



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Auswahl und Integration einer zeitwirtschaftlichen Methode zur Bewertung von Arbeitsprozessen in der variantenreichen Kleinserienfertigung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Master of Science (Dipl. Ing.)

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Schlund

(E330 Institute of Management Science,
Bereich: Human Centered Cyber Physical Production and Assembly Systems)

Christina Schmidbauer MSc

(E330 Institute of Management Science,
Bereich: Human Centered Cyber Physical Production and Assembly Systems)

eingereicht an der TU Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Alexander Luger BSc

01428714. (UE 066 482)



Auberg, Februar 2022


Alexander Luger



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre hiermit Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Auberg, Februar 2022


Alexander Luger

Danksagung

Großer Dank gilt Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Schlund und Christina Schmidbauer MSc, die mich bei der Erstellung meiner Diplomarbeit fachlich und inhaltlich unterstützt und mir das Thema der Arbeitswissenschaften nähergebracht haben.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei meiner Familie, ohne deren Unterstützung mein Studium nicht möglich gewesen wäre. Zusätzlich bedanke ich mich bei meinen Studienkollegen und meiner Freundin, welche mich immer unterstützt und motiviert haben.

Kurzfassung

Durch den internationalen Wettbewerb stehen Unternehmen zunehmend unter Druck, ihre Produktivität zu erhöhen und Geschäftsaktivitäten ganzheitlich zu betrachten. Prozesse und Systeme müssen möglichst wertschöpfend gestaltet werden. Eine zeitnahe Erfassung von Informationen über den abzuwickelnden Auftrag wird immer relevanter, um Kapazitäts- und Ressourcenbedarfe, Bearbeitungszeiten und die Übergabe von einem Prozess zum nächsten planen zu können. Eine Anwendung von zeitwirtschaftlichen Bewertungsmethoden erlaubt es, von Menschen durchgeführte Tätigkeiten messbar und vergleichbar zu machen. Anhand der daraus gewonnenen Informationen können zum einen die Fertigungsplanung optimiert und zum anderen Potentiale zur Prozessoptimierung aufgezeigt werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Bewertungsmethode für ein Unternehmen mit Einzel- und Kleinserienfertigung bei hoher Variantenvielfalt auszuwählen und zu implementieren. Dabei soll die zur Bewertung benötigte Analysezeit ohne Einbußen von Aussagegenauigkeit und Informationsgehalt möglichst gesenkt werden. Außerdem wird ein Bewertungsalgorithmus entwickelt, welcher es ermöglicht, Aufträge trotz fehlender Auftragsinformationen zum Planungszeitpunkt, zeitlich zu bewerten.

Durch eine strukturierte Literaturrecherche werden zeitwirtschaftliche Bewertungsmethoden und deren Auswahlkriterien ermittelt. Durch eine ganzheitliche Unternehmensanalyse nach dem MTO-Prinzip werden die im Unternehmen ablaufenden Prozesse analysiert und den jeweiligen Prozesstypen zugeordnet. Mittels einer Nutzwertanalyse werden sowohl die zeitwirtschaftlichen Methoden als auch die unterstützenden Softwaretools ausgewählt. Um den Analysieraufwand zu reduzieren, werden Arbeitsfolgen in der Montage auf deren Auswirkung auf die gesamte Fertigungszeit untersucht. Arbeitsfolgen mit geringen Auswirkungen werden gruppiert und einheitlich bewertet. Um die Planung trotz fehlenden Auftragsinformationen zu ermöglichen, wird mit Hilfe von Random Forest Algorithmen ein Regressionsmodell entwickelt. Dieses verwendet historische Auftragsdaten zum Ermitteln von Auftragszeiten des gesamten Auftrages und dessen einzelnen Arbeitsfolgen. Zur Validierung der entwickelten Algorithmen werden Altaufträge, welche mit der Bewertungsmethode *ROM* bewertet wurden, herangezogen.

Der Analysieraufwand kann um bis zu 50%, bei gleichbleibender Aussagegenauigkeit, reduziert werden. Durch die Anwendung des Random Forest Ansatzes können die Auftragszeiten in gleicher Qualität, wie vollständig mit *ROM* analysiert (ohne fehlende Informationen), erreicht werden. Durch eine zusätzliche Verwendung der Unterstützungssoftware *TiCon* wird die Qualität der Zeitwirtschaft ganzheitlich verbessert und der Aufwand zum Analysieren und Dokumentieren zusätzlich gesenkt.

Abstract

As a result of international competition, companies are increasingly under pressure to raise their productivity and take a holistic view of business activities. Processes and systems must be designed to gain added value. A timely collection of information about the order to be processed is becoming more important to be able to plan resource requirements, processing times and the handover from one process to the next. An application of time standardization methods enables a measurement and comparison of activities performed by humans. Based on the gained information, production planning can be optimized and potentials for process improvements can be made visible.

The aim of this thesis is to select and implement a time standardization methodology for a company with batch or small-batch production combined with a high diversity of variants. The analysis time required for the evaluation shall be reduced as far as possible under the condition that the accuracy and information content do not suffer any loss. In addition, an evaluation algorithm is developed, which makes it possible to assess total process time, despite the lack of product information at the time of planning.

Using a structured literature research, time standardization methods and their selection criteria are determined. Accordingly, the company is analysed holistically based on the MTO-principle. Consequently, the processes are assigned to the respective process types. Based on the categorization, the time standardization methods and a supporting software tool are selected. In order to reduce the analysis effort, job sequences are examined for their impact on the total production time. Work sequences with low impact are grouped and evaluated uniformly. To be able to evaluate tasks despite a lack of product information, a regression model is developed using random forest algorithms. Therefore, historical data of previous orders are used to determine not only the process time of the entire order but also its individual job sequences. To validate the developed algorithms, previous orders - which were evaluated with ROM methodology - are used.

The analysis effort can be reduced by up to 50%, while the accuracy of the results remains the same. By using the random forest approach, the order times can be determined in the same quality as completely analysed with ROM (without a lack of information). By an additional use of the support software TiCon the quality of the time management can be further improved and the effort for analysing and documenting is reduced.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Hintergrund und Ziel der Arbeit	3
1.3	Problemstellung und Forschungsfragen	4
1.3.1	Forschungsfragen	5
1.4	Aufbau der Arbeit und Methodische Vorgehensweise	6
1.4.1	Struktur der Arbeit.....	6
1.4.2	Methodisches Vorgehen	7
2	Theoretische Grundlagen.....	11
2.1	Ziele und Vorgehen beim Bewerten von Arbeitsprozessen	13
2.1.1	Ziel beim Bewerten von Arbeitsprozessen	14
2.1.2	Vorgehen beim Bewerten von Arbeitsprozessen	14
2.1.3	Bewertung mit Softwareunterstützung	16
2.2	Auswahlkriterien für zeitwirtschaftliche Bewertungsmethoden	17
2.2.1	Fertigungsart.....	18
2.2.2	Fertigungs- und Montageprinzip	18
2.2.3	Prozesstypen	19
2.2.4	Methodenniveau	20
2.3	Auswahlkriterien für Softwaretools und Softwareunterstützung.....	21
2.4	Zeitarten und Zeitgliederungen.....	23
2.4.1	Vorgabezeit für den Menschen (Auftragszeit).....	23
2.4.2	Vorgabezeiten für das Betriebsmittel (Belegungszeit)	25
3	Literaturanalyse und State of the Art.....	26
3.1	Methoden zur Bewertung von Arbeitsprozessen und deren Einsatzgebiete.....	27
3.1.1	REFA Zeitaufnahme	30
3.1.2	Multimomentaufnahme	34
3.1.3	Planzeiten und Planzeitkataloge	35
3.1.4	Regressionsanalyse.....	37
3.1.5	Methods-Time Measurement (MTM).....	40
3.1.6	Work Factor (WF)	43

3.1.7	Maynard operation sequence technique (MOST)	44
3.1.8	ROI – Operationsfolge – Methode (ROM).....	47
3.2	Softwareunterstützung zur Systemintegration der Bewertungsmethoden	49
3.2.1	Wissensbasierte Systeme (WBS)	50
3.2.2	Regressionsrechnung und Variableneinfluss mittels Random Forest	56
3.2.3	Datenaufbereitung und Parameterwahl (Pre-Processing mittels Feature Selection und Feature Extraction).....	57
3.2.4	Softwareunterstützung in der Zeitwirtschaft	60
3.3	State of the Art	63
3.3.1	State of the Art in der Prozessoptimierung	63
3.3.2	Informationssysteme zur Steigerung der Produktivität.....	65
3.3.3	Weiterentwicklung der Prozessbewertung	66
3.3.4	Forschungslücke.....	68
4	Betrachtung in der Praxis.....	69
4.1	Vorgehensweise für eine Betrachtung in der Praxis und Identifikation der Optimierungspotentiale in der Zeitwirtschaft.....	69
4.1.1	Umfeld- und Anforderungsanalyse.....	70
4.1.2	Prozess- und Produktanalyse	76
4.1.3	Potentiale zur Minimierung des Analysieraufwandes und Steigerung der Analysequalität.....	81
4.2	Auswahl geeigneter Methoden und Software	87
4.3	Optimierung der Planung durch Softwareunterstützung	90
4.3.1	Optimierung des Analysieraufwands.....	92
4.3.2	Vorgabezeitermittlung trotz fehlender Auftragsinformation	96
4.3.3	Validierung der Optimierungsansätze	99
5	Auswertung der Resultate	103
5.1	Resultate der Systemunterstützung.....	103
5.1.1	Ausgewählte Methoden und Softwareunterstützung.....	104
5.1.2	Ergebnisse Optimierung Analysieraufwand	109
5.1.3	Resultate Vorgabezeitermittlung trotz fehlender Auftragsinformationen	111
5.2	Resultate in Bezug auf Forschungsfrage.....	113
6	Diskussion und Ausblick	118

6.1	Diskussion der Ergebnisse	118
6.2	Einschränkungen der Ansätze und Ergebnisse	122
6.3	Nächste mögliche Schritte zur Weiterentwicklung	123
7	Literaturverzeichnis	125
8	Abbildungsverzeichnis	129
9	Tabellenverzeichnis	131
10	Formelverzeichnis	132
11	Abkürzungsverzeichnis	133
12	Anhang.....	134
12.1	Literaturanalyse Datenbanken und Suchbegriffe	134
12.2	REFA Zeitaufnahmebogen (REFA 2014)	135
12.3	Beschreibung REFA Zeitaufnahmebogen (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993).....	137
12.4	Interview Fragebogen.....	140
12.5	Anforderungskatalog Software	144
12.6	Nutzwertanalyse Methoden- und Softwareauswahl	149
12.7	Ermittlung der Stichprobengröße	158
12.7.1	Überprüfen der Altaufträge auf normalverteilte Auftragszeiten durch Kolmogorov-Smirnov-Test	158
12.7.2	Stichprobengröße für Normalverteilung	159
12.7.3	Stichprobengröße für unbekannte Verteilung	160
12.8	Schematische Darstellung der Verbesserungsansätze	161
12.8.1	Gruppierungsansatz: Schematischer Aufbau zur Ermittlung eines geeigneten Ähnlichkeitsmaßes	161
12.8.2	Gruppierungsansatz: Validierung des Vorgehens mittels Altaufträgen	162
12.8.3	RF-Modell: Schematischer Aufbau RF-Modell zur Bestimmung der Vorgabezeiten trotz fehlender Auftragsinformationen	163

1 Einleitung

In Unternehmen, die in starker Konkurrenz zu Mitbewerbern stehen, ist es unabdingbar, den Markt mit innovativen, für den Kunden maßgeschneiderten Produkten zu bedienen und gleichzeitig die im Unternehmen ablaufenden Prozesse kontinuierlich zu verbessern. In vielen Unternehmen wird dabei vor allem großes Potential in der Arbeitsgestaltung und -planung, im Speziellen in der Fertigungs- und Montageplanung, gesehen. Eine zeitnahe Erfassung von Informationen über den abzuwickelnden Auftrag wird immer relevanter, um Kapazitäts- und Ressourcenbedarfe, Bearbeitungszeiten und die Übergabe von einem Prozess zum nächsten planen zu können. Dies ermöglicht eine schnellere bzw. kosteneffizientere Auftragsabwicklung. Allerdings lässt sich durch den Kundenfokus, im Sinne der Individualisierung von Produkten, schwer ein Produktstandard definieren. Zusätzlich fehlen zum Planungszeitpunkt oftmals notwendige Informationen über die genaue Produktkonfiguration. Unter diesen Umständen lassen sich die Produktionsplanung und -optimierung nur erschwert durchführen.

1.1 Motivation

Der Begriff „High Mix – Low Volume“ beschreibt die vorliegende Produktionsstrategie für Unternehmen, die ihre Produkte kundenbezogen und in kleinen Losgrößen herstellen. Toyota gilt, trotz der gesamt betrachtet großen Stückzahl an Fahrzeugen, als Vorreiter und Vorbild dieses Ansatzes. Toyota begann in der Nachkriegszeit des zweiten Weltkrieges unterschiedliche Modelle in denselben Fertigungslinien zu produzieren. Somit konnten die Kunden zufriedengestellt und gleichzeitig die Produktion auf kleinem Raum aufgebaut werden (Liker 2006). Der damit verbundene Planungsaufwand in der Variantenfließfertigung ist, verglichen mit der klassischen Fließfertigung, deutlich höher. Die Arbeitsinhalte, Materialflüsse und Arbeitsplätze müssen perfekt aufeinander abgestimmt sein, um dieses Fertigungsprinzip umsetzen zu können.

Die Planung von Fertigungslinien und das spätere Eintakten von verschiedenen Aufträgen in die Fertigungslinie erfolgen auf Basis von Arbeitsplänen. Anhand der dort festgehaltenen Informationen, zu denen Materialmengen, Arbeitsschritte, benötigte Arbeitsmittel und auch die dafür benötigte Zeit gehören, können die Linie bzw. die Arbeitsplätze passend der Arbeitsinhalte ausgerichtet werden. In Publikationen, wie z.B. „An enumerative heuristic and reduction methods for the assembly line balancing problem“ (Fleszar und Hindi 2001), „Simple assembly line balancing problem of Type 1 with grey demand and grey task durations“ (Arik et al. 2019) oder „Produktionsplanung bei Variantenfließfertigung: Planungshierarchie und Elemente einer Hierarchischen Planung“ (Boysen et al. 2007), wird die Planung und

Linienabstimmung von Fertigungslinien diskutiert. Fleszar und Hindi, sowie Arik et al. versuchen mit heuristischen Methoden Arbeitsabläufe dahingehend zu optimieren, dass die Fertigungslinie einen möglichst hohen Bandwirkungsgrad erzielt. Die Optimierung wird unter Berücksichtigung der vorliegenden Randbedingungen (Taktzeiten, Tätigkeitszeiten und einzuhaltender Reihenfolge der Tätigkeiten bzw. Arbeitsstationen) durchgeführt. Boysen et al diskutieren die Umsetzung von kurzfristiger (1 - 4 Wochen Planungshorizont) Produktionsprogramm- und Reihenfolgeplanung, um Überlastungen des Produktionssystems vermeiden zu können. In den genannten Publikationen spielt die Taktzeit zur Optimierung der Fließfertigung eine wesentliche Rolle. Unabhängig der Ansätze muss die Linienabstimmung so erfolgen, dass die Summe der Bearbeitungszeiten einer Station die Taktzeit der Linie nicht überschreitet. Um eine optimierte Produktionsplanung zu ermöglichen, müssen die zu fertigenden Aufträge und die Tätigkeitszeiten der dafür notwendigen Arbeitsvorgänge bereits vorliegen.

Durch die Anwendung von Bewertungsmethoden können planungsrelevante Informationen gewonnen werden. Die Bezeitung von Tätigkeiten ist neben der Dokumentation und Beschreibung der Vorgänge im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit und Rationalisierungseinsätze ein wesentlicher Grund zur Anwendung.

Die anzuwendenden Bewertungs- und Analysemethoden hängen stark von den herzustellenden Produkten und deren Fertigungssystemen ab. Außerdem erfordert die Analyse und im Weiteren die Bestimmung von Vorgabezeiten genaue Kenntnis über die Arbeitsfolge. Zusätzlich benötigt die Durchführung solcher Analysen und Bewertungen ein Vielfaches der realen Tätigkeitszeit. Die Anwendung von Bewertungsmethoden hat sich bislang vor allem in der Massen- oder Serienfertigung etabliert, wo die zeitintensive Bewertung durch die hohen Stückzahlen wirtschaftlich durchgeführt werden kann. Zum Beispiel werden in der Automobilindustrie Bewertungsmethoden herangezogen, um die ablaufenden Arbeitsprozesse bestmöglich abzustimmen (Kuhlang 2019). Zwei Aspekte spielen in der wirtschaftlichen Anwendung eine wichtige Rolle: Eine begrenzte Anzahl der Varianten, sowie die vor Planungsbeginn bekannten Ausprägungen dieser. Sie sind essenziell, um die Fertigung und Montagen optimal abstimmen zu können. Je mehr Freiheiten und Mitgestaltungsrechte nun der Kunde in der Produktentwicklung und -konfiguration bekommt, desto wahrscheinlicher ist es auch, dass mit jedem Auftrag eine neue Variante des Produktes erzeugt wird. Die umfangreiche Auftragsabklärung kann speziell bei Produkten mit hoher Durchlaufzeit dazu führen, dass unvollständige Auftragsunterlagen zum Zeitpunkt der Produktionsplanung vorliegen. Die ungewissen Arbeitsinhalte führen dann zu Unter- oder Überlastung der Ressourcen.

In dieser Arbeit wird die Auswahl und Implementierung von Bewertungsmethoden für Arbeitsprozesse unter Berücksichtigung der erschwerenden Rahmenbedingungen in der High Mix – Low Volume Produktion beschrieben. Wirtschaftliche Bewertungsmöglichkeiten von Neuaufträgen sollen im Hinblick auf Zeiteffizienz der Durchführung und im Umgang mit unvollständigen Auftragsunterlagen zum Planungszeitpunkt ermittelt und diskutiert werden.

1.2 Hintergrund und Ziel der Arbeit

Vorgabezeiten bestimmen maßgebend die Planung von Fertigungslinien und Produktionsplänen. Jedoch hängen die Zeiten zur Ausführung von Fertigungs- und Montagetätigkeiten wiederum von Einflussgrößen (EFG), Bezugsmengen und Arbeitsbedingungen ab. Bei der Bewertung von Arbeitsprozessen, müssen von vornherein zwei Punkte berücksichtigt werden. Zum einen muss der Verwendungszweck der zu ermittelnden Daten klar definiert sein und zum anderen hat die Datenermittlung so zu erfolgen, dass die Ergebnisse und Abläufe wiederverwendet bzw. wiederholt werden können, also reproduzierbar sind.

Durch das Bewerten von Arbeitsprozessen werden Arbeitsabläufe dokumentiert, vergleichbar und messbar gemacht. Gängige Bewertungsmethoden im Arbeitsstudium liefern je nach Methode zusätzlich zu den Zeitdaten Informationen über ergonomische Belastungen, zurückgelegte Wegstrecken und den Grad der Wertschöpfung als Ergebnis. Speziell für Unternehmen mit einer Differenzierungsstrategie, besteht das Risiko durch Fokussierung auf Erhalt des Differenzierungsgewinns dem Potential der Kostensenkung zu geringe Aufmerksamkeit zu schenken (Becker et al. 2005). Durch die Analyse von Arbeitsprozessen ist es möglich, Optimierungspotentiale zu erkennen und Prozessverbesserungen umzusetzen.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine einheitliche und standardisierte Bewertungsmethode für ein Unternehmen mit Einzel- und Kleinserienfertigung bei hoher Variantenvielfalt auszuwählen und zu implementieren. Dabei muss es möglich sein, neue Aufträge trotz fehlender Auftragsinformationen planen zu können. Die Bewertung soll durch Softwareunterstützung standardisiert und vereinfacht umgesetzt werden. Auch soll die zur Bewertung benötigte Analysezeit ohne Einbußen von Aussagegenauigkeit und Informationsgehalt möglichst gesenkt werden.

1.3 Problemstellung und Forschungsfragen

Die Anwendung von zeitwirtschaftlichen Bewertungsmethoden zur Analyse von manuell durchgeführten Arbeitstätigkeiten ist zeitintensiv. Die Dokumentation und Bewertung der Arbeitsfolgen benötigen ein Vielfaches der eigentlichen Ausführungszeit der betrachteten Tätigkeit. Softwarelösungen wie Ticon¹, TimeStudy² oder ORTIMplan³ bieten die Möglichkeit, die Bewertung benutzerfreundlicher und digital durchzuführen. Dies bringt Vorteile wie eine schnellere Bewertung bei gleichzeitig besserer, einheitlicher Dokumentation mit sich. Durch die direkte Einbindung solcher Software in Enterprise Resource Planning-Systemen (ERP-Systemen) können Analysen direkt mit Auftragsdaten verknüpft werden und somit die Zusammensetzung der Vorgabezeiten oder berücksichtigten EFG einfach eingesehen werden. Die Daten der Altaufträge werden gespeichert und bieten somit Potential für den Einsatz wissensbasierter Planungs- und Optimierungsmethoden. Der von Jodlbauer (Jodlbauer et al. 2005) entwickelte Algorithmus zum Einplanen von neuen Aufträgen mit aus Stammdaten ermittelten Vorgabezeiten versucht beispielsweise die Planung zu optimieren und den Ressourcenaufwand zum Bewerten der neuen Aufträge zu verringern. Die Erkenntnisse aus dieser Publikation können aber nur angewendet werden, wenn vorab die Tätigkeiten erstmals bestimmt und bewertet worden sind. Methoden bzw. Möglichkeiten zur effizienteren Durchführung der Erstbewertung unter den komplexen Rahmenbedingungen einer Varianten(fließ)fertigung wurden bisher in der Literatur und Forschung in Zusammenhang mit Standardmethoden des Arbeitsstudiums nicht behandelt.

Vor allem fehlende Auftragsinformationen zum Planungszeitpunkt erschweren die Planung mit traditionellen Bewertungsmethoden deutlich, da unbekannte Arbeitsinhalte nicht analysiert werden können. State of the Art ist der Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) zur Behandlung von Problemen mit geringem Informationsgehalt (Görz et al. 2021). Die Anwendung von KI insbesondere Machine Learning-Ansätzen könnte die Planung und Bewertung trotz Informationslücken zwischen Auftragsaufklärung und Produktionsplanung ermöglichen. Ob und welche KI-Ansätze für die Problemstellung in der Planung einer Variantenfertigung eingesetzt werden können, gilt es zu ermitteln. Die Planzeitermittlung anhand einer Regressionsanalyse basierend auf Produktparameter und dafür benötigte Ist-Zeiten oder die Methode des fallbasierten Schließens sind mögliche Ansätze, um auf Basis von bereits abgeschlossenen Aufträgen, neue Planzeiten ableiten zu können.

¹ Softwareunterstützung zur Analyse von Tätigkeiten der MTM-Vereinigung

² Softwareunterstützung zur Durchführung und Auswertung von Zeitaufnahmen

³ Softwareunterstützung zur Verwaltung von Zeitdaten, Ermittlung von Vorgabezeiten und Erstellen von Arbeitsplänen

1.3.1 Forschungsfragen

Aufgrund der oben erläuterten Thematik ergeben sich folgende Forschungsfragen zur Optimierung der Zeitwirtschaft in mittelständischen Betrieben mit Klein- und Einzelerienfertigung:

- **Welche zeitwirtschaftliche Methode eignet sich zur Bewertung von Arbeitsprozessen in der variantenreichen Kleinserienfertigung?**

Im Hinblick auf eine wirtschaftliche Bewertung der Arbeitsprozesse soll eine Methode für die vorherrschenden Rahmenbedingungen gefunden werden. Der Fokus liegt dabei auf den durch die Analyse und Bewertung gewonnenen Informationen und der Möglichkeit, die Methode durch Softwareunterstützung hinsichtlich des Analysieraufwandes zu optimieren.

- **Welcher Detaillierungsgrad der Bewertungsmethode ist für ein Unternehmen mit hoher Produkt- und Variantenvielfalt notwendig, um wirtschaftliche Ergebnisse in passender Qualität in der Planzeitenbestimmung zu erreichen?**

Die Produkte und Produktvarianten müssen zur Auswahl und zur Optimierung der Bewertungsmethode analysiert werden. Dabei werden Anwendungskriterien für die Methode bestimmt und im Anschluss an die Methodenauswahl ein wirtschaftliches Analyseniveau definiert. Das Analyseniveau beschreibt den gemeinsamen Nenner der einzelnen Varianten einer Produktgruppe und ist abhängig von dem Bewertungssystem.

- **Welche Anforderungen gilt es zu erfüllen, um eine generische regressive Analyse von Arbeitsprozessen anhand Stammdaten durchführen zu können und ist diese wirtschaftlich einzusetzen?**

Um die Bewertung von Arbeitsprozessen anhand von Stammdaten und Ist-Zeiten von Altaufträgen durchführen zu können, müssen die Daten je nach Bewertungsmethode (Fallbasiertes Schließen, Regressionsanalyse, o.ä.) anderen Anforderungen genügen. Basierend auf der Methodenauswahl werden die Anforderungen für die umzusetzende Methode konkretisiert und die Logik des Algorithmus bzw. der Methode beschrieben.

Der in den Forschungsfragen verwendete Begriff „wirtschaftlich“ bezieht sich dabei zum einen auf die bereichsübergreifende Nutzung der mit den Analysen generierten Informationen und zum anderen auf die Reduktion des Ressourcen- und Zeitaufwandes zum Erstellen und Ändern der Bewertungen.

1.4 Aufbau der Arbeit und Methodische Vorgehensweise

Diese Arbeit soll als Leitfaden zum methodischen Vorgehen der Auswahl, Optimierung und Implementierung von Bewertungsmethoden für Unternehmen mit High Mix – Low Volume Produktionsstrategien dienen. Beispielprozesse und Rahmenbedingungen sind so gewählt, dass sie die Anwendung der Methoden verallgemeinert zeigen und die Optimierungsansätze verdeutlichen. Es werden die theoretischen Grundlagen beleuchtet, bevor gängige Bewertungsmethoden und deren Anwendung beschrieben werden. Die Auswahl und Optimierung erfolgt zu Demonstrationszwecken an Praxisbeispielen. Abbildung 1 veranschaulicht sequenziell die behandelten Themenblöcke.

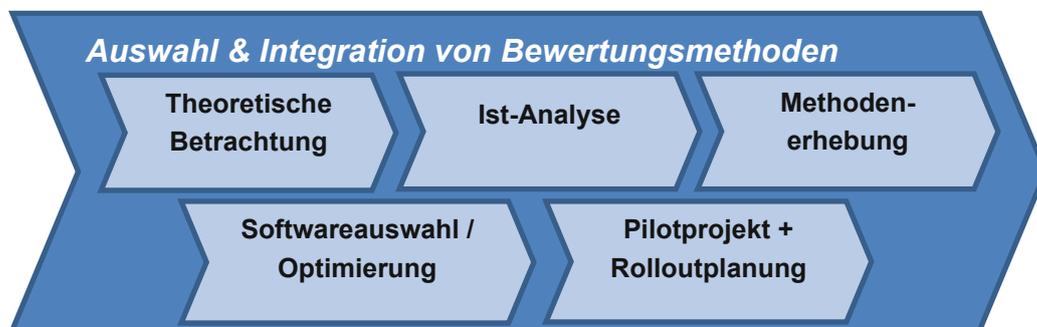


Abbildung 1: Vorgehensweise zur Auswahl von Bewertungsmethoden

1.4.1 Struktur der Arbeit

In Kapitel 2 „Theoretische Grundlagen“ wird das Ziel der Anwendung von Bewertungsmethoden von Arbeitsprozessen erläutert. Bevor auf die unterschiedlichen Methoden eingegangen wird, werden thematisch wichtige Begriffe erklärt und die allgemeine Struktur und Verwendung der Analyseergebnisse definiert. Die Zusammensetzung von Vorgabezeiten wird beschrieben. Aufbauend darauf werden die Anwendungskriterien für Bewertungsmethoden diskutiert.

In Kapitel 3 „Literaturanalyse und State of the Art“ werden die in der Wirtschaft am häufigsten zur Anwendung kommenden Bewertungsmethoden erläutert. Zusätzlich werden aktuelle Forschungen diskutiert, welche vorwiegend die Planung mittels Algorithmen und maschinellem Lernen unterstützen. Ihre Anwendungsbereiche, die Durchführung und die Unterschiede zwischen den Methoden werden erörtert. Durch die Recherche in Fachbüchern und wissenschaftlichen Studien sollen die optimalen Einsatzgebiete und die Grenzen der unterschiedlichen Analyse- und Planungsmethoden aufgezeigt werden. Zusätzlich soll eine Internet- und Marktrecherche Softwarelösungen von unterschiedlichen Anbietern und deren Einsatzgebiete aufzeigen. Ebenfalls wird eine Recherche zur regressiven und softwaregestützten Planzeitermittlung auf Basis von Stammdaten durchgeführt. Die

Anwendung von KI gestützten Ansätzen in Kombination mit Stammdaten einerseits oder herkömmlichen Methoden des Arbeitsstudiums andererseits wird untersucht.

Mit der Ist-Analyse beginnt Kapitel 4 „Betrachtung in der Praxis“, in dem die Vorgehensweise zur Auswahl und Implementierung von Bewertungsmethoden mit Systemunterstützung für ein Unternehmen im Sonderfahrzeugbau gezeigt wird. Kapitel 4.2 beschreibt den Auswahlprozess der Methode und in späterer Folge der Softwareunterstützung. In Kapitel 4.3 werden Lösungsansätze mittels KI und Erkenntnisse aus der Forschung bezüglich Optimierungsalgorithmen in der Planung angewandt, um die Bewertung trotz unvollständiger Auftragsunterlagen mittels generische rekursiver Planzeitermittlung bzw. wissensbasierten Ansätzen zu ermöglichen. Es soll der Planungs- und Analysieraufwand reduziert werden.

Die Ergebnisse werden in Kapitel 5 „Auswertung der Resultate“ beschrieben.

Abschließend werden in Kapitel 6 „Diskussion und Ausblick“ die Ergebnisse diskutiert und weitere Schritte zur erfolgreichen Implementierung (Rollout) behandelt.

1.4.2 Methodisches Vorgehen

Das „Technologiepolitische Dilemma“ nach Wagner-Döbler (Wagner-Döbler 1989) wird in Abbildung 2 dargestellt. Es wird verdeutlicht, dass mit Fortschreiten der Zeit zwar mehr Wissen über Technologie und deren Einsatz gewonnen, jedoch die Umsetzung und Beeinflussung der Prozesse schwieriger wird. Es soll vor der Umsetzung des Vorhabens, eine neue Bewertungsmethode in einem Unternehmen einzuführen, ausreichend Wissen und Verständnis der Zusammenhänge generiert werden, um die Umsetzung des Projektes von Beginn an möglichst optimal durchführen zu können. Darum wird zuerst eine umfangreiche strukturierte Literaturrecherche ausgeführt, um die Ziele, die Verknüpfung zu anderen Betriebsbereichen und den Aufbau bzw. die Funktion von Zeitwirtschaftssystemen zu verstehen.

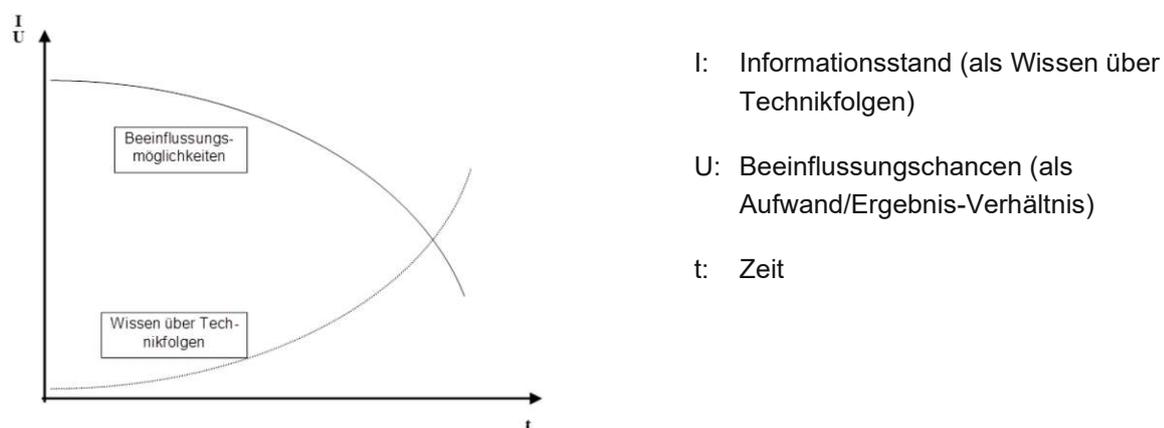


Abbildung 2: Technologiepolitische Dilemma (Wagner-Döbler 1989, S. 170)

Die Implementierung einer neuen Bewertungsmethode mit Softwareunterstützung ist ein komplexes, neuartiges und in einer bestimmten Zeit umzusetzendes Vorhaben, wodurch es nach Definition im Projektmanagement einem Projekt entspricht (Jakoby 2019). Ein Projekt als Problemlösungsansatz gliedert sich in die in Abbildung 3 dargestellten Phasen. Ausgehend vom Problem wird im ersten Schritt eine umfangreiche Ist-Analyse angestellt, wobei die äußeren Einflussfaktoren (Stakeholder) und die intern ablaufenden Prozesse analysiert werden. Die in dieser Arbeit betrachteten Unternehmen können als soziotechnische Systeme betrachtet werden. Soziotechnische Systeme beschreiben Arbeitssysteme. Sie können in soziale und technische Arbeitssysteme unterteilt werden, welche eng miteinander verknüpft sind. Jedes Arbeitssystem ist nach den Unternehmenszielen ausgerichtet und versucht diese umzusetzen. Die Analyseeinheit von soziotechnischen Systemen, unter besonderer Berücksichtigung der beiden Teilsysteme und der Art ihrer Verknüpfung, bildet das primäre Arbeitssystem. Ein primäres Arbeitssystem stellt ein eindeutig identifizierbares und abgrenzbares Subsystem einer Organisation dar (z.B. Fertigungslinie, Abteilung).

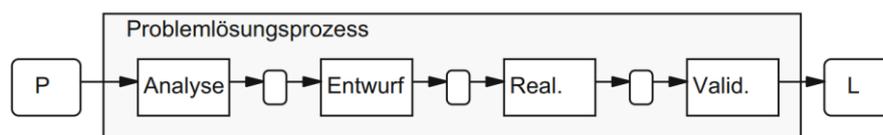


Abbildung 3: Grundstruktur eines Problemlösungsprozesses (Jakoby 2019, S. 28)

Die Analyse wird nach dem MTO-Analyseprinzip (Mensch, Technik, Organisation) durchgeführt (Abbildung 4), da die gegenseitige Abhängigkeit von Mensch, Technik und Organisation in dem MTO-Konzept berücksichtigt werden.

Die MTO-Analyse betrachtet vorwiegend die internen Prozesse, hingegen zeigt das St. Galler Management-Modell, dass sowohl normative und strategische Ebenen zu berücksichtigen sind. Um auch die strategischen Aspekte mitzubedenken wird zusätzlich eine Umfeldanalyse (z.B. Stakeholderanalyse) durchgeführt. Durch eine Stakeholderanalyse können Einflüsse und Projektinteressen von Stakeholdern mit in die Analyse aufgenommen werden. Zur Informationsbeschaffung werden Interviews mit ausgewählten Personen (ExpertInnen und Stakeholder) durchgeführt. In der Entwurfsphase des Projekts werden in diesem Fall die Erkenntnisse aus der Analyse herangezogen und daraus Lösungsansätze abgeleitet. Konkret wird nach den am besten passenden Bewertungsmethoden und Systemunterstützungen gesucht. Da zur Auswahl von Bewertungsmethoden und Software-Tools konkrete Kriterien erfüllt und bewertet werden müssen, eignet sich in diesem Fall die Nutzwertanalyse besonders gut. Mit Hilfe einer Nutzwertanalyse können Kriterien und Lösungsalternativen (Bewertungsmethoden oder Software-Tools) in einer Entscheidungsmatrix gegenübergestellt und ihr Erfüllungsgrad bewertet werden. Die Entscheidung kann

durch gewichtete Nutzenfunktionen und Entscheidungskriterien getroffen und nachvollziehbar dokumentiert werden.

Schritt	Gegenstand	Methodik
1. Analyse auf der Ebene des Unternehmens	Analyse von Unternehmenszielen, Unternehmensstrategien, Unternehmensorganisation, Produkten und Produktionsbedingungen, Personalstruktur, Technikeinsatz, Qualitätsmanagement, Innovationsverhalten, Lohnsystem, Arbeitszeitmodellen, Mitwirkungsrechten etc.	Dokumentenanalysen, Experteninterviews, Interviews mit der Geschäftsleitung
2. Analyse von Auftragsdurchläufen (Prozessanalyse)	Analyse des Auftragsdurchlaufes von 2 bis 5 typischen und abgeschlossenen Aufträgen	Dokumentenanalysen, ablauforientierte Betriebsbegehungen,
3. Analyse von Arbeitssystemen	Analyse von Inputs, Transformationsprozessen, Outputs, sozialem und technischem Teilsystem, technisch-organisatorischer Gestaltung, Schwankungen und Störungen, Hauptproblemen etc.	Dokumentenanalysen, Experteninterviews, Gruppeninterviews
4. Analyse von Arbeitsgruppen	Analyse von Möglichkeiten zur kollektiven Regulation von Arbeitsaufgaben und Arbeitszeit, Umgebungsbedingungen, Qualifizierung, Leistung, Qualität, Interner und externer Koordination etc.	Dokumentenanalysen, Gruppeninterviews, Beobachtungsinterviews
5. Bedingungsbezogene Analyse von Schlüssel-tätigkeiten	Analyse von Arbeitseinheiten, Tätigkeitsabläufen, Kommunikations- und Kooperationserfordernissen, Mensch-Maschine-Funktionsteilung und -Interaktion, Regulationshindernissen etc.	Ganzschichtbeobachtungen, Beobachtungsinterviews, Experteninterviews
6. Personenbezogene Arbeitsanalysen	Analyse von Erwartungen der Beschäftigten an ihre Arbeit sowie Wahrnehmung der Arbeitssituation durch die Beschäftigten	Schriftliche Erhebung mit Skalierungsverfahren
7. Analyse der soziotechnischen Geschichte	Analysen von Strategien, Vorgehen und Meilensteine bei der technisch-organisatorischen Entwicklung des Betriebes	Dokumentenanalysen, Experteninterviews

Abbildung 4: Schritte, Gegenstände und Methoden der MTO-Analyse (Ulich 2013)

Die Entscheidungsmatrix kann mit beliebig vielen, aber eindeutigen Kriterien erweitert werden und es besteht die Möglichkeit, technische, monetäre und soziale Kriterien/Anforderungen gleichzeitig in die Entscheidung miteinfließen zu lassen. (Jakoby 2019; GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e. V. 2019)

Realisierung und Validierung bilden die letzten Schritte des Projektes (vgl. Abbildung 3) und werden in dieser Arbeit zusammengefasst. In der Realisierungsphase werden die ermittelten Lösungsalternativen an die im Unternehmen vorherrschenden Bedingungen und Abläufe angepasst (Definition von Standards, Prozessbausteinen) und anhand von Pilotprojekten validiert. Die betrachteten Pilotbereiche werden nach dem Best-Practice Prinzip ausgewählt. Ein Best-Practice Prozess stellt die optimalen Bedingungen eines Arbeitsprozesses dar, die bei Einführung der neuen Bewertungsmethoden nicht zwangsläufig erfüllt sein müssen. Die Abweichungen zum

Best-Practice Prozess können im Unternehmen als Ansätze für kontinuierliche Verbesserungen (KVP-Prozess) herangezogen werden (Bokranz 2012).

In dieser Arbeit wird zur Erstellung der in Kapitel 4.3 beschriebenen Lösungsansätze *KNIME Analytics Platform*⁴ des Schweizer Unternehmens KNIME AG verwendet. *KNIME Analytics Platform* ist eine Open Source Software für Data Science. Durch die visuelle Programmierung von sogenannten Workflows bietet KNIME auch für NutzerInnen ohne Programmierkenntnisse eine Möglichkeit große Datenmengen schnell und einfach zu bearbeiten. Ein Workflow besteht aus mehreren Knoten, welche über Verbindungslinien manuell verbunden werden. Die vordefinierten Knoten ermöglichen unterschiedliche Datenmanipulationsschritte. Zum Beispiel können durch den Knoten „Excel Reader“ Excel Dokumente eingelesen und zur Weiterverarbeitung in *KNIME* genutzt werden. Es können Rechenoperationen, Textänderungen, logische Abfragen, aber auch Schleifen und KI-Algorithmen in *KNIME* mittels verschiedener Knoten realisiert und beliebig miteinander verknüpft werden. Auch besteht die Möglichkeit über interaktive Fenster (z.B. Knoten *Table Editor*) Eingaben zu tätigen, welche für den Workflow relevant sind. Es besteht die Möglichkeit durch Verwendung von Snippet-Knoten Programmteile in *R* oder *Java* zu realisieren. Die generierten Ergebnisse können in Excel und in Grafiken ausgegeben werden. Über den sogenannten *KNIME Hub* können bereits erstellte Workflows für einfache Datenmanipulationen heruntergeladen und verwendet werden. Die Vorteile der schnellen Erlernbarkeit und auch Nachvollziehbarkeit durch Dritte, sowie die Verfügbarkeit der Software als Open Source sprechen für die Anwendung in Unternehmen.

