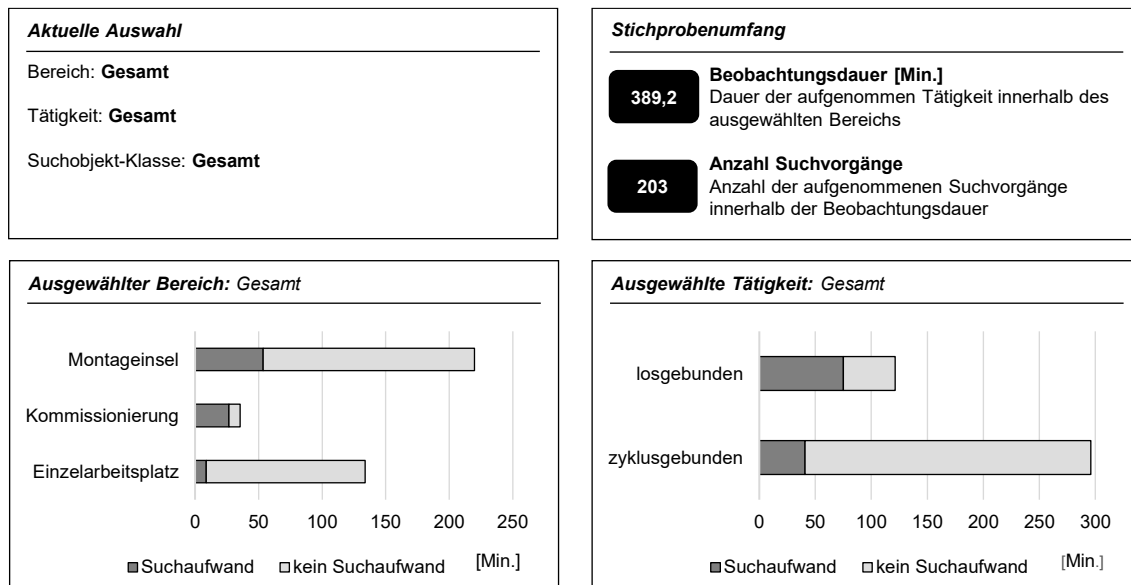


Abbildung 7-2: Überblick über die Gesamtergebnisse der Grobanalyse

Die Ergebnisse veranschaulichen, dass der absolute Suchaufwand mit 53,5 Minuten während der erfassten Tätigkeiten im Bereich der Montageinsel am höchsten ist. Auch der relative Suchaufwand erscheint auf den ersten Blick mit 24,3 % relativ hoch. Der höchste relative Suchaufwand (74,5 %) konnte allerdings für den Bereich der Kommissionierung erfasst werden. Dies verwundert nicht, da es nahe liegt, dass insbesondere die Materialbeschaffung einen wesentlichen Bestandteil der Kommissionier-Tätigkeit darstellt. Im Vergleich erscheinen der absolute Suchaufwand von 8,7 Minuten und der relative Suchaufwand von 6,5 % im Bereich des Einzelarbeitsplatzes als unkritisch. Ein Grund hierfür war, dass die Mitarbeiterin an diesem Arbeitsplatz über einen großen Erfahrungsschatz verfügte und die Arbeitsschritte für unterschiedliche Varianten in der Regel gut kannte.

Der gesamte Suchaufwand an der Montageinsel verteilt sich auf die beiden Bereiche *Vorbereitung* und *Montage* (mittlere Darstellung in Abbildung 7-3), wobei der relative Suchaufwand an beiden Arbeitssystemen mit 26,7 % und 23,7 % ähnlich hoch ist. Da der absolute Suchaufwand im Bereich der *Endmontage* mit 41,6 Minuten mit Abstand am höchsten ist, wurde dieser für eine genauere Analyse ausgewählt.

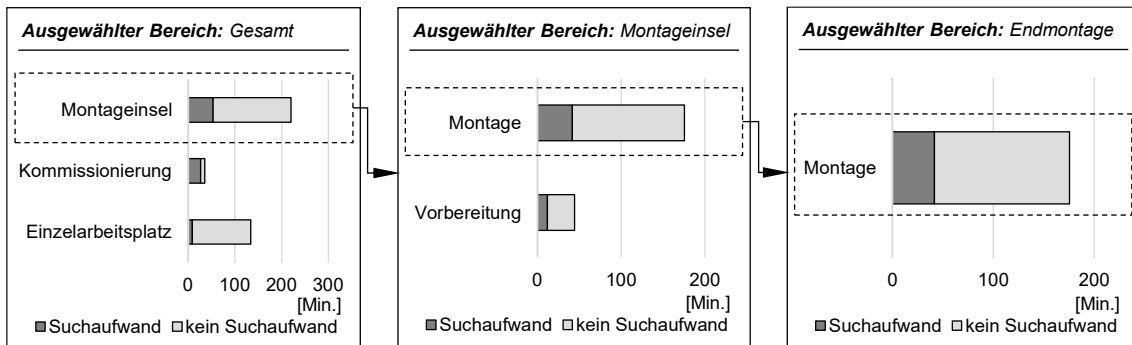


Abbildung 7-3: Auswahl des Betrachtungsbereiches

Der Suchaufwand im Bereich der Montage der Montageinsel ist zu etwa gleichen Teilen Bestandteil von los- und zyklusgebundenen Tätigkeiten (linke Darstellung in Abbildung 7-4). Dabei ist der relative Suchaufwand bei den losgebundenen Tätigkeiten mit 45 % wesentlich höher als bei den zyklusgebundenen Tätigkeiten mit 17 %.

Bei den losgebundenen Tätigkeiten nimmt das Aufrüsten mit einem Suchaufwand von 23,7 Minuten (70,1 %) den größten Anteil ein (obere, mittige Darstellung in Abbildung 7-4). Dies ist nicht verwunderlich, da der Prozess des Aufrüstens der Montagearbeitsplätze insbesondere die Beschaffung aller notwendigen Materialien, wie Werkzeuge und Verbrauchsmaterialien, sowie der relevanten Auftragsinformationen beinhaltet. Häufig stellen die Tätigkeiten zu einem gewissen Maß allerdings notwendige und unvermeidbare Suchvorgänge dar.

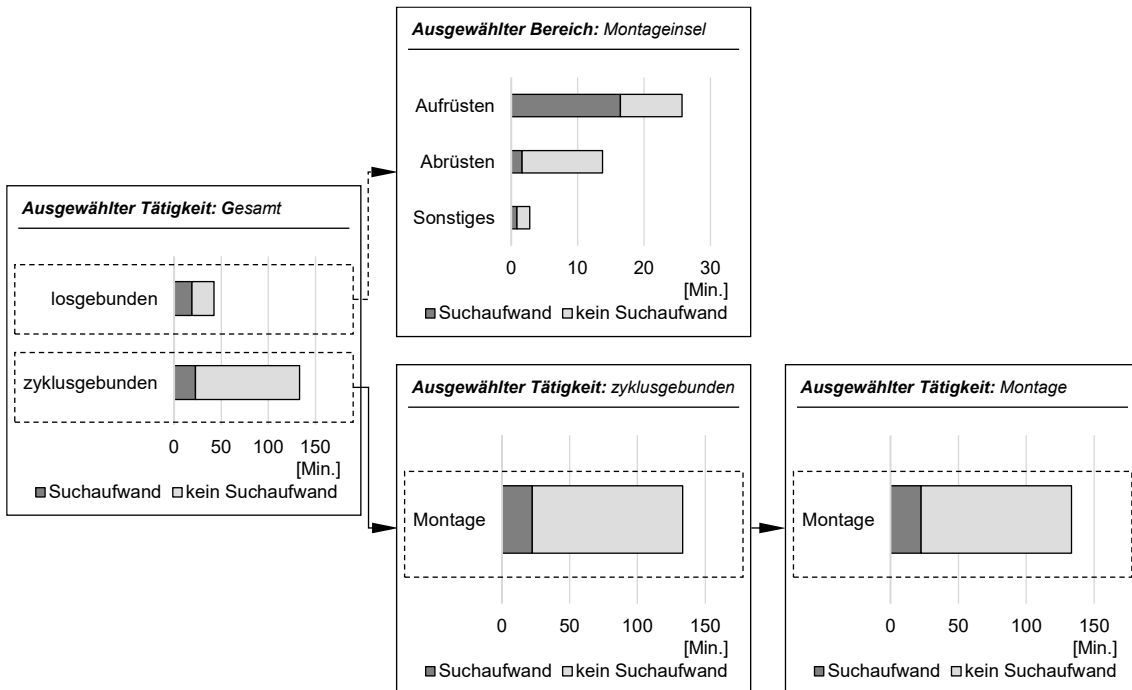


Abbildung 7-4: Auswahl der Tätigkeit im Bereich Endmontage (Montageinsel)

Für das Umfeld einer gut organisierten und standardisierten Produktionsumgebung erscheint ein Suchanteil von 17% für die zyklusgebundenen Tätigkeiten im Bereich der Montageinsel (linke Darstellung in Abbildung 7-4) relativ hoch. Für die Produktionsverantwortlichen war der Suchaufwand während der Montagetätigkeit daher von besonderem Interesse. Er wird daher im Folgenden exemplarisch genauer beschrieben (vgl. Abbildung 7-5).

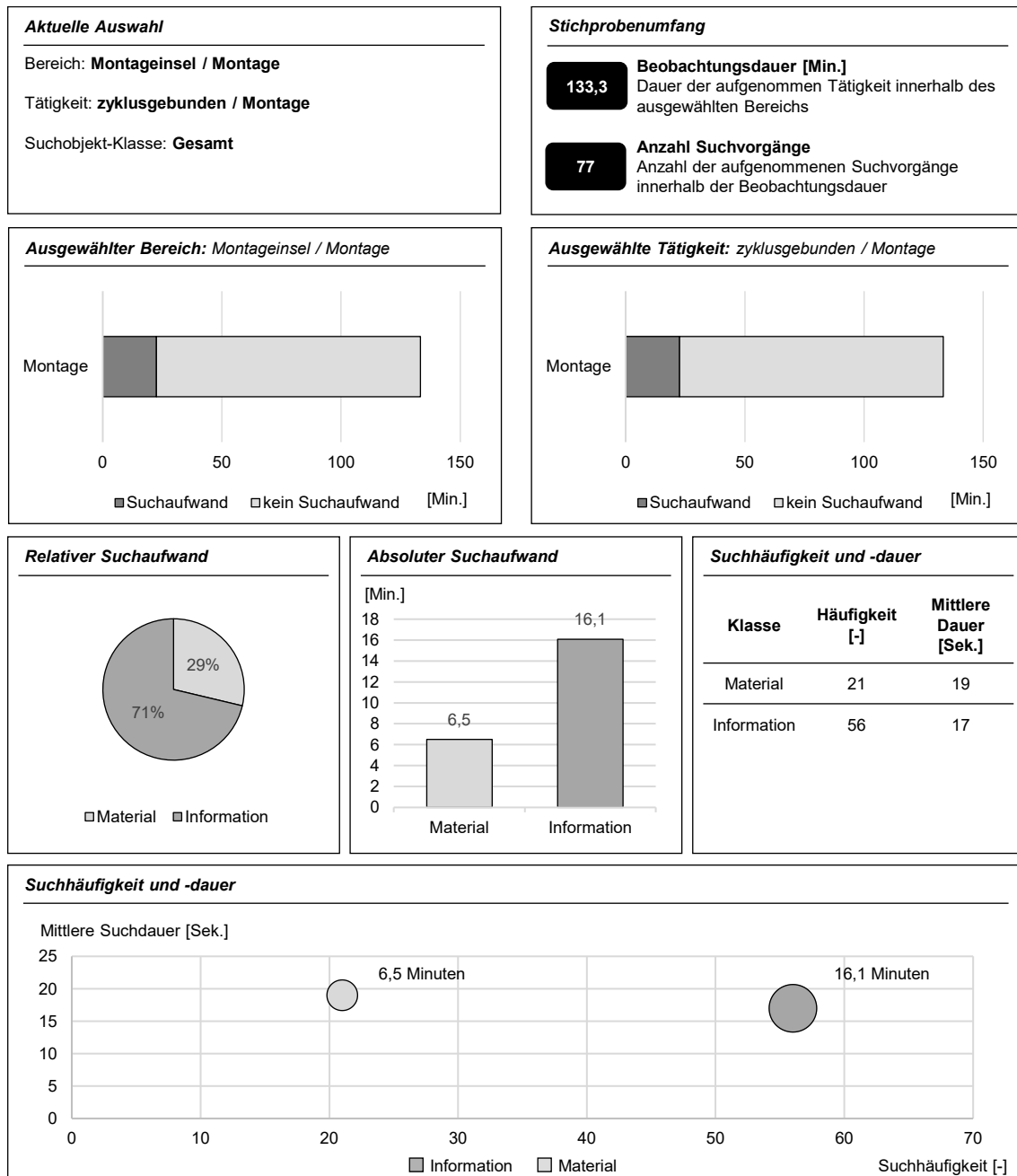


Abbildung 7-5: Zusammensetzung des Suchaufwands während der Montage

Die Ergebnisse zeigen, dass insgesamt häufiger nach Informationen (71 %) als nach Material (29 %) gesucht wurde. Der absolute Suchaufwand der Informationssuchen von 16,1 Minuten ergibt sich aus einer Suchhäufigkeit von 56 und einer mittleren Suchdauer von 17 Sekunden. Damit ist die mittlere Suchdauer bei der Informationssuche etwas geringer als bei der Materialsuche mit 19 Sekunden. Allerdings sind Informationssuchen während der Analyse der Montage-tätigkeit wesentlich häufiger vorgekommen als Materialsuchen. Die Ergebnisse zeigen bereits, dass die Methode in der Lage ist, einen relevanten Suchaufwand zu identifizieren, der auch durch eine große Anzahl kurzer Suchvorgänge verursacht wird.

Die Analyseergebnisse ermöglichen es darüber hinaus, den Suchaufwand im Hinblick auf die Suchobjektclassen weiter zu unterteilen. So zeigt sich, dass 96 % des Aufwands der Informationssuchen dadurch entstehen, dass die Mitarbeiter Informationen über den Auftrag suchen, und zwar mit nur wenigen Ausnahmen Informationen aus dem Arbeitsplan (98 %). Entsprechend besteht für die Suche nach Informationen im Arbeitsplan das größte Potential an der Montageinsel.

Im Rahmen der Analyse wurden insgesamt 52 Suchvorgänge erfasst, die zum Ziel hatten, Informationen aus dem Arbeitsplan zu entnehmen. Die mittlere Suchdauer dieser Vorgänge betrug 18 Sekunden. Mithilfe der Detailanalyse konnten für fünf der 52 Suchvorgänge Informationen zur Zusammensetzung der Suchphasen sowie zur Ausprägung der Einflussfaktoren gesammelt werden.

Detailanalyse

Die Ergebnisse der Detailanalyse zu den aufgenommenen Informationssuchen in Arbeitsplänen bei der Montagetätigkeit im Bereich der Montageinsel sind in Abbildung 7-6 dargestellt.

Von den fünf detailliert aufgenommenen Informationssuchen dauerten die längste 58 und die kürzeste 9 Sekunden. Der Kern der Detailanalyse ist die Bewertung der Suchphasen und der Einflussfaktoren. Hierbei ist zu erwähnen, dass nicht bei jedem Suchvorgang jede Suchphase beobachtet werden konnte. Eine Suche nach einem Informationsträger trat nur einmal auf (mittlere Häufigkeit = 0,2). Vielmehr kommt der Großteil des Suchaufwands (im Mittel 19,4 Sekunden) durch das Sichten von Informationsträgern zustande, wobei häufig Informationsträger mehrfach während eines Suchvorgangs gesichtet wurden (mittlere Häufigkeit der Suchphase von 2). Somit ergibt sich eine Erfolgsquote von höchstens 50 %, die darauf schließen lässt, dass entweder auf den falschen Informationsträgern gesucht oder die gesuchte Information übersehen wurde. Für letzteres sprechen die aufgenommenen Ausprägungen der Einflussfaktoren. Hier fällt insbesondere auf, dass bei keinem der Suchvorgänge eine Suchfunktion genutzt wurde bzw. genutzt werden konnte und die gesuchten Informationen immer implizit als Bild dargestellt waren.

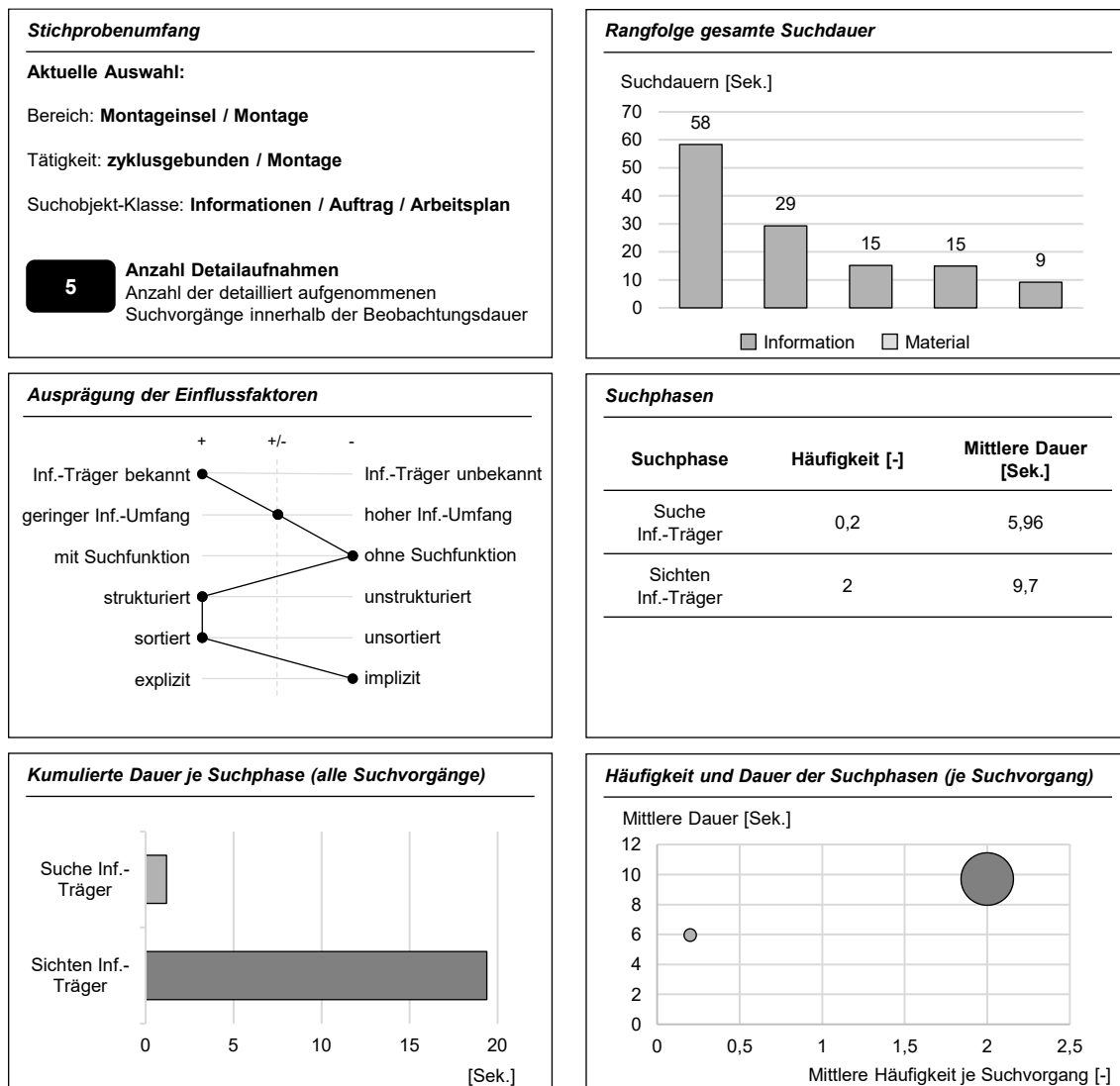


Abbildung 7-6: Ergebnisse der Detailanalyse (Informationssuche zu Auftrag)

Ergebnisgüte

Im Rahmen der Evaluation wurde der Suchaufwand für drei Bereiche innerhalb der Produktion des Anwendungspartners erfasst und beschrieben. Mithilfe des Abdeckungsgrads sowie des Erfassungsgrads lässt sich die Ergebnisgüte der erhobenen Daten für jeden der Bereiche einschätzen.

Für die Analyse der Suchaufwände wurde im Rahmen der Evaluation jeweils ein Mitarbeiter für eine ganze Schicht begleitet. In der Folge entsprach die erfasste Tätigkeitszeit der Anwesenheitszeit der jeweiligen Mitarbeiter im Analysebereich. Dabei konnten alle Tätigkeiten und Suchobjekte mithilfe der im Vorfeld erstellten Hierarchien zugeordnet werden. Da sowohl der Montageinsel als auch dem Einzelarbeitsplatz jeweils nur ein Mitarbeiter je Schicht zugeordnet war, ergibt sich für die beiden Bereiche innerhalb des Analysezeitraums ein Abdeckungsgrad von 100 %. Im Bereich der Kommissionierung haben sich während der Datenerfassung allerdings auch weitere

Mitarbeiter aufgehalten, sodass für diesen Bereich die Dauer der gesamten Anwesenheitszeit unbekannt ist. Es war daher nicht möglich, den Abdeckungsgrad für den Bereich der Kommissionierung zu bestimmen.

Während der Analyse wurden die vordefinierten Tätigkeiten innerhalb der relevanten Analysebereiche mithilfe der Web-App erfasst. Eine Befragung der beteiligten Produktionsmitarbeiter ergab, dass die erfassten Suchvorgänge zu einem Großteil den üblichen Suchen entsprechen, andere typische Suchaufwände aber nicht innerhalb des Analysezeitraums vorgekommen sind. Im Mittel wurde die Erfassung relevanter Suchvorgänge im Analysezeitraum von den Mitarbeitern mit 70 % (Idealbedingung 1) bewertet. Die Vollständigkeit der Suchobjekthierarchie wurde im Mittel mit 100 % (Idealbedingung 2) bewertet. Mithilfe der Methode *Lautes Denken* war es möglich die überwiegende Mehrheit der aufgetretenen Suchvorgänge zu erkennen und aufzunehmen. Die Aufnahmelogik und die Verwendung der Web-App haben es außerdem ermöglicht, sowohl sehr lange als auch sehr kurze Suchvorgänge genau zu erfassen. Der längste erfasste Suchvorgang dauerte 6 Minuten und 14 Sekunden (Materialsuche nach einer Baugruppe) und der kürzeste 2 Sekunden (Materialsuche nach einem Einzelteil). Vor diesem Hintergrund wurde die dritte Idealbedingung (Eindeutige Erkennung und Erfassung von Suchvorgängen) durch den Methoden-anwender mit 80 % bewertet. Zusammengefasst ergibt sich somit ein Erfassungsgrad von 83 %. Tabelle 7-3 zeigt die Auswertung des Abdeckungs- und des Erfassungsgrads im Überblick.

Tabelle 7-3: Bewertung der Ergebnisgüte im Anwendungsbeispiel

Bereich	Abdeckungsgrad	Erfassungsgrad
Montageinsel	100%	83%
Einzelarbeitsplatz	100%	
Kommissionierung	unbekannt	

Wie in Abschnitt 5.2 erläutert, kann es im Einzelfall von Interesse sein, die statistische Aussage-wahrscheinlichkeit der Daten eines Handlungsfeldes zu bewerten. Dies gilt insbesondere für Suchvorgänge, die sich häufig wiederholen und regelmäßig auftreten, da sich auf diese Weise der Suchaufwand für längere Perioden bestimmen lässt. Notwendige Voraussetzung hierfür ist aller-dings eine annähernde Normalverteilung der erfassten Daten (vgl. Abschnitt 2.4.4).

Für den in der Ergebnisauswertung beschriebenen Suchaufwand (Suche nach Informationen in Arbeitsplänen an der Montageinsel) konnte keine Normalverteilung der erfassten Suchdauern nachgewiesen werden. Nach bisheriger Erfahrung bildet dies den Normalfall ab, da es immer wieder vorkommen kann, dass einzelne Suchvorgänge eine sehr lange Suchdauer im Vergleich zur Mehrheit der übrigen Suchvorgänge aufweisen. In der Folge ist es nicht möglich, auf Grund-lage der erfassten Daten statistisch gesicherte Aussagen über in Zukunft auftretende Suchvor-gänge zu treffen. Grundsätzlich ist aber festzuhalten, dass auch Analyseergebnisse, für die sich keine statistische Aussagewahrscheinlichkeit bestimmen lässt, wertvoll für die Reduzierung des Suchaufwands sind und häufig gerade die Suchvorgänge, die eine außergewöhnlich lange Such-dauer aufweisen, von hoher Relevanz für Prozessverbesserungen sind.

7.2.6 Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen

Im Rahmen der Praxisevaluation konnte die zuvor beschriebene Informationssuche in den Arbeitsplänen während der zyklischen Tätigkeiten im Bereich der Fertigungsinsel mit einem Suchanteil von 11,4 % als wesentliches Handlungsfeld identifiziert werden. Insgesamt konnten hierzu zwei wesentliche Verbesserungsmaßnahmen erarbeitet werden.

Ursachenanalyse

Für die Ursachenanalyse sind zunächst die drei Merkmale eines idealen Suchprozesses zu bewerten (Tabelle 7-4). Für das beschriebene Handlungsfeld ist der Aufenthaltsort der Nutzerschnittstelle für den Zugriff auf die digitalen Arbeitsunterlagen grundsätzlich bekannt und auch im direkten Zugriffsbereich des Mitarbeiters.

Tabelle 7-4: Relevante Einflussfaktoren für die Informationssuche in Arbeitsplänen

	Merkmals	Charakteristika einzelner Suchphasen	Einflussfaktor	
Information	1. Erfolgsquote	– Mittlere Häufigkeit mindestens einer Suchphase > 1	Bekanntheit Informationsträger	✓
	2. Aufenthaltsort	– Lange kumulierte Dauer der Phase Suche Informationsträger	(Materialsuche)	X
	3. Sichtaufwand	– Lange kumulierte Dauer der Phase Sichten (Informationsträger)	Suchfunktion	✓
			Informationsumfang	X
			Strukturierung	X
			Sortierung	X
			Informationstyp	✓

Der Aufwand für das Sichten des Informationsträgers erscheint allerdings hoch, da der Mitarbeiter häufig länger als 10 Sekunden nach einer Information sucht und auch regelmäßig den Arbeitsplan mehrfach sichten muss. Aufgrund der Ergebnisse der Detailanalyse sowie der Bewertungen der Mitarbeiter konnten daher ein hoher Sichtaufwand (Merkmal 3) aber auch eine nicht optimale Erfolgsquote als wesentliche Ursachen für den Suchaufwand bestimmt werden.

Weitere Ursachen wurden mithilfe eines Ursache-Wirkungs-Diagramms bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7-7 dargestellt. Insbesondere das Fehlen einer Suchfunktion, die implizite Darstellung der Arbeitsanweisungen, aber auch die teilweise mangelhafte Überarbeitung und Aktualisierung von Arbeitsplänen wurden dabei als wesentliche Einflussfaktoren identifiziert.

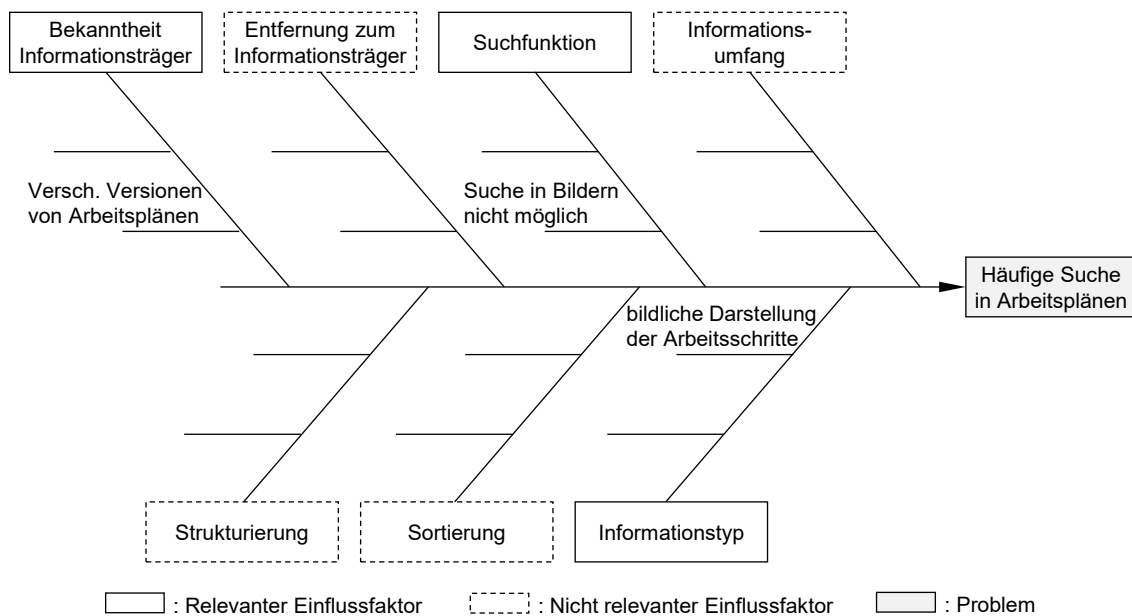


Abbildung 7-7: Ursache-Wirkungs-Diagramm (Informationssuche in Arbeitsplänen)

Ableitung und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen

Im Rahmen eines kurzen Workshops mit der Produktionsleitung, einem Teamleiter sowie den beiden Produktionsmitarbeitern ist es gelungen, geeignete Verbesserungsmaßnahmen zu erarbeiten, die den Suchaufwand innerhalb des Handlungsfelds verringern sollen. Zum einen sollen die bildlichen Arbeitsanweisungen durch standardisierte textliche Beschreibung (explizite Informationsdarstellung) ergänzt werden. Dies würde auch die Nutzung einer Suchfunktion ermöglichen, um gezielt einzelne Arbeitsanweisungen abzurufen. Eine weitere Idee war es, dem Mitarbeiter die relevanten Informationen des Arbeitsplans, wie beispielsweise die einzelnen Montageanweisungen, anhand von AR-Technologien direkt im Sichtfeld bereitzustellen. Eine Umsetzung der erarbeiteten Ideen war innerhalb des Evaluationsvorhabens aufgrund des Umsetzungsaufwands für das Unternehmen nicht mehr möglich.

7.3 Bewertung des Gesamtvorgehens

Das Anwendungsbeispiel zeigt, dass es mit der entwickelten Analyse- und Verbesserungsmethodik möglich ist, Suchaufwände innerhalb einer Produktion zu beschreiben, zu analysieren und Ansätze für Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. Auf Grundlage der Evaluationsergebnisse erfolgt eine abschließende Bewertung der Gesamtmethodik in Abschnitt 7.3.1.

Die praktische Umsetzung hat aber auch gezeigt, dass das Vorgehen bestimmten Grenzen unterliegt und sich insbesondere für die Analyse von Suchaufwänden unter bestimmten Rahmenbedingungen eignet. Abschließend geht Abschnitt 7.3.2 daher auf die Grenzen des Vorgehens ein.

7.3.1 Zielerreichung der Gesamtmethodik

Die Ergebnisse des Anwendungsbeispiels zeigen, dass die Gesamtmethodik erfolgreich in der Praxis umgesetzt werden konnte. Im Folgenden sollen die definierten Anforderungen (vgl. Abschnitt 2.7.2) mit den erzielten Ergebnissen der Evaluation abgeglichen werden, um die Gesamtmethodik zu bewerten.

Allgemeingültige Beschreibung und Modellierung von Suchaufwänden

Im Rahmen des Anwendungsbeispiels konnte jedem aufgenommenen Suchvorgang auf Grundlage der allgemeinen Suchobjekthierarchie eine Suchobjekt-Klasse zugeordnet werden. Die Modellierung des Suchaufwands lieferte die wesentliche Grundlage, um alle aufgenommenen Material- und Informationssuchen zu beschreiben und um die Suchhäufigkeit und die mittlere Suchdauer zu bestimmen. Darüber hinaus ist es gelungen, für ausgewählte Suchvorgänge zusätzliche Informationen zu einzelnen Suchphasen sowie zur Ausprägung wichtiger Einflussfaktoren zu erfassen. Dabei hat sich gezeigt, dass das zugrundeliegende Modell der generischen Suchphasen geeignet ist, die einzelnen Tätigkeiten sowohl während der Materialsuche als auch während der Informationssuche zu beschreiben. Die im Rahmen der Modellierung beschriebenen Einflussfaktoren auf den Suchaufwand konnten ebenfalls beschrieben und in einer Ursachenanalyse für die Auswahl geeigneter Verbesserungsmaßnahmen genutzt werden.

Detaillierte Analyse von Suchaufwänden in der industriellen Produktion

Insbesondere in Produktionsbereichen mit einem hohen Anteil manueller Tätigkeiten können Suchvorgänge auftreten und einen hohen Suchaufwand verursachen. Die Analyse des Suchaufwands an zwei Montagearbeitsplätzen sowie im Bereich der Kommissionierung konnte dies bestätigen. Dabei ist es gelungen, Suchvorgänge als Bestandteil unterschiedlicher Tätigkeiten zu erfassen und zu beschreiben. Zu den erfassten Tätigkeiten zählen sowohl zyklusgebundene als auch losgebundene Tätigkeiten. Die erfolgreiche Übertragbarkeit auf andere Produktionsumgebungen erscheint aufgrund des einfachen Vorgehens und der generischen Beschreibung von Suchvorgängen als sehr wahrscheinlich.

Insgesamt war es mit dem Analyseverfahren möglich, Suchvorgänge durch die Anwendung der gestuften Zeitaufnahme zu jedem Zeitpunkt vollständig aufzunehmen und Materialsuchen wie auch Informationssuchen gleichermaßen gut zu erfassen. Die Dauer der erfassten Suchvorgänge von 2 Sekunden bis über 6 Minuten zeigt weiterhin, dass sowohl sehr kurze als auch längere Suchvorgänge mithilfe des Vorgehens erfasst werden können. Der Aufbau und die Funktionsweise der Web-App tragen hierzu einen besonderen Anteil bei. Das Anwendungsbeispiel veranschaulicht außerdem, dass die ausgewerteten Suchaufwände für einzelne Bereiche und Tätigkeiten zusammengefasst werden können und somit eine systematische Bestimmung von Produktivitätspotentialen möglich ist. Insgesamt ermöglichen die Analyseergebnisse es Anwendern, Suchaufwände zu vergleichen, Potentiale für Produktivitätssteigerungen abzuschätzen und Handlungsfelder zu identifizieren.

Vorgehen zur systematischen Reduzierung von Suchaufwänden

Die Umsetzung des Verbesserungsvorgehens konnte im Rahmen des Anwendungsbeispiels in Form eines Workshops durchgeführt werden. Dabei ist es gelungen, mit der Suche nach Informationen in Arbeitsplänen während der Montagetätigkeit ein besonders relevantes Handlungsfeld zu identifizieren. Insbesondere auf Grundlage der erfassten Einflussfaktoren konnten verschiedene Verbesserungsmaßnahmen beschrieben werden. Die Umsetzung der Verbesserungsmaßnahmen sowie die Bewertung der Wirkung auf den Suchaufwand konnten allerdings im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht erfolgen.

Gewährleistung einer hohen Praxistauglichkeit

Insgesamt schätzten die Produktionsverantwortlichen und -mitarbeiter den Aufwand für das Gesamtverfahren als angemessen ein. Das Vorgehen wurde als verständlich und für die Analyse und Reduzierung von Suchaufwänden geeignet bewertet. Auch die beschriebenen Suchaufwände sind nach den beteiligten Mitarbeitern des Industrieunternehmens nachvollziehbar und als realistisch einzuschätzen.

Die Aufteilung des Vorgehens in eine Grob- und eine Detailanalyse ermöglichte sowohl die breite Erfassung des generellen Suchaufwands als auch die detaillierte Beschreibung ausgewählter Suchvorgänge innerhalb eines Handlungsfelds. Im Rahmen der Evaluation konnten allerdings nur wenige Detailaufnahmen zu dem im Anschluss an die Analyse identifizierten Handlungsfeld aufgenommen werden. Eine strikte Zweiteilung des Analyseverfahrens könnte diesem Problem zukünftig entgegenwirken. So besteht die Möglichkeit, in einem ersten Schritt mit der *Grobanalyse* die besonders relevanten Handlungsfelder zu identifizieren und für diese in einem zweiten Schritt die für das Verbesserungsvorgehen notwendigen Informationen in einer ausreichenden Stichprobengröße mithilfe der *Detailanalyse* zu erfassen.