Die in dieser Arbeit verwendeten Methoden und Lösungen sind auch mit anderen Programmiersprachen, beispielsweise mit *R*, umsetzbar. Der schematische Aufbau und die wesentlichen Punkte der Workflows werden im Anhang (Anhang 12.8) der Arbeit aufgezeigt.

⁴ <https://www.knime.com/knime-analytics-platform> [09.12.2021]

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen zu dem allgemeinen Gebiet der Arbeitswissenschaften, im Speziellen der Arbeitsprozessbewertung inklusive zeitlicher Bewertung zur Fertigungs- und Produktionsplanung erläutert. Die Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA) definiert die Arbeitswissenschaft wie folgt:

„Inhalt der Arbeitswissenschaft ist die Analyse und Gestaltung von Arbeitssystem und Arbeitsmitteln, wobei der arbeitende Mensch in seinen individuellen und sozialen Beziehungen zu den übrigen Elementen des Arbeitssystems Ausgang und Ziel der Betrachtung ist.“ (Böge 2013, S. S24)

Die Definition der Arbeitswissenschaft lässt bereits vermuten, dass dies ein interdisziplinäres Aufgabenfeld darstellt. Dabei werden ingenieurwissenschaftliches, medizinisches und sozialwissenschaftliches Gedankengut vernetzt. Die drei Hauptziele des individuellen Gesundheitsschutzes, der sozialen Angemessenheit der Arbeit und der technisch-wirtschaftlichen Rentabilität stellen die Kernpunkte der Arbeitswissenschaften dar. (Böge 2013; Landau und Bruder 2014)

Nach REFA (Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V.) werden im Arbeitsstudium Methoden und Erfahrungen zur Untersuchung und Gestaltung von Arbeitssystemen mit dem Ziel, die Wirtschaftlichkeit eines Betriebes zu verbessern, angewendet. Generell wird mit der Anwendung von Methoden der Arbeitswissenschaft versucht, nicht - wie oftmals fälschlich angenommen - die menschliche Arbeit zeitlich zu bewerten, sondern die komplexe Ursachen-Wirkungs-Beziehungen interdisziplinärer EFG zu beschreiben (Schlick et al. 2018). Grundsätzlich kann die Beschreibung der Arbeitssysteme und der Ursachen-Wirkungs-Beziehungen mittels zwei unterschiedlicher Bewertungsansätzen durchgeführt werden (Bokranz 2012):

- Ergonomische Bewertung von Arbeitsprozessen
- Zeitwirtschaftliche Bewertung von Arbeitsprozessen

Beide Ansätze verfolgen die Ziele der Arbeitswissenschaft, nämlich die Arbeitsplätze und -abläufe menschengerecht zu gestalten. Unter menschengerechter Arbeitsgestaltung wird verstanden, dass MitarbeiterInnen Arbeitsaufgaben dauerhaft und ohne physische oder psychische Überbelastung ausüben können. Durch die Analyse und Dokumentation der EFG und deren Zusammenhänge können Arbeitsprozesse bestmöglich gestaltet bzw. optimiert werden.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der zeitwirtschaftlichen Bewertung und der daraus resultierenden Ermittlung der Bearbeitungszeit zur Herstellung von Produkten. Das Bestimmen der Auftragszeiten bildet neben den layoutbedingten Rahmenbedingungen die

wichtigste Voraussetzung zum Planen neuer Fertigungslinien bzw. zur Produktionsplanung. Ein zweiter wichtiger Anwendungsbereich der Bewertungen ist es, auf Basis der Zeit Ressourcen planen und Kosten berechnen zu können.

F.W. Taylor gilt als Vorreiter der wissenschaftlichen Betriebsführung. Er erkannte um 1910 Rationalisierungspotenziale durch wissenschaftliche Arbeitsanalyse und einer darauf aufbauenden Planung und hielt diese in grundlegenden Thesen zur wissenschaftlichen Betriebsführung fest. Taylor trennt die vorbereitende Planung und die wertschöpfende Ausführung organisatorisch. Daraus entwickelte sich die Arbeitsvorbereitung (AV) in der heutigen Form. Die AV bildet eine Organisationseinheit, die als Bindeglied zwischen Konstruktion und Produktion fungiert. Die Aufgabe der AV ist es, auf Basis von Konstruktionszeichnungen und Stücklisten notwendige Arbeitsunterlagen zur Produktherstellung zu erstellen. Es können zwei hauptsächliche Teilbereiche der AV definiert werden:

- Arbeitsplanung: Sie legt fest, *was*, *wie* und *womit* hergestellt wird.
- Arbeitssteuerung: Sie gibt vor, *was*, *wie viel*, *wann*, *wo* und *wer* herstellen soll.

Die Arbeitsplanung vereint alle Planungsaktivitäten die termin- und auftragsunabhängig vorgenommen werden. Produktionsplanung und -steuerung (PPS) ist ein moderner Begriff für Arbeitssteuerung (Bauernhansl 2020). Ziel ist es optimierte Produktionsbedingungen zu erzielen, bei denen Verschwendung minimiert und Wertschöpfung maximiert wird. Der aus den USA kommende Begriff Industrial Engineering (IE) verbindet dabei wirtschaftswissenschaftliche Aspekte mit der Arbeitsplanung. Die Hauptaufgabengebiete des IE, welche Bauernhasl, Bokranz, Landau und Bruder beschreiben, werden in einer selbst erstellten Abbildung (Abbildung 5) übersichtlich zusammengefasst (Bauernhansl 2020; Bokranz 2012; Landau und Bruder 2014).

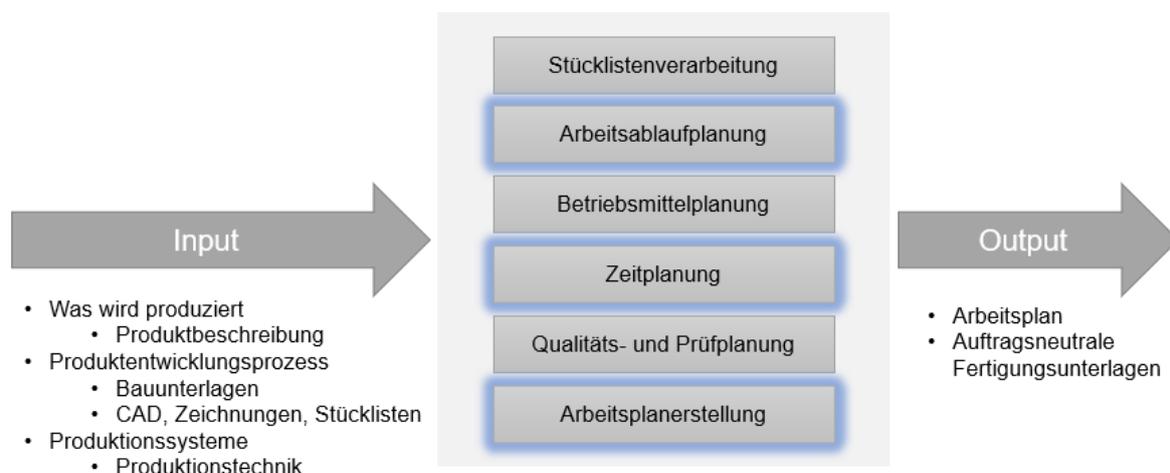


Abbildung 5: Traditionelle Aufgaben des IE

Die Eintaktung von neuen Aufträgen in den Produktionsplan wird primär über den Arbeitsplan des Auftrages vollzogen. Im Arbeitsplan finden sich die notwendigen Arbeitsschritte, benötigten Ressourcen und die für die Umsetzung der Arbeitstätigkeiten benötigte Zeit. Je genauer diese Zeitangaben sind, desto besser kann die Produktion geplant werden. Auch für Controllingzwecke oder Optimierungsprojekte ist ein Soll-Ist-Vergleich der benötigten Zeiten, z.B. Vergleich von Plan- und Ist- Durchlaufzeiten (DLZ), eine gängige Herangehensweise, um Prozessengpässe oder Schwachstellen zu identifizieren.

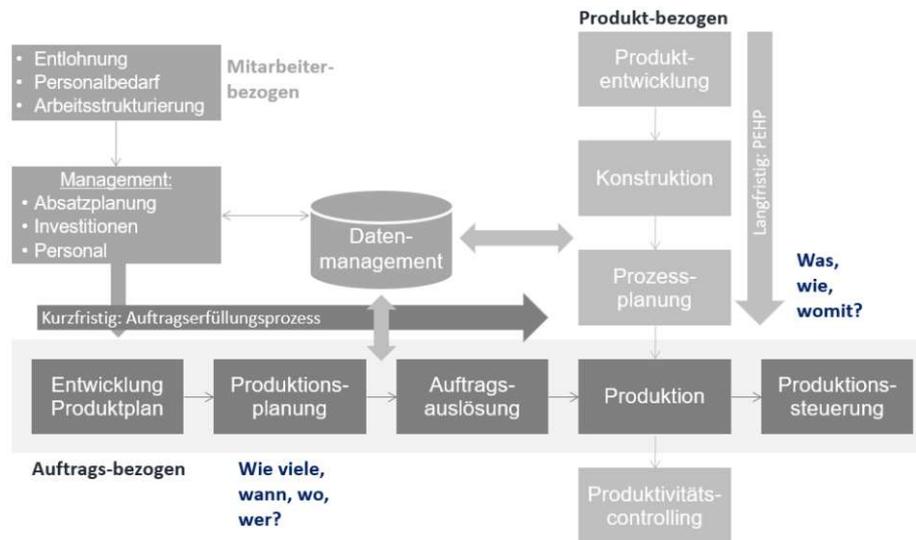


Abbildung 6: Zeitdaten im Industrial Engineering (Landau und Bruder 2014)

Abbildung 6 veranschaulicht die Verwendung von Zeitdaten, ausgehend von den unterschiedlichen Planungs- und Verwendungsperspektiven. Es ist die Aufgabe der Industrial Engineers im Unternehmen, Zeitdaten richtig aufzunehmen, relevante EFG zu berücksichtigen und für die richtige Verwendung der Daten zu sorgen.

2.1 Ziele und Vorgehen beim Bewerten von Arbeitsprozessen

Durch den immer stärker werdenden Konkurrenzdruck und der fortschreitenden Globalisierung sind Unternehmen angehalten, ihre Wettbewerbsfähigkeit durch optimale Prozessgestaltung zu steigern. Der Begriff *Lean* gewinnt immer mehr an Bedeutung. Lean steht für eine schlanke und effiziente Wertschöpfung eines Unternehmens. Verschwendungen aller Art sollen möglichst minimiert werden. In Bezug auf die Produktion von Gütern bedeutet das die Reduktion von Durchlaufzeiten und Steigerung der Produktivität. Gleichzeitig werden Lagerbestände und nicht wertschöpfende Arbeitsinhalte minimiert. Die Analyse und Bewertung von Arbeitsprozessen macht diese durch eine einheitliche Beschreibung mess- und vergleichbar. Dadurch können Potentiale ermittelt und die Wertschöpfung aus den Bewertungen abgeleitet werden.

2.1.1 Ziel beim Bewerten von Arbeitsprozessen

Durch die Bewertung von Arbeitsprozessen wird methodenunabhängig das Ziel verfolgt, Arbeitsabläufe in Bezug auf Wertschöpfung richtig zu gestalten. In der Gestaltung und Optimierung der Wertschöpfungskette steht die menschliche Arbeit im Fokus. Es wird danach gestrebt, die Leistung und Produktivität der MitarbeiterInnen unter Beachtung physischer und psychischer, sowie rechtlich angemessener Aspekte, zu steigern (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020; Mital et al. 2016).

2.1.2 Vorgehen beim Bewerten von Arbeitsprozessen

Die Anwendung einer Bewertungsmethode zielt auf die einheitliche und durchgängige Datenverwendung und -verarbeitung ab. Damit die richtigen Daten verarbeitet und analysiert werden, ist es wichtig, den Hauptverwendungszweck erstmalig zu bestimmen. Methodenabhängig liefern die Ergebnisse Vorteile in der Weiterverwendung der Daten. Als Verwendungszwecke werden im Arbeitsstudium vor allem die folgenden Kategorien definiert (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993):

- Planung
- Steuerung
- Kontrolle
- Entlohnung

Die Bewertungen erfolgen für jeweils definierte Arbeitssysteme, welche im nächsten Schritt zu identifizieren sind. Diese sind abgegrenzte Subsysteme in der Prozesskette und ermöglichen es, den komplexen Zusammenhang von Ursache und Wirkung in Bezug auf die Produktivität und Wertschöpfung durch Vergleichen von definiertem Input und Output zu beschreiben. Bevor mit der Bewertung von einem Arbeitssystem und den darin ablaufenden Arbeitsprozessen begonnen werden kann, müssen diese definiert werden. Die Prämisse eines Arbeitssystems ist die Arbeitsaufgabe. Dazu müssen die in Abbildung 8 gelisteten Fragen beantwortet werden. Unabhängig der angewendeten Methode muss zu Beginn der Analyse eine Ablaufbeschreibung der Tätigkeiten vorliegen. Sie gibt die Art, Reihenfolge und Anzahl der Wiederholungen der abzuhandelnden Bewegungen bzw. Arbeitsschritte vor. Auch verwendete Hilfsmittel oder Werkzeuge können in der Ablaufbeschreibung festgehalten werden. Die Beschreibung des Ablaufes ist die Basis für die Reproduzierbarkeit der Analysen und Bewertungen. Ergebnisse sind reproduzierbar, wenn die erneute Durchführung der betrachteten Tätigkeit unter gleichen EFG und Rahmenbedingungen zum gleichen Ergebnis führt. Nur dann können die Analysen sinnvoll zur Planung und Optimierung herangezogen werden. Der erforderliche Detaillierungsgrad der Ablaufbeschreibung und somit auch der anwendbaren Methodik hängt allerdings von der Prozessklassifizierung ab (siehe Kapitel 2.2).

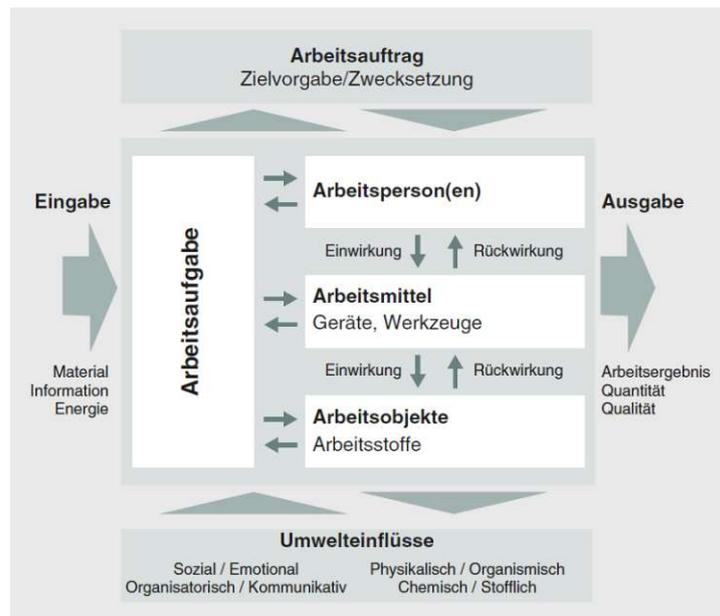


Abbildung 7: Arbeitssystem (Schlick et al. 2018)



Abbildung 8: Hilfestellungen zur vollständigen Definition einer Arbeitsaufgabe (Böge 2013; Schlick et al. 2018)

Unter der Bewertung bzw. Analyse von Arbeitsprozessen wird im verallgemeinerten Sinne die Datenermittlung zur Beschreibung der ablaufenden Tätigkeiten verstanden. Im Arbeitsstudium werden

- EFG, von denen die Ablaufschritte zeitlich abhängen,
- Rahmenbedingungen, unter denen die Tätigkeiten durchgeführt werden,
- Bezugsmengen, auf die sich die Analyse und Zeiten beziehen und
- Zeiten für Ablaufschritte

als Daten bezeichnet. Bevor die Zeiten für einen bestimmten Arbeitsablauf innerhalb eines definierten Arbeitssystems ermittelt werden können, werden alle EFG und Rahmenbedingungen aufgenommen. Die Zeit für die Ausführung eines bestimmten Ablaufabschnittes hängt außer von der Arbeitsperson auch noch vom Arbeitsverfahren, von der Arbeitsmethode und von den Arbeitsbedingungen ab. Das ganzheitliche Erfassen der Arbeitsbedingungen und EFG ist essenziell, um Bewertungen methodisch richtig durchführen zu können und die Reproduzierbarkeit sicherzustellen. EFG, von welchen die Zeit abhängt, sind z.B. Weglängen, das

Gewicht von zu hantierenden Teilen, Schwierigkeit der auszuführenden Tätigkeit oder die Umwelteinflüsse am Arbeitsplatz (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020; Schlick et al. 2018). Ebenfalls gilt es den Routinegrad der ArbeiterInnen in der Analyse zu berücksichtigen. Je nach Methode spricht man dabei von Normalleistung, Normleistung oder Leistungsgrad (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993; Schlick et al. 2018).

Nach der Analyse des Arbeitssystems wird die eigentliche zeitliche Bewertung durchgeführt. Prinzipiell kann die zeitliche Bewertung von Arbeitsprozessen in analytisch-empirische Methoden (Ist-Zeiten) und analytisch-rechnerische Methoden (Soll-Zeiten) unterteilt werden. Der große Unterschied zwischen den beiden Kategorien liegt im Zeitpunkt der Zeiterfassung. Bei analytisch-empirischen Verfahren wird die Zeit tätigkeitsbegleitend aufgenommen. Bei analytisch-rechnerischen Methoden werden die Zeiten durch Vergleichen und Schätzen, durch Zusammensetzen von Planzeitwerten oder durch Berechnung von Prozesszeiten vor Arbeitsbeginn bestimmt (Böge 2013). In den folgenden Unterkapiteln wird auf die unterschiedlichen Anforderungen und Zeitgliederungen eingegangen.

Nachdem für die betrachteten Arbeitsschritte die Zeiten aufgenommen bzw. bestimmt wurden, müssen diese aufbereitet werden. Darunter wird die allgemeine statistische Aufbereitung bzw. Dokumentation der Zeitaufnahme und Inhalte verstanden. Die Zeiten werden im Arbeitsplan hinterlegt und können dann auftrags- oder produktbezogen zur Planung herangezogen werden.

Die einzelnen Schritte in der Vorgehensweise können bei manchen Bewertungsmethoden verschwimmen. Zum Beispiel kann die Leistungsgradermittlung gemeinsam mit der zeitlichen Bewertung erfolgen. Zusammenfassend sind jedoch alle Punkte für eine richtige Umsetzung zu befolgen:

- Hauptverwendungszweck definieren
- Arbeitssysteme abgrenzen und beschreiben
- EFG und Arbeitsbedingungen aufnehmen
- (zeitliche) Bewertung durchführen
- Auswertung und Dokumentation

2.1.3 Bewertung mit Softwareunterstützung

Die Bewertung mit Stift und Papier durchzuführen ist prinzipiell möglich, durch das Verwenden von Softwaretools wird die Analyse und Bewertung jedoch deutlich erleichtert. Ebenfalls wird die Datenverwaltung und die Anbindung an bereits in Unternehmen verwendete Enterprise Resource Planning (ERP) Systeme ermöglicht. Leistungsstarke Softwaretools stellen eine transparente Bewertung sicher und ermöglichen das automatische Aufzeigen von Optimierungspotentialen. Die

Steigerung der Effizienz wird beispielsweise durch graphische Datenkarten oder Prozessbausteinkataloge, die zur Analyse benötigt werden, erreicht. Analysen von ähnlichen Prozessen können in den EDV-Systemen einfach kopiert und die notwendigen Änderungen vorgenommen werden, ohne den gesamten Arbeitsprozess erneut bewerten zu müssen. ExpertInnen sind sich einig, dass Unternehmen bei der wirtschaftlichen Anwendung von Bewertungsmethoden gezwungen sind, Softwaretools zur Ermittlung, Verwaltung und durchgängigen Verwendung von Zeitdaten zu verwenden.⁵

Allgemein gilt es darauf hinzuweisen, dass die Einführung von Bewertungssystemen immer mit Planungs- oder Kontrollfunktionen von Prozessen in Produktionssystemen einhergeht. Werden Bewertungssysteme ohne die Einbindung der betroffenen Personengruppen (WerkerInnen, Abteilungen usw.) eingeführt, stößt dies oft auf Widerstand bzw. geringe Akzeptanz und wird somit nur unzureichend umgesetzt. Durch Berücksichtigen von Grundprinzipien des Change-Managements und dem gemeinsamen Dialog mit den WerkerInnen und dem Betriebsrat im Unternehmen während der Implementierungsphase, kann die erfolgreiche Einführung gewährleistet und die Umsetzung einer Bewertungsmethode deutlich zum Positiven beeinflusst werden. Die Rolle der MitarbeiterInnen ändert sich dahingehend, dass sie gemeinsam mit den SpezialistInnen fortlaufend die Arbeitsprozesse verbessern. Workshops, Moderations- bzw. Kommunikationstechniken, Visualisierungsprinzipien und das gemeinsame Festlegen von Leistungsdaten sind Techniken und Methoden um die Zusammenarbeit und folglich das Erreichen der Unternehmensziele zu erleichtern. (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020)

2.2 Auswahlkriterien für zeitwirtschaftliche Bewertungsmethoden

Die Auswahl der richtigen Bewertungsmethode zur Zeitermittlung erfolgt nach bestimmten Kriterien. Primär ist zu unterscheiden, zu welchem Zeitpunkt die Bewertung erfolgt. Es wird grundsätzlich unterschieden, ob die Bewertung analytisch-empirisch (retrospektiv) oder analytisch-rechnerisch (prospektiv) durchgeführt wird. Retrospektive Analysen erfassen Ist-Zeiten, prospektive Analysen ermöglichen das Ermitteln von Sollzeiten. Vor allem für die Soll-Zeitermittlung gilt es die Auswahl der anzuwendenden Methode anhand bestimmter Kriterien zu treffen.

In Kapitel 2.1 wurde bereits erwähnt, dass die Prozesstypen dabei eine wichtige Rolle spielen. Als Prozesstyp werden die Rahmenbedingungen des Arbeitssystems verstanden. Dafür gilt es das Produktionsprogramm zu analysieren, welches von technischen, wirtschaftlichen und marktbezogenen Einflüssen abhängt. Technische

⁵ Expertenmeinungen von ao. Univ.-Prof. Dr. Peter Kurlang; MTM-Schulung TU Wien (Februar 2020); sowie von Herr Kimmig der DCM Group (Telefonauskunft, Mai 2021)

Einflüsse werden beispielsweise durch Form, Werkstoffe und Ähnlichkeitsgrade der herzustellenden Güter bestimmt. Die Losgröße der Aufträge und Wiederholcharakter zählen zu den wirtschaftlichen Einflüssen und der Produktmix und Vorfertigungsgrad sind Beispiele von Markteinflüssen. Die Fertigungsart kann darauf abgestimmt werden oder ist bei einer bestehenden Produktion bereits vorgegeben (Böge 2013).

2.2.1 Fertigungsart

Die Fertigungsart hängt von der Stückzahl der produzierten Güter und der Wiederholhäufigkeit ab. Unter Wiederholhäufigkeit wird dabei die Anzahl der wiederkehrenden gleichen oder fertigungsablaufmäßig gleichen Fertigungsobjekte verstanden. Abbildung 9 zeigt die grobe Einteilung der Fertigungsarten, wobei diese über die Anzahl der Wiederholhäufigkeit und der Jahresstückzahl des Produktes zugeordnet werden. Ebenfalls sind klassische Beispiele zu den Fertigungsarten angeführt.

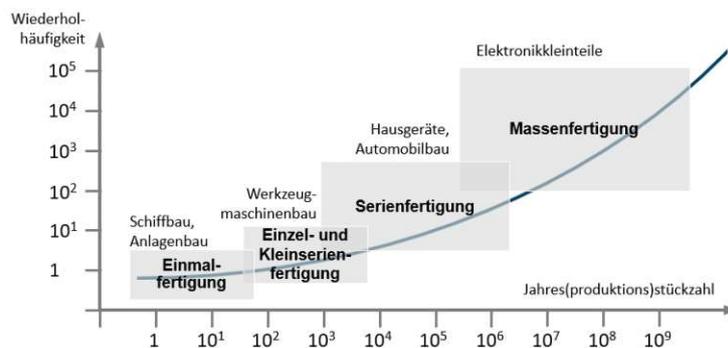


Abbildung 9: Klassifizierung Fertigungsarten (Böge 2013)

Basierend darauf lassen sich Fertigungs- und Montageprinzipien festmachen.

2.2.2 Fertigungs- und Montageprinzip

Das Fertigungsprinzip wird sinnvollerweise durch die Fertigungsart bestimmt. In dieser Arbeit werden Unternehmen berücksichtigt, welche ihre Produkte in geringen Losgrößen mit Fokus auf Kundenwünsche und somit in hoher Variantenvielfalt herstellen. Klassischerweise werden diese Produkte in einer Einzel- und Kleinserienfertigung erzeugt. Durch die angesprochene Variantenbildung wird das Fertigungsprinzip der Fließfertigung und das Montageprinzip der Reihenmontage oder Taktstraßenmontage empfohlen (vgl. Abbildung 10). In Sonderfällen, bei zu großen Abweichungen im Montageprozess zwischen den Varianten oder der Produktgröße, kann es empfehlenswert sein, die Produkte nach dem Montageprinzip der Baustellenfertigung oder der getakteten Standplatzmontage (Mischform aus Baustellenfertigung und Taktstraßenmontage) zu fertigen.

	Fertigungsprinzip			Montageprinzip					
	Werkstätten- fertigung	Gruppen- fertigung	Fließ- fertigung	Baustellen- fertigung	Getaktete Stand- platzmontage	Gruppen- montage	Reihen- montage	Taktstraße- montage	Kombinierte Fließmontage
Einmalproduktion	x	x		x	x	x			
Wiederholproduktion	x	x		x	x	x	x		
Variantenproduktion		x	(x)				x	x	
Serienproduktion		(x)	x					x	x
Massenproduktion			x						x

Abbildung 10: Fertigungs- und Montageprinzipen (Bauernhansl 2020, S. 138)

Bei der Fließfertigung werden die Arbeitsplätze bzw. die Betriebsmittel dem Arbeitsablauf räumlich hintereinander angeordnet. Dies ermöglicht einen gleichmäßigen Durchlauf der Güter durch die Fertigung. Dabei werden die Arbeitsinhalte an Stationen gebunden und zeitlich aufeinander abgestimmt. Der Takt gibt dabei die Verweilzeit der Produkte in der jeweiligen Station an, bevor dieses an die darauffolgende Station bzw. den nächsten Arbeitsplatz weitergegeben werden. Um eine gleichmäßige Auslastung der Arbeitsplätze im Takt zu gewährleisten, müssen die Arbeitsinhalte je Station zeitlich aufeinander abgestimmt werden. WerkerInnen werden Arbeitsplätzen zugewiesen und bewegen sich nicht mit dem zu erzeugenden Produkt mit. Dadurch gewinnen die MitarbeiterInnen an Routine und können die Arbeitsschritte allgemein schneller und in höherer Qualität ausführen. Folglich kann die Durchlaufzeit der erzeugten Güter im Vergleich zur Baustellenfertigung reduziert werden. Dieses Fertigungsprinzip erfordert einen größeren erstmaligen Planungsaufwand, jedoch wird die Produktionssteuerung und Steuerung der Materialbereitstellung vereinfacht. (Böge 2013; Bauernhansl 2020)

2.2.3 Prozesstypen

Durch die Spezifikation der Organisationsform der Fertigung und Montage können die Prozesstypen anhand der in Tabelle 1 definierten Kriterien ermittelt werden. Die aufgezeigten Merkmale lassen Rückschlüsse auf das Methodenniveau zu. Abhängig von dem vorliegenden Methodenniveau wird die passende Methode ausgewählt. Mit *passend* wird in diesem Sinne der Detaillierungsgrad der Analyseverfahren verstanden. Die Methoden und deren Einsatzgebiete werden in Kapitel 3.1 aufgezeigt.

Merkmale zur Charakterisierung der Prozessbedingungen	Prozesstyp 1 repräsentiert durch Mengenfertigung	Prozesstyp 2 repräsentiert durch Serienfertigung	Prozesstyp 3 repräsentiert durch Einzelfertigung
Zyklik	permanente kurzzyklische Bewegungen	begrenzt längerzyklische Wiederholung	keine zyklische Wiederholung
Ablaufinformation	Bewegungsablauf (Grundbewegungen)	Teilablauf (Rahmenbedingungen des Prozesses)	Gesamtablauf (Rahmenbedingungen des Prozesses)
Arbeitsplatz	für definierte Produktvariante	für definiertes Produktspektrum	für nahezu beliebige Prozesse und Produktvarianten
Versorgungsprinzip des Arbeitsplatzes	Bringprinzip	Holprinzip mit Bereitstellung	Holprinzip
Arbeitsweisenstreuung	gering	mittel	hoch
Methodenniveau	hoch	mittel	gering

Tabelle 1: Kategorisierung der Prozesstypen (Bokranz 2012, S. 23)

2.2.4 Methodenniveau

Das Methodenniveau beschreibt den durch den Prozesstyp repräsentierten Routinegrad, der sich in den Arbeitsmethoden ausprägt und sich signifikant von den anderen Prozesstypen unterscheidet (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020). Genauer beschreibt es die Differenz der Arbeitsmethode (Was soll getan werden?) und der Arbeitsweise (Wie wird es getan?). Es entspricht also der Arbeitsweisenstreuung. Das Methodenniveau steigt mit der Fertigkeit der MitarbeiterInnen, die Arbeitsaufgabe auszuführen. Die Fertigkeit der WerkerInnen hängt dabei von dem erworbenen Können in der Bewegungsausführung, der zugrundeliegenden Fähigkeiten sowie Erfahrung und Übung ab. Durch oft wiederholte (ähnliche) Tätigkeitsabläufe sinkt die dafür benötigte Zeit. Das schnellere Durchführen von Arbeitstätigkeiten hängt mit dem Lerneffekt der MitarbeiterInnen zusammen. Orientierungs- und Handhabungsprobleme, sowie Hilfsbewegungen nehmen mit steigender Routine ab und somit verringert sich auch die Arbeitsweisenstreuung. (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020; Bokranz 2012)

Ändern sich die Arbeitsinhalte der WerkerInnen regelmäßig, wenn auch nur im geringen Maße, hat dies direkte Auswirkungen auf den Routinegrad der MitarbeiterInnen. In der Variantenfertigung muss dabei auf die Differenzierung der einzelnen Varianten geachtet werden. Unterscheiden sich die Arbeitsabläufe zu stark, können die WerkerInnen die Abläufe nur langsamer verinnerlichen und das Methodenniveau sinkt.

Zusammengefasst werden Bewertungsmethoden anhand der nachfolgenden Kriterien bzw. Merkmale ausgewählt:

- Zeitpunkt der Bewertung (retrospektiv oder prospektiv)
- Fertigungsart und -prinzip bzw. Montageprinzip
- Prozesstyp / Methodenniveau
 - Zyklik
 - Ablaufinformation
 - Arbeitsplatz(gestaltung)
 - Versorgungsprinzip des Arbeitsplatzes
 - Arbeitsweisensteuerung

2.3 Auswahlkriterien für Softwaretools und Softwareunterstützung

IT-Tools im Bereich der Arbeitsprozessbewertung sind Informationstechnologien mit dem Ziel, sämtliche Prozessschritte, die zur Erstellung, Wartung und Optimierung von Bewertungen notwendig sind, abzubilden. Diese Tools setzen das Methodenwissen der Zeit in ein effizientes Werkzeug um, mit der die Bewertung effizienter umsetzbar wird. Die Anwendung von Softwaretools ist für die durchgängige Datenverwaltung ein unumgängliches Hilfsmittel. Von den meisten Anbietern wird die Software als Add-In/Add-On für ERP-Systeme, wie beispielsweise SAP, angeboten. Die Auswahlkriterien der Unterstützungsprogramme werden in diesem Unterkapitel erläutert.

Mit der Nutzung von Softwaretools wird den BenutzerInnen einerseits die Bewertung durch die grafische Darstellung relevanter Bewertungstabellen oder Bewegungselemente erleichtert, andererseits ist das Abändern/Neuerstellen von Bewertungen durch Kopieren ähnlicher Aufträge möglich. Die Informationen werden zusätzlich auf zentralen Datenbanken abgelegt und bieten somit für internationale Unternehmen die Möglichkeit, Systemsynergien zwischen Standorten herzustellen. Durch die Nutzung einer einheitlichen Datenbasis werden die Bewertungen standort- und abteilungsunabhängig vergleichbar und die Pflege und Weiterentwicklung wird durch ein einheitliches Änderungsmanagement vereinfacht. Durch die Einbindung in das ERP-System können die Bewertungen umgehend zur Planung der Fertigung oder Montage, ohne aufwändiges Importieren der Daten, angewendet werden. Die Anwendung ermöglicht flexible Auswertungen, beispielsweise der verwendeten Körperbewegungen oder Wertschöpfungsanteile.

Das Angebot an unterstützenden Softwaretools ist groß und die Produktfunktionen der einzelnen Anwendungen unterscheiden sich stark. Es ist für Unternehmen zur Auswahl der passenden Software erforderlich, zuerst Auswahlkriterien zu definieren. Durch das Erstellen eines Anforderungskataloges mit „Muss“ und „Kann“ Kriterien ist es möglich, bereits in der Angebotsphase die Anzahl an verfügbaren Lieferanten drastisch zu reduzieren. Der Anforderungskatalog sollte von einem interdisziplinären

Team erstellt werden, um alle unternehmensrelevanten Aspekte abbilden zu können. Im Konkreten soll das Team aus IT-ExpertInnen, MitarbeiterInnen der AV bzw. Industrial Engineering, BeraterInnen und AnwenderInnen zusammengesetzt sein. Die Anforderungen bzw. Auswahlkriterien hängen stark vom Anwendungsfall und Nutzungsgrund im Unternehmen ab. Tabelle 2 soll als Unterstützung zur Definition der Auswahlkriterien bzw. der Erstellung eines Anforderungskatalogs dienen – konkrete und generell geltende Kriterien können für ein Softwaretool nicht definiert werden. Die Liste wurde in Zusammenarbeit mit DMC Group⁶, einem IT-Tool-Anbieter, erstellt. Der für diese Arbeit konkretisierte Anforderungskatalog ist im Anhang 12.5 ersichtlich.

Leitfaden und Beispielfragen zur Erstellung eines Anforderungskataloges	
<i>Kategorie</i>	<i>Fragestellungen an Unternehmen und Anbieter</i>
System und Hardware	<ul style="list-style-type: none"> - Ist ein Multi-User-Betrieb auf Basis von Einzellizenzen oder Concurrent-Lizenzen möglich und welche Kosten fallen an? - Auf welchen Betriebssystemen kann diese Software verwendet werden? - Was sind die Hardwareanforderungen? - Verfügt das System über ein Berechtigungskonzept und inwieweit können diese vordefiniert werden? - Welche Dateiformate können verarbeitet werden (Datenimport/-export)? - Können mehrere User gleichzeitig auf Informationen zugreifen? - Wie werden Zugriffs- oder Aktualisierungskonflikte gelöst? - Können Daten/Dokumente aus anderen Systemen verlinkt werden? - Gibt es eine Implementierungsmöglichkeit an das unternehmensinterne ERP-System? - Wie erfolgt die Gestaltung von Schnittstellen zu ERP-Systemen? - Gibt es Druckformulare für alle Datenübersichten? - Wird ein integrierter Druckdesigner angeboten? - Welche Arten von Support- und Wartungsverträgen gibt es und welche Kosten fallen an? - Welcher Zeitaufwand wird für die Installation und Inbetriebnahme prognostiziert?
Bewertungsmethoden / Prozessorganisation und -gestaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Welche Bewertungsmethoden können mit der Software angewendet werden? - Können unterschiedliche Bewertungsmethoden gleichzeitig für einen Auftrag verwendet werden? - Welche Zeitermittlungsmethoden werden unterstützt? - Gibt es vordefinierte Datenkarten, in denen Prozessbausteine bzw. Formeln oder Planzeiten - Können Datenkarten individuell durch den User erstellt werden? - Können Datenkarten in den verschiedensten Datenformaten (Excel, HTML, etc.) importiert/exportiert werden? - Können mittels Generator oder Konfigurator Zeitelemente erstellt werden? - Sind Auslastungssimulationen (für getaktete Linienfertigung oder Mitarbeiter) möglich? - Ist eine Messdatenänderung möglich? - Können KVP-Simulationen durchgeführt werden? - Ist eine ergonomische Bewertung möglich?
Bedienung und Handhabung	<ul style="list-style-type: none"> - Welche Schulungsmöglichkeiten gibt es? - Gibt es Hilfefunktionen wie z.B. Offline Hilfe durch das System, Handbuch etc.? - Gibt es einen Online Support? - Welcher Aufwand wird für das Erlernen und Einarbeiten prognostiziert? - Wie wird in den einzelnen Analysen navigiert? - Welche Sprachen sind verfügbar? - Ist ein uneingeschränkter Zugriff über VPN-Verbindung möglich? - Entstehen Performanceverluste durch VPN-Zugriff?
Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> - Gibt es Standardreporte und Auswertungen? - Können individuelle Auswertungen erstellt werden? Wie können diese erstellt werden? - Gibt es ein Workflow-Managementsystem?

Tabelle 2: Leitfragen zur Erstellung eines Anforderungskataloges (Softwareunterstützung)

⁶ <https://www.dmc-group.com/at/> [09.12.2021]

2.4 Zeitartern und Zeitgliederungen

Unabhängig des Verwendungszwecks oder Methode zur Arbeitsprozessbewertung ist die zeitliche Bewertung der auszuführenden Tätigkeiten das Ziel. Durch Zeitangaben für Mensch und Maschine werden Prozesse bewertbar und vergleichbar. Die ermittelten Zeiten der jeweiligen Ablaufabschnitte werden zur sogenannten Vorgabezeit aufsummiert. Vorgabezeiten sind Sollzeiten für von Menschen und Betriebsmitteln ausgeführte Tätigkeiten bzw. Arbeiten. In der Arbeitswissenschaft wird die Vorgabezeit jeweils für den Menschen und die Betriebsmittel weiter unterteilt. Die Auftragszeit beschreibt die Vorgabezeit für den Menschen und die Belegungszeit gilt für die Betriebsmittel. Des Weiteren wird in auftragsabhängige und auftragsunabhängige Zeiten unterschieden. Auftragsabhängige Zeiten beziehen sich auf einen konkreten Auftrag mit einer bestimmten Stückzahl an zu erzeugenden Produkten. Auftragsunabhängige Vorgabezeiten beziehen sich hingegen auf eine bestimmte Mengeneinheit, z.B. 1, 100 oder 1.000 Stück. Es kann zudem zweckmäßig sein, Tätigkeitszeiten in beeinflussbare und unbeeinflussbare Anteile zu gliedern. (Böge 2013; REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993) In den folgenden Unterkapiteln werden die Zeitartern und deren Zusammensetzung beschrieben.

2.4.1 Vorgabezeit für den Menschen (Auftragszeit)

Abbildung 11 zeigt die Gliederung der Auftragszeit für den Menschen. Dabei wird zwischen Rüstzeit und Ausführungszeit unterschieden. Eine weitere Unterteilung wird vorgenommen um die Grundzeiten, Erholzeiten und Verteilzeiten zu definieren. Grundzeiten beschreiben die tatsächliche Ausführungszeit von Rüsttätigkeiten bzw. der Ausführung von Tätigkeiten, um die Mengeneinheit 1 eines Produktes herzustellen.

Verteilzeiten beschreiben Zuschläge zur Ausführungszeit, die notwendig sind, um die Arbeitsschritte abwickeln zu können. Sie besteht aus zwei Komponenten, der sachlichen und der persönlichen Verteilzeit. Die sachliche Verteilzeit berücksichtigt zusätzlich notwendige Tätigkeitszeiten, die beispielsweise durch Störungen oder Unklarheiten (Absprache mit Konstruktion) abzuhandeln sind. Der persönliche Anteil beschreibt die Zeiten, die der Mensch durch persönlich bedingtes Unterbrechen der Arbeitstätigkeit benötigt. Beispiele für persönliche Unterbrechungen sind Toilettengänge, Trinkpausen oder kurze private Gespräche. Die Verteilzeiten werden oftmals in Form eines prozentuellen Zuschlages, im Bereich von 10-20%, zur Grundzeit aufgeschlagen. Die Höhe dieses Zuschlages und die darin berücksichtigten Tätigkeiten müssen individuell, bezogen auf die jeweiligen Rahmenbedingungen der Unternehmen, in Zusammenarbeit mit dem Betriebsrat definiert werden.