Mit Ausnahme der Anwendung der Methode *Lautes Denken* konnten die Produktionsmitarbeiter während der Analyse ihrer eigentlichen Tätigkeit ungestört nachgehen, wodurch der Großteil des Erfassungsaufwands auf den Einsatz eines externen Beobachters entfiel. Insgesamt war dieser mit zwei Personentagen für die Aufnahme von zwei Schichten vertretbar. Durch die allgemeinen Suchobjekt- und Tätigkeitshierarchien konnte der Vorbereitungsaufwand der Analyse inklusive der Einweisung der beteiligten Mitarbeiter auf etwa zwei Stunden begrenzt werden. Die Verwendung der Web-App ermöglichte es dem Anwender, sowohl sehr kurze als auch längere Suchvorgänge einfach und genau zu erfassen. Der Aufwand für die Aufnahme aller suchrelevanten Informationen konnte durch die Web-App insgesamt erheblich reduziert werden. Durch die automatisierte Datenauswertung ist die Web-App außerdem in der Lage, den Aufwand für die Ergebnisauswertung auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Auswertungslogik und die Form der Datenvisualisierung erlauben es im Anwendungsbeispiel nicht, direkt von den Analyseergebnissen auf einzelne Produktionsmitarbeiter zu schließen, da in der Ergebnisauswertung die erfassten Daten nur den einzelnen Produktionsbereichen und nicht

bestimmten Mitarbeitern zugeordnet werden. Eine hohe Akzeptanz der beteiligten Produktionsmitarbeiter ist aber von besonderer Bedeutung für eine erfolgreiche Anwendung des Analyseverfahrens.

7.3.2 Grenzen des Vorgehens und der Evaluierung

Die praktische Umsetzung hat gezeigt, dass die Gesamtmethodik grundsätzlich in der Lage ist, Suchaufwände in der industriellen Produktion zu erfassen, zu analysieren und zu verbessern. Auf Grundlage der gesammelten Erfahrungen können allerdings auch wichtige Grenzen des Vorgehens abgeleitet werden. Zudem ergeben sich aus der Durchführung und dem Umfang der Evaluation Grenzen für die Bewertung der Gesamtmethode.

Grenzen des Vorgehens

Das vorgestellte Vorgehen ermöglicht es, Suchaufwände zu analysieren und zu verbessern. Im Rahmen der Evaluation hat sich allerdings herausgestellt, dass zwei wesentliche Grundvoraussetzungen für eine Datenerfassung in Fremdaufschreibung die Anwendung der Analyse je nach Anwendungsfall erschweren können.

1. Eine Interaktion mit dem Werker während der Aufnahme von Suchaufwänden ist häufig nicht zu vermeiden, da diese notwendig ist, um Informationen über einzelnen Suchobjekte zu erlangen und sicher den Beginn und das Ende eines Suchvorgangs erkennen zu können. Dies ist insbesondere bei der Informationssuche von großer Bedeutung. Je mehr Zeit die Interaktion allerdings in Anspruch nimmt, desto mehr wird der Werker von seiner eigentlichen Tätigkeit abgelenkt. Dies kann dazu führen, dass die aufgenommenen Daten verfälscht werden.
2. Sofern die Erfassung der Suchaufwände durch einen externen Beobachter erfolgt, steigt der Aufwand proportional zu der Anzahl an aufzunehmenden Mitarbeitern, da eine parallele Aufnahme der Tätigkeiten mehrerer Werker in der Regel nicht möglich ist. Für die Analyse sehr großer Bereiche mit vielen Mitarbeitern eignet sich das Prinzip der Fremdaufschreibung daher nur eingeschränkt.

Neben den erfassungsspezifischen Voraussetzungen lässt sich eine weitere grundsätzliche Grenze des Vorgehens beschreiben.

3. Eine grundlegende Herausforderung bei der Erfassung und Analyse von Suchaufwänden ist es, dass diese nur auf der Ebene der Produktionsmitarbeiter durch Aufnahme einzelner Tätigkeiten zu ermitteln sind. Je nach Unternehmen besteht dazu ein großer Abstimmungsbedarf mit der Arbeitnehmervertretung und den Mitarbeitern selbst, um die Rechte der Produktionsmitarbeiter zu schützen. Die Analyse von Suchaufwänden ist somit sehr stark von der Bereitschaft der beteiligten Produktionsmitarbeiter und der Arbeitnehmervertretung abhängig, die Analyse durchzuführen.

Grenzen der Evaluierung

Die Gesamtmethodik wurde durch den Methodenentwickler selbst in der Montage eines mittelständischen Unternehmens der variantenreichen Kleinserienfertigung evaluiert. Dadurch ergeben sich weitere Grenzen für die Bewertung der Gesamtmethodik.

1. Die Umsetzung des Vorgehens durch den Methodenentwickler im Rahmen der Evaluation erschwert es, die Anwendbarkeit der Gesamtmethodik durch Dritte zu bewerten. So verfügt der Methodenentwickler über eine tiefe Kenntnis des Gesamtverfahrens sowie über die Funktionsweise und die Bedienung der Web-App. Es besteht daher die Möglichkeit, dass für eine erfolgreiche und fehlerfreie Umsetzung des Vorgehens durch Dritte eine umfassende Schulung der Gesamtmethodik notwendig ist.
2. Um die Eignung des entwickelten Vorgehens für spezifische Analysen des Suchaufwands zu bewerten, ist der Umfang der Evaluation mit nur einem Unternehmen relativ gering. Daher besteht die Möglichkeit, dass das Gesamtverfahren in anderen Produktionsumgebungen weniger gut funktioniert. Allerdings bieten die allgemeingültige Objekt- und Tätigkeitshierarchien sowie die generischen Suchphasen eine gute Basis für die Übertragung des Vorgehens auf andere Produktionsumgebungen wie beispielsweise die Unikatfertigung oder die Produktionslogistik.

8 Schlussbetrachtung

Abschließend soll ein Überblick über die inhaltlichen Kapitel der Arbeit (Abschnitt 8.1) und ein Ausblick auf Anknüpfungspunkte für zukünftige Arbeiten (Abschnitt 8.2) gegeben werden.

8.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt auf Grundlage bestehender Ansätze die Relevanz von Suchvorgängen für das Produktivitätsmanagement und arbeitet die Herausforderung heraus, Suchvorgänge einheitlich zu beschreiben und quantitativ zu erfassen (Kapitel 2). Bewährte Verfahren der Zeitermittlung werden gegenübergestellt und im Hinblick auf ihre Eignung für die Erfassung von Suchaufwänden bewertet. Die sich daraus ergebenden Defizite bilden die Grundlage für die Anforderungen an eine Gesamtmethodik zur Analyse und Reduzierung von Suchaufwänden in der industriellen Produktion.

Die Voraussetzung für eine einheitliche und strukturierte Analyse von Suchaufwänden ist die Modellierung des Suchaufwands (Kapitel 3). Eine allgemeine Suchobjekthierarchie ermöglicht es, Suchobjekte zu kategorisieren und somit Suchvorgänge in einem ersten Schritt der Suche nach Informationen oder nach physischen Objekten zuzuordnen. Um Suchvorgänge detaillierter zu beschreiben, gibt ein generisches Phasenmodell typische und wiederkehrende Tätigkeiten für die Suche nach Informationen und nach physischen Objekten vor. Darauf aufbauend erlauben es zwei Wirkmodelle, den Suchaufwand für die Informations- und die Materialsuche auf Grundlage der Suchhäufigkeit und der mittleren Suchdauer zu bestimmen. Bestandteil beider Modelle sind ausgewählte und in Laborversuchen evaluierte Einflussfaktoren, die es ermöglichen, Ursachen für die Entstehung von Suchaufwänden zu identifizieren.

Angelehnt an bestehende Verfahren der Zeitermittlung erlaubt es die gestufte Zeitaufnahme, Suchvorgänge grob und detailliert während typischer Produktionstätigkeiten zu erfassen (Kapitel 4). In einem ersten Schritt ist es dazu notwendig, die allgemeine Tätigkeits- und Suchobjekthierarchie auf den zu untersuchenden Analysebereich anzupassen. Daraufhin unterstützt eine im Rahmen der vorliegenden Arbeit erweiterte Web-App die Datenerfassung durch eine effiziente Aufnahmelogik. Die Datenerfassung kann in zwei Varianten durchgeführt werden: Die *Grobanalyse* ermöglicht es, den Suchaufwand innerhalb eines Bereichs umfassend aufzunehmen, um Handlungsfelder im Hinblick auf bestimmte Bereiche, Tätigkeiten und Suchobjekte zu bestimmen. Die *Detailanalyse* erfasst zusätzliche Informationen für bestimmte Suchvorgänge, die für die Ursachenanalyse und die Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen verwendet werden können.

Die Aggregation und Auswertung der erhobenen Daten erfolgen automatisiert innerhalb der Web-App, die die Ergebnisse in Form eines einheitlichen Dashboards visualisiert (Kapitel 5). Wesentliche Kennzahlen für die Bewertung des Suchaufwands sind der Suchanteil an der Gesamttätigkeit innerhalb eines Bereichs sowie an spezifischen Tätigkeiten der Mitarbeiter. Die Auswertung ermöglicht es außerdem, den Suchaufwand nach Suchobjektkategorien aufzuteilen und die Suchhäufigkeit und die mittlere Suchdauer für die einzelnen Kategorien zu bestimmen. Informationen,

die mithilfe der Detailanalyse erfasst wurden, ermöglichen es, die Häufigkeit und Dauer der einzelnen Suchphasen zu analysieren und die Ausprägung wesentlicher Einflussfaktoren zu bewerten. Auf Grundlage der Ergebnisauswertungen können Anwender Handlungsfelder für die Vermeidung beziehungsweise für die Reduzierung von Suchaufwänden bestimmen und auswählen.

Im letzten Schritt sind auf Grundlage einer systematischen Ursachenanalyse Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten und umzusetzen (Kapitel 6). Kern der Ursachenanalyse ist die Bewertung der Merkmale eines idealen Suchvorgangs mithilfe der analysierten Suchphasen und Einflussfaktoren. In kurzen Ideenworkshops können daraufhin Verbesserungsmaßnahmen erarbeitet werden, die den Suchaufwand reduzieren. Die Gesamtmethodik soll es so Anwendern ermöglichen, den Suchaufwand kontinuierlich zu reduzieren und die Produktivität zu steigern.

Abschließend veranschaulicht ein Anwendungsbeispiel die praktische Umsetzung des entwickelten Vorgehens im Produktionsumfeld einer variantenreichen Kleinserienfertigung eines mittelständischen Unternehmens (Kapitel 7). Im Anwendungsbeispiel war es mit der Analysemethodik möglich, den Suchaufwand an verschiedenen Arbeitsplätzen mithilfe der *Grobanalyse* umfassend aufzunehmen. Zusätzlich war es möglich, stichprobenartig Suchvorgänge mit der *Detailanalyse* zu erfassen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Analysemethodik in der Lage ist, selbst an einem modernen und gut organisierten Montagearbeitsplatz einen relevanten Suchaufwand aufzuzeigen. Auf Grundlage der Ergebnisauswertung ist es außerdem gelungen, mit den Produktionsverantwortlichen und -mitarbeitern, Handlungspotentiale zu identifizieren und mögliche Verbesserungsmaßnahmen zu formulieren.

8.2 Ausblick

Das entwickelte Vorgehen zur Analyse und Verbesserung industrieller Suchvorgänge bietet eine gute Grundlage, um Suchaufwände in der Industrie quantitativ zu beschreiben und Handlungsfelder für die Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen zu identifizieren. Für eine breite industrielle Anwendung der Gesamtmethodik bietet es sich an, diese in vier Schritten weiterzuentwickeln: die Ausarbeitung eines Schulungskonzepts für Anwender in der Praxis, die Weiterentwicklung des Verbesserungsvorgehens, die Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit der Web-App sowie die Übertragung des Ansatzes auf andere Fertigungsarten und Unternehmensbereiche.

Um Dritte in die Lage zu versetzen, die Gesamtmethodik selbstständig und fehlerfrei anzuwenden, ist es notwendig, ein geeignetes Schulungskonzept zu entwickeln. Dabei sollten die Erstellung von Tätigkeits- und Objekthierarchien sowie das aufeinander abgestimmte Vorgehen von Grob- und Detailanalyse im Mittelpunkt stehen. Es wäre außerdem wünschenswert, wenn Unternehmen so die Gesamtmethodik in ihr betriebliches Produktivitätsmanagement integrieren und das Vorgehen nutzen, um Suchaufwände kontinuierlich zu reduzieren.

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit lag auf der Analyse von Suchaufwänden in der industriellen Produktion. Für einen breiten industriellen Einsatz ist es sinnvoll, dass die Anwender die Möglichkeit haben, aus einem Katalog mit geeigneten und in der Praxis bewährten Verbesserungsmaßnahmen auszuwählen. Dazu sollte ein Methodenpool beschrieben werden, der erprobte

Maßnahmen enthält, die den Suchaufwand nach Informationen und nach physischen Objekten reduziert. Durch die Bewertung der Methodenwirkung auf wichtige Einflussfaktoren des Suchaufwands besteht die Möglichkeit, gezielt passende Methoden für einzelne Suchaufwände auszuwählen und zu priorisieren. Darüber hinaus ist es wünschenswert, systematisch neue Verbesserungsmaßnahmen zu entwickeln, zu evaluieren und dem Methoden-Pool im Sinne von Best Practices hinzuzufügen.

Der entwickelte Software-Prototyp muss für einen industriellen Einsatz weiterentwickelt werden. Insbesondere die Anwenderfreundlichkeit sollte hierbei im Fokus stehen, sodass eine einfache und fehlerfreie Verwendung der Web-App im Hinblick auf die Vorbereitung, die Durchführung und die Auswertung der Analyse durch Dritte möglich ist. Zusätzlich könnte auch das Verbesserungsvorgehen in der Web-App implementiert werden, sodass der Anwender dabei unterstützt wird, Verbesserungsmaßnahmen auf Grundlage der Analyseergebnisse zu bewerten, zu priorisieren und auszuwählen.

Die Evaluierung des Gesamtvorgehens erfolgte im Rahmen der vorliegenden Arbeit im Bereich der variantenreichen Kleinserienfertigung. Es erscheint aber vielversprechend, das Vorgehen auch in anderen Umgebungen anzuwenden. Insbesondere die Produktionslogistik sowie die Unikatfertigung bieten sich aufgrund des häufig hohen Anteils manueller Tätigkeiten sowie des komplexen Zusammenwirkens unterschiedlicher Prozesse für eine Analyse des Suchaufwands an. Ebenso ist eine Anwendung der Gesamtmethodik in indirekten Bereichen mit einem Schwerpunkt auf der Analyse und Verbesserung der Suche nach Informationen vorstellbar.

Nach den Erfahrungen der Anwendung kann die Integration der Gesamtmethodik in ein betriebliches Produktivitätsmanagement grundsätzlich dazu beitragen, die Arbeitsproduktivität kontinuierlich zu verbessern. Zusätzlich können Unternehmen die in der Analyse gewonnenen Erkenntnisse in Kombination mit Informationen zu anderen Teilproduktivitäten, wie beispielsweise der Maschinenproduktivität, nutzen, um ihre Gesamtproduktivität und damit auch ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern.

Literaturverzeichnis

- [BAND10] Bandow, G. Hrsg.: "Das ist gar kein Modell!". Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften. Gabler, Wiesbaden, 2010.
- [BELC82] Belcher, J. G.: The Productivity Management Process. Planning Executives Institute, Oxford, 1982.
- [BERT18] Bertagnolli, F.: Lean Management. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2018.
- [BOKR06] Bokranz, R.; Landau, K. Hrsg.: Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. MTM-Handbuch. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2006.
- [CZUM13] Czumanski, T.: Handlungsorientierte Analyse der Arbeitsproduktivität in der Serienproduktion. Dissertation, Hamburg, 2013.
- [DAEN02] Daenzer, W.F. Hrsg.: Systems Engineering. Methodik und Praxis. Verl. Industrielle Organisation, Zürich, 2002.
- [DEMI86] Deming, W. E.: Out of the crisis. Quality, productivity and competitive position. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1986.
- [DOMB06] Dombrowski, U.; Palluck, M.; Schmidt, S.: Strukturelle Analyse Ganzheitlicher Produktionssysteme. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 3/101, S. 114–118, 2006.
- [DOMB15] Dombrowski, U.; Mielke, T.: Ganzheitliche Produktionssysteme. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2015.
- [DORN14] Dorner, M.: Das Produktivitätsmanagement des Industrial Engineering unter besonderer Betrachtung der Arbeitsproduktivität und der indirekten Bereiche. Dissertation, Karlsruhe, 2014.
- [DUDE23a] Dudenredaktion: "Suchen". <https://www.duden.de/suchen/dudenonline/suchen>, Stand: 30.03.2023.
- [DUDE23b] Dudenredaktion: "Finden". <https://www.duden.de/suchen/dudenonline/finden>, Stand: 30.03.2023.
- [ECKE05] Eckey, H.-F.; Kosfeld, R.; Türck, M.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und Induktive Statistik. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2005.
- [EISE21] Eisele, O.; Jeske, T.; Lennings, F.: Produktivitätsmanagement. In (Jeske, T.; Lennings, F. Hrsg.): Produktivitätsmanagement 4.0. Praxiserprobte Vorgehensweisen zur Nutzung der Digitalisierung in der Industrie. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, S. 7–41, 2021.
- [ERIC93] Ericsson, K. A.; Simon, H.; A.: Protocol analysis. Verbal reports as data. MIT Press, Cambridge, Mass, 1993.

- [FAHR04] Fahrmeir, L. et al.: Statistik. Der Weg zur Datenanalyse. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2004.
- [FRÜH90] Frühwald, C.: Analyse und Planung produktionstechnischer Rüstabläufe. Dissertation, Hannover, 1990.
- [GLÖC17] Glöckner, R. et al.: Modellierung der Arbeitsproduktivität. Unpublished, 2017.
- [GLÖC19] Glöckner, R.; Lödding, H.: Produktivität, Kapazität und Terminabweichung/Connecting Productivity, Capacity and Lateness with the help of Operating Curves. wt Werkstattstechnik online 04/109, S. 235–239, 2019.
- [GLÖC20] Glöckner, R.: Entwicklung eines Gesamtmodells der Arbeitsproduktivität und der logistischen Zielgrößen. Dissertation, Hamburg, 2020.
- [GORE13] Gorecki, P.; Pautsch, P.: Praxisbuch Lean Management. Der Weg zur operativen Excellence. Hanser, München, 2013.
- [GRAB17] Grabner, C. et al.: Bewertung des Aufwands von Lean-Methoden. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 3/112, S. 114–117, 2017.
- [GRAB20] Grabner, C.: Methodengestütztes Produktivitätsmanagement. Entwicklung eines datenbasierten Vorgehens. Dissertation, Hamburg, 2020.
- [HALL69] Haller-Wedel, E.: Das Multimoment-Verfahren in Theorie und Praxis. Ein statistisches Verfahren zur Untersuchung von Vorgängen in Industrie, Wirtschaft und Verwaltung. Hanser, München, 1969.
- [HEDD20] Hedderich, J.; Sachs, L.: Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R. Springer Spektrum, Berlin, 2020.
- [HENZ13] Henze, N.: Irrfahrten und verwandte Zufälle. Ein elementarer Einstieg in die stochastischen Prozesse. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2013.
- [HIRA09] Hirano, H.: JIT implementation manual. The complete guide to just-in-time manufacturing. Vol. 2, Waste and the 5S's. CRC Press, Boca Raton, 2009.
- [HIRS92] Hirsch, B. E.: CIM in der Unikatfertigung und -montage. Leitfaden zum Erfolg. Springer Verlag, Berlin, 1992.
- [HOMP11] Hompel, M. ten; Sadowsky, V.; Beck, M.: Kommissionierung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [ISHI87] Ishikawa, K.: What is total quality control? The Japanese way. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1987.
- [KAMI15] Kamiske, G.F. Hrsg.: Handbuch QM-Methoden. Die richtige Methode auswählen und erfolgreich umsetzen. Hanser, München, 2015.
- [KLEP16] Kleppmann, W.: Versuchsplanung. Produkte und Prozesse optimieren. Hanser, München, Wien, 2016.

- [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.: Der Toyota Weg. Praxisbuch für jedes Unternehmen - Das Begleitbuch zum Klassiker. Finanzbuch Verlag, München, 2009.
- [LIKE14] Liker, J. K.: Der Toyota Weg. 14 Managementprinzipien des weltweit erfolgreichsten Automobilkonzerns. Finanzbuch Verlag, München, 2014.
- [LÖDD16] Lödding, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2016.
- [LÖDD22] Lödding, H.: Vorlesungsskript "Produktivitätsmanagement", TU Hamburg, Institut für Produktionsmanagement und -technik, Sommersemester 2022.
- [LOTT12] Lotter, B.; Wiendahl, H.-P.: Montage in der industriellen Produktion. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [LOTT16] Lotter, B.; Deuse, J.; Lotter, E.: Die Primäre Produktion. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2016.
- [MARS75] Marshall, R. E.: Productivity Management. A complete management approach to increasing productivity through the improved utilization of human resources. Management Systems Research Institute, Minneapolis, 1975.
- [MATI01] Matias, A. C.: Work Measurement: Principles and Techniques. In (Salvendy, G. Hrsg.): Handbook of Industrial Engineering. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ, USA, S. 1409–1462, 2001.
- [MELU19] Meluzov, N. et al.: Produktivitätssteigerung in der Instandhaltung durch digitale Assistenzsysteme. In (Biedermann, H. Hrsg.): Digitalisierte Instandhaltung. Stand und Perspektiven 33. Instandhaltungsforum. TÜV Media GmbH, Köln, S. 181–197, 2019.
- [NEBL02] Nebl, T.: Produktivitätsmanagement. Theoretische Grundlagen, methodische Instrumentarien, Analyseergebnisse und Praxiserfahrungen zur Produktivitätssteigerung in produzierenden Unternehmen. Hanser, München, 2002.
- [NERD14] Nerdinger, F. W.; Blickle, G.; Schaper, N.: Arbeits- und Organisationspsychologie. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2014.
- [NIEB03] Niebel, B. W.; Freivalds, A.: Methods, standards, and work design. McGraw-Hill, Boston, Mass., 2003.
- [NORT16] North, K.: Wissensorientierte Unternehmensführung. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2016.

- [OHNO93] Ohno, T.: Das Toyota-Produktionssystem. Campus Verlag, Frankfurt am Main, 1993.
- [PAVN03] Pavnaskar, S. J.; Gershenson, J. K.; Jambekar, A. B.: Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research* 13/41, S. 3075–3090, 2003.
- [REFA16] REFA - Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e. V.: *Industrial Engineering. Standardmethoden zur Produktivitätssteigerung und Prozessoptimierung*. Hanser; Ciando, München, 2016.
- [REFA97] REFA - Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e. V.: *Methodenlehre der Betriebsorganisation. Datenermittlung*. Carl Hanser Verlag, München, 1997.
- [SAND13] Sandkuhl, K.; Wißotzki, M.; Stirna, J.: *Unternehmensmodellierung*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [SAUT11] Sauter, M.; Killisch-Horn, G. von: *Produktivitätsmanagement in einer variantenreichen Fertigung*. Heider, Bergisch Gladbach, 2011.
- [SCHL18] Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: *Arbeitswissenschaft*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2018.
- [SCHU06] Schuh, G.: *Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*. Springer Verlag, Berlin, Hiedelberg, 2006.
- [SINK85] Sink, D. S.: *Productivity management. Planning, measurement and evaluation, control and improvement*. Wiley, New York, 1985.
- [STEE19] Steenwerth, P.; Lödding, H.: A Generic Approach to Model and Analyze Industrial Search Processes. In (Ameri, F. et al. Hrsg.): *Advances in Production Management Systems. Towards Smart Production Management Systems*. Springer International Publishing, Cham, S. 511–519, 2019.
- [SUHL13] Suhl, L.; Mellouli, T.: *Optimierungssysteme. Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [SUMA84] Sumanth, D. J.: *Productivity engineering and management. Productivity measurement, evaluation, planning, and improvement in manufacturing and service organizations*. McGraw-Hill, New York, 1984.
- [THOM07] Thome, G.; Sollbach, W.: *Grundlagen und Modelle des Information Lifecycle Management*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [TIET14] Tietze, F.; Lödding, H.: Analyse der Arbeitsproduktivität in der Unikatfertigung. Eine Grundlage für zielorientierte Verbesserungsprozesse in der Unikatfertigung. *Industrie Management* 30 3, S. 62–66, 2014.

- [TIET17] Tietze, F.: Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion. Dissertation, Hamburg, 2017.
- [TÖPF07] Töpfer, A.: Betriebswirtschaftslehre. Anwendungs- und prozessorientierte Grundlagen. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [TÖPF09] Töpfer, A. Hrsg.: Lean Six Sigma. Erfolgreiche Kombination von Lean Management, Six Sigma und Design for Six Sigma. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [VDI2870a] Verein Deutscher Ingenieure: Ganzheitliche Produktionssysteme. Methodenka-
talog, Blatt 1. Beuth, Berlin, 2013.
- [VDI2870b] Verein Deutscher Ingenieure: Ganzheitliche Produktionssysteme. Methodenka-
talog, Blatt 2. Beuth, Berlin, 2013.
- [WEST06] Westkämper, E.: Einführung in die Organisation der Produktion. Springer Ver-
lag, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [WIEN97] Wiendahl, H.-P.: Fertigungsregelung. Logistische Beherrschung von Ferti-
gungsabläufen auf Basis des Trichtermodells; 42 Tabellen. Hanser, München,
Wien, 1997.
- [WILC93] Wilcoxon, F.: Individual Comparisons by Ranking Methods. In (Kotz, S.
Hrsg.): Breakthroughs in statistics. Springer Verlag, New York, Berlin, S. 196–
202, 1993.
- [WOMA05] Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D.: The machine that changed the world.
How Japan's secret weapon in the global auto wars will revolutionize western
industry. HarperPerennial, New York, NY, 2005.
- [WOMA13] Womack, J. P.; Jones, D. T.: Lean Thinking. Ballast abwerfen, Unternehmens-
gewinn steigern. Campus Verlag, Frankfurt/New York, 2013.
- [ZOLL01] Zollondz, H.-D. Hrsg.: Lexikon Qualitätsmanagement. Handbuch des moder-
nen Managements auf der Basis des Qualitätsmanagements. Oldenbourg, Mün-
chen, Wien, 2001.

Anhang

Teil A

Gemessene Suchaufwände für die Stellgröße *Bewegung zum Aufenthaltsort* (Aufbau 1)

Versuch	Bekanntheit Aufenthaltsort	Entfernung zum Objekt	Proband															SDm
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	ja	5 m	10,6	9,9	9,9	8,7	10,1	9,3	13,1	11,6	10,4	19,2	9,4	9,7	12,1	11,6	13,0	22,2
2	ja	10 m	14,5	19,4	18,1	17,9	16,5	14,7	19,9	18,3	16,5	22,1	17,4	16,6	16,9	18,1	16,0	42,9
3	ja	15 m	23,0	27,4	28,3	27,4	27,5	26,3	27,9	29,1	24,7	35,7	26,1	23,5	27,3	26,8	28,9	10,3
4	ja	20 m	26,7	32,4	31,2	30,6	31,4	32,5	39,5	31,9	29,5	41,7	32,6	30,9	37,1	32,3	33,4	23,4
5	nein	5 m	8,5	10,8	10,1	11,8	11,7	10,7	11,9	13,8	9,3	26,8	11,8	10,4	12,7	11,9	10,6	22,6
6	nein	10 m	27,9	27,5	27,2	38,5	32,6	28,5	40,0	28,2	24,9	59,8	38,3	36,0	39,6	28,2	41,4	33,9
7	nein	15 m	29,1	40,4	34,5	40,2	33,5	47,8	44,1	44,9	43,8	61,4	52,4	51,1	48,3	33,7	39,8	62,7
8	nein	20 m	73,7	93,1	88,9	112,6	77,4	117,2	138,0	72,1	97,6	102,7	120,8	115,4	108,8	90,6	109,2	21,9
	Aufenthaltsort bekannt		18,7	22,2	21,9	21,1	21,4	20,7	25,1	22,7	20,3	29,7	21,4	20,2	23,4	22,2	22,8	21,4
	Aufenthaltsort nicht bekannt		34,8	42,9	40,2	50,8	38,8	51,1	58,5	39,7	43,9	62,7	55,8	53,2	52,4	41,1	50,3	50,8
	5 m		9,5	10,3	10,0	10,2	10,9	10,0	12,5	12,7	9,8	23,0	10,6	10,0	12,4	11,7	11,7	10,2
	10 m		21,2	23,4	22,6	28,2	24,6	21,6	29,9	23,2	20,7	40,9	27,8	26,3	28,2	23,2	28,7	29,9
	15 m		26,0	33,9	31,4	33,8	30,5	37,0	36,0	37,0	34,2	48,5	39,2	37,3	37,8	30,3	34,4	37,0
	20 m		50,2	62,7	60,1	71,6	54,4	74,8	88,8	52,0	63,5	72,2	76,7	73,2	73,0	61,4	71,3	88,8

Auswertung der Einflussfaktoren für die Stellgröße *Bewegung zum Aufenthaltsort* (Aufbau 1)

Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Bekanntheit Aufenthaltsort	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Differenz	16,1	20,7	18,3	29,6	17,4	30,4	33,4	17,0	23,6	33,0	34,5	33,0	29,0	18,9	27,4
	Rang	1	6	4	10	3	11	14	2	7	12	15	13	9	5	8
Anzahl:	15															
Summe + =	120															
Summe - =	0															
		Konfidenzint.: Wkrit =			95% 25			Konfidenzint.: Wkrit =			99% 15					
		Signifikant:			JA			Signifikant:			JA					
5 m / 10 m	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Differenz	11,7	13,1	12,7	17,9	13,7	11,6	17,5	10,6	10,9	17,9	17,3	16,2	15,8	11,4	16,9
	Rang	5	7	6	15	8	4	13	1	2	14	12	10	9	3	11
Anzahl:	15															
Summe + =	120															
Summe - =	0															
		Konfidenzint.: Wkrit =			95% 25			Konfidenzint.: Wkrit =			99% 15					
		Signifikant:			JA			Signifikant:			JA					
10 m / 15 m	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Differenz	4,8	10,4	8,8	5,6	5,9	15,4	6,0	13,8	13,5	7,6	11,4	11,0	9,6	7,1	5,6
	Rang	1	10	8	2	4	15	5	14	13	7	12	11	9	6	3
Anzahl:	15															
Summe + =	120															
Summe - =	0															
		Konfidenzint.: Wkrit =			95% 25			Konfidenzint.: Wkrit =			99% 15					
		Signifikant:			JA			Signifikant:			JA					
15 m / 20 m	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Differenz	24,1	28,8	28,6	37,8	23,9	37,8	52,8	15,0	29,3	23,7	37,5	35,9	35,2	31,2	37,0
	Rang	4	6	5	14	3	13	15	1	7	2	12	10	9	8	11
Anzahl:	15															
Summe + =	120															
Summe - =	0															
		Konfidenzint.: Wkrit =			95% 25			Konfidenzint.: Wkrit =			99% 15					
		Signifikant:			JA			Signifikant:			JA					

Auswertung der Einflussfaktoren für die Stellgröße *Sichten Aufenthaltsort* (Aufbau 2)

Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Sichtbarkeit	Vorzeichen	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	1
	Differenz	0,6	0,2	0,1	1,4	1,2	0,2	0,1	0,5	1,0	0,6	2,0	0,1	0,7	1,5
	Rang	9	-5	-3	13	12	4	2	-7	-11	8	15	1	-10	14
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 84 36	Konfidenzint.: 99% Wkrit = 15 Signifikant: NEIN												
Sortenreinheit	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Differenz	9,2	5,3	4,7	6,9	4,8	5,9	6,9	4,6	4,8	8,1	5,5	8,2	7,5	7,1
	Rang	15	5	2	8	3	7	9	1	4	12	6	13	11	10
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 120 0	Konfidenzint.: 95% Wkrit = 25 Signifikant: JA												
Sortierung	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Differenz	9,2	4,3	3,4	7,4	3,5	3,2	4,9	2,6	3,0	3,5	5,3	5,1	6,3	5,3
	Rang	15	7	4	14	6	3	8	1	2	5	11	9	13	10
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 120 0	Konfidenzint.: 99% Wkrit = 15 Signifikant: JA												
Kennzeichnung	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Differenz	2,6	2,6	1,6	1,8	2,1	3,6	5,6	1,9	1,8	0,7	6,0	0,9	5,3	2,0
	Rang	10	11	4	6	9	12	14	7	5	1	15	2	13	8
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 120 0	Konfidenzint.: 95% Wkrit = 25 Signifikant: JA												

Teil B

Gemessener Suchaufwand für die Stellgröße *Navigieren in Informationsträger* (Aufbau 1)

Versuch	Sortierung	Strukturierung	Anzahl Informationen	Proband															SDm															
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15																
1	sortiert	strukturiert	1	4,1	2,3	3,3	4,4	2,5	5,7	4,1	4,1	3,9	7,0	5,3	6,0	2,3	5,1	6,1	11,4	9,3	12,8	8,0	11,2	13,9	8,3	10,1	11,9	11,4	13,8	15,4	15,6	13,8	17,3	12,3
2	sortiert	unstrukturiert	50	13,5	15,9	22,3	13,1	18,7	13,6	11,8	17,5	14,4	11,6	20,0	8,1	27,5	24,3	25,9	49,2	17,4	90,8	39,1	36,9	51,8	30,9	26,9	52,1	31,0	56,9	36,5	69,7	36,4	46,4	44,8
3	sortiert	strukturiert	100	10,0	8,6	9,9	8,7	9,2	15,2	8,3	8,0	10,8	8,3	11,7	12,4	13,8	13,0	11,2	24,4	10,4	33,8	18,6	15,3	23,7	9,0	11,4	15,0	12,3	15,9	18,3	15,5	17,8	13,3	17,0
4	sortiert	unstrukturiert	200	18,8	17,0	12,2	9,1	9,4	12,2	8,0	20,7	12,3	23,8	22,0	25,5	20,6	18,0	25,1	36,2	16,2	69,7	28,5	32,8	41,9	30,1	25,6	49,0	30,0	54,8	33,6	69,8	32,3	50,3	40,1
5	sortiert	unstrukturiert	1	4,0	4,6	11,2	3,8	7,1	11,6	6,5	6,1	11,4	9,7	9,8	8,1	17,0	9,7	8,9	5,0	3,0	6,7	4,4	5,3	7,7	5,7	5,8	7,2	8,1	7,5	7,4	8,2	7,1	7,8	6,4
6	sortiert	strukturiert	50	8,5	4,4	11,9	7,3	7,0	12,7	4,7	7,1	9,5	10,8	10,7	15,0	9,9	9,9	10,0	24,7	12,1	32,5	29,3	20,6	19,8	17,5	21,7	27,7	22,9	21,3	14,3	24,5	26,8	20,0	22,4
7	sortiert	unstrukturiert	100	18,6	12,0	16,6	11,0	24,6	28,6	15,1	8,9	19,9	8,4	13,1	36,7	19,7	15,3	32,5	19,4	15,7	80,3	13,8	32,2	41,3	13,1	27,5	46,9	23,8	22,0	57,3	55,5	32,2	33,6	
8	sortiert	strukturiert	200	13,8	9,4	14,7	6,5	11,4	11,3	7,7	8,5	13,3	11,7	17,8	11,6	14,0	14,7	18,4	72,2	22,6	87,7	46,6	38,1	62,5	41,9	19,1	46,3	30,0	90,5	24,9	82,4	34,1	76,2	51,7
9	unsortiert	strukturiert	1	4,8	1,9	4,7	4,0	4,8	4,4	4,1	5,2	5,1	7,0	6,0	6,4	4,9	5,7	3,9	119,0	24,2	171,1	89,1	13,7	23,4	22,1	17,8	25,7	20,4	31,3	20,4	29,9	22,8	22,3	22,3
10	unsortiert	unstrukturiert	50	62,0	13,6	60,4	83,8	42,0	34,3	47,5	35,5	67,1	49,3	36,2	13,0	36,3	59,0	28,3	119,0	24,2	171,1	89,1	13,7	23,4	22,1	17,8	25,7	20,4	31,3	20,4	29,9	22,8	22,3	22,3
11	unsortiert	strukturiert	100	20,3	17,9	19,8	16,0	59,4	98,7	15,0	14,2	32,0	13,5	26,2	54,0	24,4	57,0	19,0	119,0	24,2	171,1	89,1	13,7	23,4	22,1	17,8	25,7	20,4	31,3	20,4	29,9	22,8	22,3	22,3
12	unsortiert	unstrukturiert	200	137,0	39,7	152,6	81,7	118,0	203,3	130,0	29,3	133,7	64,0	291,0	42,0	265,0	81,0	239,0	119,0	24,2	171,1	89,1	13,7	23,4	22,1	17,8	25,7	20,4	31,3	20,4	29,9	22,8	22,3	22,3
13	unsortiert	unstrukturiert	1	6,9	3,1	7,7	5,6	7,0	9,1	7,9	7,7	8,2	8,6	9,0	9,0	8,4	7,8	12,1	119,0	24,2	171,1	89,1	13,7	23,4	22,1	17,8	25,7	20,4	31,3	20,4	29,9	22,8	22,3	22,3
14	unsortiert	strukturiert	50	14,6	14,5	35,3	13,0	14,8	18,7	6,3	26,6	19,7	19,9	18,4	20,9	24,4	14,1	15,7	119,0	24,2	171,1	89,1	13,7	23,4	22,1	17,8	25,7	20,4	31,3	20,4	29,9	22,8	22,3	22,3
15	unsortiert	unstrukturiert	100	28,8	24,2	275,1	19,7	35,7	22,6	14,2	79,1	125,0	65,0	37,0	126,0	164,0	43,4	30,6	119,0	24,2	171,1	89,1	13,7	23,4	22,1	17,8	25,7	20,4	31,3	20,4	29,9	22,8	22,3	22,3
16	unsortiert	strukturiert	200	119,0	24,2	171,1	89,1	13,7	23,4	22,1	17,8	25,7	20,4	31,3	20,4	29,9	22,8	22,3	119,0	24,2	171,1	89,1	13,7	23,4	22,1	17,8	25,7	20,4	31,3	20,4	29,9	22,8	22,3	22,3