Erholzeiten berücksichtigen, wie die Bezeichnung bereits vermittelt, die Zeitanteile, die der Mensch zum Erholen von ausgeführten Tätigkeiten benötigt. Dieser Zuschlag wird ebenfalls meist über einen prozentuellen Anteil der Grundzeit berücksichtigt. Die Höhe des Erholzeit-Zuschlages ist abhängig von der am Arbeitsplatz vorliegenden Belastung und ist ebenfalls individuell festzulegen. (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993; Böge 2013)

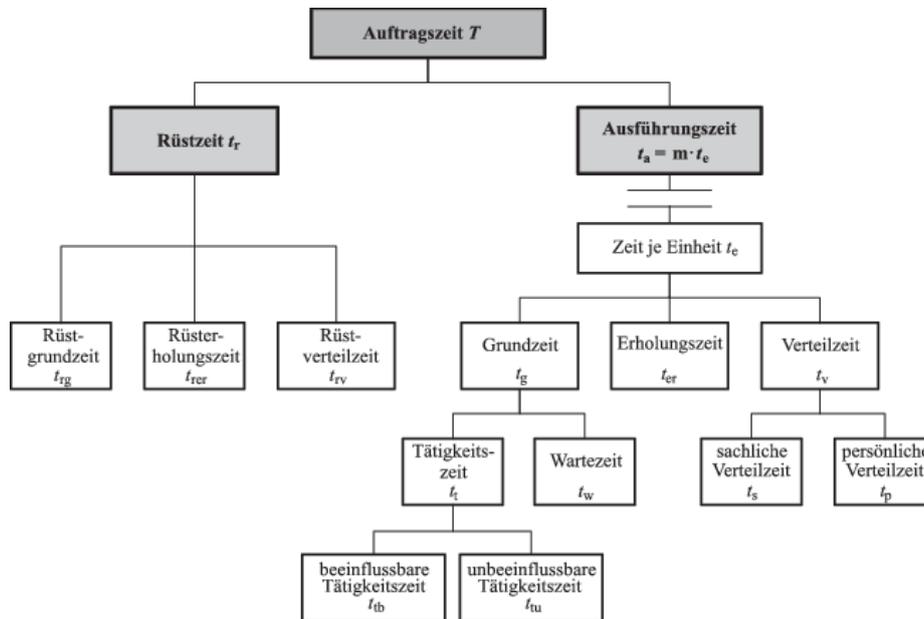


Abbildung 11: Gliederung der Auftragszeit für den Menschen nach REFA (Vgl. Bokranz 2012, S. 352)

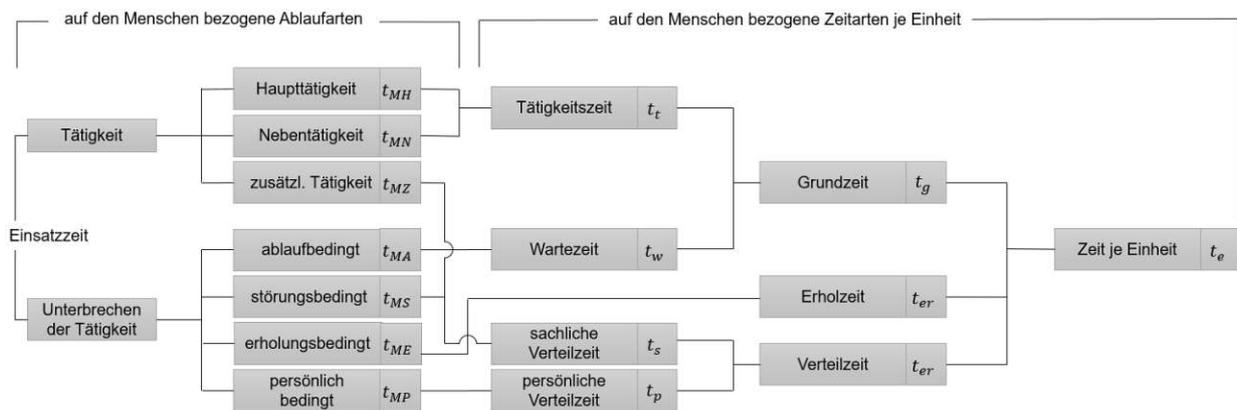


Abbildung 12: Gliederung der Zeitarten des Menschen, bezogen auf eine Einheit eines Auftrages nach REFA (Vgl. Bokranz 2012, S. 354)

In Abbildung 12 werden die eben beschriebenen Zeitarten bezogen auf eine Einheit und ihre Zusammenhänge grafisch dargestellt. Die Auftragszeit T (Vorgabezeit für den Menschen) errechnet sich dann durch Multiplikation der Zeit je Einheit (t_e) mit der für den Auftrag zu produzierender Stückzahl (m). Diese Gliederung der Zeiten für den Menschen erlaubt es, zielgerichtete Optimierungen des Arbeitsplatzes oder des Prozessablaufes durchzuführen. Um die Produktivität bzw. den Wertschöpfungsgrad zu steigern, können zum Beispiel die Nebentätigkeiten und zusätzlichen Tätigkeiten

reduziert und die ablaufbedingten Wartezeiten des Mitarbeiters für andere Arbeitsschritte genutzt werden.

2.4.2 Vorgabezeiten für das Betriebsmittel (Belegungszeit)

Während beim Menschen von einer Ausführung gesprochen wird, bezeichnet man bei einem Betriebsmittel den Einsatz als Nutzung. In der Belegungszeit sind nur Grund- und Verteilzeiten enthalten. Es wird zwischen Betriebsmittelrüst- und Betriebsmittelausführungszeit unterschieden. In der Belegungszeit wird allerdings über die Grundzeit das ablaufbedingte Erholen der MitarbeiterInnen in der Brachzeit mitberücksichtigt. In dieser Arbeit wird aufgrund des Fokus auf von Menschen ausgeführte Tätigkeiten auf die Bestandteile in der Belegungszeit nicht weiter eingegangen.

3 Literaturanalyse und State of the Art

Auf die theoretischen Grundlagen aufbauend, werden in diesem Kapitel in der Praxis angewandte Methoden, deren Aufbau und Anwendungsgebiete genauer spezifiziert. Zusätzlich werden Softwaretools aufgezeigt, die die Bewertung und Datenverwaltung erleichtern sollen. Die Anforderungen an die Ausgangsdaten werden diskutiert. Abschließend wird auf den State of the Art der Bewertungsmethoden und -systeme eingegangen und die Forschungslücke beschrieben.

Zum Sammeln von Informationen wird mit einer strukturierten Literaturanalyse begonnen. Dabei wird in folgenden Schritten vorgegangen:

- Suchbegriffe werden bestimmt
- Literatursuche wird durchgeführt
- Suchergebnisse werden auf Relevanz überprüft
- Literatursammlung wird getroffen und ein Exzerpt angefertigt

Im Anhang 12.1 sind die verwendeten Suchbegriffe und Datenbanken aufgelistet. Bei der Recherche muss darauf geachtet werden, dass sowohl nach deutschsprachigen als auch englischsprachigen Quellen gesucht wird. Außerdem wurde die strukturierte Literaturrecherche mit einer unsystematischen Recherche ergänzt. Die Literaturangaben der strukturiert recherchierten Veröffentlichungen, Lexika und Bücher werden nach zusätzlichen potenziellen Quellen durchsucht. Für die Recherche von Softwareunterstützungen wurde zusätzlich zu Datenbanken auch in Internetsuchmaschinen nach Anbietern und deren Produkte gesucht.

3.1 Methoden zur Bewertung von Arbeitsprozessen und deren Einsatzgebiete

Zu Beginn wird die Unterteilung der Methoden erläutert, um die Unterschiede im methodischen Vorgehen aufzeigen zu können. Die Einteilung wird in Abbildung 13 veranschaulicht, wobei die erste Ebene die Unterteilung in *Ist-Zeit erfassen* oder *Soll-Zeit bestimmen* darstellt. Zu den markierten Feldern sind die im Anschluss beschriebenen Verfahren gelistet.

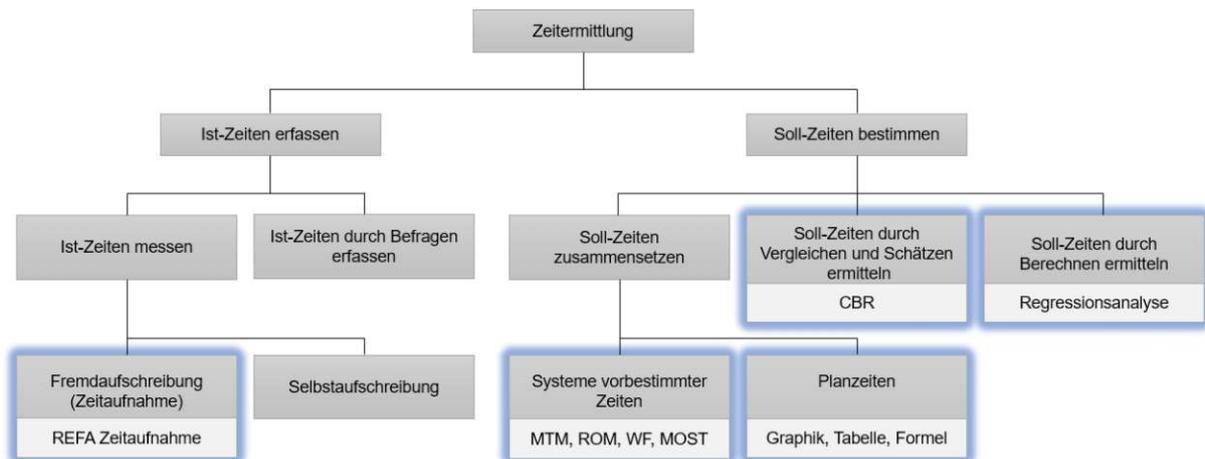


Abbildung 13: Methoden der Zeitermittlung nach REFA und dazugehörigen Methoden (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993; Bokranz 2012)

Auf die Ermittlungsverfahren der Ist-Zeiten durch Befragung und Selbstaufschreibung wird in dieser Arbeit verzichtet. Diese Methodik erhöht das Risiko der Ergebnismanipulation und führt zusätzlich, aufgrund der Schreibtätigkeiten, zu Unterbrechungen der Arbeit (Weber et al. 2017; Schlick et al. 2018).

Diese Herangehensweise bringt Unschärfen in der Datenqualität in Bezug auf Reproduzierbarkeit und Validität mit sich und ist deswegen nur bedingt für Planungszwecke geeignet.

Ein weiterer relevanter Unterschied zwischen den beiden Hauptkriterien ist, dass beim Erfassen der Ist-Zeit die Arbeitsleistung der WerkerInnen zu bewerten ist. Durch die montagebegleitende Aufnahme wird nur jeweils eine Ausführung der jeweiligen Prozesse betrachtet. Dabei muss bei der Vorgabezeitermittlung berücksichtigt werden, dass bei gleichen Arbeitsaufgaben, unter gleichen Rahmenbedingungen die Leistung des Menschen streuen wird. Die zeitliche Varianz der Tätigkeiten bzw. die Arbeitsleistung der WerkerInnen kann von folgenden Punkten abhängen (Böge 2013):

- Faktoren, die vom Menschen abhängen:
 - Körperlich geistige Eignung
 - Geistige seelische Verfassung
 - Grad der Ermüdung
 - Unterschiedliche Bewegungsformen
 - Leistungsbereitschaft
- Faktoren, die sachlich bedingt zu berücksichtigen sind:
 - Greifraum (Anordnung der Arbeitsgegenstände am Arbeitsplatz)
 - Veränderung der Arbeitsmittel
 - Umgebungseinflüsse
 - Fortschrittliche Tätigkeit bei der Arbeitsausführung

Man spricht im Sinne der Ist-Zeit Aufnahme vom sogenannten Leistungsgrad. (Böge 2013) Der Leistungsgrad ist von einem Arbeitstechniker zu bestimmen. Dabei wird das Erscheinungsbild des Bewegungsablaufes beobachtet und mit dem des vorgestellten (optimalen) Ablaufes verglichen. Die Bewertung ohne vorgegebener Soll-Zeit ist rein subjektiver Natur und erfordert Erfahrung und Wissen über den Soll-Ablauf. Der Leistungsgrad ist folgendermaßen definiert:

$$\text{Leistungsgrad} = \frac{\text{beobachtete Ist - Leistung}}{\text{vorgestellte Bezugsleistung}} * 100\% = \frac{\text{Soll - Zeit}}{\text{Ist - Zeit}} * 100\%$$

Formel 1: Leistungsgrad (Bauernhansl 2020, S. 181)

Die zu ermittelnde Soll-Zeit setzt eine Bezugsleistung voraus. Diese entspricht einem Leistungsgrad von 100%. Als Bezugsleistungen können entweder Durchschnittsleistungen, die Standardleistung (im Sinne von SvZ), oder die REFA-Normalleistung betrachtet werden. (Böge 2013) Die Normalleistung (vgl. Abbildung 14) ist eine unveränderliche Größe, die unter bestimmten Rahmenbedingungen eine genau definiertes Arbeitsziel erreicht. Sie wird nach REFA wie folgt definiert:

„Die Normalleistung ist diejenige menschliche Leistung, die immerhin den wirksamsten Kräfteinsatz und damit den größten Wirkungsgrad erreicht.“ (Böge 2013, S. S57)

Die Durchschnittsleistung ist hingegen eine berechnete Größe, die immer über der Normalleistung liegt. Im Unterschied dazu spricht man bei SvZ von der Standardleistung bzw. Normleistung. Diese ist nach MTM folgendermaßen definiert:

„Leistung eines mittelgut geübten Menschen (...), der diese Leistung ohne Arbeitsermüdung auf Dauer erbringen kann.“ (Schlick et al. 2018, S. 577)

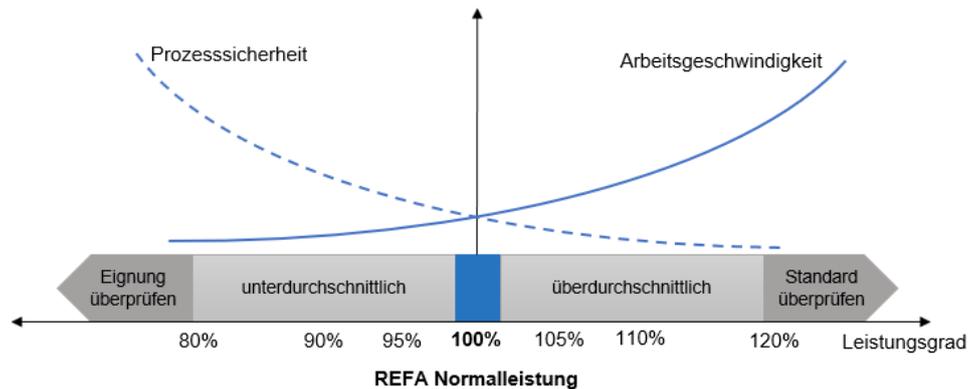
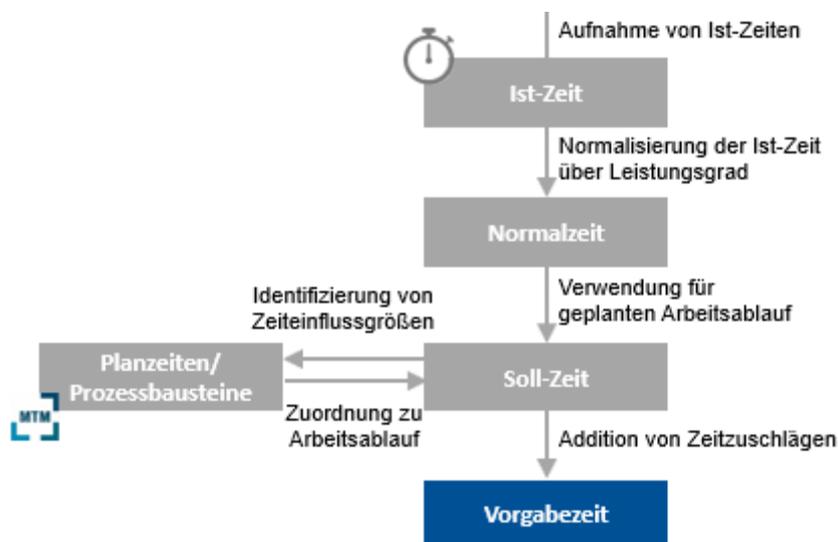


Abbildung 14: REFA Normalleistung (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1997)

SvZ Methoden berücksichtigen diese Leistung bereits in den Prozessbausteinen und es entfällt das Bewerten durch einen Arbeitstechniker. Dadurch werden Diskussionen, die durch die Leistungsgradbeurteilung entstehen können, vermieden. Eine Untersuchung des Instituts für Angewandte Arbeitswissenschaften bezüglich der Vergleichbarkeit der REFA-Normalleistung und der MTM-Normleistung ergab, dass die durch das MTM Grundverfahren ermittelten Zeiten (unter MTM-Normleistung) mit dem Faktor 1,05 multipliziert werden müssen, damit diese mit den unter REFA-Normalleistung ermittelten Zeiten übereinstimmen. (Böge 2013; REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993; Schlick et al. 2018) In Abbildung 15 wird das schematische Vorgehen zur Vorgabezeitermittlung dargestellt.



... sind Sollzeiten für die Ausführung eines geplanten Arbeitsablaufes von Menschen und/oder Betriebsmitteln.

Abbildung 15: Schematische Darstellung der Unterschiede zwischen den Zeitaufnahmeverfahren (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020)

In den nächsten Abschnitten werden in der Praxis angewandte Methoden zur Vorgabezeitermittlung beschrieben.

3.1.1 REFA Zeitaufnahme

Die Informationen zu diesem Unterkapitel entstammen, wenn nicht extra zitiert, aus dem Buch „Ausgewählte Methoden des Arbeitsstudiums“ (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993).

„Unter Zeitaufnahme wird das Ermitteln von Soll-Zeiten durch Messen und Auswerten von Ist-Zeiten verstanden. Zeitaufnahmen bestehen in der Beschreibung des Arbeitssystems, im Besonderen des Arbeitsverfahrens, der Arbeitsmethode und der Arbeitsbedingungen, und in der Erfassung der Bezugsmengen, der EFG, der Leistungsgrade und Ist-Zeiten für einzelne Ablaufabschnitte; deren Auswertung ergeben Soll-Zeiten für bestimmte Ablaufabschnitte.“ (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993, S. 228)

Die REFA Zeitaufnahme wird alternativ auch oftmals als REFA Zeitstudie bezeichnet. Im Mittelpunkt der Zeitaufnahme steht das Beobachten des Ist-Ablaufes. Das Ergebnis der Beobachtung wird dabei mittels Zeitaufnahmebogen protokolliert. Die Ergebnisse müssen so aufgenommen werden, dass sie reproduzierbar sind. Die Begleitumstände (Arbeitsplatz, Weglängen, dem Gewicht, der Schwierigkeit der ausgeführten Tätigkeit und deren Güte), wie auch die Tätigkeitsbezeichnung bzw. das hergestellte Produkt, müssen ebenfalls dokumentiert werden. Für die Zeitaufnahme werden meist die Messeinheit, die sogenannte Zeiteinheit (ZE), Minuten (min) und Hundertstelminuten (HM) verwendet. Eine Minute entspricht 100 HM. HM werden wegen der komplizierten Umrechnung von Sekunden in Minuten verwendet. Die Vorgehensweise zur Ist-Zeiterfassung wird in Abbildung 16 schematisch dargestellt.

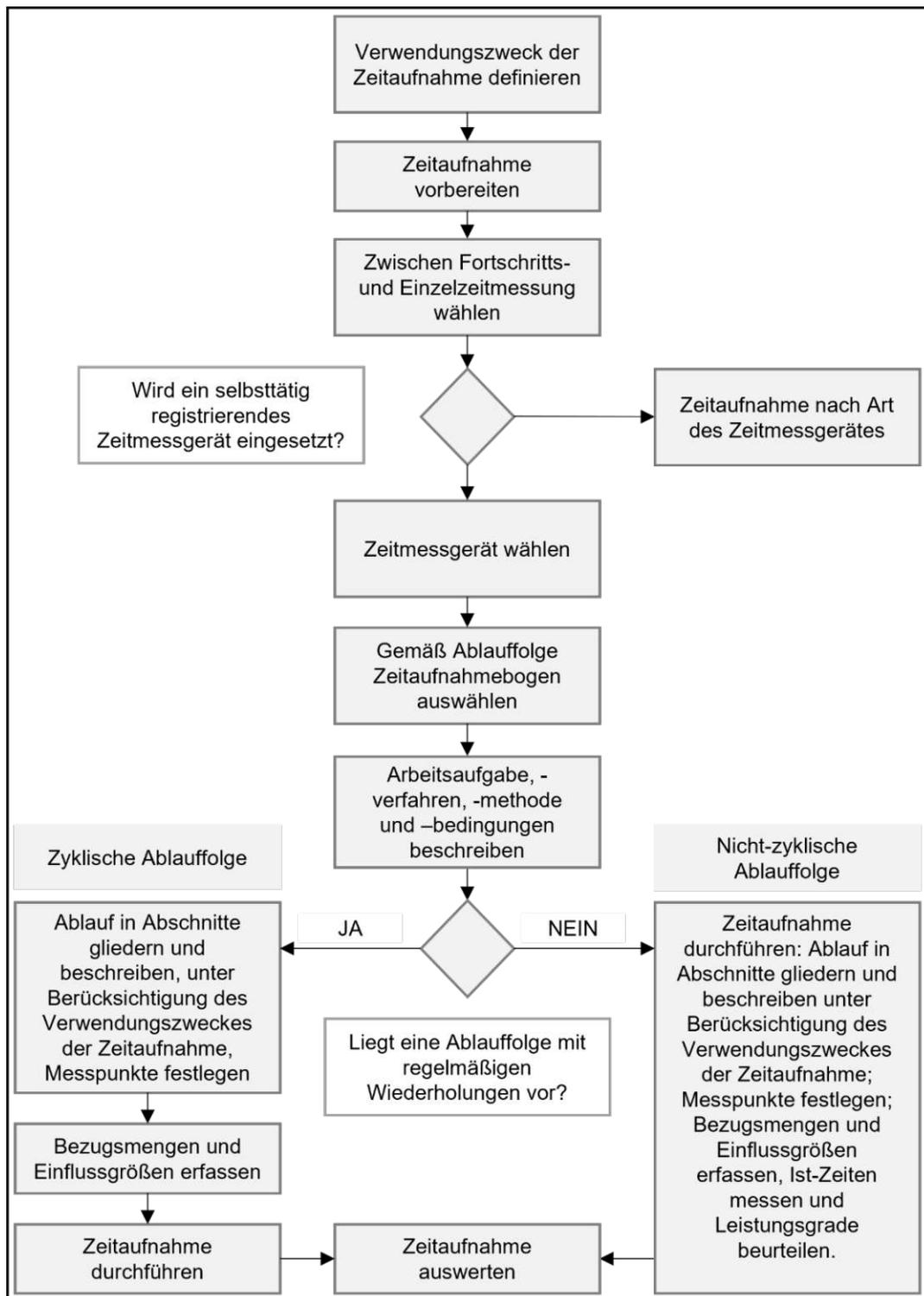


Abbildung 16: REFA Zeitaufnahme (Vgl. Ausgewählte Methoden des Arbeitsstudiums 1993, S. 229)

Zu Beginn ist der Verwendungszweck (Planen, Steuern, Controlling, Entlohnung) der Zeitaufnahme festzulegen. Sollen die Daten Grundlage für die Entgeltgestaltung sein, sind eventuelle tarifrechtliche Vereinbarungen zu beachten. Außerdem besteht ein Mitbestimmungsrecht des Betriebsrates gemäß der Rechtsvorschrift für Arbeitsverfassungsgesetz (Fassung vom 09.12.2021) § 96 Absatz 1 Nr. 4. Sollen die Daten ausschließlich für andere Zwecke erhoben werden, sind diese rechtlichen

Vorgaben nicht relevant. Außerdem ist zu prüfen, wie sich Ungenauigkeiten in der Zeitaufnahme auf die jeweilige Verwendung auswirken können. Wird die Zeitaufnahme zu Planungszwecken herangezogen, so gilt es besonders auf die Reproduzierbarkeit zu achten. Es müssen neben den eigentlichen Zeiten auch die Begleitumstände dokumentiert werden, damit die Ergebnisse reproduzierbar sind. Dabei werden die Rahmenbedingungen und EFG (Arbeitsplatz, Arbeitsbedingungen, Bauteil) erfasst und eindeutige Anfangs- und Endzustände bzw. Zeitpunkte festgelegt, um den Prozess eindeutig abzugrenzen. Die Aufnahme soll unter standardmäßig vorherrschenden Arbeitsbedingungen erfolgen. Die für die Zeitaufnahme verantwortliche Person hat sich im Vorfeld bereits über das Produkt, die Tätigkeit bzw. Prozesse zu informieren und sich vorab sinnvolle Messpunkte zu überlegen. Die Durchführung erfordert eine Information der betroffenen Bereiche.

Zur Zeitaufnahme können unterschiedliche Zeitmessgeräte herangezogen werden. Kommen klassische digitale Stoppuhren zum Einsatz, können entweder

- Einzelzeitmessungen, also die Zeit pro Ablaufabschnitt gemessen werden, oder
- Fortschrittszeitmessungen, wobei die Tätigkeiten mit fortlaufender Zeit notiert werden,

durchgeführt werden. Die Fortschrittszeitmessung bringt einen relevanten Nachteil mit sich. Je nach Dauer des betrachteten Prozesses, kann es zu erhöhtem Schreibaufwand beim Übertragen der fortlaufenden Zeiten kommen. Einzelmessungen sind kleinere Zeitwerte und können schneller im Aufnahmebogen festgehalten werden. Durch Verwendung von selbsttätig registrierenden Zeitmessgeräten stellt sich die Frage der Einzel- oder Fortschrittszeitmessung nicht. Durch die Zuhilfenahme dieser Geräte, wird der Aufwand der Zeitaufnahme deutlich verringert und gleichzeitig Fehler vermieden. Abbildung 17 gibt einen Überblick über gängige Messgeräte.

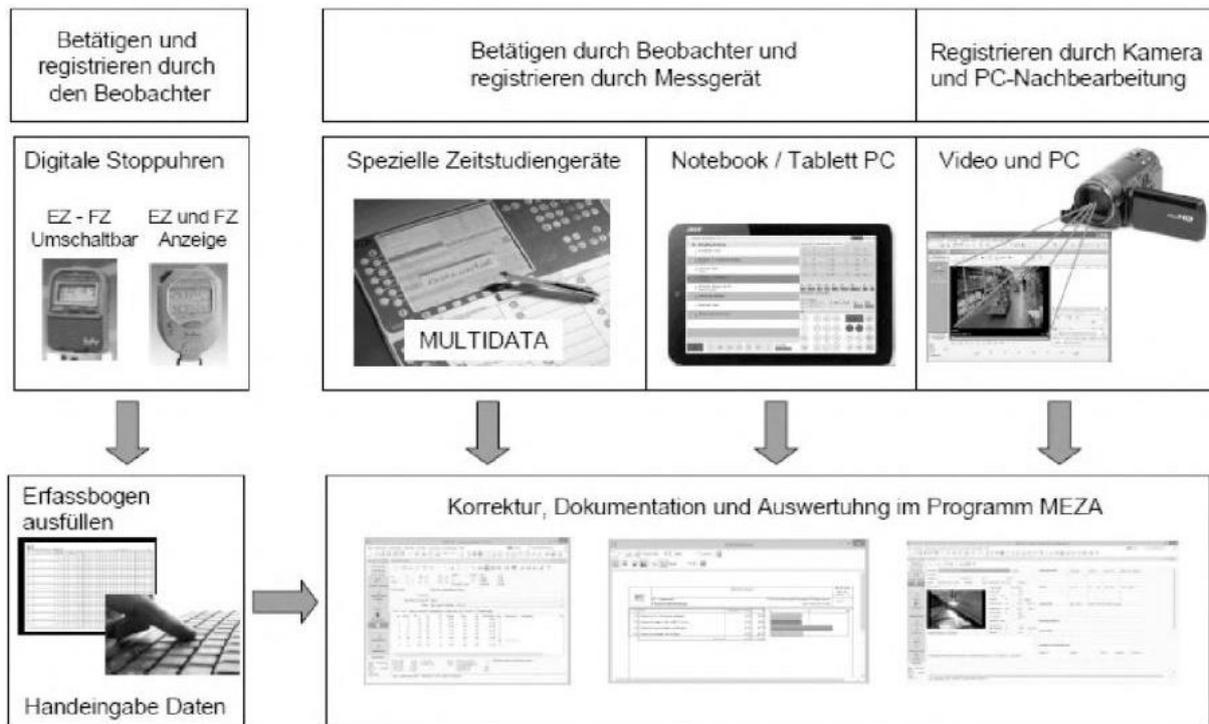


Abbildung 17: Einteilung Zeitmessgeräte (Fricke 2016, S. 59)

Startet die Aufnahme, so werden die einzelnen Vorgänge im Bogen notiert und die jeweilig gemessenen Zeitwerte dokumentiert. Sind die Zeitintervalle der Vorgangabschnitte sehr kurz oder treten zyklisch auf, so ist es sinnvoll, die Messpunkte vorab zu notieren. Die Messdaten und Informationen werden im REFA Zeitaufnahmebogen (siehe Anhang 12.2) protokolliert. Im Anhang 12.3 werden die Inhalte der Felder im Aufnahmebogen beschrieben.

Um aussagekräftige und valide Daten zur Planung zu erhalten, müssen unbedingt mehrere Zyklen des Prozesses aufgenommen werden. Die Zeitdaten werden gemittelt und mit dem Leistungsgrad auf die Normalarbeitszeit umgerechnet. Sind Ausreißer für einen betrachteten Ablaufabschnitt ersichtlich, müssen diese vom Arbeitstechniker bezüglich Ursachen beurteilt und dürfen ggf. nicht in der Berechnung berücksichtigt werden. Die erhaltene Soll-Zeit (=Normalzeit) für den entsprechenden Ablaufabschnitt wird im Feld 27 notiert und die Summe aller Ablaufabschnitte ergibt die Soll-Zeit für den betrachteten Prozess und wird auf Feld 3 des Aufnahmebogens übertragen. Die Verteil- und Erholzeiten werden aufgeschlagen und somit die Auftragszeit ermittelt.

Da die aufgenommenen Zeitdaten Stichproben einer Grundgesamtheit darstellen, muss überprüft werden, inwieweit die Zeiten die Ablaufabschnitte repräsentieren. Dazu wird das Variationszahlverfahren angewendet. Dieses Verfahren kann gleichermaßen für einzelne Ablaufabschnitte oder für den gesamten Zyklus (folgend beschrieben) angewendet werden (ohne Erhol- und Verteilzeitenzuschläge). Zuerst wird der arithmetische Mittelwert der Zykluszeiten (\bar{t}_z) gebildet und anschließend die Varianz (s^2) und Standardabweichung (s) ermittelt. Die Variationszahl (v) ist ein Maß für die

relative prozentuale Streuung der Zeiten im Vergleich zu ihrem Mittelwert und wird folgendermaßen berechnet:

$$v [\%] = \frac{s}{\bar{t}_z} * 100$$

Formel 2: Variationszahl

Zusätzlich ist es ratsam, den Vertrauensbereich der ermittelten Soll-Zeiten zu bestimmen. Dieser gibt die Aussagewahrscheinlichkeit der Zykluszeiten an und ist zur Planung relevant. (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993)

Die REFA Zeitaufnahme eignet sich durch den hohen Erhebungsaufwand vorwiegend für Arbeitsabläufe mit hoher Wiederholhäufigkeit. Sie kann ebenfalls angewendet werden, um sehr ähnliche Prozesse abzuschätzen. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt klar in der objektiven Leistungsgradbeurteilung. Die beobachteten WerkerInnen können sich durch die Aufnahme gestresst fühlen. Stress bzw. Druck kann sich folglich in der Arbeitsweise in Form von Fehlern bzw. überdurchschnittlich schnellem Arbeiten auswirken. Konträr dazu kann aber auch die Leistung der WerkerInnen bewusst gedrosselt werden, um sich für kommende Aufträge höhere Vorgabezeiten zu erschleichen. Deshalb ist es besonders wichtig, die MitarbeiterInnen über die Aufnahme zu informieren und erfahrenes Personal zur Zeitaufnahme und Auswertung einzusetzen.

3.1.2 Multimomentaufnahme

Die Informationen zu diesem Unterkapitel entstammen, wenn nicht extra zitiert, aus dem Buch „Ausgewählte Methoden des Arbeitsstudiums“ (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993).

„Die Multimomentaufnahme besteht in dem Erfassen der Häufigkeit zuvor festgelegter Ablaufarten an einem oder mehreren gleichartigen Arbeitssystem mit Hilfe stichprobenmäßig durchgeführter Kurzzeitbeobachtungen.“ (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993, S. 250)

Diese Methode wird vorwiegend zur Bestimmung von Häufigkeiten von bestimmten auftretenden Ereignissen eingesetzt. Die Anwendungsgebiete der Multimomentaufnahme sind vorwiegend

- die Ermittlung von betrieblichen Kennzahlen (Auslastungsgrad, Arbeitskräftebedarf),
- für Untersuchungen der Arbeitsabläufe im Zusammenhang mit der PPS und vor allem
- für die Ermittlung von Verteilzeitzuschlägen im Rahmen der Vorgabezeitermittlung.

Aber auch zum Bestimmen von Bearbeitungszeiten für langzyklische Vorgänge kann die Multimomentaufnahme verwendet werden. Dabei werden ebenfalls Arbeitsplätze stichprobenartig betrachtet und die zum Beobachtungszeitpunkt durchgeführte Tätigkeit notiert. Ändert sich diese von einer Beobachtung zur nächsten, so kann der Zeitaufwand, der zur Ausführung der Tätigkeit notwendig ist, eingegrenzt werden. Die Genauigkeit der Aussage über die Bearbeitungszeit steigt direkt proportional mit der Anzahl an Beobachtungen bzw. Verkürzung der Intervalle zwischen den Beobachtungen.

Eine Multimomentaufnahme erfordert mehrere stichprobenartigen Kontrollen, um valide Aussagen treffen zu können. Die Arbeitstätigkeiten in der Einzel- und Kleinserienfertigung weichen in Art und Dauer innerhalb eines Arbeitsplatzes voneinander ab, wodurch diese Methode nicht zielführend eingesetzt werden kann. Die Multimomentaufnahme wird aus Gründen der Vollständigkeit erwähnt, jedoch aufgrund der geringen Eignung für das betrachtete Fertigungsprinzip nicht weiter erläutert.

3.1.3 Planzeiten und Planzeitkataloge

Die Informationen zu diesem Unterkapitel entstammen, wenn nicht extra zitiert, aus den Büchern „Arbeits- und Zeitwirtschaft verstehen“ (Fricke 2016) und „Ausgewählte Methoden des Arbeitsstudiums“ (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993).

„Planzeiten sind Soll-Zeiten für Arbeitsabläufe oder Prozesse. Sie können einerseits als Mittelwert aus Ist-Zeiten abgeleitet sein oder aber den Zusammenhang zwischen einer oder mehrerer EFG und der zugehörigen Zielgröße Zeit beschreiben.“ (Fricke 2016, S. 119)

Anhand von Planzeiten können gleiche oder ähnliche Arbeitsabläufe bei wechselnden Arbeitsgegenständen bewertet werden, ohne eine neue Zeitaufnahme durchführen zu müssen. Empfohlen wird die Verwendung von Planzeiten bei Ablauffolgen ohne oder mit geringer Wiederholung (typisch für Einzel- und Kleinserienfertigung). Besonders vorteilhaft ist ihre Anwendung, wenn ähnliche, aber nicht gleiche Ablaufabschnitte in unterschiedlichen Aufträgen vorkommen.

Planzeiten können für kleine Bewegungselemente aber auch für Gesamtabläufe verwendet werden, sie sind also unabhängig der Größe der einzelnen Abschnitte. Ausgangsbasis bildet eine genaue Beschreibung der Arbeitsmethode, des Arbeitsverfahrens und deren EFG, von denen die Zeiten abhängig sind.

EFG können wie in Abbildung 19 kategorisiert werden.

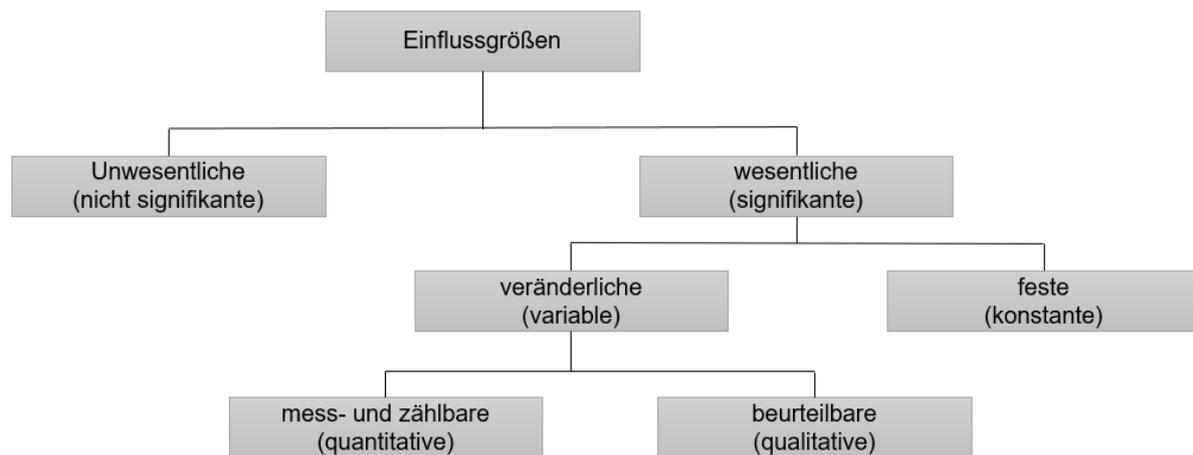


Abbildung 19: Arten von Einflussgrößen (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993)

Nicht signifikante EFG haben nur wenig oder keinen Einfluss auf die Ausführungszeit und können somit vernachlässigt werden. Konstante EFG beschreiben im Allgemeinen die Arbeitsbedingungen. Für die Bildung von Planzeiten sind die variablen EFG relevant. Sie ergeben sich allgemein aus der Form, der Beschaffenheit und aus den Abmaßen der Arbeitsgegenstände sowie technischen Daten der Betriebsmittel. (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993)

Planzeiten können nach der oben genannten Definition entweder

- aus Zeitaufnahmen abgeleitet,
- aus SvZ entnommen oder
- aus technisch, physikalischen Gegebenheiten (EFG) abgeleitet werden. (Fricke 2016)

Durch die Planzeitermittlung wird versucht die zu bestimmende Zeit in Abhängigkeit von ihren festen und veränderlichen EFG zu bestimmen. Dazu können die Planzeiten und deren Ermittlungen entweder

- graphisch dargestellt,
- in Tabellen zusammengefasst oder
- durch Zeitformeln angegeben werden.

Daraus lassen sich Planzeitkataloge, Kalkulationsblätter oder Zeitklassen zur Sollzeitermittlung bestimmen.

Die Ermittlung und Verwendung von Planzeiten kann am besten mittels eines Beispiels gezeigt werden. Es wird ein Vorgang betrachtet, bei dem Blechteile lackiert werden. Die benötigte Zeit hängt von den vorherrschenden Temperaturen und der Oberfläche der zu lackierenden Teile ab. Es ist bekannt (durch Ist-Zeitaufnahme bzw. verfahrenstechnische Bezugsgrößen), dass das Lackieren einer Fläche von $0,5\text{m}^2$ eine Zeit von 3 min benötigt. Dabei wird das Blechteil in die Vorrichtung eingelegt, die

Farbe und Lackierpistole geprüft und anschließend das Bauteil flächig lackiert und in die Trocknungskabine geschoben. Das Lackieren einer 2,5 m² großen Fläche benötigt 7,5 min. Es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen benötigter Zeit und zu lackierender Oberfläche. Somit können die Zeiten anhand einer Formel oder eines Diagramms am einfachsten dargestellt werden. Notwendig dafür ist die Beschreibung der EFG unter denen diese Planzeiten gelten. Sie müssen ebenfalls in der Analyse festgehalten werden, um eine richtige Anwendung sicherzustellen.

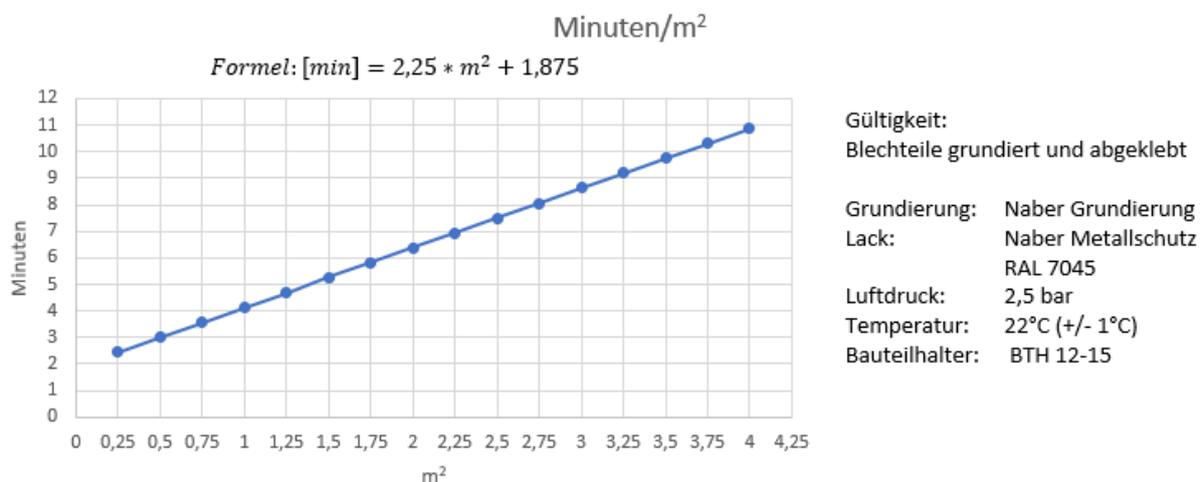


Abbildung 20: Planzeit Beispiel Lackieren

Anhand der in Abbildung 20 dargestellten Formel und Diagramm können abhängig von der Bauteiloberfläche einfach die Zeiten zum Lackieren bestimmt werden.