Auswertung der Einflussfaktoren für die Stellgröße *Navigieren in Informationsträger* (Aufbau 1)

Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Sortierung	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Differenz	37,8	8,1	78,1	31,1	25,7	37,9	22,6	16,8	40,1	19,6	43,1	21,0	54,1	22,6	29,1
	Rang	10	1	15	9	7	11	6	2	12	3	13	4	14	5	8
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 120 0	Konfidenzint.: 99% Wkritt = 15 Signifikant: JA													
Strukturierung	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Differenz	11,8	5,8	35,9	9,8	17,5	18,2	21,1	14,2	34,0	17,7	38,8	15,2	54,4	14,5	37,0
	Rang	3	1	12	2	7	9	10	4	11	8	14	6	15	5	13
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 120 0	Konfidenzint.: 99% Wkritt = 15 Signifikant: JA													
1/50	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Differenz	19,7	9,1	25,7	24,9	15,3	12,2	11,9	15,9	20,5	14,8	13,8	6,9	16,4	19,8	12,2
	Rang	11	2	15	14	8	4	3	9	13	7	6	1	10	12	5
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 120 0	Konfidenzint.: 99% Wkritt = 15 Signifikant: JA													
50/100	Vorzeichen	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	
	Differenz	5,2	3,6	47,9	15,5	11,6	21,5	4,4	5,9	19,2	0,9	0,7	43,0	31,0	5,4	3,4
	Rang	-6	4	15	-10	9	12	-5	8	11	2	1	14	13	7	3
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 99 21	Konfidenzint.: 99% Wkritt = 15 Signifikant: NEIN													
100/200	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	
	Differenz	52,7	6,9	7,3	32,7	5,9	21,2	28,8	8,4	0,6	6,2	68,5	32,4	26,9	2,0	52,9
	Rang	13	5	6	12	3	8	10	-7	-1	4	15	-11	9	2	14
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 101 19	Konfidenzint.: 99% Wkritt = 15 Signifikant: NEIN													

Auswertung der Einflussfaktoren für die Stellgröße *Navigieren in Informationsträger* (Aufbau 2)

Proband		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Suchfunktion	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Differenz	26,9	17,0	22,8	35,2	5,0	9,5	22,6	18,1	47,2	22,9	34,7	10,8	32,6	23,9	36,2
	Rang	10	4	7	13	1	2	6	5	15	8	12	3	11	9	14
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 120 0														
		Konfidenzint.: Wkritt =			95% 25			Konfidenzint.: Wkritt =			99% 15			Signifikant: JA		
Sortierung	Vorzeichen	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	1
	Differenz	11,7	2,4	2,9	5,3	0,4	6,1	12,9	14,5	30,6	10,0	5,2	7,7	16,1	9,1	15,8
	Rang	10	-2	3	-5	1	6	11	12	15	9	4	-7	14	8	13
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 106 14														
		Konfidenzint.: Wkritt =			95% 25			Konfidenzint.: Wkritt =			99% 15			Signifikant: JA		
Strukturierung	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Differenz	21,7	12,8	14,9	22,9	7,8	11,7	26,2	20,5	41,1	28,3	29,3	8,7	27,0	21,6	30,8
	Rang	8	4	5	9	1	3	10	6	15	12	13	2	11	7	14
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 120 0														
		Konfidenzint.: Wkritt =			95% 25			Konfidenzint.: Wkritt =			99% 15			Signifikant: JA		
Informations- umfang	Vorzeichen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Differenz	19,0	8,6	13,4	23,9	5,6	3,2	18,5	12,8	31,0	19,0	11,8	6,1	25,1	17,3	31,2
	Rang	11	4	7	12	2	1	9	6	14	10	5	3	13	8	15
	Anzahl: Summe + = Summe - =	15 120 0														
		Konfidenzint.: Wkritt =			95% 25			Konfidenzint.: Wkritt =			99% 15			Signifikant: JA		

Gemessener Suchaufwand für die Stellgröße *Informationsverarbeitung* (Aufbau 3)

Versuch	Informations- bereitstellung	Proband															SDm
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	implizit	9,7	11,5	24,7	14,5	5,6	24,2	5,0	12,5	19,4	9,5	14,0	10,2	6,3	12,9	14,8	
2	implizit	9,4	12,7	15,5	15,4	3,0	6,5	7,6	19,2	23,7	24,3	22,0	9,6	8,9	7,2	18,7	
3	explizit	6,1	8,9	8,6	12,9	8,5	16,6	15,9	8,2	16,1	6,0	2,0	9,0	6,2	5,0	6,8	
4	explizit	7,2	12,2	35,9	12,3	8,1	11,9	2,0	10,9	8,8	8,0	7,5	6,7	25,0	7,5	14,5	
5	explizit	6,4	7,0	13,7	18,5	5,2	4,7	1,8	7,8	17,5	2,9	11,8	6,7	3,0	3,0	6,1	
6	explizit	4,9	13,1	27,3	11,3	5,9	6,6	7,1	11,8	12,3	5,8	6,9	6,4	14,9	6,4	16,0	
7	implizit	13,0	9,4	32,2	8,3	2,5	9,7	10,6	10,4	8,2	7,6	8,1	14,0	9,4	5,7	15,3	
8	implizit	12,7	25,1	19,1	11,0	12,1	4,8	9,7	19,7	17,2	13,0	15,2	34,0	10,9	60,0	17,4	
9	implizit	8,7	6,2	17,6	6,2	1,4	75,6	3,2	9,4	6,6	12,0	7,3	10,7	12,0	6,6	5,1	
10	implizit	11,3	18,9	27,6	17,7	9,9	9,1	5,7	29,9	13,0	18,6	9,5	36,0	17,2	12,0	11,5	
11	explizit	4,4	5,3	8,8	7,3	14,7	3,5	2,7	5,1	4,7	4,5	4,0	8,8	5,3	6,0	4,3	
12	explizit	5,6	10,5	17,6	7,7	2,5	22,8	6,4	7,7	7,4	15,2	7,7	12,6	13,4	11,3	10,4	
13	explizit	6,2	6,0	7,0	3,9	5,2	8,9	3,0	4,6	5,4	9,2	4,0	8,0	5,5	3,1	7,2	
14	explizit	8,9	7,9	10,2	5,9	11,3	53,9	8,9	10,0	11,1	8,9	9,0	9,6	6,3	16,8	9,5	
15	implizit	9,2	8,4	3,1	6,6	5,1	8,9	3,9	6,6	5,3	12,8	10,0	6,5	14,4	9,8	8,5	
16	implizit	18,0	9,9	16,9	5,6	8,6	7,5	13,7	7,1	22,9	17,4	9,0	25,0	30,2	12,7	13,0	
	explizit	6,2	8,9	16,1	10,0	7,7	16,1	6,0	8,3	10,4	7,6	6,6	8,5	10,0	7,4	9,4	
	implizit	11,5	12,8	19,6	10,7	6,0	18,3	7,4	14,3	14,5	14,4	11,9	18,3	13,7	15,9	13,0	
																	9,3
																	13,5

Auswertung der Einflussfaktoren für die Stellgröße *Informationsverarbeitung* (Aufbau 3)

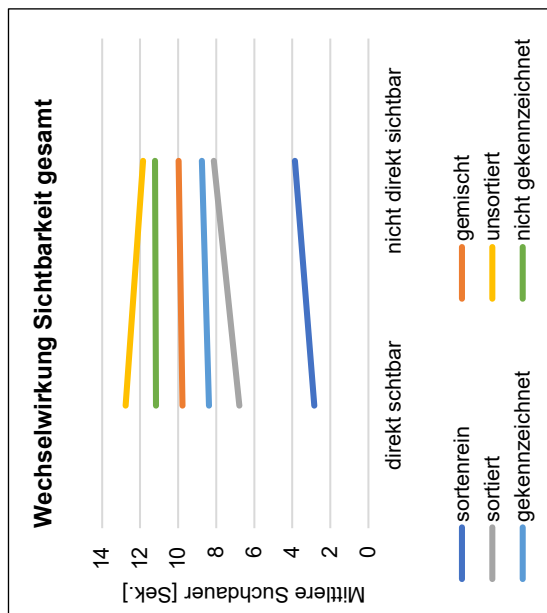
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Informations- bereitstellung	Vorzeichen	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Differenz	5,3	3,9	3,4	0,7	1,7	1,5	6,1	4,1	6,8	5,3	9,8	3,7	8,5	3,7
	Rang	11	8	5	1	-3	2	12	9	13	10	15	7	14	6
Anzahl:	15														
Summe + =	117														
Summe - =	3														
		Konfidenzint.: 95%		Konfidenzint.: 99%											
		Wkrit = 25		Wkrit = 15											
		Signifikant: JA		Signifikant: JA											

Teil C

Allgemeine Wechselwirkungen des Einflussfaktors Sichtbarkeit (Materialsuche)

Faktor	Einflussgröße
A	Sichtbarkeit
B	Sortenreinheit
C	Sortierung
D	Kennzeichnung

Sichtbarkeit
1
-1



Proband	Sichtbarkeit		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	10,55	11,19	1	0,64	9
2	7,55	7,31	-1	0,24	-5
3	7,30	7,18	-1	0,12	-3
4	7,91	9,36	1	1,45	13
5	6,57	7,76	1	1,20	12
6	7,92	8,07	1	0,15	4
7	8,96	9,07	1	0,11	2
8	7,06	6,60	-1	0,46	-7
9	7,82	6,87	-1	0,95	-11
10	9,71	10,27	1	0,56	8
11	10,09	10,44	1	0,35	6
12	6,64	8,62	1	1,98	15
13	9,83	9,93	1	0,09	1
14	9,54	8,87	-1	0,68	-10
15	8,40	9,89	1	1,49	14

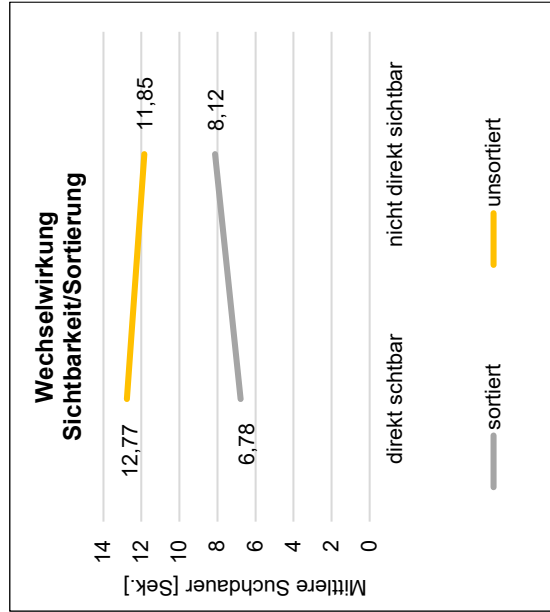
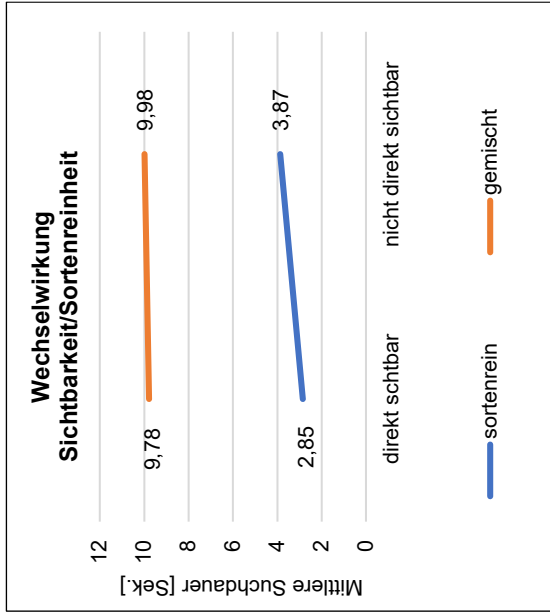
Haupteffekt

Anzahl:	15	$W_{krit} =$	25
Summe + =	84	Signifikant:	NEIN
Summe - =	36		

	Sichtbarkeit	
	1	-1
sortenrein	2,85	3,87
gemischt	9,78	9,98
sortiert	6,78	8,12
unsortiert	12,77	11,85
gekennzeichnet	8,38	8,75
nicht gekennzeichnet	11,17	11,22

Wechselwirkungen

Wechselwirkung Sichtbarkeit mit Sortenreinheit und Sortierung (Materialsuche)



Proband	Sortenreinheit		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-0,66	-0,64	1	0,02	1
2	-1,36	0,65	1	2,01	14
3	-0,6	0,29	1	0,85	6
4	-1,24	-1,50	-1	0,26	-2
5	-0,98	-1,25	-1	0,27	-3
6	-1,24	0,12	1	1,36	10
7	-1,1	0,13	1	1,19	9
8	-0,89	0,80	1	1,69	12
9	-1,00	1,44	1	2,44	15
10	-0,8	-0,50	1	0,31	4
11	-1,10	-0,16	1	0,94	8
12	-1,28	-2,16	-1	0,88	-7
13	-1,4	0,22	1	1,58	11
14	-0,9	1,07	1	1,97	13
15	-0,96	-1,62	-1	0,66	-5

Anzahl:	15
Summe + =	103
Summe - =	17

$W_{krit} =$	25
Signifikant:	JA

Wechselwirkung Sichtbarkeit/Sortenreinheit

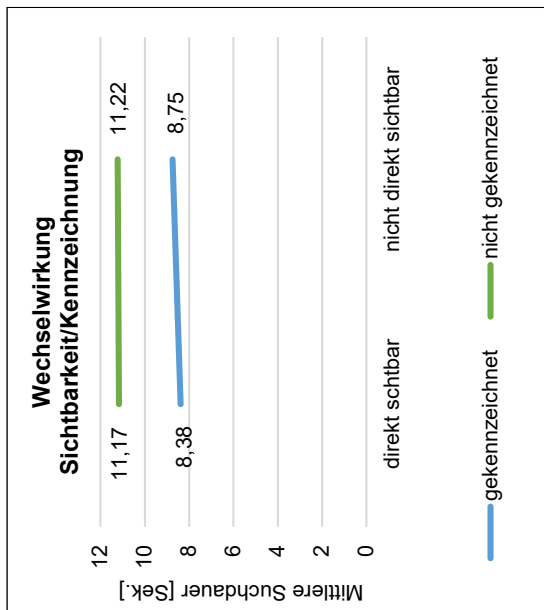
Proband	Sortierung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-2,48	1,21	1	3,69	11
2	-1,78	3,07	1	4,84	13
3	0,5	0,1	-1	0,45	-3
4	-1,79	-1,21	1	0,57	4
5	-2,5	0,0	1	2,44	10
6	-0,94	1,18	1	2,11	9
7	-4,4	4,6	1	9,02	15
8	0,46	1,14	1	0,68	5
9	1,39	1,50	1	0,11	1
10	0,0	-1,0	-1	0,98	-7
11	-3,80	3,47	1	7,27	14
12	-1,78	-2,53	-1	0,75	-6
13	-1,8	2,3	1	4,11	12
14	0,6	1,6	1	1,02	8
15	-1,73	-1,51	1	0,21	2

Anzahl:	15
Summe + =	104
Summe - =	16

$W_{krit} =$	25
Signifikant:	JA

Wechselwirkung Sichtbarkeit/Sortierung

Wechselwirkung Sichtbarkeit mit Kennzeichnung (Materialsuche)



Proband	Kennzeichnung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-0,57	-0,71	-1	0,14	-3
2	-0,60	1,89	1	2,49	11
3	0,15	0,43	1	0,27	4
4	-3,28	0,28	1	3,57	15
5	0,48	-2,98	-1	3,47	-14
6	1,63	-1,39	-1	3,02	-13
7	0,96	-0,71	-1	1,67	-8
8	0,76	0,84	1	0,08	2
9	0,54	2,35	1	1,81	9
10	-1,86	0,86	1	2,73	12
11	-0,13	-0,19	-1	0,07	-1
12	-2,55	-1,77	1	0,78	6
13	0,89	-0,44	-1	1,32	-7
14	0,72	1,42	1	0,69	5
15	-2,61	-0,63	1	1,97	10

Anzahl:	15
Summe +=	74
Summe -=	46

W_{krit}	25
Signifikant:	NEIN

Wechselwirkung Sichtbarkeit/Kennzeichnung

Allgemeine Wechselwirkungen des Einflussfaktors Sortenreinheit (Materialsuche)

Faktor	Einflussgröße
A	Sichtbarkeit
B	Sortenreinheit
C	Sortierung
D	Kennzeichnung

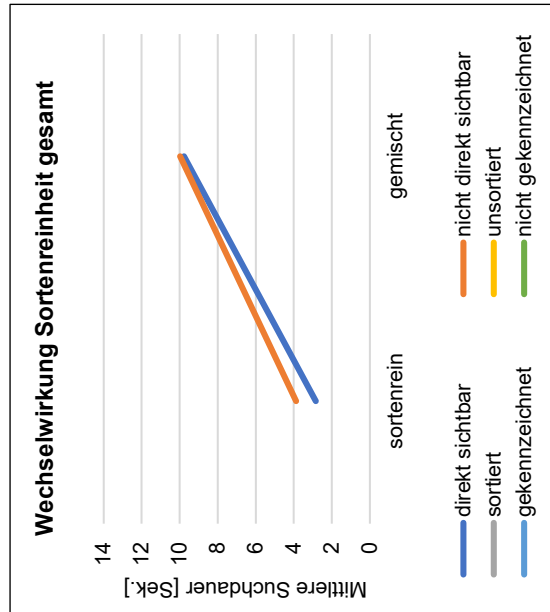
Sortenreinheit
1
-1

Proband	Sortenreinheit		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	3,48	12,71	1	9,23	15
2	3,22	8,48	1	5,26	5
3	3,50	8,17	1	4,67	2
4	3,13	10,01	1	6,88	8
5	3,33	8,12	1	4,79	3
6	3,31	9,17	1	5,86	7
7	3,48	10,40	1	6,92	9
8	3,18	7,74	1	4,56	1
9	3,48	8,31	1	4,83	4
10	3,49	11,62	1	8,13	12
11	3,55	11,94	1	8,39	14
12	3,23	8,73	1	5,50	6
13	3,33	11,52	1	8,19	13
14	3,21	10,70	1	7,49	11
15	3,47	10,56	1	7,09	10

Haupteffekt

Anzahl:	15	$W_{krit} =$	25
Summe + =	120	Signifikant:	JA
Summe - =	0		

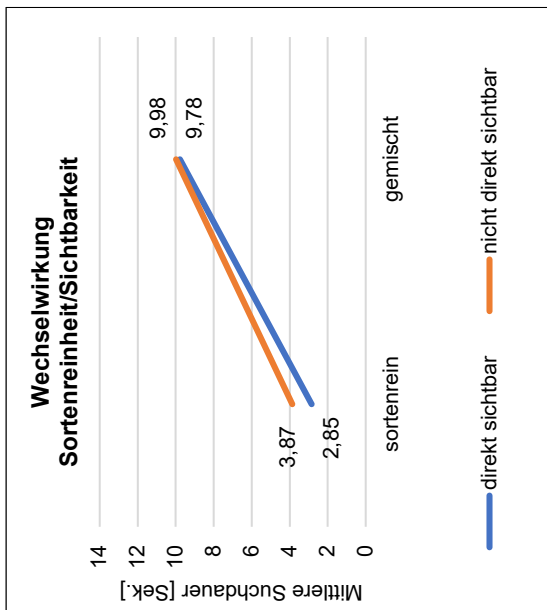
W _{krit} =	25
Signifikant:	JA



	Sortenreinheit	
	1	-1
direkt sichtbar	2,85	9,78
nicht direkt sichtbar	3,87	9,98
sortiert		
unsortiert		
gekennzeichnet		
nicht gekennzeichnet		

Wechselwirkungen

Wechselwirkung Sortenreinheit und Sichtbarkeit (Materialsuche)



Proband	Sichtbarkeit		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-9,25	-9,22	1	0,02	1
2	-6,26	-4,26	1	2,01	14
3	-5,10	-4,25	1	0,85	6
4	-6,75	-7,01	-1	0,26	-2
5	-4,66	-4,93	-1	0,27	-3
6	-6,54	-5,18	1	1,36	10
7	-7,51	-6,33	1	1,19	9
8	-5,41	-3,72	1	1,69	12
9	-6,05	-3,61	1	2,44	15
10	-8,3	-8,0	1	0,31	4
11	-8,86	-7,92	1	0,94	8
12	-5,06	-5,94	-1	0,88	-7
13	-8,98	-7,40	1	1,58	11
14	-8,48	-6,51	1	1,97	13
15	-6,76	-7,42	-1	0,66	-5

W_{krit} = 25
Signifikant: JA

Anzahl:	15
Summe + =	103
Summe - =	17

Wechselwirkung Sortenreinheit/Sichtbarkeit

Allgemeine Wechselwirkungen des Einflussfaktors Sortierung (Materialsuche)

Faktor	Einflussgröße
A	Sichtbarkeit
B	Sortereinheit
C	Sortierung
D	Kennzeichnung

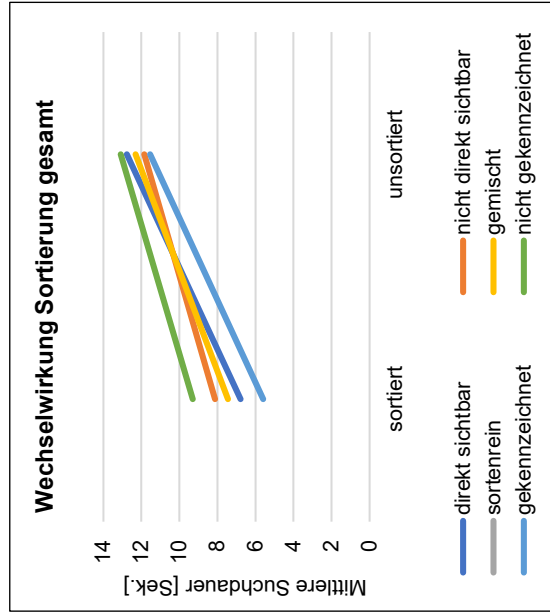
Sortierung	
1	sortiert
-1	nicht sortiert

Proband	Sortierung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	8,11	17,32	1	9,22	15
2	6,34	10,62	1	4,29	8
3	6,45	9,89	1	3,44	4,5
4	6,32	13,70	1	7,38	14
5	6,37	9,88	1	3,51	7
6	7,56	10,78	1	3,22	3
7	7,93	12,87	1	4,95	9
8	6,46	9,02	1	2,56	1
9	6,79	9,82	1	3,03	2
10	9,89	13,35	1	3,46	6
11	9,05	14,83	1	5,77	12
12	6,06	11,40	1	5,34	11
13	8,96	14,08	1	5,13	10
14	7,57	13,84	1	6,27	13
15	6,45	9,89	1	3,44	4,5

Haupteffekt

Anzahl:	15
Summe + =	120
Summe - =	0

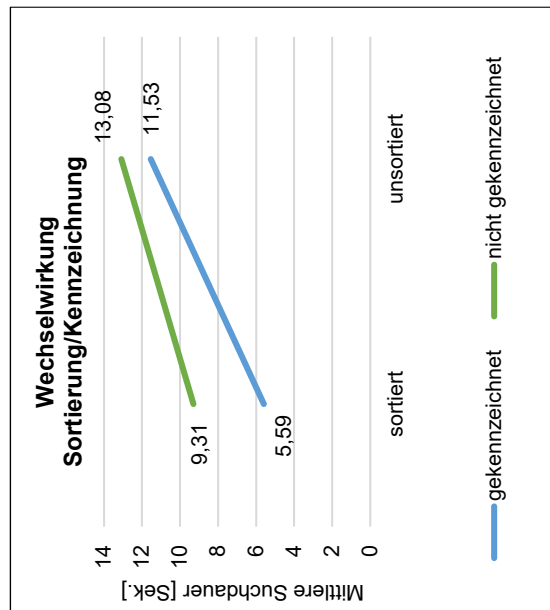
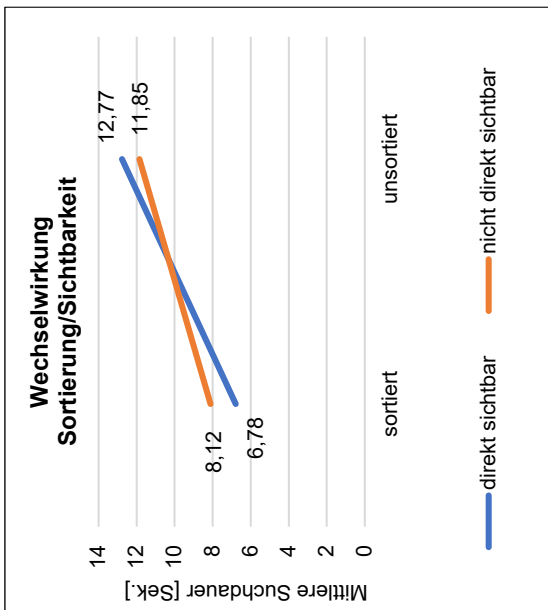
W _{krit} =	25
Signifikant:	JA



	Sortierung	
	1	-1
direkt sichtbar	6,78	12,77
nicht direkt sichtbar	8,12	11,85
sortenrein	7,45	12,31
gemischt	5,59	11,53
gekennzeichnet	9,31	13,08

Wechselwirkungen

Wechselwirkung Sortierung mit Sichtbarkeit und Kennzeichnung (Materialsuche)



Proband	Sichtbarkeit		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-11,06	-7,38	1	3,69	11
2	-6,71	-1,86	1	4,84	13
3	-3,21	-3,66	-1	0,45	-3
4	-7,66	-7,09	1	0,57	4
5	-4,73	-2,29	1	2,44	10
6	-4,28	-2,17	1	2,11	9
7	-9,46	-0,44	1	9,02	15
8	-2,90	-2,22	1	0,68	5
9	-3,09	-2,97	1	0,11	1
10	-3,0	-3,95	-1	0,98	-7
11	-9,41	-2,14	1	7,27	14
12	-4,96	-5,72	-1	0,75	-6
13	-7,18	-3,07	1	4,11	12
14	-6,78	-5,76	1	1,02	8
15	-5,44	-5,23	1	0,21	2

Anzahl:	15
Summe + =	104
Summe - =	16

W_{krit} =	25
Signifikant:	JA

Wechselwirkung Sortierung/Sichtbarkeit

Proband	Kennzeichnung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-9,58	-8,86	1	0,73	5
2	-3,38	-5,19	-1	1,81	-6
3	-4,49	-2,38	1	2,11	7
4	-9,87	-4,89	1	4,98	14
5	-4,90	-2,12	1	2,78	9
6	-4,87	-1,57	1	3,30	11
7	-5,09	-4,80	1	0,29	2
8	-2,89	-2,22	1	0,67	4
9	-3,02	-3,04	-1	0,03	-1
10	-4,70	-2,22	1	2,48	8
11	-7,40	-4,14	1	3,26	10
12	-8,22	-2,46	1	5,77	15
13	-7,21	-3,05	1	4,16	12
14	-5,96	-6,57	-1	0,61	-3
15	-7,51	-3,15	1	4,36	13

Anzahl:	15
Summe + =	110
Summe - =	10

W_{krit} =	25
Signifikant:	JA

Wechselwirkung Sortierung/Kennzeichnung

Allgemeine Wechselwirkungen des Einflussfaktors Kennzeichnung (Materialsuche)

Faktor	Einflussgröße
A	Sichtbarkeit
B	Sortenreinheit
C	Sortierung
D	Kennzeichnung

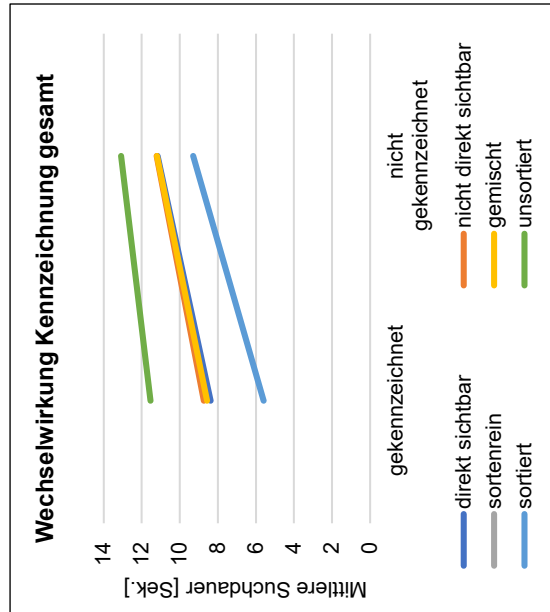
Kennzeichnung	
1	gekennzeichnet
-1	nicht gekennzeichnet

Proband	Kennzeichnung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	11,44	13,99	1	2,56	10
2	7,19	9,77	1	2,58	11
3	7,40	8,95	1	1,55	3,5
4	9,09	10,93	1	1,83	6
5	7,10	9,15	1	2,05	9
6	7,38	10,96	1	3,57	12
7	7,59	13,22	1	5,63	14
8	6,80	8,68	1	1,89	7
9	7,39	9,22	1	1,83	5
10	11,27	11,96	1	0,69	1
11	8,96	14,92	1	5,97	15
12	8,29	9,17	1	0,89	2
13	8,89	14,14	1	5,25	13
14	9,72	11,69	1	1,98	8
15	7,40	8,95	1	1,55	3,5

Haupteffekt

Anzahl:	15
Summe + =	120
Summe - =	0

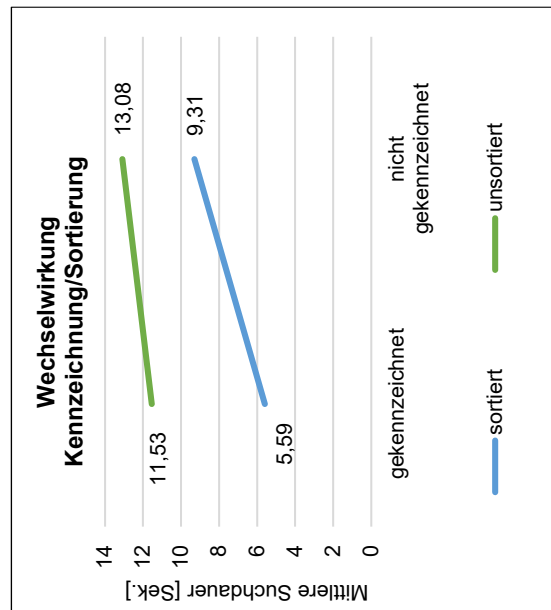
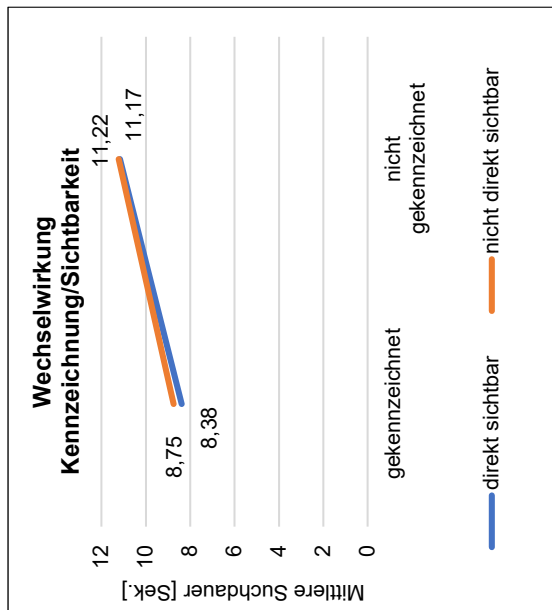
W_{krit} =	25
Signifikant:	JA



	Kennzeichnung	
	1	-1
direkt sichtbar	8,38	11,17
nicht direkt sichtbar	8,75	11,22
sortenrein	8,56	11,19
gemischt	5,59	9,31
sortiert	11,53	13,08

Wechselwirkungen

Wechselwirkung Kennzeichnung mit Sichtbarkeit und Sortierung (Materialsuche)



Proband	Sichtbarkeit		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-2,49	-2,63	-1	0,14	-3
2	-3,82	-1,33	1	2,49	11
3	-1,7	-1,41	1	0,27	4
4	-3,62	-0,05	1	3,57	15
5	-0,32	-3,78	-1	3,47	-14
6	-2,06	-5,09	-1	3,02	-13
7	-4,8	-6,47	-1	1,67	-8
8	-1,92	-1,85	1	0,08	2
9	-2,73	-0,92	1	1,81	9
10	-2,1	0,67	1	2,73	12
11	-5,93	-6,00	-1	0,07	-1
12	-1,28	-0,50	1	0,78	6
13	-4,6	-5,91	-1	1,32	-7
14	-2,3	-1,63	1	0,69	5
15	-2,20	-0,23	1	1,97	10

Anzahl:	15
Summe + =	74
Summe - =	46

$W_{krit} =$	25
Signifikant:	NEIN

Proband	Sortierung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-2,92	-2,19	1	0,73	5
2	-1,68	-3,48	-1	1,81	-6
3	-2,61	-0,50	1	2,11	7
4	-4,33	0,66	1	4,98	14
5	-3,44	-0,66	1	2,78	9
6	-2,06	-5,09	-1	3,02	-10
7	-5,78	-5,48	1	0,29	2
8	-2,22	-1,55	1	0,67	4
9	-1,82	-1,84	-1	0,03	-1
10	-2,05	0,67	1	2,73	8
11	-7,60	-4,34	1	3,26	11
12	-3,77	2,00	1	5,77	15
13	-7,33	-3,17	1	4,16	12
14	-1,67	-2,28	-1	0,61	-3
15	-3,40	0,97	1	4,36	13

Anzahl:	15
Summe + =	100
Summe - =	20

$W_{krit} =$	25
Signifikant:	JA

Wechselwirkung Kennzeichnung/Sichtbarkeit

Wechselwirkung Kennzeichnung/Sortierung

Allgemeine Wechselwirkungen des Einflussfaktors Sortierung (Informationssuche)

Faktor	Einflussgröße
A	Sortierung
B	Strukturierung
C	Informationsumfang
D	Suchfunktion

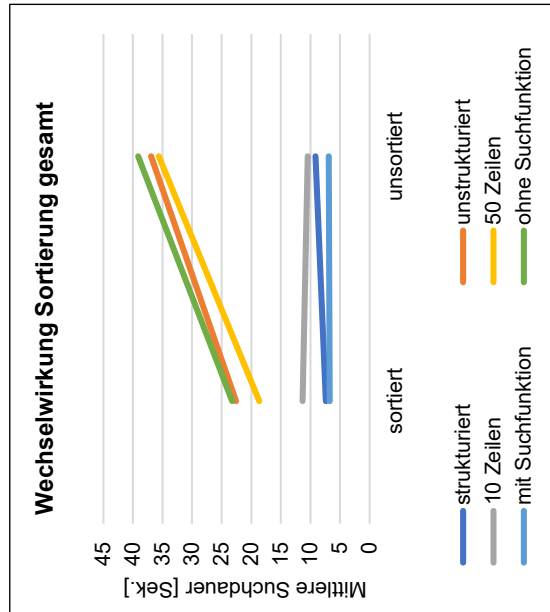
Sortierung	
1	sortiert
-1	unsortiert

Proband	Sortierung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	13,21	24,93	1	11,71	10
2	15,04	12,66	-1	2,38	-2
3	15,79	18,68	1	2,89	3
4	27,73	22,41	-1	5,31	-5
5	10,57	11,00	1	0,43	1
6	10,19	16,24	1	6,05	6
7	12,55	25,47	1	12,92	11
8	6,87	21,37	1	14,51	12
9	15,21	45,82	1	30,62	15
10	14,18	24,17	1	9,99	9
11	23,11	28,33	1	5,21	4
12	17,63	9,96	-1	7,66	-7
13	14,16	30,29	1	16,13	14
14	12,05	21,10	1	9,05	8
15	17,00	32,81	1	15,81	13

Haupteffekt

Anzahl:	15
Summe + =	106
Summe - =	14

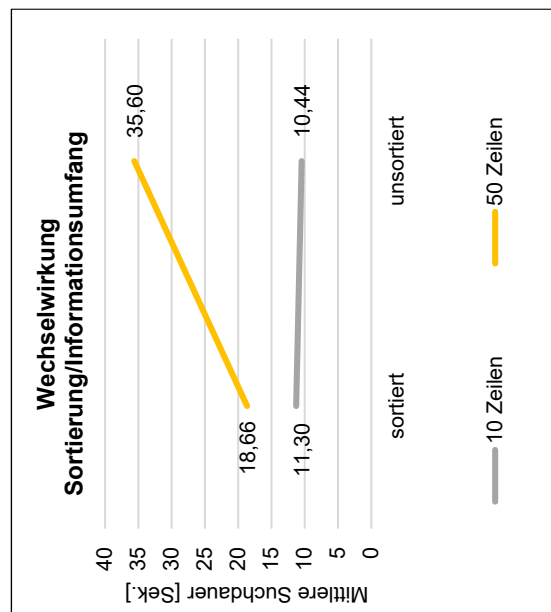
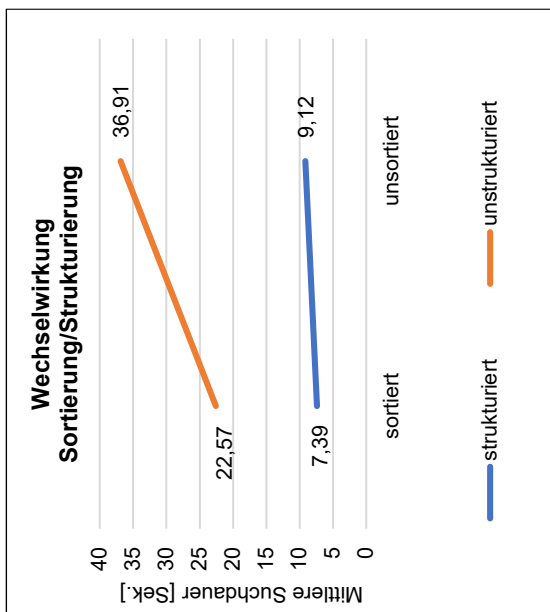
$W_{krit} =$	25
Signifikant:	JA