3.1.4 Regressionsanalyse

Die Informationen zu diesem Unterkapitel entstammen, wenn nicht extra zitiert, aus dem Buch „Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Anwendung“ (Urban und Mayerl 2011).

„Die Regressionsanalyse ist, wie auch andere Datenanalyseverfahren, eine statistische Modellierung. Statische Modelle unterscheiden sich von theoretischen Modellen dadurch, dass die entsprechenden Modellgrößen (Parameter) mit einer bestimmten, meist mathematisch formulierten, Modelltechnik berechnet bzw. geschätzt werden können. Bei einer statistischen Modellierung genügt häufig das Vorhandensein von Daten und die Kenntnis einer entsprechenden Modelltechnik, um zumindest zu formal korrekten Modellschätzungen zu gelangen.“ (Urban und Mayerl 2011, S. 17)

Die Analysen auf Basis von Regressionsmodellen entsprechen also statistischen Modellen. Es ist bei der Modellierung unbedingt darauf zu achten, dass das Regressionsmodell nicht nur theoriegerecht, sondern auch datengerecht modelliert wird. Der Zweck von Regressionsmodellen ist das Abbilden von

Variablenbeziehungen, diese können aber durch die Modelle nur berechnet bzw. geschätzt werden, wenn eine Datenbasis mit entsprechenden Informationen vorliegt.

In der Praxis ist es oftmals der Fall, dass noch vor der statistischen Berechnung die Aufgabenstellung ein bestimmtes Regressionsmodell fordert. Die Regressionsanalyse greift somit unter Umständen in den Forschungsprozess ein, in dem bereits bestimmte Ergebnisse vorprogrammiert oder ausgeschlossen werden. Dies kann der Fall sein, wenn eine Datenbasis mehrere Variablen enthält, als aus Gründen der Lesbarkeit oder Rechenbarkeit in der Analyse zulässig sind. In solchen Situationen muss von den AnwenderInnen ein Modell erstellt werden, das den Anforderungen der Technik, aber nicht zwingend den Anforderungen des Theoriemodells entspricht. Eine solche Regressionsanalyse gilt dann nicht mehr als methodenneutral, da eine neue Ausgangsstruktur für die Analyse geschaffen wird. In der Literatur spricht man dabei vom sogenannten „*Modell-Dilemma*“, welches das Problem der Modellkonstruktion beschreibt, wobei das Modell sowohl theoriegerecht und statistikgerecht entworfen werden soll, es aber durch Anpassungen oftmals nicht immer möglich ist. Werden bei der Modellerstellung Annahmen getroffen, so müssen diese unbedingt auf deren Gültigkeit im Anwendungsfall geprüft werden.

Das prinzipielle Vorgehen zur Erstellung eines Regressionsmodells wird in den nächsten Schritten in Kombination mit Abbildung 21 veranschaulicht.

- (1) Zuerst wird ein den Vorgaben entsprechendes theoretisches Modell erstellt, das die Begründungszusammenhänge widerspiegelt. Basierend darauf wird ein Regressionsmodell aufgestellt. Generell wird dieser Arbeitsschritt als Modellspezifikation bezeichnet. Es werden dabei Variablen bestimmt, die datenmäßig erfasst werden müssen und die die Datenbasis zur Berechnung bzw. Schätzung bereitstellen müssen. Die Variablen müssen den theoretischen Vorgaben und den Modellvorstellungen entsprechend miteinander verknüpft werden.
- (2) Die Datenbasis muss statistischen Kriterien entsprechen u.a. werden durch Messfehler bedingte Ausreißer in den Daten bereinigt. Liegen noch keine Daten vor, so müssen diese zunächst empirisch ermittelt und aufbereitet werden.
- (3) Durch Bewerten der Datenbasis (3a) vor dem Hintergrund der zu berücksichtigenden Modellimplikationen (3b) kann die passende Regressionstechnik (3c) ermittelt werden (regressionsanalytische Modelltheorie).
- (4) Nach Festlegen des Regressionsmodells und der Auswahl der datengerechten Modelltechnik werden damit die Modellkoeffizienten errechnet.
- (5) Die erhaltenen Ergebnisse müssen auf Plausibilität überprüft werden. Dabei wird untersucht, ob Annahmen im Modell die Ergebnisse verfälschen, oder ob die Ergebnisse zufriedenstellend sind.

- (6) Abschließend wird das Regressionsmodell überprüft, ob sich die gewonnenen Ergebnisse in das zugrundeliegende Theoriemodell überführen lassen.

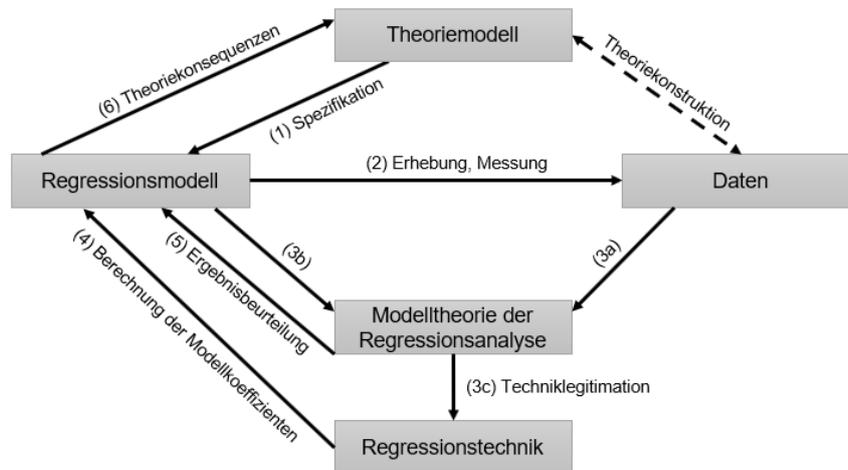


Abbildung 21: Arbeitsschritte Regressionsanalyse (Urban und Mayerl 2011)

Eines der wichtigsten Ziele in (1) ist es, gültige Aussagen über die Richtung und Stärke von Beziehungen zwischen Komponenten/Variablen zu finden und zu formulieren. Es sollen dadurch jene Variablen ermittelt werden, die Einfluss auf das Ergebnis bzw. Werte anderer Variablen haben, aber auch wie sie dieses beeinflussen. Zur Ermittlung von Zeitdaten in Abhängigkeit von Variablen (z.B. Stammdaten von Bauteilen oder Baugruppen) ist nach einer einseitig gerichteten Variablenbeziehung zu suchen. Ein Modell mit rekursiven Beziehungen wird als rekursives Modell bezeichnet. Es vereinfacht die Verständlichkeit von Kausalitätszusammenhängen, welche vorwiegend bei Regressionsanalysen mit dem Ziel der Zeitermittlung über Variablen zu Tragen kommt. Rekursive Modelle können mit OLS-Regressionsanalysen (ordinary least squares = Regressionsanalyse mit der Schätzmethode der kleinsten Quadrate) gut modelliert werden.

Meist werden durch Regressionsanalysen die Daten durch lineare mathematische Funktionen angenähert. Mit der OLS-Analyse werden die Daten, bezogen auf zwei (bivariate Regressionsanalyse) oder mehr Variablen (multivariate Regressionsanalyse) in einer Punktwolke über Achsen dargestellt. Es wird eine Funktion gesucht, welche die Punktwolke aus der Datenbasis am besten annähert. Da bei diskreten Messungen von Variablen immer ein Messfehler berücksichtigt werden muss, wird bei der Regressionsanalyse ebenfalls ein Parameter „ ϵ “ berücksichtigt, der die Streuung der Werte in die mathematische Beschreibung miteinbezieht. OLS-Analysen legen die mathematische Approximationsfunktion so, dass die Abweichungen der einzelnen Punkte quadriert ein Minimum ergeben. Durch die Annäherung durch lineare Funktionen ist es wichtig zu verstehen, dass die Ergebnisse der Regressionsanalyse als Schätzungen zu interpretieren sind und keine exakten Lösungen darstellen. Um jedoch die Güte des Regressionsmodells

anzugeben, wird der sogenannte Determinationskoeffizient (R^2) eingeführt. Der Determinationskoeffizient beschreibt den relativen Zuwachs an Prognosegenauigkeit, der zu erreichen ist, wenn die prognostizierten Ergebnisse der Analyse in Abhängigkeit von den Eingabevariablen vorhergesagt werden sollen. Er kann jedoch durch Modellannahmen verzerrt werden, weshalb es ratsam ist, zusätzlich noch Standardschätzfehler und die Signifikanz des Gesamtmodells durch einen statistischen F-Test zu untersuchen. Um die Regressionsanalyse richtig anzuwenden und die Signifikanz der Ergebnisse berechnen zu können, wird auf das Buch „Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Anwendung“ (Urban und Mayerl 2011) verwiesen.

Bezugnehmend auf Vorgabezeitermittlung kann die Regressionsanalyse herangezogen werden, um für repetitive Arbeitsgänge Zeiten auf Basis von Vergangenheitsdaten zu ermitteln. Vorwiegend werden Regressionsanalysen eingesetzt, um Zeiten für Planzeitkataloge zu ermitteln (siehe Kapitel 3.1.3). Diese Methode eignet sich allerdings nur dann, wenn Zeiten von bestimmten EFG bzw. Variablen abgeleitet werden sollen, ohne die Arbeitstätigkeiten und Bewegungen von MitarbeiterInnen mit REFA Zeitaufnahmen oder SvZ evaluieren zu wollen.

3.1.5 Methods-Time Measurement (MTM)

Die Informationen zu diesem Unterkapitel entstammen, wenn nicht extra zitiert, aus dem Buch „Arbeitswissenschaft“ (Schlick et al. 2018) und der Lehrgangsunterlage „MTM-1“ (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020).

„MTM steht für die Gestaltung der Arbeitsabläufe (Geschäftsprozesse) durch Beschreibung, Strukturierung, Planung und Analyse/Synthese mittels inhaltlich und zeitlich definierter Prozessbausteine. Durch MTM werden Abläufe systematisch gegliedert, geordnet und EFG sichtbar gemacht. Damit wird das Ziel verfolgt, Arbeitssysteme von Anfang an richtig zu gestalten. [...] Als Prozessbaustein wird ein Ablaufabschnitt bezeichnet, der seinem Inhalt und seiner Verwendung nach beschrieben wurde und für den ein Zeitstandard gilt.“ (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020, S. 5)

MTM zählt international zu den Methoden SvZ mit größter praktischer Bedeutung (Schlick et al. 2018). SvZ sind Verfahren, die manuelle, von WerkerInnen beeinflussbare Arbeitsabläufe in einzelne zusammengesetzte Bewegungselemente aufgliedert und diesen Normzeitwerte zuordnet. Dabei werden Zeiteinflussgrößen und methodenspezifische Anwendungsregeln berücksichtigt. Durch Addition der Normzeitwerte für jedes analysierte Bewegungselement werden Soll-Zeiten für einen Prozessabschnitt berechnet. In der Literatur spricht man dabei von der Additivitätshypothese, oder auch bezeichnet als Frage nach der Summierbarkeit von Elementarzeiten, auf die SvZ basieren. Diese Hypothese besagt, dass valide Werte

durch Addition, der aus den Arbeitsbedingungen und der Arbeitsmethode resultierenden Elementarzeiten, ermittelt werden können. In diversen Studien wurde festgestellt, dass es zwar in einzelnen Elementarzeiten von SvZ zu Ungenauigkeiten kommt, sich jedoch diese Ungenauigkeiten durch die Aggregation auf Gesamtzeiten wieder ausgleichen und somit zutreffende Vorgabezeiten ermittelt werden können.

Die Basis aller MTM-Verfahren bildet das MTM-1 Verfahren, wobei Analysen auf Ebene der Grundbewegung erstellt werden. Unter Grundbewegungen versteht man einen MTM-Baustein, der in Bezug auf seinen Inhalt und seine Sollzeit nicht weiter unterteilt werden kann. Grundbewegungen können mittels Arm, Hand, Finger, Bein, Fuß, Auge oder Körper ausgeübt werden. Alle Grundbewegungen sind auf der Datenkarte (auch Normzeitwertkarte) dargestellt. Auf der Datenkarte sind die MTM-Normzeitwerte für jeweilige Prozessbausteine angegeben. Ihnen liegt die MTM-Normleistung zugrunde und sie enthalten keine Verteilzeit- bzw. Erholzeitzuschläge. Die Zeit wird unter Berücksichtigung der Zeiteinflussgrößen bestimmt. Zeiteinflussgrößen sind im statistischen Sinn unabhängige Parameter, mit denen die Soll-Zeit beschrieben wird. Zeiteinflussgrößen sind die Bewegungslänge, der Kontrollaufwand, mit der die Tätigkeit ausgeführt werden muss und der Typ des Bewegungsverlaufs. Die Zeiten werden in der Zeiteinheit Time Measurement Unit (TMU) angegeben, wobei 1 TMU 0,036 Sekunden bzw. 100000 TMU einer Stunde entsprechen.

Die Prozessbausteine erhalten, abhängig der Grundbewegung, der Weglänge und der Ausführungsart eine genau Kodierung (vgl. Abbildung 22) und sind somit genau spezifiziert. Im Bewertungsbogen werden die zuvor ermittelten Ablaufabschnitte mit den entsprechenden Kodierungen versehen und anhand der Datentabellen die Zeitwerte herausgesucht und notiert. (Algeo und Barkmeyer 2001)

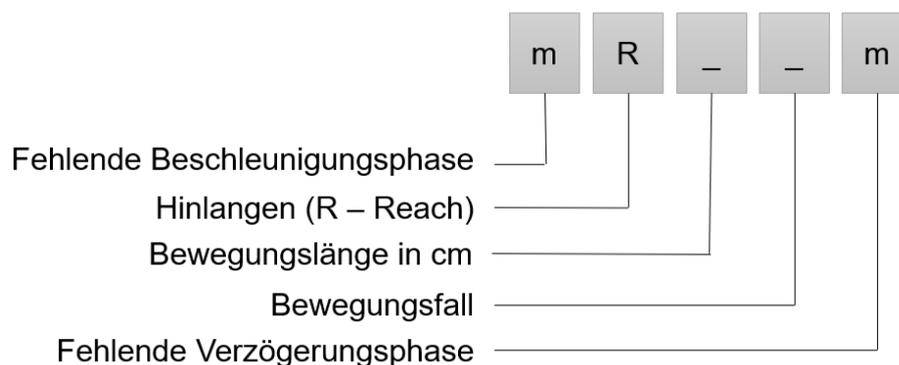


Abbildung 22: Kodierung MTM (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020)

Das Verfahren nach MTM wird ständig weiterentwickelt. Die Deutsche MTM-Vereinigung hat basierend auf das MTM-1 Verfahren mit den Grundbewegungen Hinlangen, Greifen, Bringen, Fügen und Loslassen (entsprechend dem MTM-Grundzyklus) durch Zusammenfassen weitere MTM-Verfahren entwickelt (siehe

Abbildung 23). Durch das Zusammenfassen von Grundbewegungen in Bewegungsfolgen wurde zuerst das MTM-SD-BW-Verfahren (Standard-Daten Basiswerte) und das MTM-2 entwickelt. Diese Verfahren wurden für den Prozesstyp 2 und hohem Methodenniveau (siehe Tabelle 1) entwickelt. Die Basiswerte stellen ein vereinfachtes Bausteinsystem dar. Vor allem eignen sich diese Verfahren für Großserien- und Serienfertigung mit hohem Wiederholungscharakter, längerzyklischen Arbeitsabläufen und genau beschriebenen Arbeitsabläufen und Methodenbeschreibungen.

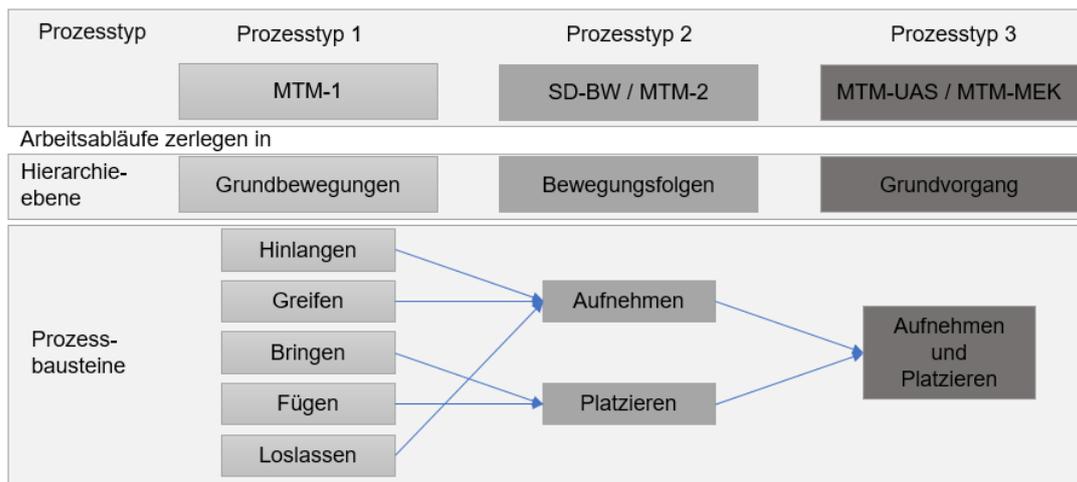


Abbildung 23: Bausteinzusammenfassung in MTM
(Vgl. Lotter und Wiendahl 2012, S. 102)

Durch erneutes Zusammenfassen der Bewegungsfolgen in Grundvorgänge wurden die Verfahren MTM-UAS und MTM-MEK entwickelt. MTM-UAS (Universelles Analysiersystem) eignet sich ebenfalls für den Prozesstyp 2, jedoch mit niedrigerem Methodenniveau. Anwendung findet dieses Verfahren im Fahrzeugbau, Gerätebau oder der Elektrofertigung. Die Charakteristik dieser Industrien kann durch auftragsorientierte Fertigung mit Wiederholungscharakter beschrieben werden. Es können mit MTM-UAS trotz Arten- und Variantenvielfalt vergleichbare Arbeitsinhalte analysiert werden, bei denen die Arbeitszyklen deutlich länger als in der Großserienfertigung dauern. Voraussetzung zur Anwendung sind jedoch routinierte MitarbeiterInnen und gestaltete Arbeitsabläufe mit Arbeitsunterweisungen ohne detaillierte Methodenbeschreibungen. MTM-MEK (MTM für die Einzel- und Kleinserienfertigung) berücksichtigt in dessen Bausteinen die Anforderungen für den Prozesstyp 3. Mit MTM-MEK ist es möglich, auftragsorientierte Fertigungsprozesse, ohne oder mit geringem Wiederholungsfaktor zu analysieren. Vorwiegend kommt dieses Verfahren bei großer Erzeugnisarten- und Variantenvielfalt zum Einsatz. Es ist möglich, sich ständig ändernde Arbeitsabläufe und -bedingungen zu berücksichtigen und zu bewerten. Eingesetzt wird MTM-MEK vorwiegend im Maschinen- und Stahlbau, aber auch im Luftfahrzeugbau. In diesen Industrien ist es nur begrenzt möglich,

detaillierte Arbeitsunterweisungen zu erstellen. Resultierend daraus liegt eine hohe Arbeitsweisenstreuung vor.

Mit MTM-UAS und MTM-MEK wurden Standardvorgänge für typische Montagetätigkeiten (Schraubarbeiten, Behandeln von Oberflächen, Festspannen und Lösen, Prüfen oder Messen und Normteile montieren) entwickelt. Dadurch muss die Arbeitsablaufbeschreibung nicht so detailliert vorliegen, wie es beispielsweise bei MTM-1 notwendig ist. Ein weiterer Vorteil, der sich durch die Aggregation der Prozessbausteine ergibt, ist der deutlich geringere Zeitaufwand für die Durchführung der Bewertung. Als Daumenregel zur Abschätzung des Analysieraufwandes kann angenommen werden, dass die Bewertung mit MTM-1 ca. das 25 – 30-fache der tatsächlichen Tätigkeitszeit in Anspruch nimmt. Für MTM-UAS gilt ein Richtwert vom 20 – 25-fachen und für MTM-MEK das 15 – 20-fache der Ausführungszeit. (Deutsche MTM-Gesellschaft Industrie- und Wirtschaftsberatung mbH 2021) Bei richtig berücksichtigtem Methodenniveau und methodisch richtiger Analyse ist es auch mit MTM-MEK möglich, die Fertigungszeit in einem Vertrauensbereich von 1% zu bestimmen. Die Ausgleichszeit beträgt bei MTM-MEK 19 min. (Bokranz 2012)

Da mit MTM die menschliche Arbeit analysiert und bewertet wird, können mit diesen Verfahren nur die beeinflussbaren Tätigkeitsanteile der Rüstgrundzeit und Grundzeit (siehe Abbildung 11) betrachtet werden (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993).

3.1.6 Work Factor (WF)

Die Informationen zu diesem Unterkapitel entstammen, wenn nicht extra zitiert, aus dem Buch „Fundamentals of Work Measurement. What Every Engineer Should Know.“ (Mital et al. 2016).

„Work Factor (WF) dient vereinfacht ausgedrückt als Beschreibung eines Bewegungsablaufes entsprechend dem Gewicht oder Widerstand, das an seiner Leistung beteiligt ist. Das Gewicht wird als Arbeitsfaktor betrachtet, um die Bewegungszeiten zu berechnen.“ (Mital et al. 2016, S. 106)

WF zählt ebenfalls zu den SvZ und zielt auf die Beschreibung manueller Arbeit ab. Es wird neben der körperlichen auch die mentale Belastung der WerkerInnen betrachtet. Das WF-Grundverfahren bildet hierfür die Basis. Es ermöglicht eine detaillierte Analyse des Arbeitsablaufs hinsichtlich seiner Bewegungselemente. Vorwiegend wird dieses Verfahren in der Massen- oder Serienfertigung eingesetzt, bei der repetitive Arbeitsabläufe auftreten und genaue Arbeitsanweisungen vorliegen. Das WF-Grundverfahren ist vergleichbar mit MTM-1, wobei zur zeitlichen Bewertung

- das bewegte Körperteil,
- die damit zurückgelegte Distanz,

- der erforderliche Kontrollaufwand (bemessen mit Work Factor) und
- das Gewicht bzw. der Widerstand, der die Bewegung beeinflusst (gemessen in Pfund und in Work Factor transformiert)

als Faktoren berücksichtigt werden. Es werden also nur quantitative Messgrößen in der Bewertung berücksichtigt. In der Analyse wird zuerst das bewegte Körperteil und die zurückgelegte Entfernung ermittelt. Anschließend wird der Kontrollgrad der Bewegung spezifiziert und die betroffene Work Factor – Gruppe zugeteilt. Das Gewicht, das in der Bewegung gehandhabt wird, bzw. der Widerstand, welcher mit der Bewegung überwunden werden muss, wird ebenfalls bezogen auf das Geschlecht (Unterscheidung zwischen weiblichem und männlichem Personal) mit Work Factor bewertet. In der Bewertungstabelle wird dann der jeweilige Zeitwert für die betrachtete Grundbewegung ermittelt. Als Zeiteinheit wird ebenfalls TMU verwendet. Jedoch ist der Umrechnungsfaktor der WF-TMU ein anderer als der für die MTM-TMU. Eine TMU entspricht in WF 0,0001 Minuten.

Durch Verdichtung der Daten des WF-Grundverfahrens erhält man das WF-Kurzverfahren, das für Serien- und Kleinserienfertigung geeignet eingesetzt werden kann (Prozesstyp 2 mit hohem Methodenniveau). Das WF-Schnellverfahren wurde speziell für die Kleinserien- und Variantenfertigung entwickelt (Prozesstyp 2 mit niedrigem Methodenniveau). Im Schnellverfahren wurde die Bewertungstabelle bezüglich der Bezugszeiten abgeändert, wobei nur für dieses WF-Verfahren eine TMU 0,005 Minuten entspricht. Das WF-Blockverfahren ist für Zykluszeiten von 0,15 min und länger entwickelt worden. Außerdem ist es sehr einfach anzuwenden.

Die verdichteten Verfahren weichen mit bis zu +12% von den ermittelten Zeiten durch das WF-Grundverfahren ab. Zusätzlich weisen die WF-Verfahren einen großen Nachteil auf. Es wurden in der Basiszeitermittlung für die Datentabelle des WF-Grundverfahrens Prozesse mit unterschiedlichen Methodenniveau analysiert. Dies kann zu methodisch bedingten Abweichungen von bewerteten Arbeitsabläufe mit Zeitdauern nahe der Ausgleichszeit führen, da die Additivitätshypothese nicht mehr greift. (Schlick et al. 2018). Die Ausgleichszeit entspricht im Allgemeinen der Zykluszeit, ab der die jeweiligen Verfahren eingesetzt werden können (z.B. 0,15 min für WF-Blockverfahren).

3.1.7 Maynard operation sequence technique (MOST)

Die Informationen zu diesem Unterkapitel entstammen, wenn nicht extra zitiert, aus dem Buch „Fundamentals of Work Measurement. What Every Engineer Should Know.“ (Mital et al. 2016).

„Die Analyse von Arbeitsabläufen erfolgt bei MOST – im Unterschied zu den MTM- und WF-Analysiersystemen – mit Hilfe standardisierter Bewegungssequenzmodelle.“ (Schlick et al. 2018)

MOST, welches ebenfalls zu SvZ zählt, wurde auf Basis von MTM-1 entwickelt und es wurde Wert auf die einfache und schnelle Anwendung bzw. Analyse und Bewertung von Arbeitsprozessen gelegt. Im Gegensatz zu der in MTM-1 oder WF-Grundverfahren zu analysierenden Grundbewegungen, werden mit MOST standardisierte Bewegungssequenzen bewertet. Es wird also Fokus auf die Abfolge von Bewegungen anstatt der zur Umsetzung erforderlichen Grundbewegungen gelegt. Trotz des anderen Ansatzes kann MOST ebenfalls für Prozesstyp 1 und 2 mit hohem Methodenniveau angewendet werden. Ergebnis dieser Methode ist eine Vorgabezeit für manuell ausgeführte Arbeitstätigkeiten. Sie entsprechen der Normalleistung.

Grundsätzlich erfolgt die Analyse und Bewertung eines Arbeitsprozesses mit MOST in fünf Schritten.

1. Der betrachtete Arbeitsablauf wird in kleinere individuelle Ablaufabschnitte unterteilt.
2. Diese Abschnitte werden nach den MOST Standardsequenzen beschrieben.
3. Darauf aufbauend werden die zeitbestimmenden Indizes zu den Parametern der Sequenzen bestimmt.
4. Aus den Indizes werden die Zeiten für die jeweiligen Abschnitte abgeleitet.
5. Abschließend werden die Zeiten der Ablaufabschnitte zur Gesamtzeit (Vorgabezeit unter Normalleistung) für den gesamten Arbeitsablauf aufsummiert.

Die folgend beschriebenen standardisierten Sequenzen stammen aus der Basic MOST Methode, welche das elementarste Verfahren von MOST darstellt. In Basic MOST gibt es lediglich drei Sequenzen: general move, controlled move und tool use. Die Bezeichnung der Sequenzen ist in englischer Sprache, da MOST hauptsächlich in Amerika zur Anwendung kommt. General move beschreibt die Bewegungsabfolge um einen Gegenstand frei im Raum, also von einem Punkt zu einem anderen, zu bewegen. Mit controlled move wird eine Bewegung eines Gegenstandes beschrieben, bei dem der Gegenstand auf einer oder mehreren Flächen geführt wird bzw. der Kontakt nicht verloren geht (z.B. das Schieben eines Kartons auf einem Tisch). Tool use wird verwendet, sobald ein Werkzeug (z.B. Hammer oder Schraubenschlüssel) zum Einsatz kommt. In Abbildung 24 wird die Kodierung einer general move Sequenz dargestellt. Dabei beschreiben die ersten drei Parameter (ABG) die Abläufe, um an den Gegenstand zu gelangen. Die nächsten drei Parameter (ABP) beschreiben die Bewegungen, um den Gegenstand an den gewünschten Ort zu bringen, und der letzte Parameter (A) die allgemeine Bewegung zurück zum Ausgangspunkt.

A₁₀ – B₆ – G₁ - A₁₀ – B₀ - P₁ - A

- A Action distance: Zurückgelegte Entfernung (horizontal gemessen) von entweder Finger, Hand oder Füße.
- B Body motion: Vertikalbewegungen (z.B. Sitzposition → Stehen)
- G Gain control: Beschreibt die Manipulation des handzuhabenden Gegenstands (z.B. Greifen)
- P Placement: Beschreibt die Art/Bedingung mit der ein Gegenstand platziert werden muss

Abbildung 24: Kodierung General Move (Vgl. Mital et al. 2016, S. 113)

Die Indizes bei Parametern beschreiben den Typ der Bewegung, den Bewegungsinhalt und die Bedingungen, unter denen die jeweilige Aktion durchgeführt wird. Die Zeit für die jeweilige Sequenz wird durch Summieren der Indizes und Multiplizieren mit dem Faktor 10 errechnet. Die Indizes werden nach den Tabellen von MOST ermittelt (siehe Abbildung 25). Die in Abbildung 24 gezeigte Sequenz beschreibt das Gehen von 5 Schritten zu einem auf dem Boden liegenden Bauteil, das anschließende Aufheben und das Zurückgehen zur Ausgangsposition, um das Bauteil dort auf einem Tisch abzulegen. Die Summe der Indizes ergibt sich zu 28 und man erhält somit 280 TMUs, welche etwa 10 Sekunden entsprechen. (Schlick et al. 2018)

Table 6.14: MOST Parameters and Index Values for the General Move Activity Sequence Model

General Move Sequence Model: A-B-G-A-B-P-A

Index	A = Action Distance	B = Body Motion	G = Gain Control	P = Placement
0	Close ≤2 in.			Hold, toss
1	Within reach but >2 in.		Grasp light object with one or two hands	Lay aside Loose fit
3	1 or 2 steps	Bend and arise with 50% occurrence	Grasp object that is heavy or obstructed or hidden or interlocked	Adjustments, light pressure, double placement
6	3 or 4 steps	Bend and arise with 100% occurrence		Position with care, or precision of blinf, or obstructed or heavy pressure
10	5,6, or 7 steps	Sit or stand		
16	8,9, or 10 steps	Through door or climb on or off or stand and bend or bend and sit		

Abbildung 25: MOST Parameter und Index Tabelle General Move (Mital et al. 2016, S. 113)

Neben dem Basic MOST gibt es noch das Mini MOST und das Maxi MOST System, die abhängig der Analysegenauigkeit ausgewählt werden können. Mini Most eignet sich für 2-10 Sekunden andauernde Operationen, wobei die Indizes die totale Zeit in Sekunden (multipliziert mit Faktor 1) angeben. Angewendet wird Mini MOST typischerweise in der Elektronikindustrie. MAXI Most wird dort verwendet, wo sich Bewegungsabläufe mindestens 150 mal pro Woche wiederholen. Der zu

analysierende Prozess kann dabei von 2 Minuten bis zu mehreren Stunden dauern. Maxi MOST eignet sich besonders gut zum Errechnen von Zeiten zur Grobplanung bzw. zum Errechnen von Vorgabezeiten in der Werkstattfertigung oder dem Anlagenbau. Die Indizes werden dabei gleich wie bei Basic MOST ermittelt und mit dem Faktor 100 multipliziert, um die TMUs zu erhalten. (Mital et al. 2016)

3.1.8 ROI – Operationsfolge – Methode (ROM)

Die Informationen zu diesem Unterkapitel entstammen, wenn nicht extra zitiert, aus der Schulungsunterlage „ROM Analysiersystem. Basis Schulung“ (ROI 2015).

„ROM (ROI-Operationsfolge-Methode) ist ein System vorbestimmter Zeiten. [...] Als Basis wurde das MTM-Grundsystem herangezogen.“ (ROI 2015, S. 7)

ROM wurde 1980 von der Firma ROI entwickelt. Es werden Tätigkeitszeiten für manuelle, arbeitsfortschreitende Vorgänge, die der Beeinflussung durch den ausführenden Werker / die ausführende Werkerin unterliegen, ermittelt. Ähnlich wie MOST bewertet ROM eine Sequenz an Tätigkeiten und nicht die Bewegungen selbst und zählt ebenfalls zu SvZ. Das ROM-Grundsystem arbeitet mit Zeitklassen, in dem jeder Arbeitsvorgang mit einem Mittelwert einer Zeitklasse bewertet wird. Damit entfällt das aufwändige und detaillierte Bewerten von einzelnen Teilarbeitsgängen wie es mit MTM-1 erforderlich ist.

ROM legt bei der Bewertung den Fokus auf die Operationsfolge, darunter wird das Bewegen einer Masse über eine Distanz verstanden. Es wird der Arbeitsablauf in Teilvorgänge gegliedert und durch ein Ablaufmodell beschrieben. Beim Analysieren wird nicht wie bei MTM-1 der Grundzyklus mit den einzelnen Grundbewegungen bewertet, sondern die Bewegungsabläufe in ein Operationsfolgemodell zusammengefasst und mittels Kodierung in den Analysebogen eingetragen. Abhängig von den Tätigkeiten, gibt es vordefinierte Operationsfolgemodelle, welche die jeweiligen Bewegungsabläufe beschreiben. Beispiele dafür sind freies und geführtes Bringen, Verwendung von Handwerkzeugen oder Schraubgegenständen oder das Bringen eines Gegenstandes mit unterschiedlichen Transportgeräten (Krane oder Flurfördergeräte). Ein Auszug der Kodierungsvorschriften unterschiedlicher Tätigkeiten ist in Abbildung 26 ersichtlich. Die Spalte „Nr.“ verweist dabei auf die jeweilige Grundwerttabelle (siehe Abbildung 27), um die Operationsfolge aufgrund Zeiteinflussgrößen bewerten zu können. Die Bewertung erfolgt über zeitbezogene Indexzahlen (IZ), wobei 1 IZ 0,0001 Stunden bzw. 1 Stunde 10000 IZ entspricht. Die jeweiligen IZ werden den Bewegungen der Operationsfolge zugeordnet und über die gesamte Folge aufsummiert.

Manuelle Tätigkeiten			
Nr.*	Tätigkeit	Operationsfolgemodell	Teiltätigkeiten
1	Freies Bringen	DVK DVL D	D = Distanz überbrücken V = Veränderung der Körperlage K = Kontrolle erlangen L = Lage best., platzieren
2	Geführtes Bringen	DVK FJZ D	D = Distanz überbrücken V = Veränderung der Körperlage K = Kontrolle erlangen F = Geführtes Bringen J = Justieren Z = Prozesszeit
3-5	Verwendung von Handwerkzeugen	DVK DVL [-] DVLD [-] = Werkzeuggebrauch	D = Distanz überbrücken V = Veränderung der Körperlage K = Kontrolle erlangen L = Lage best., platzieren Sf = Festziehen oder Lösen mit Fingerbewegung Sh = Festziehen oder Lösen mit Armbewegung

Abbildung 26: Kodierung Operationsfolgemodelle ROM (ROI 2015, S. 14)

Tabelle: 1		Tätigkeit: Freies Bringen			Operationsfolge: DVK DVL D	
IZ Index	D Distanz überbrücken	V Veränderung d. Körperlage	K Greifen	L Platzieren		
0	• Bis 5 cm (in K und L enthalten)			• Werfen • In der Hand behalten		
1	• Innerhalb der Reichweite (>5 bis 80cm)		• Leichter, handlicher Gegenstand • Leichte, freiliegende Gegenstände simultan bis 8kg bzw. bis 30 x 80 cm	• Weglegen • Lose Passung		
3	• 1 – 2 Schritte • Bis 1,5 m • Kehrtwendung	• Bücken und Aufrichten in 50% der Fälle	• Nicht simultan • Schwer und/oder unhandlich (>8 bis 22 kg) • Verdeckt oder behindert • Voneinander trennen • Verhakt • Sammeln	• Mehrere Ausrichtbewegungen • Leichter Druck		
6	• 3 – 4 Schritte • Bis 2,5 m	• Bücken und Aufrichten in 100% der Fälle		• Vorsicht und Genauigkeit • Starker Druck • Verdeckt oder behindert		
10						

Abbildung 27: Auszug aus ROM-Grundwerttabelle "Freies Bringen" (ROI 2015, S.57)

Mit ROM kann, ähnlich wie bei MTM, durch Aggregation von Zeitklassen das Verfahren vereinfacht und somit effizienter gestaltet werden. ROM Planzeittabellen werden über Planzeitnachweise aus den oben beschriebenen ROM-Grunddaten erstellt. Daraus kann weiter mittels erstellten Zeitklassenreihen und -werten eine ROM-Zeitklassenwerttabelle generiert werden. Diese kann durch Zusammenfassen und Beschreiben von Musterarbeitswertnachweisen in Zeitklassenreihen für Musterarbeitswerte übergeführt werden. Somit wird die höchste Beschreibungsebene durch ROM, den sogenannten Musterarbeitswerten, erzeugt. Die Aufbaustufen von ROM entsprechen im weitesten Sinne Planzeitkatalogen für Ablaufschritte. Die unterschiedlichen ROM Aufbaustufen sind an die jeweilige Unternehmung angepasst und sollen auf eine effizientere Bewertung abzielen. Der Anwendungsbereich ändert sich im Sinne der Prozesstypen nicht.

Betrachtet werden muss dabei jedoch der Genauigkeitsbereich je Aufbaustufe. Durch Bildung der Durchschnittszeitwerte für Zeitklassen entsteht eine Abweichung, die sich

aber durch die Additivitätshypothese über einen bestimmten Zeitbereich ausgleicht. Als Vergleichsstandard für den Genauigkeitsbereich werden Zeiten vom MTM-1 Verfahren herangezogen. Das oben beschriebene ROM-Grundverfahren verfügt über einen Genauigkeitsbereich von $\leq 5\%$ für Arbeitsprozesse, die länger als 2 Minuten dauern. Man spricht von einer Ausgleichszeit von 2 Minuten. Für ROM Planzeitwerte gilt der Genauigkeitsbereich von $\pm 1\%$ bei 180 min Ausgleichszeit, ROM Zeitklassenwerte erreichen bei 650 min Ausgleichszeit ebenfalls $\pm 1\%$. Für ROM Musterarbeitswerte wird ein Genauigkeitsbereich von $\pm 5\%$ nach einer Ausgleichszeit von 40 Stunden angenommen. Der systemimmanente Fehler steigt mit der Verdichtung der Analysiersysteme bzw. der Aufbaustufen, der Anwendungsfehler sinkt hingegen.

Vorteile von ROM sind die Anpassbarkeit der Aufbaustufen an gegebene Prozesse in Unternehmen. Zusätzlich bewertet ROM die Arbeitstätigkeiten auf einem einheitlichen Leistungsniveau, wodurch das Bewerten von Leistungsgraden entfällt. Zuschläge für Erholzeiten und Verteilzeiten sind in der Bewertung nach ROM nicht berücksichtigt und müssen gesondert betrachtet werden. (ROI 2015) Die Weiterentwicklung des Verfahrens wurde jedoch von ROI eingestellt. Dadurch werden etwaige Änderungen durch den Fortschritt der Technik nicht mehr berücksichtigt, weshalb der zukünftige Einsatz von ROM als nicht sinnvoll eingestuft wird.

3.2 Softwareunterstützung zur Systemintegration der Bewertungsmethoden

Die im vorangegangenen Kapitel (Kapitel 3.1) beschriebenen Methoden zur Arbeitsprozessbewertung können zur zeitlichen Bewertung von Arbeitsprozessen angewendet werden. Der Aufwand solche Bewertungen durchzuführen und Vorgabezeiten zu ermitteln, ist unabhängig der Methoden allgemein sehr hoch und ressourcenintensiv. Hinsichtlich des unternehmerischen Ziels möglichst wirtschaftlich und effizient zu arbeiten, ist es für Unternehmen umso wichtiger, genaue Zeitdaten für die Produktionsplanung zur Verfügung zu haben. Speziell in der Einzel- und Kleinserienfertigung ist es umso wichtiger, mit möglichst wenig Aufwand Zeitdaten zu erhalten, um die Bewertungsmethoden möglichst wirtschaftlich durchführen zu können.

In diesem Kapitel werden Programme und Software-Tools beschrieben, welche die Zeitwirtschaft im Sinne der Zeitaufnahme bzw. das Bewerten von Arbeitsprozessen und deren Verarbeitung in Arbeitsplänen unterstützen und vereinfachen. Dazu wird eine Literaturrecherche durchgeführt, um Möglichkeiten aufzuzeigen, mit denen es möglich sein soll, komplexe Aufträge annähernd automatisch zeitlich in Bezug auf Montagetätigkeiten zu bewerten. Außerdem wird eine Marktanalyse angestellt, um

Anbietern von Softwareunterstützungen und deren Produkte und Einsatzbereiche zu ermitteln.

3.2.1 Wissensbasierte Systeme (WBS)

Die Informationen zu diesem Unterkapitel entstammen, wenn nicht extra zitiert, aus dem Buch „Methoden Wissensbasierter Systeme. Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen“ (Beierle und Kern-Isberner 2019).

WBS simulieren intelligentes Denken und Handeln in einem bestimmten Bereich durch Darstellung und Verarbeitung von Wissen. Der Großteil der zur Anwendung kommenden WBS sind sogenannte Expertensysteme. Expertensysteme sind spezielle WBS, bei denen das Wissen von ExpertInnen stammt. Ein Expertensystem wird folgendermaßen definiert:

„Ein Expertensystem ist ein Computersystem (Hardware und Software), das in einem gegebenen Spezialisierungsbereich menschliche Experten in Bezug auf ihr Wissen und ihre Schlussfolgerungsfähigkeit nachbildet.“ (Beierle und Kern-Isberner 2019, S. 12)

Menschliche ExpertInnen treffen Entscheidungen aufgrund ihrer Erfahrung und heuristischem Wissen. Sie verbinden bei neuen Problemen Allgemeinwissen mit Fachwissen und handeln dabei oftmals intuitiv, wenn beispielsweise Informationen zur Aufgabe fehlen. Werden Entscheidungen intuitiv getroffen, können diese nicht begründet und von Außenstehenden schwer oder nicht nachvollzogen werden. Abhängig der Aufgabenstellung müssen mehrere ExpertInnen herangezogen werden, um das Problem zu bearbeiten. Da in Unternehmen ExpertInnen nicht jederzeit verfügbar sind und Expertenwissen (z.B. persönliche Erfahrungen und darauf basierende intuitive Entscheidungen) generell nicht weitergegeben werden kann, versucht man mit WBS diese Probleme zu lösen und Entscheidungen ohne ExpertInnen zu treffen.

Mit WBS versucht man Wissen von mehreren ExpertInnen zu sammeln und explizit, möglichst deklarativ und einfach darzustellen. Durch eine einfache Benutzeroberfläche soll es AnwenderInnen möglich sein, selbst Problemstellungen auf Basis des im Hintergrund gespeicherten Wissens, zu lösen. Im Idealfall liefern WBS nicht nur einen Lösungsvorschlag, sondern begründen und dokumentieren die Entscheidungen. In Abbildung 28 wird der schematische Aufbau eines Expertensystems dargestellt.

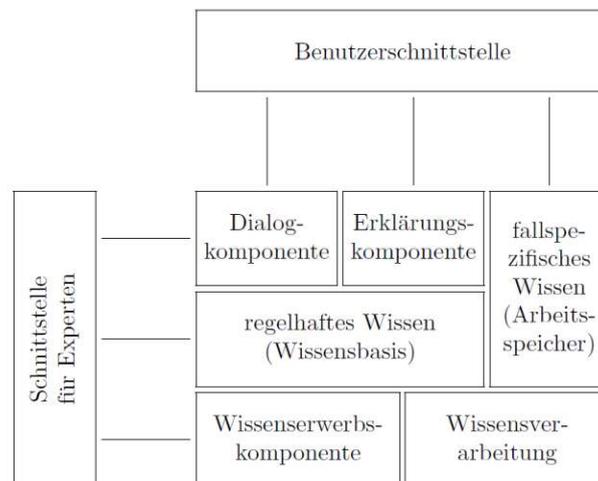


Abbildung 28: Schematischer Aufbau eines Expertensystems
(Beierle und Kern-Isberner 2019, S. 18)

Je nach Anwendungsbereich des WBS können die Komponenten spezifisch angepasst werden. Grundsätzlich enthält die Wissensbasis das permanente, regelhafte Wissen und das fallspezifische Wissen. Regelhaftes Wissen beschreibt das bereichsbezogene Wissen, also theoretisches Fach-, Erfahrungs- und Allgemeinwissen, welches Problemlösungsheuristiken, Optimierungsregeln und allgemeines Wissen über Objekte und Beziehungen untereinander darstellt. Die Wissensbasis wird über Eingabe von Expertenwissen über die Schnittstelle gespeist und speichert diese. Die Wissenserwerbskomponente unterstützt den Aufbau der Wissensbasis. Getrennt davon ist die Wissensverarbeitung, welche nach Abfrage über die Benutzerschnittstelle die im System definierten Algorithmen und Lösungsverfahren anwendet, um das Problem zu lösen. Die Dialogkomponente sorgt dabei für die richtige Übersetzung und Verknüpfung des Expertenwissens mit der Eingabe der AnwenderInnen. Durch die Erklärungskomponente des Systems werden zusätzlich zu den Resultaten die Schlussfolgerungen dokumentiert und ausgegeben.

Für WBS ist es wichtig eine Trennung zwischen der Darstellung des Wissens über den betroffenen Problembereich (Wissensbasis) und der Verarbeitung des Wissens (Wissensverarbeitung) zu definieren. Die Wissensbasis repräsentiert spezifisches Wissen über den Anwendungsbereich, während mit der Wissensverarbeitung problemunabhängig Lösungskonzepte dargestellt werden. Die Art und Weise der Wissensrepräsentation gibt die Art der Wissensverarbeitung vor. Für die Wissensbasis wird in der Literatur in logik- und regelbasierte Systeme unterschieden. Logikbasierte Systeme verarbeiten Informationen und deren Zusammenhänge in Form von *Schließen*. Systeme treffen dabei, unter Anwendung von Algorithmen, Schlussfolgerungen zu den Problemen. Es wird in drei unterschiedliche Arten des Schließens unterschieden:

- Deduktives Schließen: Wenn man weiß, dass man ein Auto nur starten kann, wenn die Batterie aufgeladen ist und bei einem konkret betrachteten Auto die Batterie leer ist, wird daraus geschlossen, dass das Fahrzeug nicht gestartet werden kann.
- Induktives Schließen: Wenn ein Auto nicht startet und die Batterie leer ist, wird eine Regel abgeleitet, dass ein Auto nicht gestartet werden kann, wenn es eine leere Batterie hat.
- Abduktives Schließen: Aus dem Wissen, dass ein Auto mit leerer Batterie nicht gestartet werden kann und dass sich ein gegebenes Fahrzeug nicht starten lässt, wird die Schlussfolgerung getroffen, dass die Batterie leer ist.

Regelbasierte Systeme arbeiten mit formalisierten Konditionssätzen, also den „wenn A dann B“-Ansätzen. *A* und *B* stellen dabei Aussagen dar und wenn *A* erfüllt oder bewiesen ist, dann wird daraus geschlossen, dass *B* gilt bzw. wahr ist. Der „Wenn“-Teil der Formel wird als *Prämisse* oder *Antezedenz* der Regel bezeichnet, hingegen wird unter *Konklusion* oder *Konsequenz* der „Dann“-Teil verstanden. Regeln werden als elementare Bestandteile informationsverarbeitender Prozesse angesehen. Durch Regeln kann das menschliche Denken sehr gut nachgebildet werden und dadurch ist es auch ein vorrangiges Ziel, Regeln bei der Erstellung einer Wissensbasis zu verwenden. Bei der Modellierung der Wissensbasis muss darauf geachtet werden, dass die Regeln mit möglichst einfacher Syntax aufgebaut sind. Somit wird ein effizientes und schnelles Abarbeiten der Regeln ermöglicht und die Übersichtlichkeit der Wirkung erhöht. Eine Regel muss, um Fehler in der Auswertung zu verhindern, folgende Bedingungen erfüllen:

- Keine Oder-Verknüpfung in der Prämisse
- Die Konklusion soll nur aus einem Literal, also nur einer positiven oder negativen Aussagenvariable, bestehen.

In der Anwendung werden Regeln als Teil des abstrakten Wissens gesehen, Beobachtungen oder Eingaben über Ist-Situation (Faktum) ins System werden benötigt, um über die Regeln zu Schlussfolgerungen zu gelangen. In einem regelbasierten System wird diese grundlegende Schlussregel bzw. Interferenzregel als *modus ponens* bezeichnet (vgl. Abbildung 29). Der *modus ponens* benutzt jeweils eine Regel zur Schlussfolgerung.

wenn A dann B	(Regel)
A wahr	(Faktum)
B wahr	(Schlussfolgerung)

wenn Option1=ausgewählt dann Zeitzuschlag Montage=2,3h	(Regel)
Option1=ausgewählt	(Faktum)
Zeitzuschlag Montage=2,3h	(Schlussfolgerung)

Abbildung 29: modus ponens
(Beierle und Kern-Isberner 2019; Spreckelsen und Spitzer 2009)

Regeln können zu Regelnetzwerken zusammengefasst werden, um komplexere Problemstellungen lösen zu können. Es können Regeln mit logischen Funktionen miteinander verknüpft werden, um Aussagen oder weitere Entscheidungen treffen zu können. In Abbildung 30 stellen die Knotenpunkte Objekte mit den Werten *wahr* oder *falsch* der Wissensbasis dar. Die Verbindungslinien symbolisieren die Verknüpfung zur übergeordneten Regel. Wird die Regel erfüllt, gelangt man zur nächsten Regel bis hin zur finalen Entscheidung. In einem Regelnetzwerk werden konjunktive (UND) Verknüpfungen mit einem Kreisbogen zwischen den Verbindungslinien im Knotenpunkt dargestellt. Disjunktive (ODER) Verknüpfungen werden durch das Einzeichnen der Verbindungslinien ohne Kreisbogen im Knotenpunkt symbolisiert.

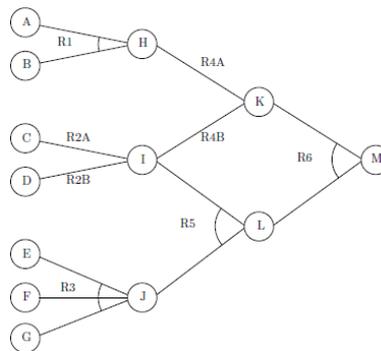


Abbildung 30: Regelnetzwerk eines regelbasierten Systems
(Beierle und Kern-Isberner 2019, S. 81)

Generell können regelbasierte Systeme in beide Richtungen des Regelnetzwerkes arbeiten. Man unterscheidet dabei die Vorwärtsverkettung (datengetriebene Interferenz) und die Rückwärtsverkettung (zielorientierte Interferenz). Vorwärtsverkettungen werden verwendet, um Entscheidungen zu treffen und Rückwärtsverkettungen kommen zur Ermittlung von Zuständen von einzelnen Knoten zum Einsatz. So kann zum Beispiel überprüft werden, welche Objekte den Zustand *wahr* haben müssen, damit der Endknoten M *wahr* ist.

Wissensbasierte Systeme können nicht zum Analysieren und Bestimmen von Zeiten für Bewegungselemente eingesetzt werden, jedoch können komplexe Zusammenhänge von Baugruppen und deren Auswirkungen auf Montagezeiten berücksichtigt und ermittelt werden. Ist beispielsweise bekannt, dass eine bestimmte Kombination aus Modulen/Bauteilen eines Produktes zu zeitlichen Mehraufwänden

führt, so kann ein wissensbasiertes System bei der Erstellung von Arbeitsplänen und Zeitsynthesen hilfreich sein.

Durch maschinelles Lernen (ML), welches immer mehr an Bedeutung gewinnt, können wissensbasierte Systeme weiter verbessert werden. Regelbasierte Expertensysteme sind, genauso wie Menschen, in der Lage, Probleme bzw. Aufgabenstellungen zu lösen, die in ähnlicher Form bereits in der Vergangenheit aufgetreten und deren Lösungsansätze bekannt sind. Durch Anwendung von ML können auch neuartige und komplexere Problemstellungen bearbeitet werden, zu denen es noch keine Lösungsansätze gibt. Systeme können auf unterschiedliche Weisen Wissen generieren:

- Lernen durch Deduktion, wobei aus bereits vorhandenem Wissen mittels deduktiven Schließens neues Wissen abgeleitet wird.
- Lernen durch Analogie, wobei neue Fakten und Fähigkeiten durch Anpassen vorhandenen Wissens an neue Situationen generiert wird. Voraussetzung dafür ist, dass es bereits bekannte Lösungen für ähnliche Probleme gibt. Es wird nach signifikanten EFG aus bekannten Problemstellungen gesucht, welche mit der neuen Situation übereinstimmen. Aus diesem Wissen wird eine Lösung für das neuartige Problem abgeleitet.
- Lernen aus Beispielen, wobei Konzeptbeschreibungen aus bekannten Beispielen zum Lösen neuer Probleme dienen. Dabei ist es wichtig alle Beispiele mit positiven/gewünschten Lösungen in der Konzeptbeschreibung abzubilden. Jedoch muss diese so genau spezifiziert sein, dass Gegenbeispiele mit unerwünschten Ergebnissen nicht zum Lösen neuer Probleme herangezogen werden können.
- Lernen aus Beobachtungen und durch Entdeckungen, welches die anspruchsvollste Form des Lernens darstellt, da es sich um eine generelle Ausprägung des induktiven Lernens handelt. Im Unterschied zu den vorangegangenen Lernweisen hat der Mensch als Benutzer keinerlei Steuerungsmöglichkeit mehr. Das System benötigt keinerlei Angaben/Eingaben oder Bestätigungen von Instanzen und Lösungswegen.

Eine weitere Methode der wissensbasierten Systeme stellt das fallbasierte Schließen, im Englischen als Case based reasoning (CBR) bezeichnet, dar. Dabei wird Wissen dazu verwendet, um Erfahrungen abzubilden und neue, ähnliche Problemstellungen zu lösen. Regelbasierte Methoden bilden generisches Wissen und das Problemlösen ab, wobei hingegen mit CBR Entscheidungen auf Basis von Erfahrungswissen - also Wissen, das auf konkreten Beispielen und Situationen beruht - getroffen werden können. Das Generieren von Lösungen ist bei CBR also kein regelbasierter, sondern ein erinnerungsbasierter Prozess. Das CBR stellt eine Spezialform der Wissensrepräsentation und -verarbeitung dar, bei der die Analogie das Prinzip der

Schlussfolgerung ist. Die Methode vergleicht die eingegebenen Daten mit den im System gespeicherten Daten und reiht die gespeicherten Fälle, also bereits durchgeführte Projekte, nach ihrer Ähnlichkeit zum zu bewertenden Auftrag. Der aus den gespeicherten Aufträgen am ähnlichsten wird als Näherung herangezogen. In der Medizin findet CBR Einsatz. Die auftretenden Symptome eines speziellen Patienten dienen als Inputinformation und mittels CBR, durch Abgleich mit anderen dokumentierten Patienten und deren Symptomen und diagnostizierten Krankheiten, eine Diagnose durchgeführt (Görz et al. 2021). Bezüglich genauer Funktion und Aufbau von wissensbasierten Systemen wird auf die Bücher „Methoden wissensbasierter Systeme“ (Beierle und Kern-Isberner 2019), „Handbuch der künstlichen Intelligenz“ (Görz et al. 2021), „Wissensbasen und Expertensysteme in der Medizin“ (Spreckelsen und Spitzer 2009) und „Case-Based Reasoning Technology“ (Lenz 1998) verwiesen.

Betrachtet man nun die Anwendung von wissensbasierten Systemen im Bereich der Variantenfertigung bzw. Einzel- und Kleinserienfertigung, bieten auf ML basierende Tools vor allem dann großes Potential in der Vorgabezeitermittlung, wenn bereits viele Daten über bereits abgewickelte Aufträge vorhanden, die Stammdaten (Gewicht, Größe, Material, Oberflächenbeschichtung, usw.) gewartet bzw. vollständig und sich die Produkte ähnlich sind, sich aber durch spezielle Ausprägungen bzw. Eigenschaften unterscheiden lassen. Mit regelbasierten Systemen, ML oder CBR kann die Qualität der abgeleiteten Vorgabezeiten bzw. die Effizienz, mit der sie ermittelt werden, deutlich erhöht werden. Werden regelbasierte Systeme mit ML kombiniert, oder CBR angewendet, so besteht auch die Möglichkeit, Aufträge mit unvollständigen Informationen (z.B. unvollständiger Stückliste, unzureichend definierte Arbeitsablaufbeschreibung, etc.) durch Vergleiche mit Wissen aus Altaufträgen zeitlich bewertet werden. Auch wenn die Zeitangaben methodisch nicht errechnet werden, kann durch Synergien von Aufträgen, bei ausreichend großer Wissensdatenbank, eine gute Schätzung abgegeben werden. Der Nachteil ist, dass die vom System getroffenen Schlussfolgerungen und Entscheidungen vom Anwender nicht nachvollzogen werden können. Die Zusammensetzung der Zeiten kann nicht eingesehen werden, auch wenn zur Lösungsgenerierung Prozessbausteine von beispielsweise hinterlegten MTM-Analysen für in dem betrachteten Produkt vorkommende Baugruppen vorliegen. Außerdem müssen Zusammenhänge von Bausteinen, deren Randbedingungen und zusätzlich zu berücksichtigende Fertigungs- bzw. Montageschritte bei bestimmten Produktkonfigurationen vorab definiert werden. Der damit oft sehr große Aufwand zum Entwickeln und Implementieren solcher Systeme stellt einen weiteren Nachteil für die Betriebe mit Einzel- und Kleinserienfertigung dar.

3.2.2 Regressionsrechnung und Variableneinfluss mittels Random Forest

Die Informationen zu diesem Unterkapitel entstammen, wenn nicht extra zitiert, aus dem Buch „Classification and regression trees“ (Breiman 1998), diverse Publikationen über Random Forests und deren Anwendung von Breiman (Breiman 2001a; Breiman 2001c) und (Hackl 2015).

ML wird prinzipiell unterteilt in überwachtes und unüberwachtes Lernen. Beim überwachten Lernen verwenden Algorithmen den Zusammenhang zwischen Eingabe- und Zielwert eines Datensatzes und versuchen ein Modell zu generieren, welches bei neuen Daten bestmögliche Prognosen für die Zielwerte abgeben kann. Unüberwachtes Lernen bedeutet, wenn Systeme versuchen anhand von Ausgangsdaten Zusammenhänge zu verstehen und entsprechende Aussagen zu treffen. Random Forest (deutsch: Zufallswald) (RF) ist eine Methode des überwachten Lernens und findet vor allem in Klassifizierungs- oder Regressionsproblemen Anwendung. Außerdem kann mittels RF eine Merkmalswichtigkeit ermittelt werden, also im weiteren Sinne die Wichtigkeit einzelner Eingabedaten, um eine Prognose abgeben zu können. Prinzipiell werden bei diesem Verfahren viele unterschiedliche unkorrelierte Entscheidungsbäume verknüpft bzw. kombiniert und deren Einzelergebnisse zur Prognose verwendet. Das Lernen des Systems erfolgt über eingegebene Datensätze, welche in der Praxis oft Erfahrungswerte für Problemstellungen darstellen. Die Eingangsdaten werden als unabhängige Beobachtungen angesehen und weisen Merkmale auf. Diese Merkmale können Kategorien entsprechen, wie z.B. Geschlecht, Farbe, Geschmack usw., aber auch numerisch, also messbar sein. Beispiele für ordinale Merkmale sind Schulnoten, Temperatur, Geschwindigkeit oder Zeit. Die ermittelten Zielwerte müssen folgend ebenfalls kategorischen oder numerischen Werten entsprechen.

Die verwendeten Entscheidungsbäume dienen zur Veranschaulichung von Entscheidungen. Während dem Lernvorgang der Methode wird nur das vorhandene Wissen aus der Eingabe verwendet. Ausgehend vom Stamm, bildet der Entscheidungsbaum mit jeder Entscheidung neue Äste und verzweigt sich. Entscheidungen bilden Knotenpunkte, wobei in jedem Knotenpunkt nur eine Entscheidung über ein Merkmal getroffen werden kann. Es wird sich also von einer Entscheidung zur nächsten bewegt, bis das Ziel erreicht ist. Diese Bäume stellen eine hierarchische Anordnung von Entscheidungen dar.

Bei RF werden einzelne Entscheidungsbäume zu einem Wald zusammengefügt und dadurch die Vorhersagekraft gesteigert. Die Vorhersagegenauigkeit kann durch Beurteilen der Mehrheit der getroffenen Entscheidungen verbessert werden, da die große Anzahl der Bäume die Fehlentscheidungen und Instabilitäten eines einzelnen Baumes geringeren Einfluss nehmen. Bei Regressionsbäumen wird nicht nach der

Mehrheit der einzelnen Bäume entschieden, sondern das arithmetische Mittel der Ergebnisse aller Entscheidungsbäume herangezogen. Die Vorhersagekraft steigt also direkt proportional mit der Anzahl an Entscheidungsbäumen (Breiman 2001b; Hackl 2015). Wie viele einzelne Entscheidungsbäume im Modell zu einem Zufallswald zusammengefasst werden, wird im Algorithmus definiert. Dabei werden die dem Algorithmus zugeführten Daten in zwei Subdatensätze, einen Trainings- und einen Testdatensatz, aufgeteilt. Der Trainingsdatensatz enthält typischerweise 70 - 80% der Daten, die restlichen 20-30% entsprechen folglich dem Testdatensatz. Der Trainingsdatensatz, wird zum Trainieren des Algorithmus im sogenannten „RF-Learner“ verwendet. Beim Trainieren werden unterschiedliche Verzweigungspunkte und Anzahl der Verzweigungen pro Verzweigungspunkt simuliert und die Ergebnisse mit der Zielfunktion verglichen. Die an der besten geeigneten Konfiguration des Zufallswaldes wird dann an den „RF-Predictor“ übergeben, welcher die Zielfunktion mit gegebener RF-Konfiguration für die Testdaten ermittelt. Die Modellgröße (die Anzahl der verwendeten Entscheidungsbäume) und Modelltiefe (Anzahl der Verzweigungspunkte) können anhand der Predictor-Ergebnisse optimiert werden. Das so erhaltene RF-Modell und dessen Konfigurationen kann dann zum Bestimmen von Zielfunktionen einzelner Eingaben verwendet werden.

Mit steigender Modellgröße und Tiefe, also mehreren Verzweigungspunkten je Baum, steigt auch die benötigte Rechenleistung zum Ermitteln der Ergebnisse. Essentiell für die zielgerichtete und wirtschaftliche Anwendung von RF, bzw. allgemein bei Anwendung von ML-Algorithmen, ist die Datenaufbereitung der Eingabedaten im Vorfeld.

3.2.3 Datenaufbereitung und Parameterwahl (Pre-Processing mittels Feature Selection und Feature Extraction)

Ziel der Datenaufbereitung ist es, Eingangsdaten, welche dem ML-Algorithmus zugeführt werden, für die Modellbildung anzupassen. Dabei werden irrelevante und redundante Daten entfernt und nach möglichst aussagekräftigen Merkmalen bzw. Parametern zur Modellbildung gesucht. Ziel ist es die Vorhersagekraft durch Reduktion der dem Modell zugeführten Daten zu optimieren. Werden einem ML-Algorithmus große Datenmengen zugeführt, wird große Rechenleistung und große Speicherkapazität zur Berechnung benötigt. Das Heranziehen möglichst vieler Parameter zum Trainieren der Modelle resultiert nicht zwangsweise in höherer Aussagekraft des Ergebnisses. Das Modell liefert Aussagen, jedoch wird durch die Überanpassung (englisch: overfitting) des Modells die Bearbeitungszeit negativ beeinflusst, die Nachvollziehbarkeit des generierten Wissens wird erschwert oder die Vorhersagestärke wird reduziert. Im Gegensatz zur Überanpassung, kann bei zu kleiner Parameteranzahl eine Unteranpassung (englisch: underfitting) des Modells vorliegen. Bei einer Unteranpassung werden ggf. relevante Parameter nicht

berücksichtigt, wodurch sich die Vorhersagestärke reduziert. Durch ein Pre-processing werden jene Parameter aus der Vielzahl der Eingabedaten ermittelt, welche hohen Informationsgehalt in Bezug auf die zu treffende Aussage aufweisen. (N und Gupta 2021; Nasreen 2014) Es gibt eine Vielzahl an Algorithmen, welche kombiniert oder einzeln eingesetzt werden können, um die Dimension der Eingangsdaten zielgerichtet zu reduzieren. Diese Algorithmen können zwei Hauptgruppen zugeordnet werden, der Merkmalsauswahl (englisch: Feature Selection (FS)) und der Merkmalsextraktion (englisch Feature Extraction (FE)). Die Literatur zu FS und FE ist stark von der englischen Sprache geprägt, weshalb im Folgenden aus Gründen der Methodenbenennung die Begriffe teilweise in Englisch angeführt werden.

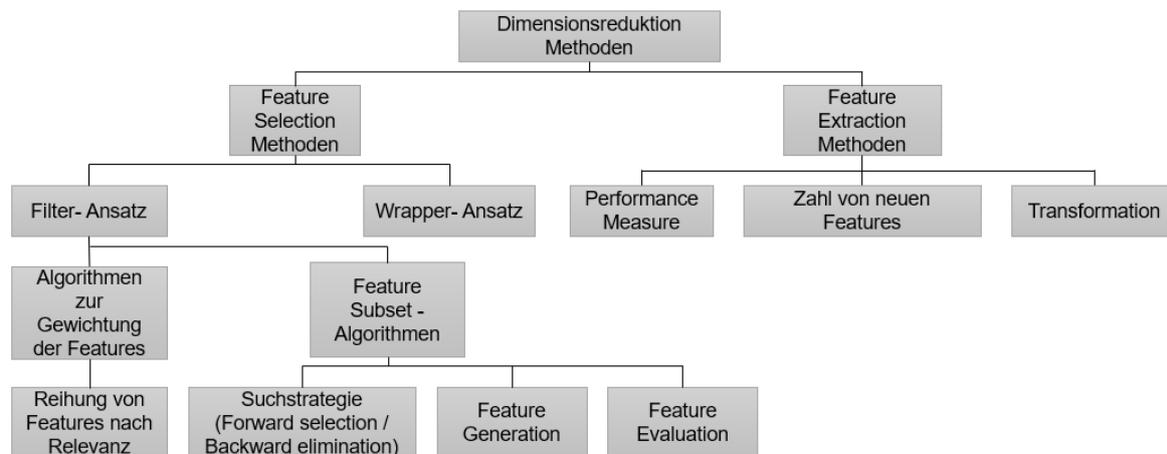


Abbildung 31: Ansätze zur Datenaufbereitung und Parameterauswahl für ML-Algorithmen (Vgl. Nasreen 2014)

Abbildung 31 gibt einen groben Überblick über Methoden und deren Unterteilung zur Datenaufbereitung und Parameterwahl. FS-Methoden werden generell als Suchprobleme unter bestimmten Bewertungskriterien bezeichnet. Es werden drei Kategorien von FS-Algorithmen unterschieden, Filter-Methoden, Wrapper-Methoden und Embedded/Hybrid-Methoden.

Filter-Methoden wählen Parameter, ohne Berücksichtigung des Modells, beispielsweise nach der Korrelation der Variablen zum Zielwert aus. Durch diesen Ansatz werden unwichtige Parameter, also ohne Korrelation, ausgeschlossen. Die Informationen der nicht berücksichtigten Variablen geht im Modell somit verloren. Filter-Ansätze eignen sich, wenn die Rechenzeit minimiert oder Overfitting vermieden werden soll.

Wrapper-Methoden führen unterschiedliche Variablensets dem ML-Algorithmus zu und ermitteln anhand der Ergebnisse das am besten geeignete Parameterset. Durch das direkte Einbinden des ML-Algorithmus wird eine größere Rechenleistung benötigt, weshalb sich dieser Ansatz nicht für große Datensets eignet. Zusätzlich neigt ein Wrapper-Ansatz zu Overfitting. Der Vorteil der Wrapper-Methoden liegt darin, dass

weniger Informationen der Parameter ausgeschlossen und somit Interaktion zwischen Variablen erkannt werden können. Die Embedded-Methode ist der neueste Ansatz, welcher die Vorteile der Filter- und Wrapper-Methoden zu kombinieren versucht. Diese Methode nutzt den angewendeten ML-Algorithmus direkt zur Erstellung des Parametersets. Der ML-Algorithmus wird direkt auf seine Voraussagestärke und Performance geprüft und anhand dieser Informationen das Parameterset angepasst. Filter-Ansätze können im Weiteren in Algorithmen, welche die Parameter nach Relevanz auf die Zielvariable reihen, und in Feature Subset-Algorithmen unterteilt werden. Letztere werden charakterisiert durch die verwendete

- Suchstrategie (exponentiell, sequenziell oder zufällig),
- Strategie zur Bildung von Parameter-Subsets (forward, backward, gebündelt, gewichtet und zufällig) und dem herangezogenen
- Evaluierungsmaß (Fehlerwahrscheinlichkeit, Divergenz, Abhängigkeit, Interklassenabstand, Unsicherheits- und Konsistenzbewertung).

FE transformiert die originalen Parameter in neue Parameter, welche eine höhere Signifikanz zur Bestimmung der Zielvariablen aufweisen. Das Finden von neuen repräsentativen Parametern stellt eine wichtige, aber gleichzeitig komplexe Herausforderung dar. Ziel ist es, durch Generierung von neuen Variablen, basierend auf einige originale Variablen, die Dimension des Datensets ohne Informationsverlust zu reduzieren. Eine der bekanntesten Methoden ist die Principle Component Analysis (PCA). Diese nutzt lineare Transformation der Daten um redundante Parameter, gemessen an der Kovarianz zwischen originalen Parametern, zu eliminieren und gleichzeitig den Informationsinhalt, gemessen an der Varianz der einzelnen Parameter, zu maximieren. FE-Methoden benötigen tendenziell weniger Rechenleistung als FS-Methoden, weisen jedoch vor allem in Klassifikationsproblemen hohe Sensibilität in Bezug auf den Datentyp der Parameter auf.

Zusammenfassend ist für die sinnvolle Anwendung von ML-Algorithmen im großen Stil eine Datenaufbereitung und Reduktion der Dimension notwendig, um die Qualität der Modelle, im Sinne von benötigter Rechenleistung, Vorhersagegenauigkeit und Nachvollziehbarkeit, zu erhöhen. Welche Methoden sich zur Auswahl eines Parametersets zum Trainieren und Anwenden von ML-Algorithmen am besten eignet, kann nicht generalisiert werden. Dies hängt stark von der Parameteranzahl, dem verwendeten ML-Algorithmus und der Parametertypen (quantitativ, ordinal, kategorisch) ab. Ziel soll es jedoch sein ein Parameterset für ein Modell zu finden, welches aus der geringsten Anzahl an Variablen besteht, das aber gleichzeitig den größten Anteil an Lerngenauigkeit und somit Vorhersagegenauigkeit liefert (Nasreen 2014). Für das Anwendungsgebiet der Vorgabezeitermittlung in der Klein- und Einzelserienfertigung bei hoher Produkt- und Variantenvielfalt würde dies bedeuten,

dass jede Produktgruppe auf Grund der neuen Parameterkombinationen und - einflüsse sowie Variablentypen zur Gänze neu betrachtet werden muss.

3.2.4 Softwareunterstützung in der Zeitwirtschaft

Aus Kapitel 3.1 geht hervor, dass die Analyse und Bewertung von Arbeitsprozessen, unabhängig der angewendeten Methode zur Vorgabe-/Planzeitermittlung, mit relativ hohem Aufwand verbunden ist. Das Beschreiben des Arbeitssystems, wobei die Rahmenbedingungen und EFG erfasst werden, die Analyse und Bewertung selbst und die Aufbereitung der Ergebnisse, führt bei händischer Ausführung neben dem zeitlichen Aufwand auch zu Problemen in der Dokumentation und eventuellen zukünftigen Änderungen der Bewertung. Soll zum Beispiel ein Arbeitsplatz umgestaltet werden und ändern sich dadurch Weglängen oder wird ein Bauteil durch ein anderes ersetzt, so muss die Analyse und Bewertung der Ablaufabschnitte erneut von Hand durchgeführt werden. Ebenfalls ist die Nachvollziehbarkeit der Zusammensetzung der Vorgabezeit für die ArbeitstechnikerInnen durch die Analyse auf Papier eventuell nicht zugänglich und der Zeitwert muss als gegeben hingenommen werden. Für Methoden wie der REFA Zeitaufnahme, die Verwendung von Planzeitkatalogen oder Regressionsanalysen gilt es im Allgemeinen im Anschluss an die Ablaufbeschreibung und die zeitliche Bewertung der Ablaufabschnitte statistische Auswertungen durchzuführen. Bei SvZ erfordert das Erstellen von geeigneten und validen Prozessbausteine zusätzlich zur Analysendokumentation (Zeilenanalyse) großen zeitlichen Aufwand. Abbildung 32 stellt als Beispiel die Anteile des Zeitaufwandes zur Erstellung von MTM-Analysen dar.

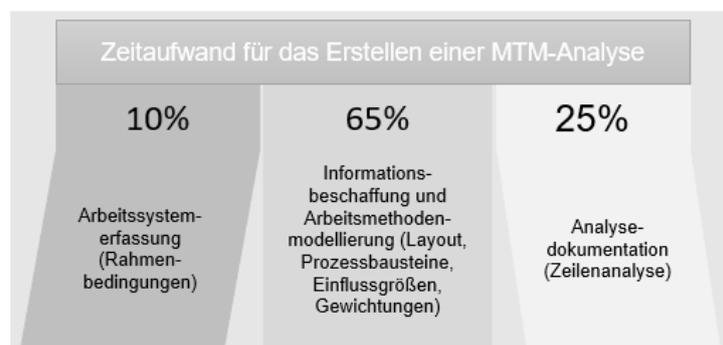


Abbildung 32: Relationen der Zeitaufwendungen für Hauptaktivitäten beim Durchführen von MTM-Analysen (Vgl. Bokranz 2012, S. 403)

Durch Nutzen von Softwareunterstützungen zum Durchführen von Arbeitsprozessbewertungen kann der Zeitaufwand und die Fehlerwahrscheinlichkeit in der Auswertung der Bewertungen deutlich reduziert werden. Durch Datenaustausch bzw. vollständige Integration der Software-Tools in ERP-Systeme können Stammdaten wie Material, Gewicht und Informationen über Arbeitsplätze direkt zur Bewertung herangezogen werden.

Folgend werden am Markt erhältliche Softwarelösungen inklusive deren Funktionen bzw. Anwendungsgebiete in einer selbst erstellten Tabelle zusammengefasst. Die Auflistung der Unterstützungstools ist in Abbildung 33 ersichtlich. Softwareanbieter und deren Lösungen wurden mittels einer unstrukturierten Internetrecherche ermittelt. Dabei wurde nach Anbietern bzw. Lösungen gesucht, welche zeitwirtschaftliche Methoden aus Kapitel 3.1 unterstützen. Simulationssoftware, wie Tecnomatix oder EMA, welche Analysen anhand von digitalen Menschmodellen und simulierten Arbeitsabläufen durchführen, wurden nicht betrachtet. Für Softwaretools mit digitalen Menschmodellen muss der exakte Arbeitsablauf vor Simulationsbeginn bekannt sein (Mayr 2021). Dies ist für den hier betrachteten Anwendungsfall in der variantenreichen Kleinserienfertigung jedoch nicht immer gegeben, wodurch sich diese Tools nicht einsetzen lassen. Bei Anwendungen wie „ema Work Designer“ oder „Technomatix“ wird der Arbeitsablauf mittels einem Menschmodell simuliert, wobei die Wegstrecken, die Aufnahmepunkte und Platzierpunkte von Bauteilen bzw. Werkzeugen bekannt sein müssen. In der variantenreichen Einzel- und Kleinserienfertigung ist die Bestimmung der Arbeitsfolgen und die Ausprägung der Bauteile nur schwer oder gar nicht in dem geforderten Detaillierungsgrad zu bestimmen. Vor allem dann, wenn das Produkt zum Planungszeitpunkt noch nicht vollständig konfiguriert wurde.

In der Spalte „Software“ sind die angebotenen Lösungen ersichtlich und in Klammer sind die Anbieter angeführt. In den Spalten „Bewertungsmethoden“ werden die unterstützten Methoden ausgewiesen, in den Spalten „Prozessanalyse/-bewertung/-planung“ werden die Einsatzgebiete gelistet. Ist eine direkte Einbindung in ein ERP-System möglich, so wird diese mit „X“ gekennzeichnet, mit „(X)“ wird ein Datenaustausch der Software mit dem ERP-System ohne direkte Einbindung gekennzeichnet und wenn die angebotene Software eine eigenständige Lösung ist, so bleibt das Feld frei. Die aufgezeigten Informationen wurden aus den Produktbeschreibungen auf der jeweiligen Website des Anbieters recherchiert.

Software	Bewertungs- methoden						Prozessanalyse/ -bewertung/ -planung			
	REFA-Zeitaufnahme	Multimoment-aufnahme	Planzeiten	MTM	MOST	WF	Analyse & Auswertung	Planung & Arbeitsplan- erstellung	Anbindung an ERP- System	Verwendungsnachweise
SAP Standard (SAP)							X	X		
TimeStudy T1 (TimeStudy)	X	X	X				X			
DRIGUS PLAZET (DRIGUS)	X	X	X	X				X	(X)	X
AVIX METHOD & ERGO (Avix)	X			X			X	X	(X)	X
TIMER PRO (acsco)	X						X	X		
WorkStudy+ (Quetech Ltd.)	X						X			
OTRS10 (shinka)	X		X				X	X		
ProPlanner (proplanner)	X						X	X		X
MTM-easy (MTM)	X			X			X	X		
TiCon (MTM)	X		X	X			X	X	X	X
CAPP Knowledge (DCM-ortim)	X		X	X		X	(X)	X	(X)	X
ORTIM PLAN (DCM-ortim)	X	X	X	X		X	X	X	(X)	X

Abbildung 33: Unterstützende Softwarelösungen in der Zeitwirtschaft

Software-Tools zur Unterstützung der Zeitaufnahme bieten meist eine dem Benutzer und Arbeitsprozess angepasste Analyseoberfläche, in der Arbeitsablaufabschnitte bereits vorab definiert werden können, durch auswählen dieser Abschnitte per Mausklick oder Touchscreen wird dieser Ablaufabschnitt für definierte Arbeitsplätze ausgewählt und die Zeit automatisch gestoppt. Anhand des Analyseprotokolls können zusätzlich Informationen über den Beitrag zur Wertschöpfung angegeben und somit der Informationsgehalt der Auswertung erhöht und durch Diagramme graphisch veranschaulicht werden. Die von der MTM-Organisation angebotene MTM-easy Software bietet darüber hinaus noch die Möglichkeit, die Ablaufabschnitte mit Piktogrammen oder Stücklisten zusätzlich zur schriftlichen Ablaufbeschreibung zu erläutern. MTM-easy ermittelt auf Basis der Ablaufbeschreibung eine Soll-Zeit, mit der die tatsächlichen Ist-Zeiten im Unternehmen verglichen und somit Optimierungspotentiale ermittelt werden können. (Deutsche MTM-Gesellschaft Industrie- und Wirtschaftsberatung mbH 2021)

Der größte Teil der Unternehmen im deutschsprachigen Raum, die Prozessbewertungen mit SvZ in Kombination mit Softwareunterstützung anwenden, nutzen die Software *TiCon* von MTM oder die Softwarelösungen *CAPP Knowledge* bzw. *ORTIM Plan* von DCM-ortim. Die Gründe und Vorteile dieser Softwarelösungen

werden in den Bereichen Prozessbausteinentwicklung, Prozessbausteinverwaltung und Prozessbausteinverwendung gesehen und wirken sich positiv auf die Effizienz und somit die Wirtschaftlichkeit der Prozessanalyse und -planung aus. Beide Anbieter stellen in deren Softwarepaketen sämtliche MTM-Prozessbausteine für die Prozessstypen 1 bis 3 in Datenkarten zur Verfügung und ermöglichen einen hierarchischen Aufbau selbsterstellter, unternehmensspezifischer Bausteine. Trotz einer großen Anzahl an Prozessbausteinen ist es möglich, diese einfach und übersichtlich zu verwenden. Durch den hierarchischen Aufbau bleiben die Analysen und Bausteine transparent und eine Revisionierung bzw. Anpassung an veränderte Sachverhalte ist einfach möglich. Änderungen, die Auswirkungen auf mehrere Bausteine und somit Bewertungen haben, werden durch das System automatisch bei allen betroffenen Prozessbausteinen durchgeführt (Massenänderungen). Die Auswertung von Analysen und Prozessbausteinen liefern Informationen über Ablaufgestaltungsmängel durch Wertschöpfungsindikatoren. Durch die direkte Anbindung an ERP-Systeme, z.B. SAP, können Arbeitspläne einfach mit Sollzeiten versorgt werden. Vor allem für Unternehmen mit mehreren Standorten (dezentrale Nutzer) sorgt TiCon für eine einheitliche Prozessanalyse und -gestaltung, wodurch eine Vergleichbarkeit der Standorte und Synergieeffekte erreicht werden. (Bokranz 2012; DMC - ortim GmbH 2020)

3.3 State of the Art

Die in der Praxis relevanten Methoden und Softwareunterstützungen zur Analyse und Vorgabezeitermittlung von Arbeitsprozessen wurden in den vorangegangenen Kapiteln aufgezeigt. Der Einsatzbereich der Methoden wird vorwiegend über den Aufbau und die Analysegenauigkeit bestimmt (Prozessstypen). In diesem Unterkapitel wird zuerst auf den State of the Art in der Prozessoptimierung eingegangen und die wichtigsten Begriffe und Punkte theoretisch erläutert. Im Weiteren werden aktuelle Anwendungsfälle und Forschungsarbeiten herangezogen, um die Methoden miteinander zu vergleichen und deren Probleme, vor allem für den Prozessstyp 3 (entsprechend der Charakteristika der Einzel- und Kleinserienfertigung), aufzuzeigen.