	Sortierung	
	1 (sortiert)	-1 (unsortiert)
strukturiert	7,39	9,12
unstrukturiert	22,57	36,91
10 Zeilen	11,30	10,44
50 Zeilen	18,66	35,60
mit Suchfunktion	6,74	6,91
ohne Suchfunktion	23,22	39,12

Wechselwirkungen

Wechselwirkung Sortierung mit Strukturierung und Informationsumfang (Informationssuche)



Proband	Strukturierung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	0,60	-24,03	-1	24,63	-11
2	1,22	3,53	1	2,31	2
3	-3,0	-2,77	1	0,23	1
4	0,48	10,15	1	9,67	5
5	-5,00	4,14	1	9,14	4
6	-3,96	-8,14	-1	4,18	-3
7	-2,5	-21,19	-1	18,74	-9
8	-1,20	-27,81	-1	26,61	-13
9	-11,01	-50,22	-1	39,21	-15
10	1,8	-21,80	-1	23,62	-10
11	1,13	-11,55	-1	12,68	-6
12	-0,05	15,38	1	15,43	7
13	-0,4	-31,90	-1	31,55	-14
14	-1,1	-17,05	-1	16,00	-8
15	-3,13	-28,50	-1	25,38	-12

Anzahl:	15
Summe + =	19
Summe - =	101

$W_{krit} =$	25
Signifikant:	JA

Wechselwirkung Sortierung/Strukturierung

Proband	Informationsumfang		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-1,40	-22,03	-1	20,63	-10
2	2,27	2,49	1	0,22	1
3	8,1	-13,8	-1	21,87	-11
4	6,76	3,87	-1	2,89	-3
5	-0,7	-0,2	1	0,52	2
6	-7,85	-4,26	1	3,59	4
7	-5,6	-18,7	-1	13,06	-6
8	-2,39	-26,63	-1	24,24	-12
9	0,90	-62,13	-1	63,03	-15
10	-0,2	-19,7	-1	19,50	-8
11	10,55	-20,98	-1	31,53	-13
12	2,83	12,50	1	9,68	5
13	7,5	-39,8	-1	47,25	-14
14	-1,8	-16,4	-1	14,60	-7
15	-5,93	-25,70	-1	19,78	-9

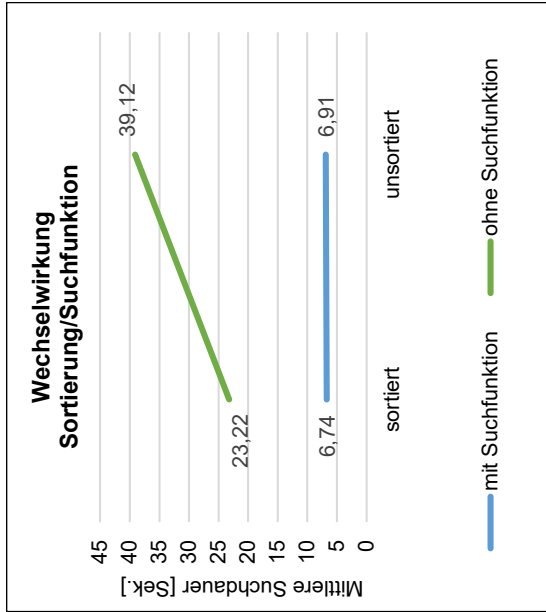
Anzahl:	15
Summe + =	12
Summe - =	108

$W_{krit} =$	25
Signifikant:	JA

Wechselwirkung Sortierung/Informationsumfang

Wechselwirkung Sortierung mit Suchfunktion (Informationssuche)

Proband	Suchfunktion		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	0,80	-24,23	-1	25,03	-10
2	-0,92	5,68	1	6,60	3
3	-0,78	-5,00	-1	4,22	-1
4	1,62	9,00	1	7,38	4
5	-5,00	4,14	1	9,14	6
6	-2,93	-9,17	-1	6,24	-2
7	-0,50	-26,71	-1	26,21	-12
8	-1,96	-27,05	-1	25,10	-11
9	-1,63	-59,61	-1	57,98	-15
10	5,49	-25,47	-1	30,95	-13
11	2,28	-12,70	-1	14,98	-7
12	3,18	12,15	1	8,98	5
13	1,03	-33,28	-1	34,30	-14
14	0,45	-18,55	-1	19,00	-8
15	-3,85	-27,78	-1	23,93	-9
Anzahl:	15			$W_{krit} =$	25
Summe + =	18			Signifikant:	JA
Summe - =	102				



Allgemeine Wechselwirkungen des Einflussfaktors Strukturierung (Informationssuche)

Faktor	Einflussgröße
A	Sortierung
B	Strukturierung
C	Informationsumfang
D	Suchfunktion

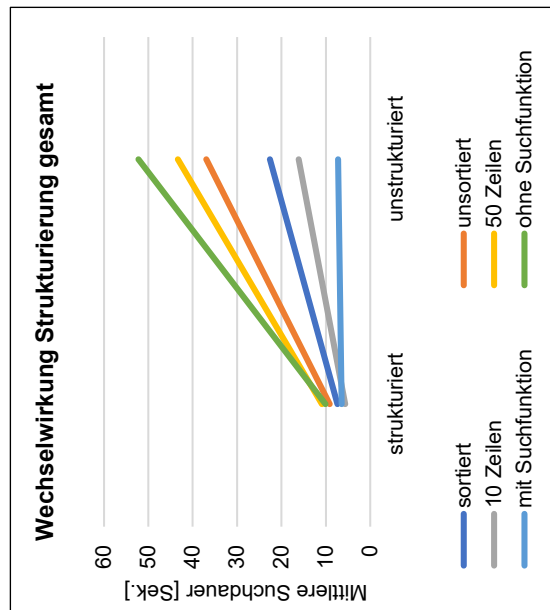
Strukturierung
1
-1

Proband	Strukturierung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	8,20	29,94	1	21,74	8
2	7,43	20,27	1	12,84	4
3	9,81	24,66	1	14,86	5
4	13,61	36,53	1	22,92	9
5	6,90	14,67	1	7,77	1
6	7,34	19,08	1	11,74	3
7	7,21	33,43	1	26,22	10
8	3,85	24,38	1	20,53	6
9	9,97	51,06	1	41,10	15
10	5,03	33,33	1	28,30	12
11	11,06	40,38	1	29,31	13
12	9,43	18,16	1	8,74	2
13	8,73	35,73	1	27,00	11
14	5,78	27,38	1	21,60	7
15	9,51	40,30	1	30,79	14

Haupteffekt

Anzahl:	15	$W_{krit} =$	25
Summe + =	120	Signifikant:	JA
Summe - =	0		

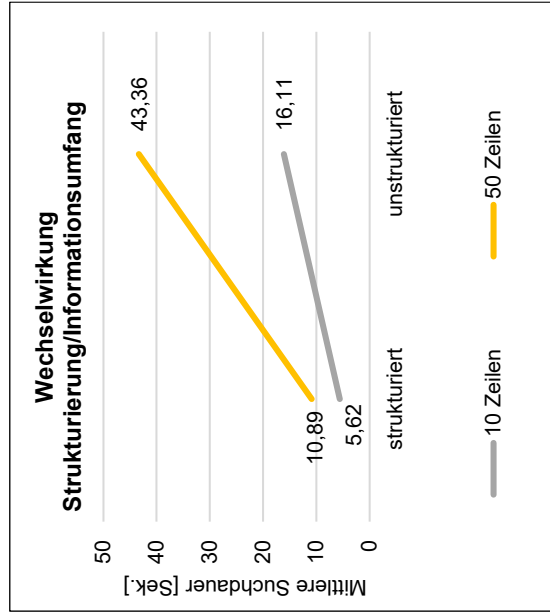
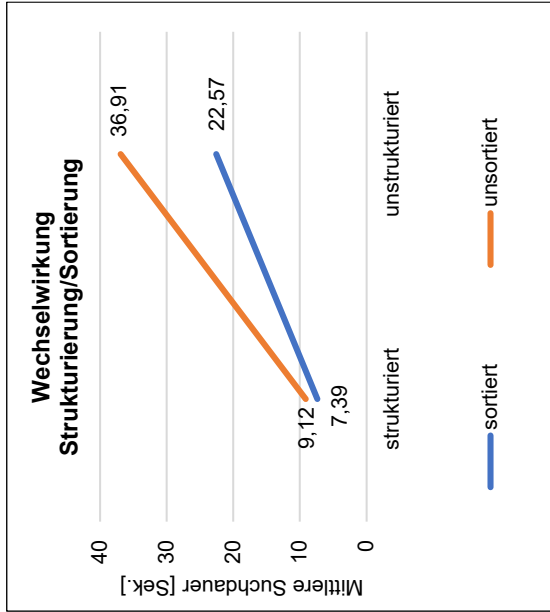
W _{krit} =	25
Signifikant:	JA



	Strukturierung	
	1	-1
sortiert	7,39	22,57
unsortiert	9,12	36,91
10 Zeilen	5,62	16,11
50 Zeilen	10,89	43,36
mit Suchfunktion	6,43	7,22
ohne Suchfunktion	10,08	52,26

Wechselwirkungen

Wechselwirkung Strukturierung mit Sortierung und Informationsumfang (Informationssuche)



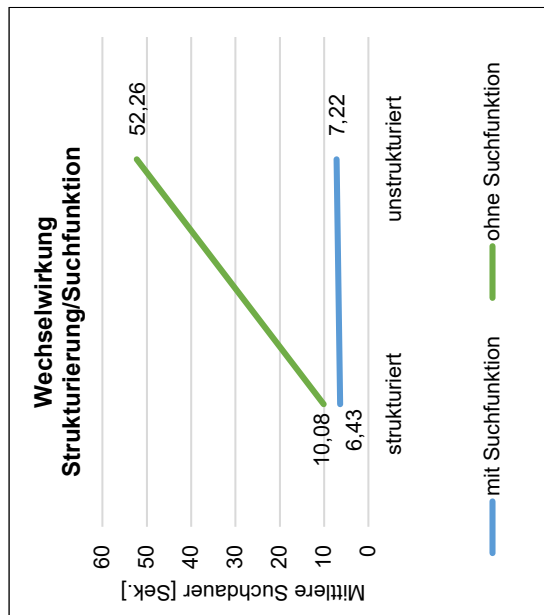
Proband	Sortierung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-9,43	-34,05	-1	24,63	-11
2	-14,00	-11,69	1	2,31	2
3	-15,0	-14,74	1	0,23	1
4	-27,76	-18,09	1	9,67	5
5	-12,34	-3,20	1	9,14	4
6	-9,65	-13,83	-1	4,18	-3
7	-15,3	-34,08	-1	18,74	-9
8	-7,23	-33,84	-1	26,61	-13
9	-21,49	-60,70	-1	39,21	-15
10	-16,5	-40,11	-1	23,62	-10
11	-22,98	-35,65	-1	12,68	-6
12	-16,45	-1,03	1	15,43	7
13	-11,2	-42,78	-1	31,55	-14
14	-13,6	-29,60	-1	16,00	-8
15	-18,10	-43,48	-1	25,38	-12
Anzahl: 15					
Summe + = 19					
Summe - = 101					
			$W_{krit} =$	25	
			Signifikant:	JA	

Wechselwirkung Strukturierung/Sortierung

Proband	Informationsumfang		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-8,05	-35,43	-1	27,38	-9
2	-6,01	-19,68	-1	13,67	-5
3	-9,2	-20,5	-1	11,24	-3
4	-3,76	-42,09	-1	38,33	-12
5	-7,8	-7,8	-1	0,03	-1
6	-17,98	-5,50	1	12,48	4
7	-13,8	-43,9	-1	30,05	-10
8	-8,23	-32,84	-1	24,62	-7
9	-20,69	-61,51	-1	40,83	-13
10	-11,0	-45,6	-1	34,52	-11
11	-21,65	-36,98	-1	15,33	-6
12	-9,43	-8,05	1	1,38	2
13	-4,5	-49,6	-1	45,10	-14
14	-8,1	-35,1	-1	27,00	-8
15	-7,23	-54,35	-1	47,13	-15
Anzahl: 15					
Summe + = 6					
Summe - = 114					
			$W_{krit} =$	25	
			Signifikant:	JA	

Wechselwirkung Strukturierung/Informationsumfang

Wechselwirkung Strukturierung mit Suchfunktion (Informationssuche)



Proband	Suchfunktion		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-0,50	-42,98	-1	42,48	-8
2	-0,61	-25,08	-1	24,47	-3
3	1,56	-31,27	-1	32,82	-5
4	3,49	-49,34	-1	52,83	-12
5	-2,64	-12,90	-1	10,26	-2
6	0,77	-24,25	-1	25,02	-4
7	-1,81	-44,38	-1	42,56	-10
8	-3,14	-37,93	-1	34,79	-6
9	1,43	-83,62	-1	85,05	-15
10	-7,04	-49,57	-1	42,53	-9
11	1,13	-59,75	-1	60,88	-13
12	-3,98	-13,50	-1	9,53	-1
13	-0,92	-53,08	-1	52,15	-11
14	-0,60	-42,60	-1	42,00	-7
15	0,80	-62,38	-1	63,18	-14

W _{krit} =	25
Signifikant:	JA

Anzahl:	15
Summe +=	0
Summe -=	120

Wechselwirkung Strukturierung/Suchfunktion

Allgemeine Wechselwirkungen des Einflussfaktors Informationsumfang (Informationssuche)

Faktor	Einflussgröße
A	Sortierung
B	Strukturierung
C	Informationsumfang
D	Suchfunktion

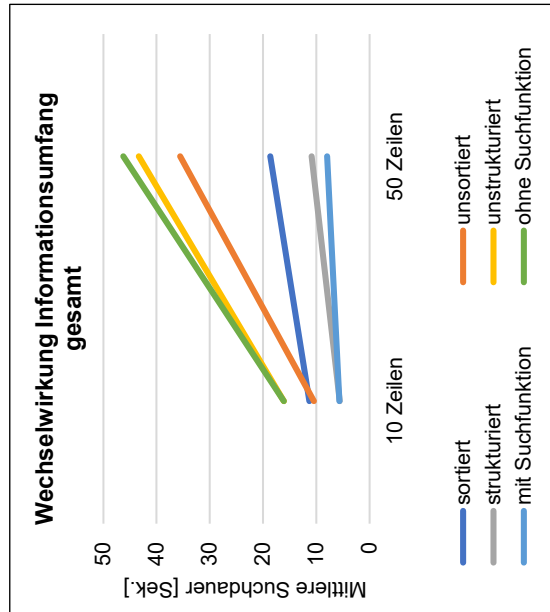
Informationsumfang	
1	10 Zeilen
-1	50 Zeilen

Proband	Informationsumfang		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	9,55	28,59	1	19,04	11
2	9,54	18,17	1	8,64	4
3	10,56	23,91	1	13,36	7
4	13,12	37,02	1	23,90	12
5	7,98	13,23	1	5,26	2
6	11,61	14,82	1	3,21	1
7	10,81	29,31	1	18,50	9
8	7,73	20,50	1	12,77	6
9	15,00	46,03	1	31,02	14
10	9,68	28,67	1	18,99	10
11	19,80	31,64	1	11,84	5
12	10,74	16,85	1	6,11	3
13	9,68	34,78	1	25,10	13
14	7,93	25,23	1	17,30	8
15	9,31	40,50	1	31,19	15

Haupteffekt

Anzahl:	15	$W_{krit} =$	25
Summe + =	120	Signifikant:	JA
Summe - =	0		

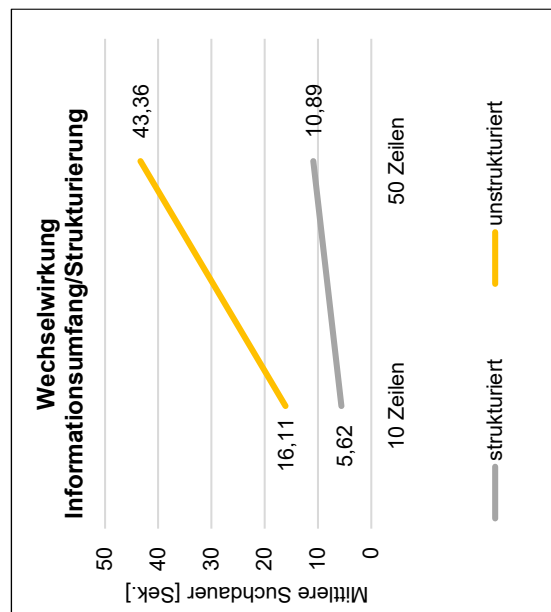
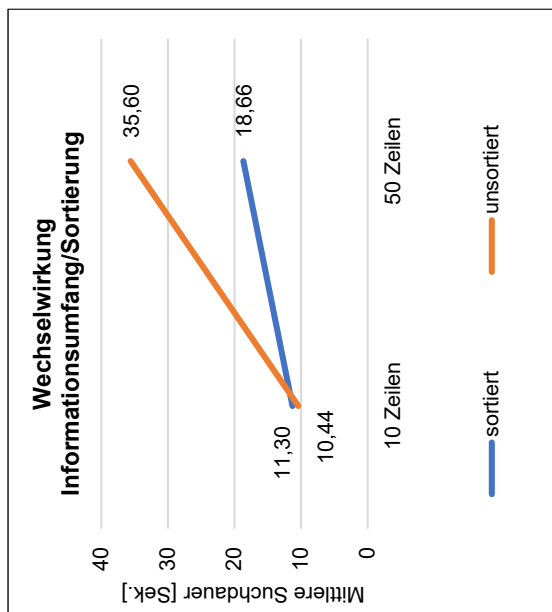
Anzahl:	15
Summe + =	120
Summe - =	0



	Informationsumfang	
	1	-1
sortiert	11,30	18,66
unsortiert	10,44	35,60
strukturiert	5,62	10,89
unstrukturiert	16,11	43,36
mit Suchfunktion	5,67	7,98
ohne Suchfunktion	16,07	46,27

Wechselwirkungen

Wechselwirkung Informationsumfang mit Sortierung und Strukturierung (Informationssuche)