3.3.1 State of the Art in der Prozessoptimierung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Prozessoptimierung in der Zeitwirtschaft. Es sollen die bestehenden Prozesse effektiver, effizienter und flexibler gestaltet werden. Demnach ist vorweg zu definieren, was unter Effektivität und Effizienz erachtet wird. Unter Prozesseffektivität wird verstanden, ob der betrachtete Prozess die gewünschten Ergebnisse erreicht. Prozesseffizienz besagt, ob das Prozessergebnis mit minimalem Einsatz erreicht wird. Die beiden Parameter sind unabhängig voneinander, jedoch müssen optimale Prozesse sowohl effektiv als auch effizient sein. Es soll das Richtige getan werden (effektiv) und gleichzeitig die Arbeiten richtig und mit minimalem

Aufwand umgesetzt werden (effizient). Damit die Prozesse effektiv gestaltet werden können, müssen alle Anforderungen an das zu erreichende Ergebnis bekannt sein. Zur effizienten Prozessgestaltung benötigt man Informationen über Eingangsparameter, welche es bei der Aufwandsminimierung in der Prozessverbesserung zu berücksichtigen gilt. (Becker 2018)

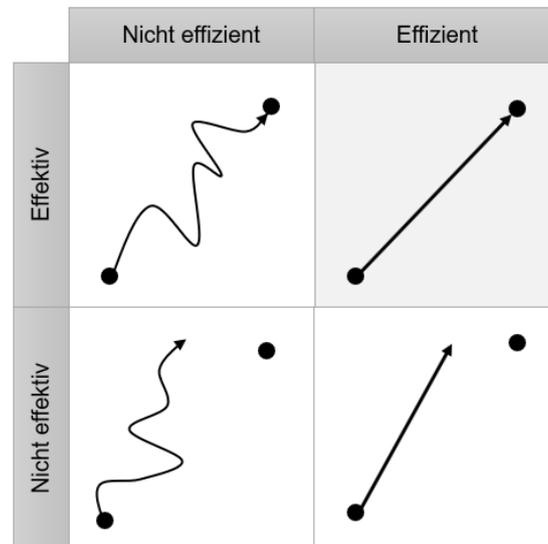


Abbildung 34: Effektivität und Effizienz (Vgl. Becker 2018, S. 12)

Abbildung 34 veranschaulicht graphisch das Zusammenwirken von Effektivität und Effizienz in Prozessen, wobei der Pfad zwischen den Anfangs- (Ausgangsposition) und den Endpunkten (Prozessergebnis) die Prozesse darstellt. Das Prozessergebnis soll dabei möglichst ohne „Umwege“, also ohne „Verschwendungen“, erreicht werden.

Es gibt unterschiedliche Ansätze Prozessoptimierungen durchzuführen. Abbildung 35 stellt unterschiedliche Ansätze mit entsprechendem Veränderungsumfang und damit einhergehendem Risiko gegenüber. In dieser Arbeit wird Prozessoptimierung mit den Prozessmusterwechsel- und Prozessoptimierungsansätzen angestrebt. Unter dem Ansatz der Prozessoptimierung wird ein Prozessumbau verstanden. Dieser bildet den Mittelweg zwischen Radikalumbau und kleinen Veränderungen. Dabei wird mit einigen großen Schritten, welche vom mittleren Management initiiert werden, ein bestehender Prozess in einen neuen, verbesserten Prozess transformiert. Bei Prozessoptimierungen werden Leistungsverbesserungen bis zu 50% angestrebt. Der Prozessmusterwechsel fokussiert sich auf die Veränderung der Ausführungsform des betrachteten Prozesses und resultiert in einer neuen Arbeitsweise, welche eine Leistungsverbesserung bewirkt. (Becker 2018)

Beide Ansätze beruhen auf dem Prinzip, bestehende Prozesse zu optimieren. Damit einhergehend ist es essenziell, eine umfangreiche Ist-Analyse durchzuführen, um das Zusammenwirken von Einflussparametern zu verstehen und die Prozesse im Weiteren zielgerichtet optimieren zu können.

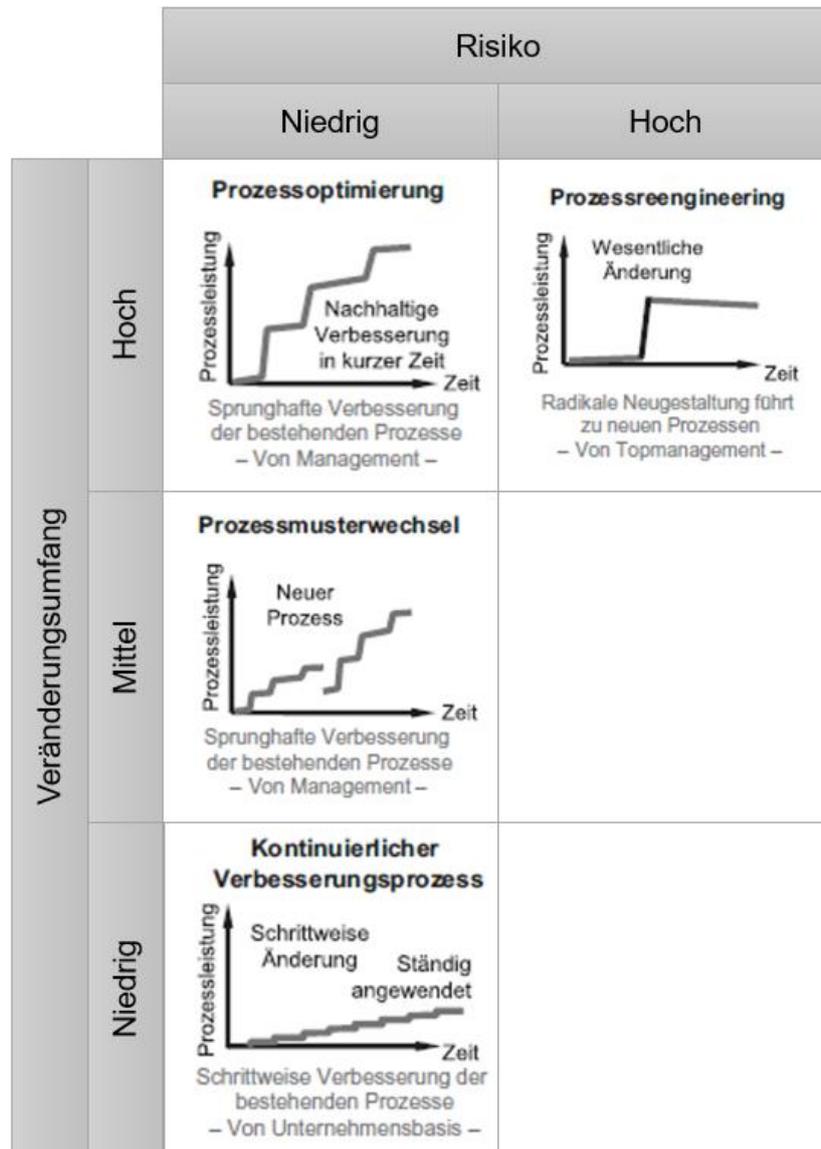


Abbildung 35: Ansätze zur Prozessoptimierung (Vgl. Becker 2018, S. 21)

Die Ist-Analyse wird an das MTO-Prinzip (siehe Abbildung 4) angelehnt. Dabei wird ein Unternehmen und dessen Arbeitsweise strukturiert analysiert. Ziel der Analyse ist es in diesem Fall, Informationen für die Optimierung der Zeitwirtschaft zu sammeln. Aus den gewonnenen Erkenntnissen der Ist-Analyse wird ein Pflichtenheft für Methoden und Softwareanbieter erstellt, welches zur Auswahl der Methoden dient.

3.3.2 Informationssysteme zur Steigerung der Produktivität

In der wissenschaftlichen Publikation von Weber (Weber et al. 2017), werden generelle zukunftsorientierte Produktivitätsstrategien in vernetzten Arbeitssystemen diskutiert. Um die Produktivität von Unternehmen generell zu erhöhen, muss ein Unternehmen als soziotechnisches System verstanden werden. Sowohl die Effektivität und Effizienz aller betrieblichen Aktivitäten, und nicht nur das Verhältnis von Output zu Input der jeweiligen Prozesse, müssen zur durchgängigen Verbesserung betrachtet werden.

Der Digitalisierungsprozess eröffnet nach Weber vor allem in der produzierenden Industrie neue Möglichkeiten um die Effizienz und Produktivität gezielt zu erhöhen. Um die Produktivität eines Unternehmens mit Hilfe der Digitalisierung erhöhen zu können, ist es essenziell, strategische Ansätze sukzessive bis auf die operationale Ebene herunterzubrechen und genau zu definieren. Dadurch können tägliche Arbeitsabläufe zielgerichtet optimiert werden. Des Weiteren wird in der Publikation beschrieben, dass die Produktivitätsstrategie vorwiegend von der Produktionsstrategie abhängt und diese wiederum vom Produktionssystem und der Prozessstruktur abhängt. Zur Gestaltung eines Produktionssystems und dessen Prozesse ist die Implementierung angemessener computergestützter Informationssysteme notwendig. Durch die verbesserte Informationsversorgung kann der Aufwand der Informationshandhabung (Erfassung, Weiterleitung, Verarbeitung, Bereitstellung und Nutzung) stark verringert und die Ergebnisse gleichzeitig verbessert werden. (Weber et al. 2017)

Die erwähnten Punkte dieser Publikation untermauern die großen Potentiale und Bedeutung von genau definierten Arbeitsprozessen und befürworten den Einsatz von Software-Tools in Kombination mit ERP-Systemen zur Analyse und Bewertung von Arbeitsprozessen.

3.3.3 Weiterentwicklung der Prozessbewertung

Bewertungsmethoden lassen sich durch Verwendung von Prozessbausteinen, welche aus aggregierten Grundbewegungen bestehen und bestimmte wiederkehrende Ablaufabschnitte (Schraubarbeiten, Oberflächen reinigen, usw.) beschreiben, im Hinblick auf den Zeitaufwand in der Analyse und Bewertung optimieren. MTM-UAS ist ein Beispiel für das Beschreiben von Arbeitsabläufen in einer Prozesssprache, wobei die Analyse auf Basis von Prozessbausteinen beruht. (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020) Die deutsche MTM-Vereinigung ist eine der größten treibenden Kräfte in Bezug auf die Forschung und Weiterentwicklung der MTM-Methoden zur Arbeitsprozessbewertung. Das Projekt „Human Work Design“ (HWD) ist eine von der Deutschen MTM-Gesellschaft im Jahr 2015 initiierte Zusammenarbeit mit MTM Mitgliedsunternehmen aus der Automobil- und Hausgerätebranche, mit der Absicht, ein neues MTM-Bausteinsystem zu entwickeln. Motiviert durch den demographischen Wandel und der somit immer älter werdenden Belegschaft in Unternehmen, soll das neue Bewertungssystem einer optimalen Arbeits- und Produktionsgestaltung, zum Erhalt und der Entwicklung menschlicher Leistungsfähigkeit, dienen. Dabei wurde erstmal ein Bausteinsystem – MTM-HWD – entworfen, das Arbeits- und Ergonomieplanung verbindet. Die Beschreibung der ablaufenden Tätigkeiten mit MTM-HWD umfasst mehr EFG als aus der Sicht der biomechanischen Bewertungsverfahren und zur zeitlichen Bewertung nach derzeitigem Stand notwendig sind. Die Bewertung ist softwaregestützt und erfolgt über Piktogramme, die die Bewegungsabläufe darstellen und nicht mehr, wie bei anderen MTM-Methoden, über

kodierte Prozessbausteine und Datenkarten. Durch das Hinzuziehen von ergonomischen EFG wird mit MTM-HWD eine vollständige und umfassende Prozessbeschreibung möglich. Aus den Bewertungsergebnissen können Arbeitsabläufe auch hinsichtlich Körperhaltungen optimiert und somit Verletzungen oder gesundheitliche Folgeschäden, resultierend aus repetitiven Überbelastungen, vermieden werden. (MTM ASSOCIATION e. V. 2015) Andere Anbieter haben ebenfalls den Trend der Arbeitsprozessbewertung unter Berücksichtigung von ergonomischen Einflüssen erkannt und Programme entwickelt, mit denen ein Arbeitsprozess mit Hilfe eines digitalen Mensch-Modells geplant und bewertet werden kann (z.B. Tecnomatix von Siemens oder ema von imk automotive GmbH).

Nicht nur der demographische Wandel drängt zur Berücksichtigung von ergonomischen Faktoren. Auch Di Gironimo hat in seiner Publikation (Di Gironimo et al. 2012) die notwendige Anpassung und Optimierung von Methoden SvZ, im konkreten MTM-UAS, beziehungsweise auf ergonomische Aspekte beschrieben. Die in dem Paper betrachteten und mit MTM-UAS bewerteten Arbeitsprozesse weichen stark von den mittels Zeitaufnahme ermittelten Ist-Zeiten ab. Grund dafür ist, dass MTM-UAS für die Kategorie Prozesstyp 2 (siehe Tabelle 1) entwickelt wurde, die betrachteten Tätigkeiten jedoch Wartungs- und Reparaturarbeiten an Fahrzeugen beschreiben und sich teilweise von den Kriterien des Prozesstyps 2 unterscheiden. Charakteristisch für Wartungs- und Reparaturarbeiten sind die nicht definierten Ablageplätze von Werkzeug und Material, größerer Zeitbedarf zum Lesen des Arbeitsauftrages und eine oftmals begrenzte Zugänglichkeit der zu wartenden Bauteile. Die schwer zugänglichen Stellen erfordern verhältnismäßig viele Körperbewegungen (starkes Rumpfbeugen, große Winkeländerungen im Ellbogengelenk, große Rotationswinkel im Schultergelenk), welche zwar in den MTM-UAS Prozessbausteinen berücksichtigt werden, aber aufgrund der Häufigkeiten die Additivitätshypothese nicht mehr zutrifft. In dem Paper wird eine Methode präsentiert, mit der die Prozessbausteinwerte von MTM-UAS mittels Ausgleichsfaktoren, welche ergonomische Einflussfaktoren berücksichtigen, angepasst werden können. (Di Gironimo et al. 2012) Ablaufabschnitte und Montageprozesse in der Einzel- und Kleinserienfertigung weisen ähnliche Abweichungen, wie die betrachteten Wartungs- und Reparaturarbeiten, zum Prozesstyp 2 auf. Daher ist davon auszugehen, dass MTM-UAS nur dann valide Ergebnisse in der Einzel- und Kleinserienfertigung liefert, wenn sich die hergestellten Produkte nur im geringen Maße unterscheiden und dadurch die Arbeitsplätze passend dem Arbeitsinhalten optimiert werden können.

3.3.4 Forschungslücke

Bezugnehmend auf die Ermittlung der Vorgabezeiten trotz unvollständiger Auftragsunterlagen, wurde in der angestellten Recherche keine Möglichkeit zur Anwendung bzw. momentan laufende Entwicklungsprojekte zur Anpassung von SvZ gefunden. Generell setzen SvZ immer genau definierte Ablaufabschnitte voraus, welche nur bestimmt werden können, wenn die Stücklisten vollständig und die Aufträge im Umfang und Ausführung abgeklärt sind. Zeitaufnahmen und Planzeiten liefern ebenfalls keine Möglichkeiten dieses Problem zu lösen. Einzig mögliche Abhilfe bilden wissensbasierte Systeme (z.B. CBR), die durch Abgleich mit Altaufträgen und neu generiertem Wissen (ML) die Vorgabezeiten schätzen können. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Qualität der Schätzung mit dem Grad der Vollständigkeit der Auftragsunterlagen steigt.

Im nächsten Kapitel wird das methodische Vorgehen zur Auswahl und Implementierung neuer zeitwirtschaftlicher Methoden inklusive Softwareunterstützung anhand eines Beispielunternehmens praktisch umgesetzt. Zusätzlich wird ein Ansatz zum Planen trotz unvollständiger Auftragsunterlagen entwickelt und somit versucht, die Forschungslücke für die Zeitwirtschaft zu schließen.

4 Betrachtung in der Praxis

Dieser Teil beschreibt im Allgemeinen die Vorgehensweise zur Steigerung der Effizienz und Genauigkeit der Ermittlung der Fertigungszeit für Unternehmen in der Klein- und Einzelerienfertigung. Damit die Zeitwirtschaft optimiert und auch die Interessen und Bedürfnisse betroffener Stakeholder (AnwenderInnen, Unternehmensbereiche u. a.) berücksichtigt werden können, wird zuerst eine Umfeld- und Anforderungsanalyse durchgeführt. Darauf aufbauend werden die Prozesstypen der einzelnen Fertigungsbereiche durch eine Produkt- und Prozessanalyse bestimmt. Anhand der Prozesstypen können sodann die passenden Methoden zur Vorgabezeitermittlung und anschließend die Softwareunterstützung der Zeitwirtschaft ausgewählt werden. Die Unterschiede der Produkte zweier Softwareanbieter und deren Anwendungsbereiche werden kurz erläutert und daraus die Potentiale zur effizienteren und somit ressourcenschonenden Vorgabezeitermittlung der Aufträge abgeleitet. Auf die Umsetzung einer automatischen regressiven Vorgabezeitermittlung wird bei der Anwendung von Softwareunterstützungen ebenfalls eingegangen. Die Optimierungspotentiale für die Zeitermittlung für Standardaufträge, sowie für Aufträge mit fehlenden Informationen, werden erläutert. Ebenfalls werden die zu erfüllenden Anforderungen an Prozesse und Software aufgelistet und deren wirtschaftlichen Vorteile aufgezeigt.

4.1 Vorgehensweise für eine Betrachtung in der Praxis und Identifikation der Optimierungspotentiale in der Zeitwirtschaft

Im ersten Schritt wird das Unternehmen und dessen Arbeitsweise strukturiert analysiert. Die Analyse wird an das MTO-Prinzip (siehe Abbildung 4) angelehnt. Dabei wird die Ist-Situation der aktuell im Unternehmen ablaufenden Prozesse untersucht und dokumentiert. Zusätzlich werden die Schnittstellen und Stakeholder der Zeitwirtschaft identifiziert. Ziel ist es, Informationen für die Optimierung der Zeitwirtschaft zu sammeln. Aus den gewonnenen Erkenntnissen der Ist-Analyse wird ein Anforderungskatalog für Methoden und Softwareanbieter erstellt, welches zur Auswahl der Methoden dient.

Als Methodik zur Informationsbeschaffung unternehmensrelevanter Daten werden Dokumentenanalyse sowie Experteninterviews empfohlen. Die Interviews werden mit Personen aus dem Top-Management bzw. Management der betroffenen Unternehmensbereiche geführt. Die Interviewpartner sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Personengruppe / Abteilung	Anzahl jeweils interviewte Personen	Dauer pro Interview
(Methode - in Vertretung für Vorstand)	1	1 h 45 min
Leitung IE (operativ)	2	1 h 30 min
Controlling	1	1 h
Vertrieb	1	1 h
Planung	7	1 h 30 min
Konstruktion	1	1 h
Fertigung (LeiterInnen)	8	1 h
Logistik	1	30 min

Tabelle 3: Interviewpartner und Dauer der jeweiligen Interviews

Dabei wurden die ablaufenden Prozesse, sowie die Kommunikations- und Datenschnittstellen dokumentiert. Außerdem wurden die Interviewpartner zusätzlich zu Problemen und Wünschen an die Zeitwirtschaft befragt, um die neuen Prozesse bestmöglich an die Wünsche der Stakeholder anzupassen. (Der verwendete Fragebogen ist als Vorlage im Anhang 12.4 angefügt.)

4.1.1 Umfeld- und Anforderungsanalyse

Es werden die Unternehmensziele, Organisationsstruktur und Unternehmensstrategie analysiert. Mittels einer durchgeführten Stakeholder Analyse werden allgemeine Informationen und Ziele von direkten und indirekten Stakeholdern für die Prozessoptimierung der Zeitwirtschaft gesammelt und festgehalten.

Ergebnisse aus Interviews

Das Unternehmensziel ist es, die Erzeugnisse perfekt an die Kundenanforderungen angepasst in höchster Qualität zu produzieren. Dabei werden Know-How und Erfahrungswerte aus bisherigen Aufträgen eingesetzt, um die Produkte gemeinsam mit den Kunden laufend weiterzuentwickeln und zu verbessern.

Das Unternehmen fertigt Blechteile und kleinere Dreh- und Frästeile im Haus, kauft aber zudem Komponenten von unterschiedlichen Lieferanten zu. Etwa 90% der Produktionstätigkeiten beruhen auf mechanischen und elektrischen Montagetätigkeiten. Dabei werden, soweit es möglich ist, Komponenten der Produkte in Linien gefertigt. Bei besonders aufwändigen Sonderanfertigungen wird jedoch das Produkt komplett an einem Standplatz montiert (Baustellenmontage). Die Produkte lassen sich in Teilprodukte unterteilen, welche später in Linie oder am Standplatz zum Enderzeugnis komplettiert werden. Jedes dieser Teilerzeugnisse wird in einem eigenen Fachbereich gefertigt, welcher von einem/einer FertigungsleiterIn und einem Produktionsplanungsteam geleitet wird.

Die ArbeiterInnen sind speziell auf die Teilerzeugnisse geschult und verfügen über weitreichende Fachkenntnisse. Somit können die Arbeitsaufgaben auch bei grober Beschreibung der Tätigkeitsabläufe durchgeführt werden. Bei eventuell aufkommenden Problemen wird gemeinsam mit den KonstrukteurInnen und ProduktentwicklerInnen während dem Montageprozess ad hoc nach Lösungen gesucht, um die Aufträge unter Einhaltung der Lieferzeiten fertigstellen zu können.

Die Schnittstelle zum Kunden bildet der Verkauf. Das Verkaufsteam bespricht die möglichen technischen Spezifikationen des Erzeugnisses in der Angebotsphase in direkt mit den Kunden. Dabei wird auf einen Konfigurationskatalog von Standardmodulen/-komponenten zurückgegriffen. Basierend auf den Katalog wird das Produkt kundenbezogen zusammengestellt. Die einzelnen Module können dann zusätzlich, nach interner Rücksprache mit der Konstruktionsabteilung, kundenspezifisch angepasst werden (ETO = Engineering to Order). Die Konstruktionsabteilung gibt das Angebot nach Abklärung technisch frei. Das finale Angebot wird darauffolgend vom Vertrieb an den Kunden übermittelt. Die Standard-Lieferzeiten können ebenfalls aus dem Konfigurationskatalog entnommen werden, welche von der Konfiguration des Produktes abhängen. Sollten technische Mehraufwände durch Neukonstruktionen entstehen, werden die Lieferzeiten mit den ProduktionsplanerInnen der jeweiligen Komponenten besprochen. Nach Auftragseingang werden die Produkte mittels eines 3D-CAD Programm an die Kundenwünsche angepasst und die Stücklisten in das ERP-System eingespielt.

Als bereichsübergreifende Organisationseinheit bilden die sogenannten AuftragsmanagerInnen die Schnittstelle zwischen Verkauf und Produktionsplanung der einzelnen Fertigungsbereiche. Sie erstellen, basierend auf dem Angebot, einen internen Werksauftrag (IWA) und verknüpfen diesen mit den jeweiligen Auftragsstücklisten. Basierend auf den Angeboten und den jeweiligen Stücklisten werden die tatsächlichen Auftragszeiten ermittelt. Ausgehend vom Liefertermin werden die Aufträge rückwärtsterminiert und somit die jeweiligen Montagestarts der dafür benötigten Komponenten festgelegt. Die Auftragszeit wird aus der Summe der Vorgabezeiten für die benötigten Komponenten ermittelt. Bei einigen Produkten kann es jedoch vorkommen, dass die Planung der Fertigung bereits vor Fertigstellung der 3D-Konstruktion erfolgen muss. Zusätzlich ist es möglich, dass der Kunde Komponenten beistellt und diese erst zum Montagezeitpunkt an der Linie bzw. zum Montageplatz angeliefert werden. Durch die Bereitstellung dieser Komponenten entstehen oftmals Planungsunsicherheiten, da die genaue Geometrie bzw. der Montagevorgang unbekannt ist und somit nicht von den internen ProduktionsplanerInnen bezeitet werden kann. Diese Montagetätigkeiten führen oftmals zu Zusatzaufwänden in der Montage, welche Sonderanfertigungen von Haltetaschen, Kabelführungen o. Ä. erfordern. Vorgabezeiten für Komponenten der Erzeugnisse werden mittels REFA Zeitaufnahme oder ROM ermittelt. In seltenen

Fällen, wie bei Sonderumfängen, kann es aufgrund fehlender Personalressourcen jedoch auch vorkommen, dass durch die ArbeitstechnikerInnen Vorgabezeiten für komplette Teilerzeugnisse geschätzt werden. Diese Schätzungen beruhen auf Erfahrungswerten des Planungsteams und werden ohne zusätzlicher Dokumentation zur Produktionsplanung herangezogen. Die ProduktionsplanerInnen der jeweiligen Fertigungsbereiche führen die Zeitanalysen eigenständig durch. Zur Zeitermittlung für die Aufträge gibt es kein standardisiertes, bereichsübergreifendes Vorgehen. Dies beruht auf der Tatsache, dass einige Teilerzeugnisse für bestimmte Produkte nahezu baugleich und die Vorgabezeiten bereits in den jeweiligen Stücklisten hinterlegt sind (Verwendung von ROM-Planzeitwerte). In der Blechverarbeitung werden Vorgabezeiten durch die aus Simulationsprogrammen ermittelte Belegungszeit der CNC-Maschinen und Addition mit Rüstzeiten ermittelt. Die Vorgabezeiten für die Endmontage der Teilerzeugnisse werden vorwiegend mit REFA Zeitaufnahme ermittelt. Dabei wird eine Zeitaufnahme für mehrere Produktvarianten durchgeführt und die gemittelte Zeit später als Vorgabezeit für ähnliche Produkte herangezogen.

Durch begrenzte Personalressourcen und große Varianten- und Produktvielfalt ist es nicht möglich, die Arbeitstätigkeiten für jedes Erzeugnis einzeln zu analysieren und die Vorgabezeiten zu ermitteln. Der Unternehmensführung ist bewusst, dass die tatsächlichen Ist-Zeiten für die jeweiligen Erzeugnisse dadurch von den Vorgabezeiten abweichen. Ziel ist es, die Zeitwirtschaft dahingehend zu verbessern, dass die Qualität der Vorgabezeiten bei gleichbleibender Anzahl an ProduktionsplanerInnen erhöht wird. Die Dokumentation der Zusammensetzung der Auftragszeiten muss verbessert werden und die angegebene Vorgabezeit soll für MitarbeiterInnen nachvollziehbar werden. Zusätzlich sollen bei Abweichungen der Ist-Zeit zur Auftragszeit Anpassungen der Prozesse oder Zeitanalysen zielgerichtet vorgenommen werden können. Für alle Unternehmensbereiche geltende Standards - bezogen auf die Dokumentation und Zeitermittlung - sollen mit Hilfe einer unterstützenden Software im Bereich der Zeitwirtschaft entwickelt und umgesetzt werden.

Das manuelle Zusammenfassen und Verknüpfen der Auftragsstücklisten mit den Vorgabezeiten im IWA soll in Zukunft mittels generisch regressiver Zeitermittlung (insofern für die Produkte bzw. Fertigungsbereiche wirtschaftlich anwendbar) erfolgen. Eine weitere Anforderung ist, dass die zeitwirtschaftliche Software in das im Unternehmen verwendete ERP-System integriert werden kann. Ein Systembruch in der Auftragsplanung, zum Beispiel durch manuell durchgeführte Zeitrechnungen und Übertragen der Werte in ein Planungssystem, gilt es zu vermeiden. Die Ergebnisse aus den Interviews sind zusätzlich in Tabelle 4 zusammengefasst.

Unternehmensziel	- Für Kunden maßgeschneiderte Produkte in höchster Qualität produzieren.
Fertigungs- und Beschaffungsprinzip	- Blechteile und kleinere Dreh- und Frästeile werden im Haus gefertigt
	- Zukauf von Komponenten (unterschiedliche Lieferanten)
	- 90% der Tätigkeiten: mechanische und elektrische Montage
	- Sonderanfertigungen auf Standplatz
Verkaufsprozess und Kundenkontakt	- Komponentenvormontage + Endmontage in Linie
	- Verkaufsteam hat Kundenkontakt
	- Produktkonfiguration und Angebotserstellung anhand Konfigurationskatalog
	- Lieferzeiten aus Konfigurationskatalog
AuftragsmanagerInnen	- Konstruktionsabteilung gibt Angebot technisch frei
	- Schnittstelle zwischen Verkauf und ProduktionsplanerInnen
Planung	- Erstellung IWA
	- Auftragszeit aus Konfiguration abgeleitet (Konfigurationskatalog)
	- Schwierigkeiten durch späte Entscheidungen durch Kunden
Zeitwirtschaft	- Schwierigkeiten durch kundenseitig bereitgestellte Komponenten
	- Methoden: REFA Zeitaufnahme, ROM, Schätzen, Simulationsprogramme (CNC)
	- Produktionsplaner führt Analysen durch
	- Kein Standard
	- Methodisch bedingte Zeitabweichungen der Analysen
	- Schwer nachvollziehbare Dokumentation
- Schwierigkeiten: hohe Variantenvielfalt, begrenzte Ressourcen	
	- Ziel: Qualität verbessern, Ressourcenaufwand minimieren, Dokumentation verbessern

Tabelle 4: Ergebnisse für Umfeld- und Anforderungsanalyse aus Interviews

Stakeholder Analyse

Basierend auf die Dokumentenanalyse und den Interviews wird eine Stakeholder Analyse durchgeführt, wobei die Stakeholder als Personengruppe bzw. als Organisationseinheit definiert werden und deren Einfluss auf das Projekt bewertet wird. Die Analyse, im Speziellen die Stakeholder Analyse, dient ebenfalls zum Feststellen der Projektrisiken, projektrelevanter Randbedingungen und Einflussfaktoren, aber auch Handlungsalternativen und Kommunikationsstrategien werden daraus abgeleitet.

Es werden die Stakeholdergruppen nach Relevanz und Auswirkungen auf die Umsetzung des Projektes bewertet und ein Maßnahmenkatalog erstellt. Dabei werden Strategien entwickelt, um die durch InteressensvertreterInnen entstehenden projektrelevanten Risiken vermeiden und positive Einflüsse (Chancen) verstärken zu können. In Tabelle 5 sind die relevanten Stakeholder im Beispielunternehmen

angeführt und bewertet. Die Tabelle und die Methodik wird nach dem von Patzak und Rattay beschriebene Verfahren durchgeführt (Patzak und Rattay 1998). Dabei wird in der Spalte „Einfluss“ die Möglichkeit der jeweiligen Stakeholder analysiert, die das Projekt maßgebend beeinflussen. Der Einfluss wird im Sinne der hierarchischen Ordnung bzw. der Entscheidungsmacht in Bezug auf zeitwirtschaftliche Prozesse bewertet. Die Gewichtungsspalten (*Gew.*) geben die Einstellung und die Auswirkung auf das umzusetzende Projekt für die jeweiligen Interessensgruppen an. Die Grundlage zur Bewertung der „Interessen“ und „Auswirkung auf das Projekt“ sind wiederum die geführten Interviews. In der Spalte „Interessen“ wird die Erwartungshaltung der einzelnen Stakeholder und die daraus abgeleiteten Interessen für die Einführung neuer zeitwirtschaftlicher Methoden und Software dokumentiert. Ist eine Stakeholdergruppe Befürworter des Vorhabens und decken sich die Interessen mit den allgemeinen Projektzielen, so wird die Gewichtung der Interessen mit „1“ bewertet. Neutral (Gewichtung = 2) gelten Interessensgruppen, wenn einerseits positive Aspekte durch die Neueinführung bzw. Überarbeitung von Methoden erkannt werden, andererseits aber das Argument des entstehenden Mehraufwandes durch die Einführung und dem Anlernen neuer Methoden und Software präsent ist. Negativ (Gewichtung = 3) wird eine Interessensgruppe bewertet, wenn eine grundsätzliche Ablehnung bzw. ein hoher Grad an Skepsis vorliegt (z.B. WerkerInnen-Abneigung gegen Ablaufvorschriften). Die Gewichtungspunkte für „Auswirkung auf Projekt“ werden angesichts der Möglichkeit das Projekt zu verzögern/verhindern, wenn deren Interessen nicht umgesetzt werden, bewertet. In den Beschreibungsfeldern werden für die Stakeholder die jeweiligen Interessen stichwortartig notiert. In der Spalte „Auswirkung auf Projekt“ werden mögliche Schnittstellen bzw. Entscheidungsstufen festgehalten, welche die jeweiligen Stakeholdergruppen nutzen können, um das Projekt zu beeinflussen.

Die Spalte *RPI* gibt den jeweiligen Risikoprioritätsindex der jeweiligen Stakeholder an und berechnet sich aus dem Produkt von Einfluss und den Gewichtungen. Je höher der RPI ist, desto höher ist das Risiko, dass diese Interessensgruppe das Einführen neuer Methoden der Zeitwirtschaft beeinflussen können. In der letzten Spalte sind die jeweiligen Maßnahmen bzw. Strategien angeführt, welche durch Kommunikation oder Gruppenarbeiten das Risiko der negativen Beeinflussung minimieren sollen.

Stakeholder	Einfluss (niedrig = 1, neutral = 2, hoch = 3)	Interessen (positiv = 1, neutral = 2, negativ = 3)		Auswirkung auf Projekt (schwach = 1, neutral = 2, stark = 3)		RPI	Kommunikation / Strategie
		Beschreibung	Gew.	Beschreibung	Gew.		
Vorstand	3	<ul style="list-style-type: none"> Steigerung der Produktivität Senkung der Herstellkosten Verminderung des gebundenen Kapitals Prozessoptimierung in Produktionsplanung und Montage 	1	<ul style="list-style-type: none"> Letzte Instanz in der Freigabe Bestimmt Budget 	3	9	<ul style="list-style-type: none"> Wirtschaftlichkeitsrechnung Amortisationszeit Aufzeigen der Vorteile
Industrial Engineering	2	<ul style="list-style-type: none"> Definition der Arbeitspakete Arbeitsplan Erstellung Zeitliche Bewertung der Arbeitstätigkeiten Informationen über Wertschöpfungsbeitrag Lokalisierung von Engpässen / Optimierungspotential 	2	<ul style="list-style-type: none"> Bestimmt benötigte Informationen Definition der Standards Verantwortlich für Umsetzung der Implementierung 	2	8	<ul style="list-style-type: none"> Einbinden in Auswahlverfahren
Controlling	1	<ul style="list-style-type: none"> Genauere Bewertungsgrundlage (Vor- und Nachkalkulation) Automatische KPI Auswertung 	1	<ul style="list-style-type: none"> Zentrale Auswertung von Zweitwirtschaft mit KPIs 	1	1	<ul style="list-style-type: none"> Informationen über Projektstatus
Vertrieb	1	<ul style="list-style-type: none"> Genau definierte Aufträge (alle Auftragsinformationen zum Planungszeitpunkt vorhanden) Genauere Planungsdaten Produktübergreifende Planungsstandards 	1	<ul style="list-style-type: none"> Strebt einfache Auftragsausschreibung an 	2	2	<ul style="list-style-type: none"> Projektupdates Workshop Auswahlprozess
Planung	3	<ul style="list-style-type: none"> Einfache und schnelle Bewertung von Arbeitsabschnitten (operative Zeitwirtschaft) Übersichtliche Dokumentation und Weiterverwendung von Zeitdaten Unternehmensweite Standards führen ev. zu Mehraufwand 	3	<ul style="list-style-type: none"> Muss Bewertungen durchführen Schulungen sind notwendig Abneigung gegen Mehraufwand Sympathisiert Weg mit geringstem Widerstand 	3	27	<ul style="list-style-type: none"> In Auswahlprozess einbinden Projektupdates senden Schulungen und Workshop
Konstruktion	1	<ul style="list-style-type: none"> Vermeiden von Mehraufwänden (vollständige Stücklisten, Bewertung von montagegerechter Konstruktion) 	2	<ul style="list-style-type: none"> Muss Stücklisten vervollständigen und dadurch Mehraufwand 	2	4	<ul style="list-style-type: none"> FMEA-Workshop Projektupdate
Fertigung (LeiterInnen)	2	<ul style="list-style-type: none"> Bessere Ressourcenplanung Optimierung Montageprozesse 	2	<ul style="list-style-type: none"> Motivation zur Umsetzung an MitarbeiterInnen Stehen kürzere Vorgabezeiten sehr kritisch gegenüber Angst vor Ressourcenüberbelastung 	3	12	<ul style="list-style-type: none"> Einbindung in das Projekt durch Befragungen/Interviews Einbindung in Auswahlprozess Workshop Projektupdates senden
Fertigung (WerkerInnen)	2	<ul style="list-style-type: none"> Handlungsfreiheit in Montagetätigkeiten (Selbstbestimmung der Montagereihenfolge, insofern möglich) 	3	<ul style="list-style-type: none"> Stehen Vorgabezeiten negativ gegenüber Fühlen sich unter Druck gesetzt Verliert Motivation Will Entscheidungsfreiheit haben 	2	12	<ul style="list-style-type: none"> Gehör schenken Projekt auf Basis ihrer Aussagen kommunizieren Projektupdates senden Fertigungsbereichsleiter um Informationsweitergabe bitten Dokumentation verständlich aufbereiten
Kunden	1	<ul style="list-style-type: none"> Liefertreue Maßgeschneiderte Produkte in hoher Qualität Flexibilität (nachträgliche Änderungen, Beistellungen) Niedriger Verkaufspreis 	1		1	1	
Betriebsrat	3	<ul style="list-style-type: none"> Interessensvertreter der ArbeiterInnen Zeitdruck durch Vorgabezeiten vermeiden Physisches und psychisches Wohl der ArbeiterInnen Einhaltung von Betriebsvereinbarungen und Gesetzen 	3	<ul style="list-style-type: none"> Arbeitnehmer-vertretung Überprüft Methoden auf Einhaltung der Gesetze und Betriebsvereinbarungen (Verteilzeiten usw.) 	3	27	<ul style="list-style-type: none"> Richtlinien beachten Bewertungsmethode und Struktur präsentieren Auswirkungen präsentieren Dokumentationsstandard präsentieren
Logistik / Mat.wirtschaft	1	<ul style="list-style-type: none"> Optimierung Materialfluss durch genaue Bedarfsdaten 	1	<ul style="list-style-type: none"> Eingeschränkter Platzbedarf Befürchtet öfter Material an den Montageplatz zu bringen 	2	2	<ul style="list-style-type: none"> Projektpräsentation

Tabelle 5: Stakeholder Analyse

4.1.2 Prozess- und Produktanalyse

Ergänzend zu der Umfeld- und Anforderungsanalyse wird nun der Fokus auf die im Unternehmen ablaufenden Prozesse und Produktvarianten gelegt. Ergebnis dieser Analysen werden Prozessschaubilder der Auftragserstellung und die Bestimmung der Prozesstypen der einzelnen Fertigungsbereiche/Arbeitsplätze sein.

Basierend auf den in Kapitel 4.1.1 durchgeführten Interviews und der Dokumentenanalyse werden nun einige Aufträge bis zur Erstellung der IWAs begleitet und die Prozesse dokumentiert. Dabei werden Tätigkeiten, Dokumenttypen und Informationsflüsse festgehalten. Die Ist-Situation betreffend der Prozessschritte von der Kundenanfrage bis zur IWA Erstellung inklusive Auftragszeiten ist in Abbildung 36 schematisch dargestellt. Aus dem erstellten Schaubild ist ersichtlich, dass bis zur IWA Erstellung unterschiedliche Stufen in verschiedenen Unternehmensbereichen durchlaufen werden. Dabei ist vor allem anzumerken, dass aktuell keine einheitliche Software verwendet wird. Customer Relationship Management (CRM) wird durch den Vertrieb in Microsoft Dynamics CRM verwaltet, die Konfiguration und Planung der Projekte erfolgen in „Tacton“ und werden abschließend in das ERP-System SAP übertragen. Dabei werden vorwiegend Excel- und PDF-Dokumente zur Informationsweitergabe verwendet. Das Übertragen der Daten in den jeweils folgenden Prozessschritten erfolgt manuell und erfordert somit großen Zeitaufwand bei gleichzeitiger Fehleranfälligkeit durch Übertragungsfehler.

Die Vorgabezeiten werden, wie bereits angesprochen, mit REFA Zeitaufnahme oder ROM ermittelt (siehe Abschnitt 3.1). Der fehlende Standard, der auf die Produkt- und Variantenvielfalt zurückzuführen ist, spiegelt sich vor allem in der unterschiedlichen Berechnung der Auftragszeit der jeweiligen Fertigungsbereiche wider. Die Blechfertigung und mechanische Fertigung nutzt zur Bestimmung der benötigten Fertigungszeit Simulationsprogramme, welche ohnehin genutzt werden, um die CNC (Computerized Numerical Control) gesteuerten Maschinen zu programmieren. Fertigungsabteilungen, in denen Komponenten vormontiert werden, weisen, verglichen mit der Endmontage, standardisierte und gleiche Arbeitsabläufe auf, weshalb die Vorgabezeiten der ArbeiterInnen mit ROM berechnet und direkt im ERP-System mit den jeweiligen Stücklisten verknüpft sind. In Bereichen der Endmontage der Produkte sind die Tätigkeiten und Montageumfänge stark unterschiedlich und müssen daher von den ProduktionsplanerInnen mit hohem Aufwand ermittelt werden. Wie bereits angesprochen, müssen eventuell vom Kunden beigestellte und erst kurz vor Montage angelieferte Komponenten verbaut werden, aber auch neue Kombinationen von intern produzierten Teilerzeugnissen führen zu unbekanntem Montagetätigkeiten. Den PlanerInnen bleibt daher oftmals nur das Schätzen der Vorgabezeiten für die betroffenen Tätigkeiten. Aufgrund des fehlenden Wissens über die notwendigen Arbeitsinhalte führt das Schätzen zu nicht dokumentierten und daher

nicht nachvollziehbaren Zeitwerten. Dies ist jedoch durch die kostengünstige und schnelle Anwendung eine gängige Bestimmungsart (Jodlbauer et al. 2005).

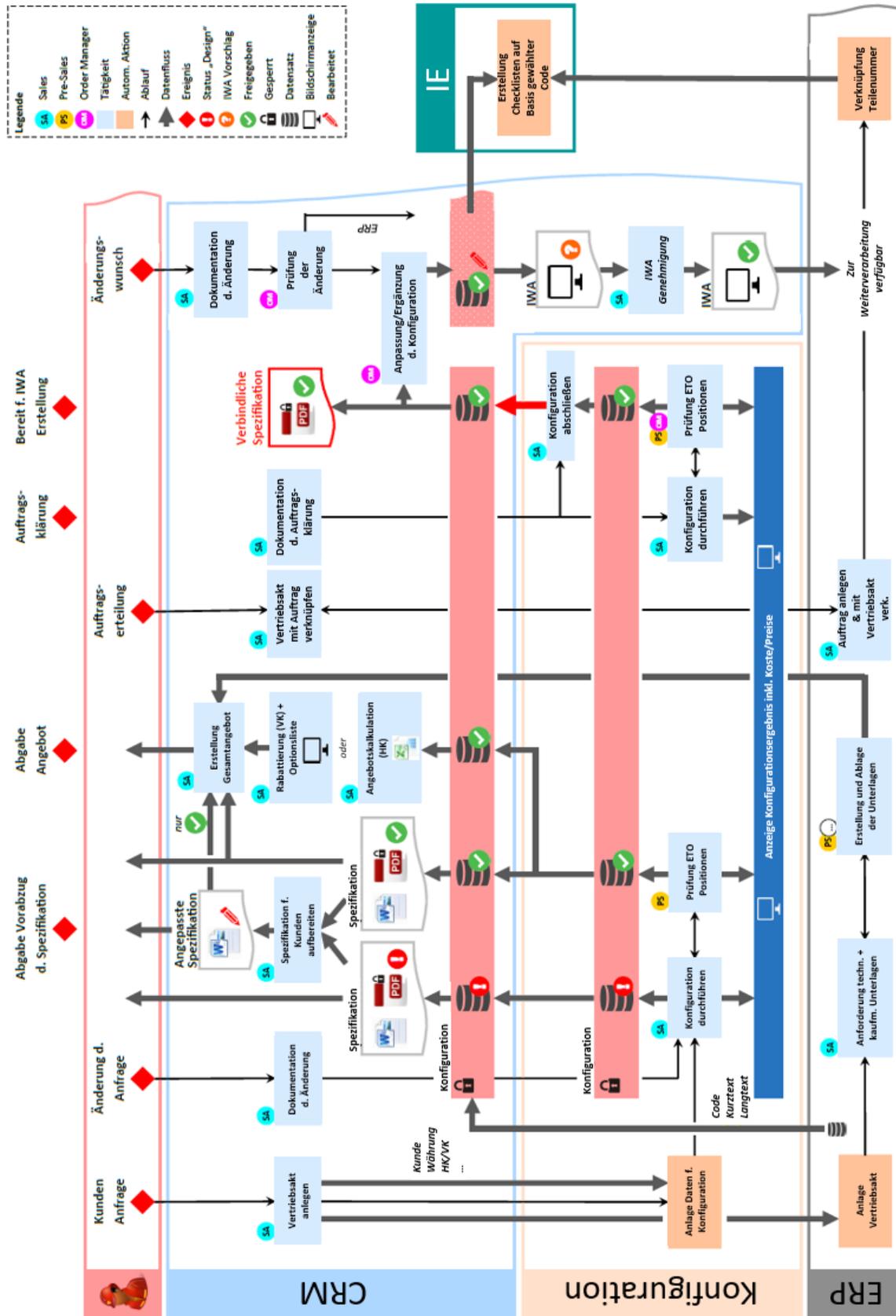


Abbildung 36: Prozessschaubild Kundenanfrage bis IWA

Die Produktanalyse zielt auf die Definition der Prozesstypen und damit einhergehend dem Methodenniveau der einzelnen Fertigungsbereiche ab. Dabei wird nach den in Kapitel 2.2 definierten Kriterien vorgegangen. Die Fertigungsbereiche werden nach den in Abbildung 37 angeführten Kategorien bewertet und den Prozesstypen zugeordnet. Die Kriterien zur Prozesstypbestimmung (Zyklisch, Ablauf, Arbeitsplatz, Versorgung, Arbeitsweise) werden um die Arbeitsteilung und Prozesssicherheit erweitert. Damit kann nicht nur für MTM-Methoden, sondern auch für andere Bewertungsmethoden (siehe Kapitel 3.1) die Anwendbarkeit überprüft werden. Die Definition der Fertigungsprinzipien als Kriterium hilft im Weiteren der Zuordnung der Prozesstypen, da sich aufgrund der Merkmalsbeschreibungen Prozesstypologien nicht klar unterscheiden lassen (Bokranz 2012).

Fertigungs- verfahren	Werkstattfertigung	
	Baustellenfertigung	
	Gruppen-, Inselfertigung	
	Fließfertigung	Reihenfertigung
Fließbandfertigung		
Fertigungs-/ Montageprinzip	Einzelfertigung	
	Serienfertigung	
	Massenfertigung	
	Sorten-, Partie- und Chargenfertigung	
Arbeitsplatz	für eine definierte Produktvariante	PrVa
	für definiertes Produktspektrum	PrSp
	für nahezu beliebige Prozesse und Produktvarianten	Bel
Versorgungs- prinzip des Arbeitssystems	Bringprinzip	
	Holprinzip mit Bereitstellung	
	Holprinzip	
Zyklisch	hoch	
	mittel	
	keine	
Arbeitsteilung	gering	
	mittel	
	hoch	
Arbeitswei- senstreuung	hoch	
	mittel	
	gering	
Ablauf- information	Bewegungsablauf (Grundbewegungen)	
	Teilablauf (Rahmenbedingungen des Prozesses)	
	Gesamtablauf (Rahmenbedingungen des Prozesses)	
Prozess- sicherheit	hoch	
	mittel	
	gering	

Abbildung 37: Bewertungskriterien Fertigungsbereiche (Vgl. Bokranz 2012)

Unabhängig der Fertigungsbereiche sind die Arbeitsplätze mit den jeweils benötigten Werkzeugen und Handhabungsgeräten bzw. Montagehilfen möglichst nahe am Montageplatz ausgestattet. Materialien und zu verbauende Komponenten werden in Kanban-Regalen, für Norm- und Kleinteile (Bringprinzip nach Supermarkt-System) oder auf definierten Anlieferplätzen (Holprinzip mit Bereitstellung) zum Beginn des jeweiligen Taktes bereitgestellt.

Für die Fertigungsbereiche Schweißerei, Blechfertigung und mechanische Vorfertigung werden keine Prozesstypen vergeben, da vorwiegend maschinelle Arbeit auftritt und die Zeiten aus Simulationen erhalten werden. Fokus liegt auf den Fertigungsbereichen mit menschlicher Arbeit. Bei Prozesstypen mit nachstehendem Minuszeichen (vgl. *Vormontage 1*, Abbildung 38) wird darauf hingewiesen, dass in diesen Bereichen vor allem die Analyse der darin ablaufenden Arbeitsvorgänge durch aktuell geringe Qualität der Arbeitspläne oder unvollständige Stücklisten erschwert wird.

Für Fertigungsbereiche mit vorab nicht exakt bestimmbar Arbeitsfolgen ist das Versorgungsprinzip „Holprinzip“ notwendig. Die für die Montage benötigten Gehwege und Materialien sind zum Zeitpunkt der Analyse nicht definierbar. Dadurch können die Montagetätigkeiten nicht beschrieben und folge dessen kein Methodenniveau festgelegt werden.

Im Allgemeinen lassen sich die Fertigungsbereiche allesamt maximal im Übergangsbereich von Prozesstyp 2 auf Prozesstyp 3 einordnen, die meisten sind dem Prozesstyp 3 zuzuordnen. (Definition der Prozesstypen siehe Kapitel 2.2.3.)

Fertigungs-bereiche	Losgröße	Stückzahl p.a.	Stücklisten Vollständigkeit	Grad der Arbeitsteilung	Fertigungs- verfahren	Fertigungs-/ Montageprinzip	Arbeitsplatz	Versorgungsprinzip des Arbeitssystems	Zyklus	Arbeitsbelastung	Ablaufinformation	Prozesssicherheit	Qualität Arbeitspläne	Prozesstyp
Vormontage 1	1 (seiten bis 4)	50	90%	mittel	Reihenf.	Einzel.	PrSp	Holprinzip mit Bereitstellung	mittel	mittel	Gesamtablauf	mittel / hoch	niedrig	3-
Sonder Vormontage 1	1	5-15	50%	mittel	Werkstattf.	Einzel.	Bel	Holprinzip	gering	hoch	Gesamtablauf	gering	niedrig	-
Endmontage Produkt 1	1, ev. 2	30	60-70%	mittel	Baustellenf./ Werkstattf.	Einzel.	Bel	Holprinzip mit Bereitstellung / Holprinzip	gering	hoch	Teilablauf	gering	gering/ mittel	-
Schweißerei					Werkstattf.	Einzel.							hoch	
Blechfertigung					Werkstattf./ Reihenf.	Sortenf.	PrSp / Bel	Holprinzip / Holprinzip mit Bereitstellung	mittel	mittel / gering	Teilablauf	mittel / hoch	hoch	
mech. Vorfertigung					Baustellenf.	Sortenf.							hoch	
Modullinie	von 1-12	280	95%	gering/mittel	Reihenf.	Einzel.	PrSp	Holprinzip mit Bereitstellung	mittel	gering	Gesamtablauf	gering / mittel	mittel	3-
Chassis	1-20	50	80-100%	gering/mittel	Reihenf.	Einzel.	PrSp	Holprinzip mit Bereitstellung	mittel	gering	Gesamtablauf	gering / mittel	mittel	3-
Endmontage Produkt 2	1-2	50	80%	mittel	Baustellenf. / Werkstattf.	Einzel.	Bel	Holprinzip mit Bereitstellung	keine	mittel	Teilablauf	hoch	gering	-
Fertigstellung Produkt 2		121			Baustellenf. / Werkstattf.	Einzel.	Bel	Holprinzip mit Bereitstellung / Holprinzip	keine	hoch / mittel	Gesamt		gering	-
Nacharbeitsplätze					Baustellenf.	Einzel.		Holprinzip					gering	-
Vorbereitungsplatz	10	3000	98%	gering	Baustellenf. / Reihenf.	Serienf.	PrSp / PrVa	Holprinzip mit Bereitstellung	keine	mittel / (hoch)	Teilablauf	mittel	mittel	2-3
Vormontage 3	1	1500	95%	mittel	Baustellenf. / Linie wird teilweise angestrebt	Einzel.	PrSp	Holprinzip mit Bereitstellung	keine / mittel	mittel	Teilablauf	mittel	mittel	3

Abbildung 38: Bewertung nach Prozesstypen der Fertigungsbereiche⁷

Die hergestellten Produkte weisen keine geschlossenen Stücklisten und Variantenbäume auf. Durch die Kundenanpassungen werden laufend weitere Varianten der Erzeugnisse generiert, welche von den AuftragsmanagerInnen und ProduktionsplanerInnen dann bezüglich der Fertigungszeiten neu analysiert werden müssen. Die Varianten der Komponentenvormontage unterscheiden sich dabei oftmals nur in Materialausführungen einzelner zu montierenden Teile (z.B. Grundgestell aus Aluminium oder aus Stahl), die Montageschritte selbst sind allerdings gleich. Auch führt eine Dimensionsänderung eines einzelnen Bauteils von Produkten zur Erzeugung einer neuen Variante. Sobald ein neuer Auftrag mit neuer Variantennummer der zu assemblierenden Komponenten bei den PlanerInnen

⁷ Die Fertigungsbereiche wurden in einem realen Unternehmen analysiert und für diese Arbeit auf Wunsch des Unternehmens anonymisiert.

eingeht, muss die gesamte Analyse neu überarbeitet bzw. kontrolliert werden, um die jeweilige Vorgabezeit zu ermitteln. Zum Verdeutlichen der Variantenbildung wird die Modullinie herangezogen. Die Module werden vom Kunden über 21 unterschiedliche Parameter, welche die Abmessungen wie Produktlänge, Produkthöhe und unterschiedliche Ausstattungsvarianten berücksichtigen, definiert. Werden alle möglichen Parameterkombinationen berücksichtigt, so führt dies zu über 1,3 Milliarden möglichen verschiedenen Ausführungen.⁸

Eine Analyse der Qualität der ermittelten Vorgabezeiten wird für jeden Fertigungsbereich durchgeführt. Dabei wird die von den MonteurlInnen benötigte Ist-Zeit zum Herstellen der Produkte den jeweiligen ermittelten Vorgabezeiten gegenübergestellt und die prozentuelle Abweichung dokumentiert. Diese Abweichung dient zum Veranschaulichen der Qualität der Vorgabezeitermittlung.

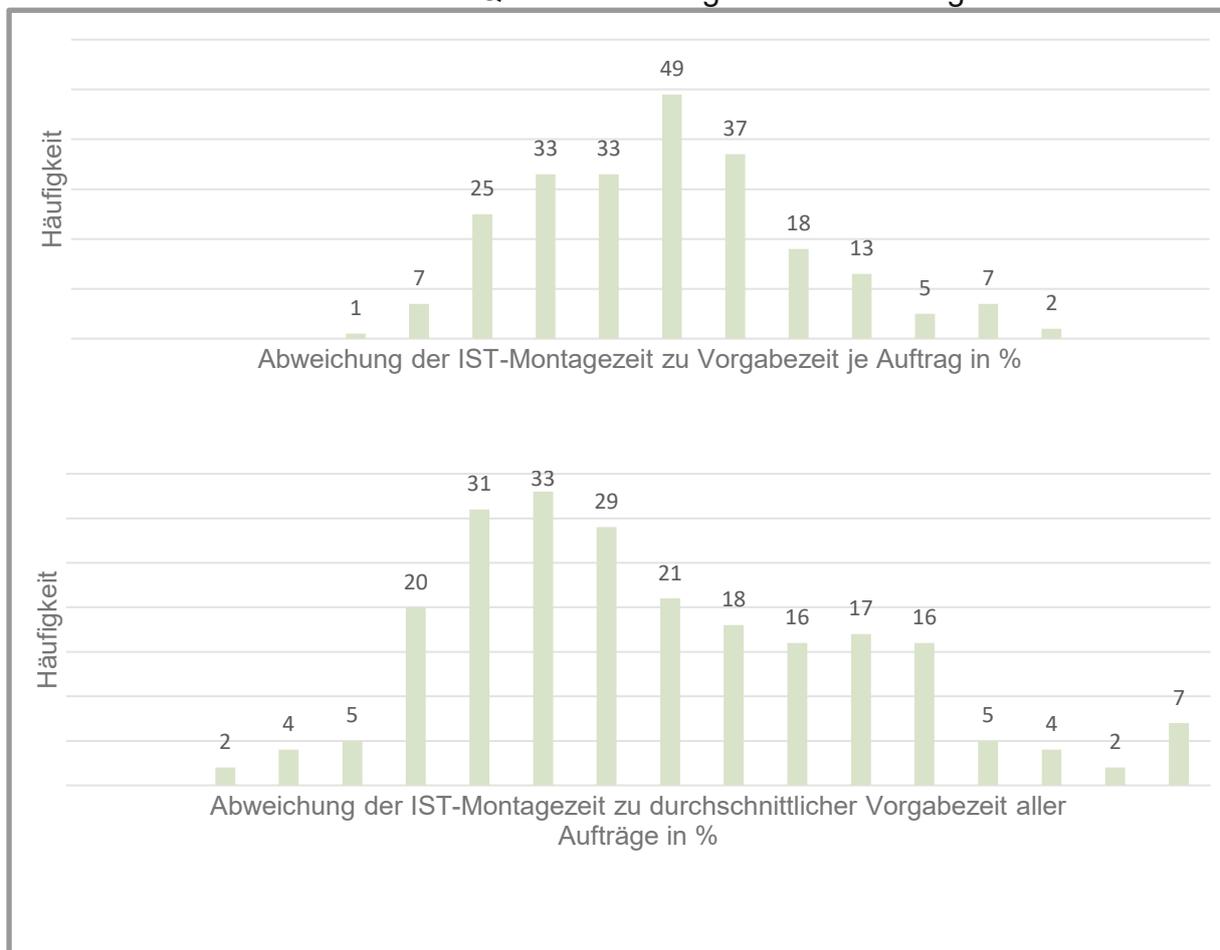


Abbildung 39: Prozentuelle Abweichung der Ist-Zeit zu Vorgabezeit und Ist-Zeit zu durchschnittlicher Vorgabezeit (Modullinie)

Die aktuell im Unternehmen verwendete Methode *ROM* weist bei methodisch korrekter Anwendung einen Vertrauensbereich von 5% auf. In Abbildung 39 ist ersichtlich, dass

⁸ Im Weiteren wird zur Demonstration der Lösungsansätze der Fertigungsbereich Modullinie herangezogen, die Umsetzung erfolgt für alle anderen Bereiche analog.

aus den im letzten Geschäftsjahr erzeugten Modulen (230 Module, Losgröße 1, 144 Varianten) lediglich 110 Aufträge eine Abweichung kleiner 5% aufweisen. Für 120 Aufträge, weicht die benötigte Montagezeit mehr als 5% von der ermittelten Vorgabezeit ab. Da die Ausgleichszeit von ROM 650 min beträgt, die bewerteten Arbeitsfolgen jedoch deutlich kürzer sind, lassen sich die großen Abweichungen der 120 Aufträge erklären. Die Auswertung wurde ohne Berücksichtigung von Nacharbeit-Arbeitsgängen durchgeführt. Auch die Analyse der Abweichung der jeweiligen Ist-Zeiten, bezogen auf die durchschnittliche Auftragszeit aller betrachteten Aufträge (1455,73 min), zeigt eine deutliche Streuung der Fertigungsaufträge. Die aktuelle Taktzeit beträgt 6,5 h (390 min) bei einer Linienfertigung mit vier Stationen, also einer Kapazität von 1560 min. Als Maß für die Ausgeglichenheit des Fließsystems bzw. der mittleren Auslastung der Stationen wird die Kennzahl des Bandwirkungsgrades herangezogen. Die Formel zur Berechnung ist in Formel 3 ersichtlich, wobei ST den Stationen, t_e der durchschnittlichen Fertigungszeit der jeweiligen Station ST , t_T der Taktzeit und T der gesamten mittleren Auftragszeit entspricht.

$$B_w = \left(\frac{\sum_{ST=1}^n t_e}{n * t_T} \right) * 100\% = \left(\frac{T}{n * t_T} \right) * 100\% = \left(\frac{1455,73 \text{ min}}{4 * 390 \text{ min}} \right) * 100\% = 93,3\%$$

Formel 3: Bandwirkungsgrad (Bokranz 2012)

Für die Produktionsplanung ist es essenziell, dass die Summe der Vorgabezeiten von Arbeitsgängen, welche auf einem Arbeitsplatz bzw. einer Station einer Linie gefertigt werden, unter der Taktzeit liegt. Liegen, wie in dem Fall der Modullinie, die Ist-Zeiten über der Vorgabezeit, kann die Linie nicht optimal ausgetaktet werden und daraus resultierend treten Überbelastungen der Ressourcen auf. (Boysen et al. 2007) Durch die großen Abweichungen der Auftragszeiten der einzelnen Module kann der hohe Bandwirkungsgrad ohne Überlastung der MitarbeiterInnen nur durch gute Austaktung und Planung der ProduktionsplanerInnen erreicht werden. So werden in der Linie immer abwechselnd Aufträge mit überdurchschnittlichen und Aufträge mit unterdurchschnittlichen Vorgabezeiten alternierend eingeplant. Treten nicht planbare Ereignisse, z.B. Mehraufwand durch fehlerhafte Teile, ein, so steht der Linie ein/e MitarbeiterIn als Springer zur Verfügung, damit die Taktzeiten trotzdem eingehalten werden können.

4.1.3 Potentiale zur Minimierung des Analysieraufwandes und Steigerung der Analysequalität

Die durchgeführten Analysen zeigen, dass bereits Methoden zur Vorgabezeitermittlung verwendet werden, sich jedoch die benötigten Montagezeiten signifikant von den ermittelten Auftragszeiten unterscheiden (siehe Abbildung 39). Verlässliche Sollzeiten zu ermitteln ist nicht nur ein Ziel des Industrial Engineerings, sondern eine wichtige Voraussetzung für das Funktionieren von unterschiedlichen

Unternehmensbereichen und deren Planungsinstrumenten, wie beispielsweise dem Anlauf- und Verbesserungsmanagement oder der Personalbedarfsermittlung (Bokranz 2012). Obwohl die einzelnen Fertigungsbereiche der Fertigungslinien bzw. Arbeitsplätze bestmöglich an die Arbeitsinhalte angepasst und optimiert sind, herrscht durch die hohe Variantenvielfalt ein zu geringer Standard in den Montagetätigkeiten, um diese mit REFA Zeitaufnahmen und ROM-Planzeitkatalogen adäquat zu erfassen. Sowohl die Zeitaufnahmen als auch die ROM-Analysen beziehen sich auf einen speziellen Montageablauf. Die Arbeitstätigkeiten werden sequenziell erfasst und bewertet. Weicht nun die Montagereihenfolge oder die Konfiguration bzw. Teilegeometrie der zu montierenden Teile von den Analysen ab, so kommt es unweigerlich zu Abweichungen in der Auftragszeit. Eine genaue Analyse und zeitliche Bewertung jeder Arbeitsfolge ist einerseits aufgrund der beschränkten Personalressourcen und andererseits durch die im Vergleich zur Tätigkeitszeit deutlich höheren Analysezeit nicht möglich bzw. wirtschaftlich. Durch die fehlenden Standards in der Vorgabezeitermittlung, resultierend aus den unterschiedlichen Zeitaggregationsverfahren der Fertigungsbereiche und aus der fehlenden Dokumentation der Zusammensetzung der Vorgabezeiten eines Auftrages, sind die Analysen kaum reproduzierbar. Zusätzlich ist durch die fehlenden Informationen aus den Analysen eine zielgerichtete Optimierung von Arbeitsplätzen äußerst schwierig bis gar nicht möglich.

Qualität – Bedeutung in der Zeitwirtschaft

Wichtig ist, bevor Potentiale zur Qualitätssteigerung diskutiert werden, den Begriff *Qualität* zu erläutern. Qualität wird definiert als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt.“ (DIN EN ISO 9000) Ein Objekt entspricht in diesem Fall einem Prozessbaustein der Zeitwirtschaft. Die von den Bausteinen zu erfüllenden Anforderungen werden anhand von Qualitätsmerkmalen definiert. Die Qualitätsanforderungen für Prozessbausteine, welche sich in der heutigen Zeitwirtschaft als von der Industrie geforderten Anforderungen etabliert haben, werden in Abbildung 40 zusammengefasst. Die Qualität ist umso höher, je mehr Anforderungen übertroffen werden. Der Begriff beschreibt aber nur, inwieweit die selbstdefinierten, oder von jemand anderem definierten Qualitätsanforderungen erfüllt werden (Bokranz 2012).

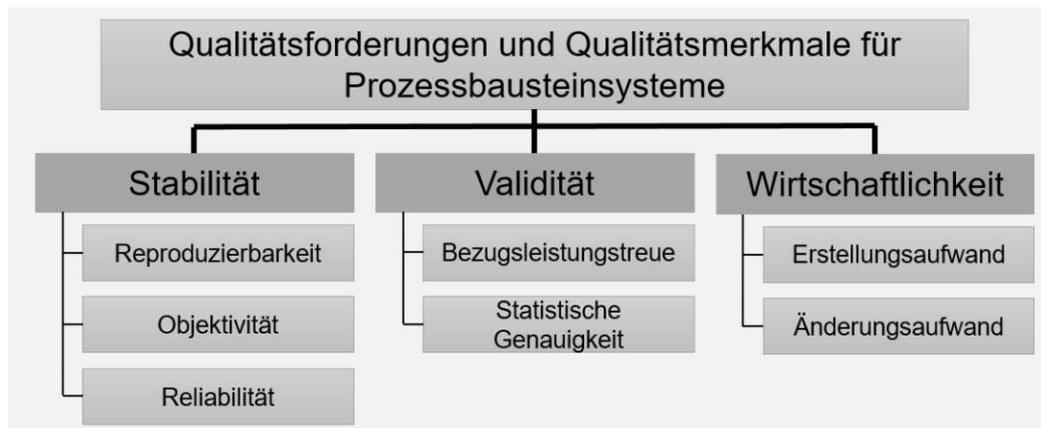


Abbildung 40: Qualitätsanforderungen und Qualitätsmerkmale Prozessbausteine (Vgl. Bokranz 2012, S. 394)

Die Reproduzierbarkeit ist umso höher, je besser die Anwendungsbereiche und Anforderungen zur Anwendung beschrieben sind. Objektivität (Vergleichbarkeit, interpersonelle Stabilität) liegt vor, wenn die Prozessbausteine nur für einen klar definierten Zweck verwendet werden, also von unterschiedlichen Anwendern zur Analyse der gleichen Problemstellung Anwendung finden. Reliabilität (Wiederholbarkeit, intrapersonelle Stabilität) ist gegeben, wenn die Prozessbausteine bei Mehrfachverwendung unterschiedlicher AnwenderInnen immer wieder gleich verwendet werden. Unter Bezugsleistungstreue wird verstanden, dass alle Bausteine eines Bausteinsystems derselben Bezugsleistung entsprechen. Dies stellt für ErstellerInnen der Bausteine vor allem bei Auftreten unterschiedlicher Prozessstypen und Kombination unterschiedlicher Bewertungsmethoden eine Herausforderung dar. Die statistische Genauigkeit bezieht sich zum einen auf die Abweichung zwischen dem wirklichen Zeitbedarf für einen Bewegungsvollzug und der ermittelten Vorgabezeit und zum anderen auf die Systemabweichung. Die Systemabweichung ist die Zeitabweichung zwischen zwei unterschiedlich stark verdichteten, aber demselben System entsprechenden Methoden (z.B. MTM-1 und MTM-AUS), welche den gleichen Vorgang beschreiben. Ein weiteres wichtiges Maß für die Systemabweichung ist die Ausgleichszeit, welche einer Zeitdauer entspricht, die die Prozessbausteine mindestens abdecken müssen, um die gleiche Genauigkeit wie die feinste Bewertungsmethode des jeweiligen Systems zu erreichen. Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit von Prozessbausteinen sind abhängig von unternehmensinternen Einstufungen und können nicht generell definiert werden. (Bokranz 2012)

Zeitwirtschaft kann auch ohne IT-Unterstützung betrieben werden, jedoch müssen Einschränkungen in der Wirksamkeit in Kauf genommen werden. Durch die Anwendung von Softwareunterstützung in der Zeitwirtschaft können viele Anwendervorteile generiert werden. Wird beispielsweise das volle Produktspektrum und Potenzial von IT-Unterstützung mit den Softwarepaketen von DCM-ortim GmbH genutzt, ergeben sich, verglichen mit den konventionellen Methoden, enorme Zeiteinsparungen in den einzelnen Bewertungsphasen (siehe Abbildung 41).

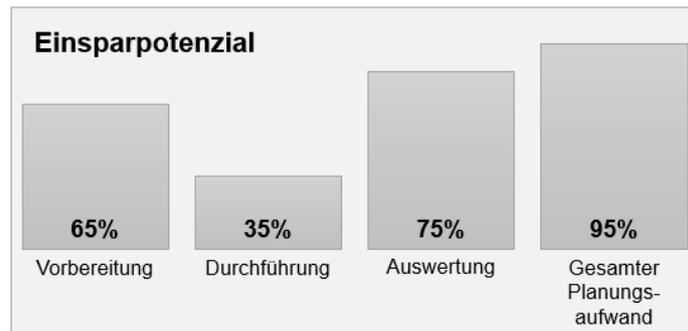


Abbildung 41: Einsparpotenzial durch DMC-ortim (vgl. DMC - ortim GmbH 2020)

MTM bietet mit der Software TiCon sogar die Möglichkeit, die komplette Produktionsplanung inklusive Zeitwirtschaft mit TiCon abzuwickeln. Die dafür mindestens benötigten Erweiterungspakete der Software sind in Abbildung 42 ersichtlich. Dabei nutzt TiCon die Informationen aus den einzelnen Benutzereingaben und Definitionen. Daraus leitet es beispielsweise automatisch ein Produktionsprogramm ab, wobei es auf gleichmäßige Austaktung der Arbeitsstationen Rücksicht nimmt.



Abbildung 42: TiCon Produktübersicht (Franz Coriand, Thomas Schranz 14.06.2021)

Um die Abweichung der Ist- zur Vorgabezeit zu vermindern und somit die statistische Genauigkeit zu erhöhen, werden Methoden ausgewählt, welche keine sequenziellen Ablaufanalysen der Tätigkeiten nutzen, sondern zu beliebig langen Ablaufabschnitten zusammengesetzt werden können. Dadurch soll es möglich sein, Prozessbausteine zu verwenden, welche für unterschiedliche Tätigkeiten angewendet und durch Nutzen von Formeln und Regeln an die zu analysierende Arbeitsaufgabe angepasst werden können. Z.B. sollen Bausteine in Analysen verwendet werden, die durch lineare Regressionsrechnung und eingegebene Parameter die Vorgabezeiten errechnen. Besonders gut eignen sich hierfür Tätigkeiten wie das Reinigen von Oberflächen, Anbringen von Dichtungen oder Kantenschutzprofilen oder Einschrauben von Schrauben in Bohrbilder. Beim Erstellen der Prozessbausteine muss auf die Ausgleichszeit der jeweils verwendeten Methoden geachtet werden. Nur dann werden auch Ergebnisse in guter Qualität erzielt. Je mehr Tätigkeiten in Prozessbausteinen

produktbezogen zusammengefasst werden können, desto schneller lassen sich neue Aufträge durch weniger Analysezeilen bewerten. Der Fokus der ArbeitstechnikerInnen kann somit nur auf die zeitbestimmenden Arbeitstätigkeiten gelegt werden.

Außerdem ergeben sich durch die Einführung und Nutzung von Softwareunterstützung zusätzliche zukunftssträchtige Vorteile. Durch Verwendung von regel- bzw. formelbasierter Zeitbausteine, welche bereichsübergreifend und standardisiert verwendet werden, können Fehler in der Analyseerstellung vermieden werden.

Die Digitalisierung und Vernetzung, ganz im Sinne von Industrie 4.0, schreitet voran. Dass dieser Trend auch in deutschen Unternehmen Einzug gehalten hat, zeigen zwei Studien aus den Jahren 2014 und 2016 (Bauer et al. 2015; Bauer et al. 2016). Daraus geht hervor, dass bereits über 50% der befragten Unternehmer eine Industrie-4.0-Strategie im Unternehmen verfolgen, 2014 waren es noch 45%. Die Veröffentlichung aus 2016 zeigt, dass Unternehmen vor allem in den Bereichen der Fertigung, Produktionsplanung und -steuerung, Montage und Logistik Anwendungen aus Industrie 4.0 umgesetzt haben. Dabei konzentrieren sich die Betriebe, neben der Digitalisierung und Vernetzung von Betriebsbereichen, auch auf die Schaffung von Standards bei der Datenqualität und Bewertung von Best Practices. (Bauer et al. 2016) Nicht nur zur Digitalisierung und Vernetzung, sondern vor allem auch in der Entwicklung und Aufrechterhaltung von Standards kann eine Verwendung von Softwareunterstützung in der Zeitwirtschaft positiv beitragen. Durch die direkte Anbindung an ein ERP-System können Daten und Informationen bereichsübergreifend verwendet werden. Gleichzeitig wird durch standardisierte Datenkarten und Prozessbausteine eine einheitliche Analyseerstellung für alle Fertigungsbereiche gewährleistet. Die Analysen werden zentral gespeichert und können von anderen Abteilungen weiterverwendet werden (vgl. Abbildung 6). Auch die Zeitwirtschaft kann durch Schnittstellen zu anderen Unternehmensbereichen profitieren. So könnten durch eine Schnittstelle zur Konstruktion und bei Verwendung von regel- bzw. formelbasierten Zeitbausteinen die Konstruktionsdaten direkt zur Analyseerstellung genutzt werden. Auch können eventuell zu einem späteren Zeitpunkt zum Einsatz kommende Assistenzsysteme in der Montage und Logistik von der standardisierten Dokumentation der Analysen und zentralen Ablagen von bereichsübergreifenden Informationen profitieren. Zusammenfassend muss aber klar hervorgehoben werden, dass nur eine Implementierung von Softwaretools zur Unterstützung der Zeitwirtschaft nicht als Projekt im Sinne von Industrie 4.0 angesehen werden kann. Jedoch bilden die Nutzung einer solchen Software und der daraus entstehenden Vorteile (Standardisierung, Datenspeicherung, usw.) ein notwendiges Fundament für die erfolgreiche Umsetzung von Industrie-4.0-Projekten.

Werden nun die Möglichkeiten, welche durch methodisch richtig angewandte Prozessbausteine und zusätzlicher Nutzung von Softwareunterstützung entstehen, den gewonnen Informationen aus den Analysen gegenübergestellt, können für das betrachtete Unternehmen einige Potentiale abgeleitet werden:

Potentiale zur Steigerung der Analysequalität

- Die Analysen von PlanerInnen im Unternehmen nachvollziehbar und eindeutig erstellt werden (Reliabilität, Objektivität, Reproduzierbar) (Bokranz 2012).
- Die Abweichungen der Montagetätigkeit zur prognostizierten Vorgabezeit verkleinert werden (Bezugsleistungstreue und statistische Genauigkeit) (Bokranz 2012).
- Das Erstellen von Prozessbausteinen zur Analyse kann durch die Software standardisiert werden. So kann die Dokumentation der Bausteine im Sinne der Reproduzierbarkeit, Objektivität und Reliabilität verbessert werden. Durch das Zuweisen von Regeln und logischen Verknüpfungen können Fehlanwendungen der Bausteine vermieden werden (Franz Coriand, Thomas Schranz 14.06.2021; Bokranz 2012)

Potentiale zur Minimierung des Analysieraufwandes

- Der Erstellungsaufwand von Analysen wird durch digitale Datenkarten und zentral gespeicherten Bausteinkatalogen reduziert (DMC - ortim GmbH 2020).
- Verwendungsnachweise erleichtern das Finden von Bausteinen in unterschiedlichen Analysen (Franz Coriand, Thomas Schranz 14.06.2021).
- Änderungsdienste werden automatisch durchgeführt und vermeiden somit das Bestehen zweier gleich benannter Analyseblöcke mit unterschiedlichen Zeitwerten. Es werden alle Analysen und Bausteine automatisch auf dem aktuellen Stand gehalten und die Versionierung der Bausteine in einem Änderungsprotokoll dokumentiert (Franz Coriand, Thomas Schranz 14.06.2021).
- Durch Einbindung bzw. Anbindung der Zeitwirtschaftssoftware an das im Unternehmen verwendete ERP-System können Übertragungsfehler von Daten vermieden werden. Zusätzlich können durch Regeln und logische Verknüpfungen beispielsweise Prozessbausteine automatisch in eine Analyse eingefügt werden, wenn bestimmte Merkmale (Stücklisten-Nummern o.ä.) in einem Auftrag vorkommen (Franz Coriand, Thomas Schranz 14.06.2021; DMC - ortim GmbH 2020).
- Einfache Kennzahlenauswertung (Bokranz 2012)

Bei der Auswahl der zu implementierenden Methode und Software im nächsten Kapitel wird darauf geachtet, diese Potentiale umsetzen zu können.

4.2 Auswahl geeigneter Methoden und Software

Auf Basis der Analyse wird gemeinsam mit allen relevanten Stakeholdern (siehe Tabelle 5) ein Anforderungskatalog für Methoden und IT-Unterstützung verfasst und die in Kapitel 3 beschriebenen Methoden sowie auch IT-Tools mittels einer Nutzwertanalyse bewertet und ausgewählt (siehe Anhang 12.6). Die Methoden und Softwaretools werden nach der Werteskala Richtlinie VDI 2225 mit den Werten von 0 – 4 bewertet. Damit die Wertevergabe für alle TeilnehmerInnen leichter nachvollziehbar wird, wird im Zuge eines Workshops den jeweiligen Kriterien eine formale Beschreibung der jeweiligen Werte vergeben. So werden die Werte nach Richtlinie VDI 2225 von 0 – *unbefriedigend* bis 4 – *sehr gut (ideal)* für alle Beteiligten eindeutig nachvollziehbar. Da die einzelnen Kriterien als unterschiedlich wichtig für den Auswahlprozess erachtet werden, werden die Kriterien mittels paarweisen Vergleichen gewichtet. Die vergebenen Werte werden je nach Kriterium im Anschluss mit den jeweiligen Gewichtungsfaktoren multipliziert und anschließend die Summe über alle Werte gebildet, sodass die Gesamtpunktezahl bestimmt wird. Die Gesamtpunktezahl wird mittels der maximal möglichen Bewertung in Prozentwerte umgerechnet, welche den Grad der Erfüllung aller Anforderungen widerspiegelt. Je höher der Prozentwert, desto besser die jeweilige Option. Allenfalls sollte der Wert die 80%-Marke überschreiten, ansonsten gilt der betrachtete Ansatz als nicht überzeugend – der Ansatz muss daraufhin erneut überarbeitet oder es muss eine komplett neue Lösung definiert werden. (Böge 2013)

Das Ergebnis der Nutzerwertanalyse (siehe Anhang 12.6) der Methoden ergibt klar, dass MTM-UAS und MTM-MEK die beste Wahl für das Unternehmen darstellen. Die Nutzwertanalyse betrachtet jedoch nur die Reihung der Methoden bezüglich der qualitativen Anforderungen, zusätzlich müssen die Methoden aber auch den Prozesstypen der Fertigungsbereiche zugeordnet werden. MTM-MEK eignet sich für alle Fertigungsbereiche mit ermittelten Prozesstypen 3. Für Unternehmensbereiche, denen aufgrund fehlender Auftragsinformationen, geringer Prozesssicherheit oder fehlender zyklischer Wiederholungen kein Prozesstyp zugeordnet und somit keine Methoden der SvZ angewendet werden kann, muss auf Methoden mit schlechterem Nutzwert zurückgegriffen werden. Für das betrachtete Unternehmen eignen sich wegen der vorliegenden Arbeitsbedingungen die REFA Zeitaufnahme und Bildung von auf Altaufträge basierende Zeitklassen. Für einmalige Sonderanfertigungen müssen Schätzwerte herangezogen werden.

Zur zeitlichen Bewertung und Vorgabezeitermittlung für Aufträge mit fehlenden Planungsunterlagen wird ein RF-Algorithmus zur Ermittlung von Vorgabezeiten basierend auf Daten und Erkenntnisse von Altaufträgen und simulierten möglichen Konfigurationen angewendet. Dadurch kann trotz fehlender Informationen die Grobplanung der Fertigungslinien durchgeführt werden. Zusätzlich können durch die

Anwendung eines RF die zeittreibenden Arbeitsgänge einer jeden Linie ermittelt werden. Die daraus ermittelten übrigen, also nicht bzw. vernachlässigbar gering die Vorgabezeit beeinflussenden, Arbeitsgänge können somit zu einem Prozessbaustein eines Fertigungsbereichs zusammengefasst werden.

Als IT-Tool in der Zeitwirtschaft werden aufgrund der direkten ERP-Schnittstelle die Software *CAPP-Knowledge* von DMC-ortim, inklusive möglichem Zusatzmodul *ortim-Plan* sowie der Software *TiCon* der deutschen MTM-Vereinigung favorisiert. Beide Anbieter haben jeweils in einem zweitägigen Workshop ihre Produkte dem Unternehmen beziehend auf den Anforderungskatalog (siehe Anhang 12.5) präsentiert. Die daraus gewonnenen Informationen wurden anschließend zur Bewertung mittels Nutzwertanalyse herangezogen. Die Software von DMC – ortim bietet sich vor allem für Unternehmen an, bei denen hauptsächlich REFA Zeitstudien zur Vorgabezeitermittlung zum Einsatz kommen. DMC-ortim bietet mit deren Zeitaufnahmegeräten eine Komplettlösung zur Aufnahme, Auswertung und Erstellung von Prozessbausteinen basierend auf Zeitaufnahmen an. Auch auf MTM basierende Analysen können erstellt und im Prozessbausteinkatalog eingebettet werden. Durch die zertifizierte SAP-Schnittstelle wird ein einfacher Datenaustausch zwischen ERP-System und den Softwareprodukten ermöglicht, jedoch nutzt DMC – ortim eine eigene Benutzeroberfläche, die die Anwenderfreundlichkeit in den Punkten Erlernbarkeit, Übersichtlichkeit und auch dem Erstellen von Regeln etwas beeinträchtigt. TiCon bietet hingegen bei der SAP-integrierten Variante (ebenfalls als Windows-basierende Software erhältlich) die gleiche, den Anwendern gewohnte, SAP-Oberfläche und nutzt diese auch für diverse Einstellungsoptionen, wie Berechtigungsvergabe, Spracheinstellung und Dokumentationstyp. Für AnwenderInnen bleibt somit das Wechseln zwischen zwei Programmen aus, wodurch die Anordnung der Fenster, Einstellungsmöglichkeiten und Funktionalität der Reiter und Felder gleichbleibt und somit den NutzerInnen besseres Erlernen und einfacheres Arbeiten ermöglichen. Ein weiterer Vorteil von TiCon ist die benutzerspezifische Anpassung der Reporte und Auswertungen, welche bei DMC – ortim Produkten nur begrenzt umsetzbar sind. Anhand der direkten Einbettung in die SAP-Oberfläche und der besseren und einfacheren Beregelung der MTM-Prozessbausteine, eignet sich für das in dieser Arbeit betrachtete Unternehmen TiCon am besten (vgl. Nutzwertanalyse im Anhang 12.6).