Proband	Sortierung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-8,73	-29,35	-1	20,63	-10
2	-8,74	-8,53	1	0,22	1
3	-2,4	-24,29	-1	21,87	-11
4	-22,45	-25,34	-1	2,89	-3
5	-5,88	-5,36	1	0,52	2
6	-5,01	-1,42	1	3,59	4
7	-10,6	-23,69	-1	13,06	-6
8	-0,65	-24,89	-1	24,24	-12
9	0,49	-62,54	-1	63,03	-15
10	-9,2	-28,74	-1	19,50	-8
11	3,93	-27,60	-1	31,53	-13
12	-10,95	-1,28	1	9,68	5
13	-1,5	-48,73	-1	47,25	-14
14	-10,0	-24,60	-1	14,60	-7
15	-21,30	-41,08	-1	19,78	-9

Anzahl:	15
Summe + =	12
Summe - =	108

$W_{krit} =$	25
Signifikant:	JA

Proband	Strukturierung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-5,35	-32,73	-1	27,38	-9
2	-1,80	-15,47	-1	13,67	-5
3	-7,7	-19,0	-1	11,24	-3
4	-8,80	-61,63	-1	52,83	-15
5	-7,8	-7,8	-1	0,03	-1
6	-17,98	-5,50	1	12,48	4
7	-13,8	-43,9	-1	30,05	-10
8	-8,23	-32,84	-1	24,62	-7
9	-20,69	-61,51	-1	40,83	-12
10	-11,0	-45,6	-1	34,52	-11
11	-21,65	-36,98	-1	15,33	-6
12	-9,43	-8,05	1	1,38	2
13	-4,5	-49,6	-1	45,10	-13
14	-8,1	-35,1	-1	27,00	-8
15	-7,23	-54,35	-1	47,13	-14

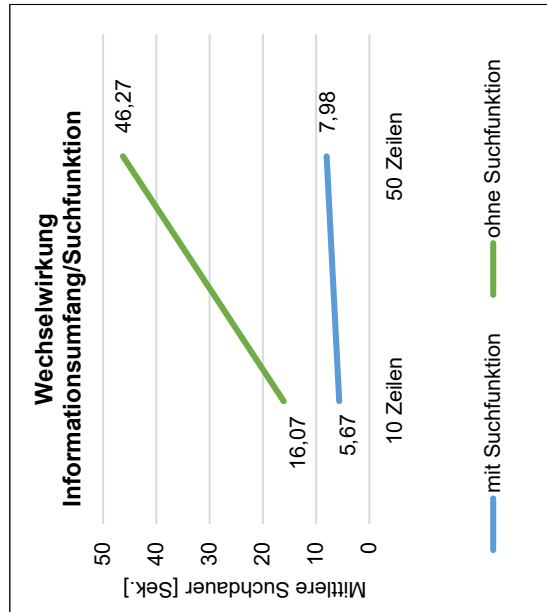
Anzahl:	15
Summe + =	6
Summe - =	114

$W_{krit} =$	25
Signifikant:	JA

Wechselwirkung Informationsumfang/Sortierung

Wechselwirkung Informationsumfang/Strukturierung

Wechselwirkung Informationsumfang mit Suchfunktion (Informationssuche)



Proband	Suchfunktion		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-1,35	-36,73	-1	35,38	-10
2	0,18	-17,45	-1	17,63	-5
3	-3,30	-23,41	-1	20,11	-6
4	-1,18	-46,61	-1	45,43	-13
5	-0,50	-10,74	-1	10,24	-3
6	-5,25	-1,17	1	4,08	1
7	-3,43	-28,58	-1	25,15	-8
8	-2,13	-23,41	-1	21,28	-7
9	-2,08	-59,97	-1	57,89	-15
10	-5,12	-32,87	-1	27,75	-9
11	-4,13	-19,55	-1	15,43	-4
12	-2,03	-10,20	-1	8,18	-2
13	-2,78	-47,43	-1	44,65	-12
14	0,40	-35,00	-1	35,40	-11
15	-2,40	-59,98	-1	57,58	-14

W _{krit} =	25
Signifikant:	JA

Anzahl:	15
Summe + =	1
Summe - =	119

Wechselwirkung Informationsumfang/Suchfunktion

Allgemeine Wechselwirkungen des Einflussfaktors Suchfunktion (Informationssuche)

Faktor	Einflussgröße
A	Sortierung
B	Strukturierung
C	Informationsumfang
D	Suchfunktion

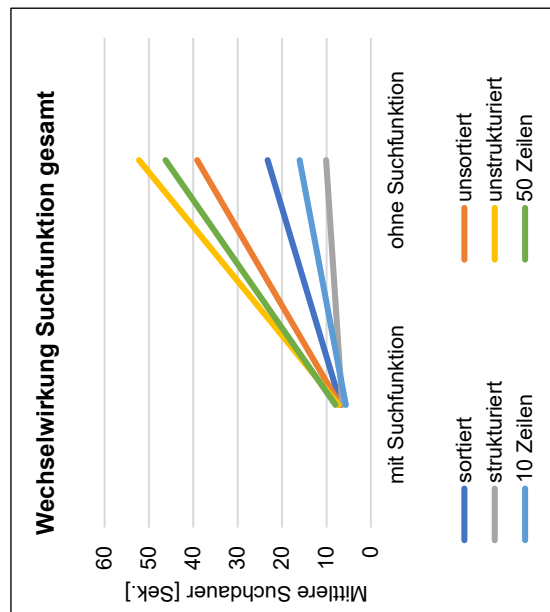
Suchfunktion
1
-1

Proband	Suchfunktion		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	5,63	32,51	1	26,89	10
2	5,36	22,34	1	16,98	4
3	5,81	28,66	1	22,85	7
4	7,46	42,68	1	35,21	13
5	8,29	13,28	1	4,99	1
6	8,48	17,95	1	9,47	2
7	7,39	29,99	1	22,61	6
8	5,08	23,15	1	18,07	5
9	6,92	54,11	1	47,20	15
10	7,73	30,62	1	22,89	8
11	8,36	43,08	1	34,71	12
12	8,39	19,20	1	10,81	3
13	5,94	38,51	1	32,58	11
14	4,65	28,50	1	23,85	9
15	6,83	42,99	1	36,16	14

Haupteffekt

Anzahl:	15
Summe + =	120
Summe - =	0

W_{krit} =	25
Signifikant:	JA



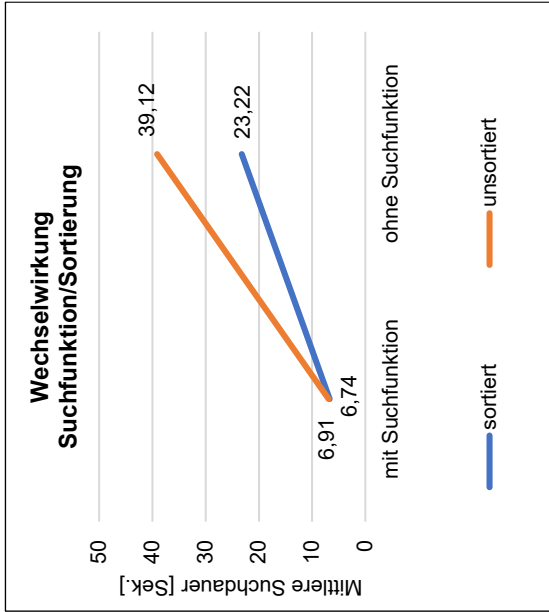
	Suchfunktion	
	1 mit Suchfunktion	-1 ohne Suchfunktion
sortiert	6,74	23,22
unsortiert	6,91	39,12
strukturiert	6,43	10,08
unstrukturiert	7,22	52,26
10 Zeilen	5,67	16,07
50 Zeilen	7,98	46,27

Wechselwirkungen

Wechselwirkung Suchfunktion mit Sortierung und Strukturierung (Informationssuche)

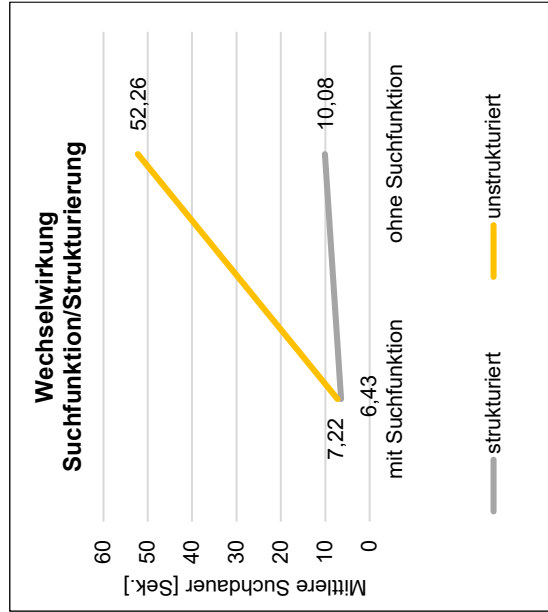
Proband	Sortierung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-14,38	-39,40	-1	25,03	-10
2	-20,28	-13,68	1	6,60	3
3	-20,7	-24,96	-1	4,22	-1
4	-38,90	-31,52	1	7,38	4
5	-9,56	-0,42	1	9,14	6
6	-6,35	-12,59	-1	6,24	-2
7	-9,5	-35,75	-1	26,21	-12
8	-5,52	-30,62	-1	25,10	-11
9	-18,21	-76,19	-1	57,98	-15
10	-7,4	-38,36	-1	30,95	-13
11	-27,23	-42,20	-1	14,98	-7
12	-15,30	-6,33	1	8,98	5
13	-15,4	-49,73	-1	34,30	-14
14	-14,4	-33,35	-1	19,00	-8
15	-24,20	-48,13	-1	23,93	-9
Anzahl:	15			$W_{krit} =$	25
Summe + =	18			Signifikant:	JA
Summe - =	102				

Wechselwirkung Suchfunktion/Sortierung

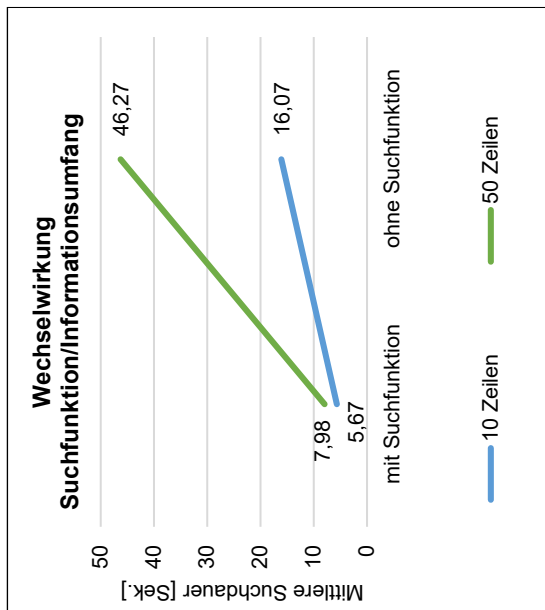


Proband	Strukturierung		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-5,65	-48,13	-1	42,48	-8
2	-4,74	-29,21	-1	24,47	-3
3	-6,4	-39,3	-1	32,82	-5
4	-8,80	-61,63	-1	52,83	-12
5	0,1	-10,1	-1	10,26	-2
6	3,04	-21,98	-1	25,02	-4
7	-1,2	-43,8	-1	42,56	-10
8	-0,67	-35,46	-1	34,79	-6
9	-4,68	-89,72	-1	85,05	-15
10	-1,6	-44,2	-1	42,53	-9
11	-4,28	-65,15	-1	60,88	-13
12	-6,05	-15,58	-1	9,53	-1
13	-6,5	-58,7	-1	52,15	-11
14	-2,9	-44,9	-1	42,00	-7
15	-4,58	-67,75	-1	63,18	-14
Anzahl:	15			$W_{krit} =$	25
Summe + =	0			Signifikant:	JA
Summe - =	120				

Wechselwirkung Suchfunktion/Strukturierung



Wechselwirkung Suchfunktion mit Informationsumfang (Informationssuche)



Proband	Informationsumfang		Vorzeichen	Absolutwert	Rang
	1	-1			
1	-9,20	-44,58	-1	35,38	-10
2	-8,17	-25,79	-1	17,63	-5
3	-12,79	-32,90	-1	20,11	-6
4	-12,50	-57,93	-1	45,43	-13
5	0,13	-10,11	-1	10,24	-3
6	-11,51	-7,43	1	4,08	1
7	-9,79	-34,93	-1	25,15	-8
8	-7,43	-28,71	-1	21,28	-7
9	-18,26	-76,14	-1	57,89	-15
10	-9,01	-36,76	-1	27,75	-9
11	-27,00	-42,43	-1	15,43	-4
12	-6,73	-14,90	-1	8,18	-2
13	-10,25	-54,90	-1	44,65	-12
14	-6,15	-41,55	-1	35,40	-11
15	-7,38	-64,95	-1	57,58	-14

W _{krit} =	25
Signifikant:	JA

Anzahl:	15
Summe +=	1
Summe -=	119

Wechselwirkung Suchfunktion/Informationsumfang

Teil E

Fragebogen zur Beurteilung der Gesamtmethodik (Seite 1)

Fragebogen zum Vorgehen	
1. Bewertung der Relevanz von Suchvorgängen	
Wie häufig suchen Sie während Ihrer Schicht nach Material (>5 Sekunden)?	selten <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> häufig
Wie häufig suchen Sie während Ihrer Schicht nach Informationen (>5 Sekunden)?	selten <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> häufig
Wie relevant ist die Reduzierung von Suchvorgängen nach Material an Ihrem Arbeitsplatz?	wenig <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> sehr
Wie relevant ist die Reduzierung von Suchvorgängen nach Information an Ihrem Arbeitsplatz?	wenig <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> sehr
2. Bewertung des Analysevorgehens	
Wie beurteilen Sie die Verständlichkeit des Vorgehens?	schlecht <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> sehr gut
Wie hoch ist der Aufwand für die Vorbereitung der Analyse?	gering <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> hoch
Wie hoch ist der Aufwand für die Durchführung der Analyse?	gering <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> hoch
Wie sehr hat Sie die Analyse von Ihrerer eigentlichen Tätigkeit abgehalten/abgelenkt?	wenig <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> sehr
Wie gut eignet sich das Vorgehen zur Analyse von Suchvorgängen aus Ihrer Sicht?	wenig <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> sehr
3. Bewertung der Ergebnisse	
Für wie plausibel halten Sie die Ergebnisse der Analyse?	wenig <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> sehr
Wie beurteilen Sie die Verständlichkeit der Ergebnisauswertung?	schlecht <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> sehr gut
4. Sonstiges	
Fallen Ihnen Verbesserungsmaßnahmen ein, durch die der Suchaufwand in der Produktion verringert werden könnte?	
Durch welche aktuellen Projekte, könnte der Suchaufwand in der Produktion verringert werden?	

Fragebogen zur Beurteilung der Gesamtmethodik (Seite 2)

Fragebogen zur Methode**1. Bewertung der Einflussfaktoren**

Wie beurteilen Sie die Vollständigkeit der Einflussfaktoren? un- voll-
vollständig ständig

Wie gut lassen sich die Einflussfaktoren aus Ihrer Sicht bestimmen? schlecht sehr gut

Welche Einflussfaktoren lassen sich aus Ihrer Sicht eher schlecht bestimmen?

Welche Einflussgrößen halten Sie neben den verwendeten für relevant?

2. Bewertung der untersuchten Suchobjekte

Entsprechen die innerhalb der Analyse identifizierten Suchobjekte Ihrer Einschätzung nach der Realität? Nein Ja

Welche Suchobjekte (Material und Information) suchen Sie an Ihrem Arbeitsplatz am häufigsten?

Wie schätzen Sie die Vollständigkeit der Klassifikation von Suchobjekten ein? un- voll-
vollständig ständig

Welche Klassen fehlen Ihnen in der vorgeschlagenen Klassifikation (Material und Information)?

3. Bewertung der Modellierung

Wie beurteilen Sie die Übertragbarkeit der Modellierung auf verschiedene schlecht sehr gut

Wie beurteilen Sie die Eignung der Modellierung zur Beschreibung von Suchvorgängen? (Vollständigkeit) schlecht sehr gut

Wie beurteilen Sie die Vollständigkeit der Suchphasen der Modellierung? un- voll-
vollständig ständig

Welche Suchphasen fehlen aus Ihrer Sicht?

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 Spannbildung, 2010.

Band 11

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

Band 12

Kindler, Jörg: Werkstückqualität und Standzeitoptimierung 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 M.: 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.

Band 33

Geis, Tobias: Bearbeitungsstrategien zur Zerspanung von Faser-Verbund-Honeycomb-Sandwich, 2017.

Band 34

Koppold, Nico: Kapazitätsplanung und -steuerung in der Instandhaltungsproduktion von Investitionsgütern, 2017.

Band 35

Halata, Philipp S.: Augmented-Reality-gestützte Informationsbereitstellung für die Unikatproduktion, 2018.

Band 36

Brüggemann, Felix: Bauteilqualität und Werkzeugverschleiß beim Fräsen von CFK-Gelege unter räumlichen Eingriffsbedingungen, 2018.

Band 37

Benter, Martin: Analyse von Bewegungsabläufen mit 3D-Kameras, 2018.

Band 38

Koch, Christoph: Wertstromanalyse und -design für Auftragsfertiger, 2018.

Band 39

Cordes, Marcel: Modellierung von Bahngenauigkeit und dynamischer Stabilität beim robotergeführten Fräsen, 2019.

Band 40

Piontek, Andreas: Modellierung der Termintreue im Auftragsdurchlauf, 2020.

Band 41

Grabner, Constantin: Methodengestütztes Produktivitätsmanagement. Entwicklung eines datenbasierten Vorgehens, 2020.

Band 42

Glöckner, Robert: Entwicklung eines Gesamtmodells der Arbeitsproduktivität und der logistischen Zielgrößen, 2020.

Band 43

Schröder, Henrik: Kompetenzentwicklung in der Montage mit Hilfe virtueller Technologien, 2020.

Band 44

Engehausen, Friederike: Modellierung und Auslegung der Reihenfolgebildung mit Rüstfamilien, 2021.

Band 45

Sikorra, Jan Niklas: Frühzeitige Aufwands- und Termineinschätzung der schiffbaulichen Unikatproduktion, 2021.

Band 46

Haux, Moritz A.: Modellierung von Unsicherheiten in der Planung der Unikatproduktion, 2021.

Band 47

von Wenserski, Robert: Helixfräsen und Bohren von laseradditiv gefertigten Bauteilen aus Titan für Luftfahrtanwendungen, 2021.

Band 48

Meluzov, Nikolaj: Informationsmanagement für ein digitales Instandhaltungsassistenzsystem, 2022.

Band 49

Rost, Jan Robert: Digitale Assistenzsysteme für kollaboratives Arbeiten in der Unikatproduktion, 2023.

Band 50

Steenwerth, Philipp: Analyse und Optimierung von Suchvorgängen in der industriellen Produktion, 2023.