Auch im Hinblick auf generische Vorgabezeitermittlung von Aufträgen stellt TiCon ebenfalls die bessere Wahl dar. Zum einen können formel- und regelbasierte Auswahlkriterien für Prozessbausteine definiert werden, welche beispielsweise das automatische Zuweisen von Prozessbausteinen und Arbeitsplätzen bei der Arbeitsplanerstellung ermöglichen. Ebenfalls ist es durch Verwendung von Formeln möglich, Variablen zur Berechnung der Vorgabezeit zu verwenden. Als einfaches Beispiel kann dabei die Anzahl von Schraubverbindungen als Variable im

Prozessbaustein hinterlegt werden, welche dann mit der Tätigkeitszeit zum Herstellen einer Schraubverbindung im Sinne von Anzahl und Häufigkeit multipliziert wird. Damit verbunden ist jedoch eine erstmalige Definition und Programmierung aller betroffenen Prozessbausteine, welche z.B. die Verknüpfung von Bausteinen zu Stücklistennummern oder Produkttypen herstellen. Dadurch kann zwar einerseits die Ermittlung von Vorgabezeiten durch automatische Aggregation von Prozessbausteinen auf Basis der Auftragsstückliste erfolgen, jedoch eignet sich dieses Vorgehen nur für Produkte oder Komponenten mit geschlossenen Stücklisten und sich nicht ändernden Arbeitsabläufen.

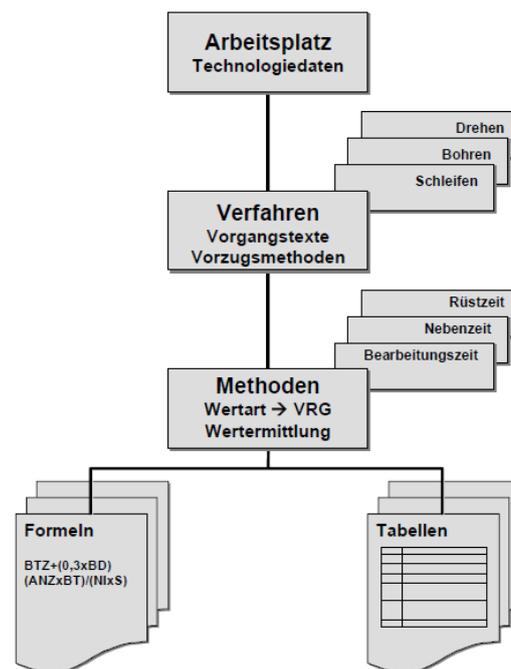


Abbildung 43: Struktur der CAP-Vorgabewertermittlung (SAP 2021)

Aus Gründen der Vollständigkeit gilt es auch zu erwähnen, dass SAP bereits im Basispaket eine Möglichkeit zur Berechnung von Vorgabezeiten bietet. Die sogenannte CAP-Vorgabewertermittlung nutzt dafür sogenannte CAP-Elemente (Formeln, Methoden und Verfahren) zur Berechnung von Vorgabezeiten. Abbildung 43 zeigt den hierarchischen Aufbau und die verwendeten CAP-Bausteine zur Vorgabezeitermittlung. Das ERP-System nutzt dabei Informationen über die an einem Arbeitsplatz möglichen Verfahren, welche mittels Maschinendaten (Drehzahlen, Vorschubgeschwindigkeiten u.ä.) beschrieben sind. Zu jeder Maschine werden je Materialart/Materialklasse im ERP-System auch über die Methoden die Zusammensetzung von Rüstzeiten, Nebenzeiten und Bearbeitungszeiten definiert. Diese Zeiten können beispielsweise mittels Formeln errechnet werden oder in Tabellen mittels Zeitklassen abgebildet sein. Wird nun ein neuer Auftrag in das System mit dessen Auftragsstücklisten eingespielt und Arbeitsplätzen zugewiesen, so greift das ERP-System über die Arbeitsplatz- und Stücklisteninformation auf die jeweiligen Berechnungsformeln zurück. Zur erfolgreichen Umsetzung müssen jedoch zur

Berechnung benötigte Informationen, z.B. Bohrungsdurchmesser, Anzahl der Bohrungen, Bohrtiefe und Materialart, übergeben werden. Daraus wird dann die benötigte Rüstzeit, Nebenzeit und Bearbeitungszeit über die hinterlegten Maschinendaten ermittelt. Vorschub- bzw. Schnittgeschwindigkeiten werden bezüglich der Material- und Maschinendaten berechnet. Daraus wird die Betriebsmittelzeit bzw. Ausführungszeit der MitarbeiterInnen ermittelt. Ebenso werden Aufschläge durch Verteil- und Erholzeiten berücksichtigt werden, um schlussendlich die Auftragszeit als Ergebnis zu erhalten. SAP bietet somit eine integrierte Option zur generischen Ermittlung von Belegungs- und Vorgabezeiten. Durch die hohen Anforderungen an die Dokumentation der einzelnen Bauteile einer Stückliste und dem hohen Erstellungsaufwand der CAP-Berechnungsvorschriften bei gleichzeitig geringem Anteil an maschineller Arbeit, eignet sich diese Berechnungsart nicht für Unternehmen in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Menschliche Arbeit kann in diesem Fall nicht mittels CAP-Elementen abgebildet werden. (SAP 2021)

Regressive generische Ermittlungsmethoden können in SAP nicht durchgeführt werden. Die Tools von DMC-ortim (CAPP Knowledge und Ortim-Plan) und MTM (TiCon) ermöglichen ebenfalls nur generisches, also regelbasiertes, Ermitteln von Auftragszeiten. Eine regressive generische Vorgabezeitermittlung, also das Bestimmen von Vorgabezeiten aus Bestandsdaten, ist demnach unter Zuhilfenahme von ML-Methoden, vor allem RF, in der Anwendung und Wartung einfacher umsetzbar.

4.3 Optimierung der Planung durch Softwareunterstützung

Durch die Anwendung von IT-Tools in der Zeitwirtschaft kann die Qualität, vor allem die von Prozessbausteinen (vgl. Abbildung 40), erhöht werden. Daraus folgend lassen sich Einsparpotenziale (vgl. Abbildung 41) über den gesamten Planungsprozess ableiten. Die Verwendung von Bausteinkatalogen stellt die Stabilität der aus den Prozessbausteinen aggregierten Ablaufanalyse sicher. In diesem Kapitel werden die Optimierungsansätze aus den zuvor gewonnenen Informationen entwickelt. Zuerst wird ein Ansatz zur Reduktion des Analysieraufwandes generiert (Kapitel 4.3.1). In Kapitel 4.3.2 wird mit Hilfe von RF-Algorithmen die Planung trotz fehlender Auftragsinformationen behandelt. Abschließend werden die Optimierungsansätze der Zeitwirtschaft anhand real produzierter Aufträge validiert (Kapitel 4.3.3).

Bei TiCon sind die Standard-Prozessbausteine nach MTM bereits implementiert, unternehmensspezifische Prozessbausteine können von ArbeitstechnikerInnen uneingeschränkt erstellt und die Struktur, im Sinne der hierarchischen Anordnung der Bausteine im Katalog festgelegt werden. (Franz Coriand, Thomas Schranz 14.06.2021) Der Geltungsbereich der Bausteine (Fertigungsbereiche, Arbeitsplätze, Produkte bzw. Stücklisten oder auch nur in Kombination mit bestimmten anderen

Bausteinen) muss manuell von den ErstellerInnen programmiert werden. Zum Generieren und Beregnen von Bausteinen wird das Zusatzpaket *Generierung* (siehe Abbildung 42) benötigt. Im Weiteren können Variablen in Prozessbausteinen verwendet werden, welche z.B. die Anzahl bzw. Häufigkeit einer Analysezeile oder eines kompletten Bausteins in der Gesamtanalyse für das Produkt regelt. So kann z.B. ein Prozessbaustein für die Modullinie generiert werden, welcher über die Eingabe der Konfigurationsparameter die in der Struktur darunterliegenden Prozessbausteine über Variablen richtig anpasst. Der große Vorteil in so einer Analysegenerierung mittels Variablen und Regeln liegt in der enormen Zeiteinsparung bei der Erstellung der zeitlichen Bewertung für jeden einzelnen Auftrag. Der Konfigurationsparameter *Länge* beeinflusst beispielsweise den Arbeitsablaufschritt *Modul abdichten*, welcher in einem Prozessbaustein analysiert wird. Die Vorgabezeit des Bausteins wird mittels MTM-MEK und Planzeiten (vgl. Kapitel 3.1.3) bestimmt, wobei das Holen, Ansetzen und Zurücklegen der dafür benötigten Silikonspritze mit MTM-MEK und die Dauer der zum Abdichten unter Verwendung des Parameters *Länge* mittels der Planzeitformel bestimmt wird. Würden alle Arbeitsgänge (98 Arbeitsgänge) der Modullinie über Konfigurationsparameter gesteuerte Variablen und Regeln beschrieben werden, so müssten die Order ManagerInnen bzw. ProduktionsplanerInnen lediglich 21 Parameter bei der Generierung eintragen. Betrachtet man jedoch den Programmier- und Änderungsaufwand, welcher zur erstmaligen Definition und ggf. bei Änderungen des Produktes (z.B. Entfall oder Hinzufügen neuer Komponenten in die Konfigurationsliste) anfallen, ist dies für High Mix – Low Volume Produktionsstrategien sehr zeitaufwändig und komplex. Speziell wenn die Variantenbäume der Produkte und Stücklisten nicht geschlossen sind und durch sich stetig ändernde Kundenanforderungen sich die Produkte innerhalb einer Produktfamilie ändern, müssen laufend Anpassungsarbeiten in den Verknüpfungen der Bausteine durchgeführt werden. Für die Modullinie würde dies in etwa das Erstellen und Warten von etwa 400 Variablen und Regeln bedeuten. Im Gegensatz dazu müsste ohne Variablensteuerung jeder Prozessbaustein manuell aus dem Bausteinkatalog ausgewählt, der Analyse hinzugefügt und an das jeweilige Produkt angepasst werden. Dies entspricht dem aktuellen Vorgehen im Unternehmen bei der Planung von neuen Produktgruppen, wobei die Prozessbausteine ohne Dokumentation in Excel-Tabellen abgelegt sind, und benötigt ca. die acht- bis zehnfache Auftragszeit. Dieser Wert entspricht auch in etwa den in der Literatur angegebenen Richtwerten für Verwendung von MEK-Prozessbausteinen, welcher mit einem Verhältnis von 1 zu 10 der Auftragszeit zu Analysezeit angegeben wird (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020).

4.3.1 Optimierung des Analysieraufwands

Als Ausgangspunkt für diesen Abschnitt wird vorausgesetzt, dass bereits Methoden zur Zeitermittlung anhand der Prozesstypen definiert und eingesetzt werden. Es kommen SvZ in Kombination mit Planzeiten und Planzeitkatalogen sowie REFA Zeitaufnahmen zum Einsatz. Eine IT-Unterstützung, wie in Abbildung 33 angeführt, kommt (noch) nicht zur Anwendung. Prozessbausteine oder Kalkulationstabellen in Excel sind vorhanden und werden eingesetzt.

Der Ansatz zur Optimierung ist, analysierte Arbeitsablaufabschnitte bzw. Arbeitsgänge zu finden, welche bei einer Produktgruppe die Vorgabezeiten unabhängig der Varianten nicht bzw. nur in einem tolerierbaren Maß beeinflussen. Diese Arbeitsgänge werden sodann zu einem weiteren Prozessbaustein zusammengefasst, welcher nicht mehr von den Varianten bzw. den Konfigurationsparametern beeinflusst wird. Werden Bausteine zusammengefasst, die in ihrer ursprünglichen Form von Konfigurationsparametern des Produktes abhängig waren, so werden die Durchschnittszeiten der jeweiligen Konfigurationen ermittelt und als neuer Vorgabezeitwert für denjenigen Prozessbaustein herangezogen. Die so ermittelten parameterunabhängigen oder nicht zeittreibenden Bausteine werden gruppiert. Das erwartete Ergebnis soll sein, dass der Analyseaufwand zum zeitlichen Bewerten eines neuen Auftrages minimiert wird. Aber auch wenn eine, wie im Beispiel oben beschrieben, auf Variablen und Regeln basierende Prozessbausteinauswahl und Analyseerstellung implementiert werden soll, soll mit diesem Ansatz die zu programmierenden Verknüpfungen durch die gruppierten Arbeitsgänge reduziert werden können.

Um die Anzahl der nicht zeittreibenden Arbeitsgänge zu finden, müssen für unterschiedliche Varianten der Produkte die Vorgabezeiten ermittelt werden. Dazu können entweder Vergangenheitsdaten von bereits produzierten Varianten (dokumentierte Analysen und gestempelte Ist-Zeiten), oder Kalkulationsblätter (z.B. Excel-Tabellen) zum zusätzlichen Berechnen möglicher Varianten mit neuen Parameterkombinationen verwendet werden. Zur Validierung der entwickelten Methode werden vergangene Projekte herangezogen. Im Beispiel der Modullinie wurden die ROM-Zeitklassen in einer Excel-Kalkulationstabelle zusammengefasst und die Auswahl der zutreffenden Zeitklassen mit Formeln hinterlegt. Die Kalkulationstabelle wird aus Gründen der Übersichtlichkeit und Anonymisierung mit ausgeblendeten Spalten der Zeitklassen-Kennung und Vorgangsbeschreibungen in Abbildung 44 dargestellt. Die Spalte *Zeit* gibt die Zeiten der zutreffenden Zeitklassen für die jeweiligen Arbeitsgänge an. Die Spalte *Menge* ist ein Faktor, ähnlich der Spalte „Anzahl x Häufigkeit“ in MTM-Analyseblättern, mit dem der Zeitwert multipliziert wird, um die Vorgabezeit des Arbeitsganges (Spalte *Summe*) zu erhalten. Die Spalten *Berechnungsformel Zeit* und *Berechnungsformel Menge* geben die Auswahlkriterien

der Zeitklassen und Menge-Faktoren in Abhängigkeit der Konfigurationsparameter an. Die Parameter zur Konfiguration werden im Bereich „Konfiguration“ eingetragen. Die Spalte *Beschreibung* steht für mögliche Konfigurationsklassen oder Maßeinheiten, denen die Konfigurationsparameter bzw. Längenangaben entsprechen müssen.

Konfiguration	Parameterbezeichnung	Wert	Beschreibung
	Typ	1	0/1
	Produktlänge	1350	Gesamtlänge in mm
	Produktlänge	2200	Gesamtlänge in mm
	Parameter 1	0	0/1/2
	Parameter 2	0	0/1/2/3
	Parameter 3	1	0/1/2
	Parameter 4	0	0/1
	Parameter 5	1	0/1/2/3
	Parameter 6	600	in mm
	Parameter 7	0	0/1/2
	Parameter 8	0	in mm
	Parameter 9	0	0/1/2/3
	Parameter 10	0	0/1/2
	Parameter 11	1	0/1/2
	Parameter 12	2	1/2
	Parameter 13	0	0/1
	Parameter 14	0	0/1
Parameter 15	0	0/1	
Parameter 16	0	0/1	
Parameter 17	1	0/1	
Parameter 18	1	0/1	

Stat.	Benennung	Zeit	Menge	Summe	Berechnungsformel Zeit	Berechnungsformel Menge	Zeit	Zeit	Zeit	Zeit
							Stat. 1	Stat. 2	Stat. 3	Stat. 4
1	Arbeitsgang 1	83,75	1	83,75	=WENN(F3=1;83,75;42,2)	=WENN(F4>2550;1,5;1)	311,1	312,5	146,7	306,6
1	Arbeitsgang 2	10,95	1	10,95		=F16	83,8	0,0	0,0	0,0
1	Arbeitsgang 3	4,45	2	8,90			11,0	0,0	0,0	0,0
4	Arbeitsgang 4	1,90	1	1,90		=WENN(F3=1;2;1)	8,9	0,0	0,0	0,0
4	Arbeitsgang 5	1,90	0	0,00		=WENN(F8=1;1;0)	0,0	0,0	0,0	1,9
1	Arbeitsgang 6	5,00	1	5,00		=WENN(F9=1;2;0)	0,0	0,0	0,0	0,0
1	Arbeitsgang 7	2,40	1	2,40			5,0	0,0	0,0	0,0
1	Arbeitsgang 8	0,55	1	7,65		=WENN(F4>2550;2;1)	2,4	0,0	0,0	0,0
1	Arbeitsgang 9	0,15	1	4,05			7,6	0,0	0,0	0,0
1	Arbeitsgang 10	4,70	2	9,40		=WENN(F4<1200;1;WENN(F4>1500;	4,1	0,0	0,0	0,0
							9,4	0,0	0,0	0,0

Abbildung 44: Ausschnitt aus anonymisierter Excel-Kalkulationstabelle der Modullinie

Diese Berechnungsformeln der Vorgabezeit für alle 98 Arbeitsgänge wurden herangezogen, um für verschiedene Varianten bzw. Konfigurationen von Modulen die Vorgabezeit eines jeden Arbeitsganges zu berechnen. Zusätzlich wird die gesamte Auftragszeit einer jeweiligen Konfiguration ermittelt. Die zur Berechnung herangezogenen Varianten werden durch zufällig generierte Kombinationen der Konfigurationsparameter erstellt, um die individuellen Kundenwünsche abzubilden. Die Anzahl der zu generierenden Aufträge entspricht einer repräsentativen Stichprobengröße. Zur Ermittlung des Stichprobenumfangs werden die im letzten Geschäftsjahr hergestellten Module herangezogen. Die Auftragszeiten der Stammdaten aus den 230 Aufträgen werden mittels eines Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung überprüft. Die gesamte Berechnung der Stichprobengröße ist im Anhang (Anhang 12.7) dokumentiert. Da die Berechnung zeigt, dass die Auftragszeiten als normalverteilt angenommen werden können, wird im Folgenden die heranzuziehende Stichprobengröße ermittelt (siehe Anhang 12.7.2). Anschließend werden alle Vorgabezeiten der Arbeitsgänge sowie die Ergebnisse der jeweiligen Auftragszeit statistisch ausgewertet (Min.-Wert, Max.-Wert, Durchschnitt, Median, Standardabweichung, Varianz, Kurtosis und Schiefe). Im nächsten Schritt wird für jeden Arbeitsgang das für das hier verwendete Ähnlichkeitsmaß berechnet. Dafür wird

die Standardabweichung eines jeden Arbeitsganges (σ_{AGi}) durch den Mittelwert der Auftragszeiten (\bar{T}) dividiert und in Prozentwerte umgerechnet.

$$\text{Ähnlichkeitsmaß} = \frac{\sigma_{AGi}}{\bar{T}} * 100\%$$

Formel 4: Ähnlichkeitsmaß

Final werden die Arbeitsgänge nun nach dem eben berechneten Ähnlichkeitsmaß ausgewählt. In Tabelle 6 wird die Anzahl der Arbeitsgänge aufgelistet, welche ein Ähnlichkeitsmaß unter dem jeweilig angeführten Maximalwert aufweisen. Je höher der Maximalwert angesetzt wird, desto mehr Arbeitsgänge fallen in die jeweilige Gruppe. Bei einem Grenzwert von 1,00% sind 79 Arbeitsgänge (entsprechen 81% der vorliegenden Arbeitsgänge der Modullinie) zu gruppieren. Dies bedeutet, dass MitarbeiterInnen im Industrial Engineering lediglich die restlichen 19% der Arbeitsvorgänge analysieren, bzw. nur diese in der Zeitwirtschafts-Software beregeln müssen.

Maximalwert Ähnlichkeitsmaß	Anzahl unterschreitender Arbeitsgänge	Anteil der unterschreitenden Arbeitsgänge zu Gesamtanzahl der Arbeitsgänge (98)
0,10%	15	15%
0,20%	27	28%
0,30%	40	41%
0,40%	51	52%
0,50%	57	58%
0,70%	70	71%
1,00%	79	81%

Tabelle 6: Anzahl der das maximale Ähnlichkeitsmaß unterschreitenden Arbeitsgänge

Anzumerken ist jedoch, dass mit größer werdendem Anteil der gruppierten Arbeitsgänge die Vorhersagegenauigkeit der so bestimmten Auftragszeiten leidet. Durch das Gruppieren von Arbeitsgängen und deren zeitliche Bewertung mittels Durchschnittszeiten aller Variantenkombinationen dieser auf die Auftragszeit vernachlässigt. Abbildung 45 zeigt die Auswirkung in Bezug auf die Anzahl der abweichenden Aufträge im Vergleich zu der tatsächlichen, von den MitarbeiterInnen gestempelten, Montagezeiten. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen, wurden die Vorgabezeiten jeweils für die gleichen 230 Aufträge mit unterschiedlichen Ähnlichkeitsmaßen ermittelt. Als Referenz dient die IST-Situation, wobei die Vorgabezeiten mittels der aktuell verwendeten Methoden berechnet wurden. Die Abweichungen werden in 5% Intervallen gruppiert.

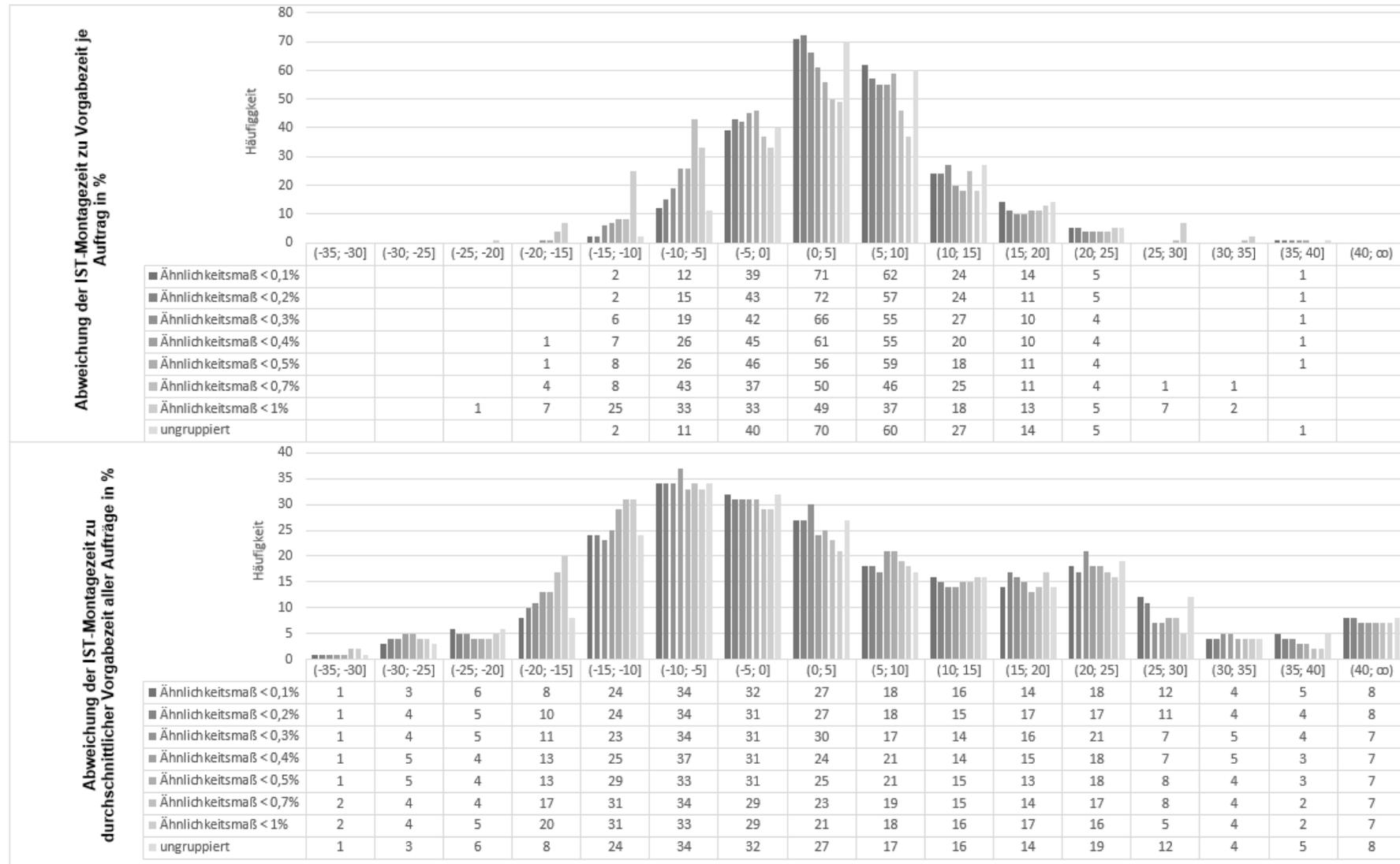


Abbildung 45: Prozentuelle Abweichung der Ist-Zeit zu Vorgabezeit und Ist-Zeit zu durchschnittlicher Vorgabezeit mit unterschiedlichen Ähnlichkeitsmaßen (Modullinie)

Ersichtlich ist, dass die Anzahl der Abweichungen in den jeweiligen Grenzen bei veränderten Ähnlichkeitsmaßen variiert. Generell zeigt sich, dass je niedriger das Ähnlichkeitsmaß gesetzt wird, die IST-Situation immer weiter angenähert wird. Die Begründung liegt darin, dass weniger Analysezeilen bzw. Prozessbausteine zusammengefasst werden und somit der überwiegende Teil der Analyse sich mit der Ist-Situation deckt.

Die Optimierung des Analysieraufwandes ist, wie oben bereits beschrieben, mit der Methode der gruppierten Arbeitsgänge nur unter Einbußen der Genauigkeit erreichbar. Die Genauigkeit hängt dabei vom gewählten Ähnlichkeitsmaß ab. Unter Betrachtung von Tabelle 6 wird vorgeschlagen, die Gruppierung der Arbeitsgänge nach der Grenze von kleiner 0,4% des Ähnlichkeitsmaßes durchzuführen. Durch das Heranziehen dieser Grenze wird eine Minderung des Analysieraufwandes von knapp über 50% erreicht. Diese Entscheidung ist vorwiegend durch wirtschaftliche Aspekte geprägt, welche aber Potentiale in der Qualitätssteigerung mit sich bringen. Die Ergebnisse und Auswirkungen werden in Kapitel 5 näher beschrieben.

4.3.2 Vorgabezeitermittlung trotz fehlender Auftragsinformation

Um trotz fehlender Informationen über die Konfiguration von Aufträgen zum Planungszeitpunkt Vorgabezeiten prognostizieren zu können, wird ein RF-Algorithmus verwendet. Dabei wird versucht das Modell so einfach wie möglich aufzubauen, um die Verständlichkeit und Anwendungsmöglichkeit für andere Produktions- und Montagebereiche zu ermöglichen. Wie in Kapitel 3.2.3 bereits erwähnt, wäre es für jeden neuen Datensatz, also pro Produktgruppe und Fertigungsbereich, erforderlich, die jeweiligen Daten aufzubereiten. Da jedoch die Reduktion der Rechenleistung und Auswertedauer für diesen Anwendungsfall nur sekundäre Ziele sind, wird auf einen FS- bzw. FE-Algorithmus verzichtet. Das RF-Modell wird auch in diesem Kapitel wieder für die Modullinie aufgebaut.

Durch das Außenvorlassen der Datenaufbereitung muss jedoch darauf geachtet werden, dass zum Trainieren des RF-Algorithmus lediglich Daten zu Projekten verwendet werden, welche unter gleichen Planungs- und Produktionsumständen erzeugt wurden. Durch Umstrukturierung der Montagelinie bzw. Neugestaltung von Arbeitsplätzen wird die Montagezeit beeinflusst. Datensätze, welche Informationen über benötigte Zeiten von vor und nach der Umgestaltung der Montagebereiche bzw. Arbeitsplätze enthalten, sind nicht mehr vergleichbar und somit auch nicht zum Trainieren des Algorithmus verwendbar. Für die Modullinie werden aus diesen Gründen ebenfalls die Daten zu den letzten 230 produzierten Aufträgen herangezogen.

Bei der Modellbildung erfolgt die Partitionierung der Daten zu 80% und 20% in Trainings- und Testdaten. Als Bezugsgröße zur Optimierung des RF-Algorithmus wird

das Bestimmtheitsmaß⁹ des Modells (R^2) festgelegt. Die Begründung dafür liegt in der Definition von R^2 . Das Bestimmtheitsmaß beschreibt die Güte des Regressionsmodells. Ein hoher Wert bedeutet, dass das Regressionsmodell die realen Daten gut annähert. Je kleiner der Wert von R^2 , desto weiter weichen einzelne Datenpunkte vom Regressionsmodell ab. Das Bestimmtheitsmaß wird in Prozent angegeben, wobei 100% eine vollkommene Beschreibung der Daten durch das Regressionsmodell bedeutet. Der Algorithmus wird mit den Parameterkonfigurationen und den dokumentierten Tätigkeitszeiten trainiert. Die Modellgröße wird über eine Optimierungsschleife, mit dem Ziel eines möglichst hohen Bestimmtheitsmaßes des RF-Predictors, bestimmt. Um Over- bzw. Underfitting des RF-Modells zu verhindern, wird als zweite Optimierungsbedingung die Minimierung des absoluten Fehlers definiert. Der Fehler nimmt mit steigender Anzahl der im Modell berücksichtigten Parameter (Knotenpunkte) ab. Werden mehr Parameter als notwendig in den RF herangezogen, so steigt der absolute Fehler der Ergebnisse wieder an (Überanpassung des Modells). Das Minimum der Fehlerkurve weist die optimale Parameteranzahl (Features) aus. Die beiden gewählten Optimierungsbedingungen ermöglichen es, auch ohne Datenaufbereitung, das RF-Modell hinsichtlich benötigter Rechenleistung und Aussagekraft bestmöglich auszulegen. Als Randbedingungen der Optimierungsschleife werden Grenzen der Modellgröße definiert. Die kleinstmögliche Modellgröße wird mit 50 und die größtmögliche Modellgröße mit 300 Entscheidungsbäumen festgelegt. Die Modelltiefe wird nicht limitiert.

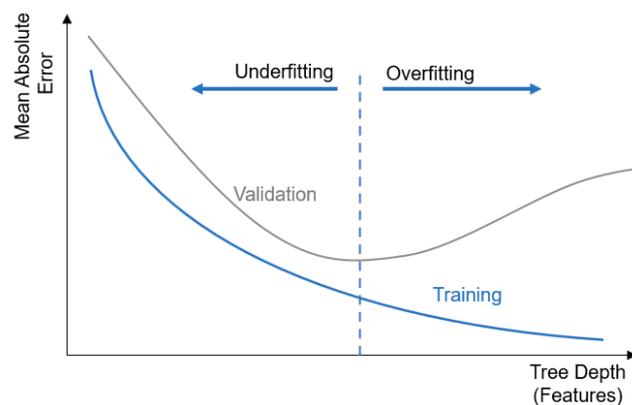


Abbildung 46: Zusammenhang Under-/Overfitting von Modellen (schematische Darstellung)
(Vgl. Cook et al. 2022)

Zuerst wird das Modell auf die Aussagegenauigkeit in Bezug auf die gesamte Auftragszeit mit vollständigen Auftragsinformationen trainiert und später als Vergleichswert zur Betrachtung mit fehlenden Auftragsinformationen herangezogen. Das Ergebnis der Modelloptimierung auf Basis der 230 Altaufträge zeigt eine Modellgröße von 220 Bäumen und somit einem R^2 von 90,0%. Die erhaltene Modellgröße zeigt, dass bei größerer Modellgröße die Güte leidet. Die Ursache kann

⁹ Das Bestimmtheitsmaß gibt die Güte eines Regressionsmodells an.

ohne FS- bzw. FR-Algorithmus allerdings nicht bestimmt werden. Weitere Modellparameter des ermittelten und optimierten RF-Modells werden in Tabelle 7 dargestellt.

Kennzahl	Wert	Einheit
R ²	90,00	%
mean absolut error	85,136	Minuten
mean squared error	10942,905	Minuten
root mean squared error	104,608	Minuten
mean signed difference	24,687	Minuten
mean absolute percentage error	5,50	%

Tabelle 7: Modellparameter RF-Modell für fehlende Auftragsinformationen (Modellgröße: 220 Entscheidungsbäume)

Die dargestellten Werte beschreiben die Güte des Modells zum Bestimmen der Vorgabezeiten bei Daten mit einer fehlenden Konfiguration. Für die Module werden insgesamt 21 Konfigurationsparameter in Kundenabsprache definiert, darin inbegriffen sind sowohl Abmessungen der Module als auch Ausstattungsmöglichkeiten. In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass meist nur ein Konfigurationsparameter der 21 möglichen gefehlt hat, weshalb auch hier das RF-Modell auf dieser Basis bewertet wird. Das generierte Modell kann auch bei mehr als einem fehlenden Konfigurationsparameter verwendet werden, jedoch wird der Wert des Bestimmtheitsmaßes sukzessive kleiner und die Qualität der Schätzung schlechter.

Das so generierte RF-Modell wird nun anstelle des Test-Datensatzes mit den zu betrachtenden Konfigurationen verwendet. Dabei wird aus den Aufträgen nacheinander jeweils ein Konfigurationsparameter entfernt und dann durch den RF-Algorithmus die Auftragszeit trotz unterschiedlicher fehlender Parameter ermittelt. Tabelle 8 zeigt die je fehlenden Parameter ermittelte Zielzeit anhand einzelner Aufträge und stellt diese mit den tatsächlichen (alle Konfigurationsparameter berücksichtigt) Fertigungszeiten gegenüber. Das RF-Modell kann anhand der Standardabweichung der Schätzung die mögliche prozentuelle Abweichung der ermittelten Zeit angeben. Diese mögliche prozentuelle Abweichung variiert von einem Auftrag zum anderen, da die Konfiguration der Module bzw. die fehlenden Parameter unterschiedlichen Einfluss auf die Montagezeit haben. Einzelne Konfigurationsparameter werden unterschiedlich oft zur Berechnung der Vorgabezeit von einzelnen Arbeitsabfolgen herangezogen. Beispielsweise wird der Parameter *Länge* des Moduls in 28 Arbeitsfolgen verwendet, weswegen auch bei Fehlen dieses Parameters die Abweichung größer ist als bei dem Parameter *Typ*, der nur zweimal in Prozessbausteinen verwendet wird. In der letzten Spalte der Tabelle ist die Abweichung der Vorgabezeit des vollständig konfigurierten Referenzauftrages zu der vom Algorithmus bestimmten Vorgabezeit angeführt. Die Abweichung zu den

Referenzaufträgen ist bei den Parameter *Länge*, *Höhe*, *Parameter der Konfiguration 4 und 11* von der durch den Algorithmus ermittelten möglichen Abweichung signifikant größer. Für alle anderen Parameter liefert der Algorithmus Werte, welche zur Grobplanung von Aufträgen ohne Weiteres herangezogen werden können. Der *Parameter 14* (Konfigurationsparameter Modul) ist mit einer möglichen Abweichung von 24,18% auch für eine Grobplanung nicht einsetzbar.

Fehlender Parameter	Ermittelte Montagezeit in Min	Mögliche Abweichung	Abweichung zu Referenzauftrag
Typ	2085.14	6,67%	2,66%
Einbaulänge	1206.38	12,50%	28,57%
Einbauhöhe	1264.16	7,73%	8,17%
Parameter 1	1728.97	6,85%	2,00%
Parameter 2	1214.99	13,01%	8,97%
Parameter 3	1240.85	9,48%	0,08%
Parameter 4	2035.68	7,78%	29,52%
Parameter 5	1620.3	17,08%	11,10%
Parameter 6	2038.68	6,46%	-3,46%
Parameter 7	1686.5	7,95%	-0,36%
Parameter 8	1275.01	9,17%	-4,31%
Parameter 9	2029.87	6,86%	4,85%
Parameter 10	1493.67	7,20%	2,74%
Parameter 11	1850.22	5,91%	10,45%
Parameter 12	1359.86	6,96%	0,58%
Parameter 13	2059.32	7,69%	5,67%
Parameter 14	1677.46	24,18%	-7,47%
Parameter 15	2207.39	5,35%	0,64%
Parameter 16	2177.15	7,24%	-3,76%
Parameter 17	1584.89	7,03%	1,84%
Parameter 18	1155.13	10,35%	1,23%

Tabelle 8: Vorgabezeitermittlung für verschiedene Aufträge bei jeweils anderen fehlenden Konfigurationsparametern durch RF

4.3.3 Validierung der Optimierungsansätze

In den vorangegangenen Abschnitten werden die beiden Optimierungsansätze beschrieben und die möglichen Ergebnisse aufgezeigt. Bevor der Einsatz dieser Ansätze mittels Pilotprojekte in der Praxis getestet werden kann, müssen die betrachteten Optimierungsmethoden validiert werden.

Ein wesentlicher Punkt, welcher zur Validierung des Gruppierungsansatzes diskutiert werden muss, ist die Auswirkung von Bauteiländerungen oder Änderungen in der Ausführungsart der Arbeitsfolgen auf die Vorgabezeitermittlung durch den gewählten

Ansatz. Ändert sich durch konstruktive oder organisatorische Maßnahmen die Ausführungszeit von Vorgängen, kann durch die lineare Aggregation der Bausteine die Zeit für die betroffenen Ablaufabschnitte einfach angepasst werden. Dies ist, unabhängig davon, ob Ist-Zeitwerte von vergangenen Aufträgen oder bereits bestehenden Prozessbausteinen zusammengefasst und mit Durchschnittswerten bewertet werden, möglich. Ändert sich, zum Beispiel, die Anzahl der Schrauben, mit denen ein Bauteil befestigt wird von acht auf fünf Schrauben, kann durch die Linearität der Zeiten die Änderung für den Baustein vorgenommen werden. Die zeitliche Änderung kann bei Verwendung von Ist-Zeiten direkt von den im Modell verwendeten Werten abgezogen werden. Werden bereits Bausteine auf Basis von SvZ gruppiert, so ist lediglich die Anzahl und Häufigkeit der jeweiligen Analysezeilen zu ändern. Nach Aktualisierung der Zeitbausteine werden die neuen Daten dem Berechnungsmodell zugeführt und der neue Durchschnittswert für die zusammengefassten Bausteine anhand der möglichen Konfigurationen errechnet.

Das Heranziehen des Analysieraufwandes für Wirtschaftlichkeitsrechnungen ist in Unternehmen gängig, da dieser als ein Maß der Ressourcenbelastung angesehen wird, jedoch wird in der Literatur davon abgeraten. Die Auswahl des am besten passenden Verfahrens orientiert sich an den Prozesstypen. Der Zeitaufwand, welcher direkt der Zeilenanalyse zugeordnet werden kann (allgemein bezeichnet als Analysieraufwand), ist in Relation zum Gesamtaufwand von untergeordneter Bedeutung (siehe Abbildung 32). Die mit Hilfe von SvZ erreichte Qualität der Zeitwirtschaft bringt unternehmensweite Vorteile mit sich, welche nicht mit dem Analysieraufwand aufgewogen werden können. Hinzuzufügen ist auch, dass die Wirtschaftlichkeit von zweitwirtschaftlichen Methoden keinen Fokus auf monetäre Auswirkungen legt. Eine im Sinne der Wirtschaftlichkeit viel größere Bedeutung wird der einheitlichen und durchgängigen Nutzung von aus Analysen generierten Informationen zugeschrieben (Bokranz 2012). Trotz Kritik in der Literatur wird dieser Optimierungsansatz als angemessen betrachtet. Die zu verwendenden zeitwirtschaftlichen Methoden wurden vor Anwendung des Optimierungsansatzes zur Analysieraufwandsminimierung über die Prozesstypen bestimmt. Prozessbausteine werden mittels der jeweilig passenden Methoden erstellt und definiert. Durch das Gruppieren von Arbeitsvorgängen wird jedoch der erstmalige Erstellungs- und spätere Wartungsaufwand von Prozessbausteinen verringert. Zusätzlich müssen zur Erstellung von auftragsbezogenen Analysen weniger Zeitbausteine betrachtet und spezifisch angepasst werden. Gesamtheitlich betrachtet lässt sich somit der Ressourcenaufwand in Form von Personalstunden der PlanerInnen, je nach gewähltem Ähnlichkeitsmaß, deutlich reduzieren. Die somit freigewordenen Kapazitäten des Personals können in Folge dessen zur Erstellung neuer Planzeitbausteine für die in den gruppierten Arbeitsvorgängen aggregierten Arbeitsfolgen verwendet werden. Somit kann die Anzahl der zusammengefassten Arbeitsvorgänge sukzessive reduziert und die Genauigkeit der Analysen erhöht

werden, ohne zusätzlich Personal zur Optimierung einstellen zu müssen. Allgemein soll das Ziel sein, dass zur zeitwirtschaftlichen Analyse von Aufträgen keine Ist-Zeiten alter Aufträge, sondern methodisch erstellte Prozessbausteine herangezogen werden. Ist-Zeiten, welche gestempelten Zeiten von MitarbeiterInnen entsprechen, sind stark vom Zeitpunkt des Stempelvorgangs abhängig. Faktoren wie die Weglänge zum Computer, um die Fertigstellung des Arbeitsinhaltes zu bestätigen, werden mitberücksichtigt, obwohl diese nicht der Fertigungszeit zugerechnet werden dürften. Ebenfalls können MitarbeiterInnen vor dem Abstempeln der Tätigkeit noch Arbeiten ausführen, welche in methodisch richtig in den Verteilzeitzuschlägen berücksichtigt sein würden.

Der Vergleich der Gruppierungsmethode mit Altaufträgen zeigt, dass die Aussagequalität der aktuell angewendeten ROM-Methode erreicht wird. Die Anwendung dieser Methode in einem Pilotprojekt ist somit möglich und auch notwendig, um die Planungsergebnisse nicht nur anhand von Altaufträgen evaluieren zu können.

Die Anwendung des RF-Algorithmus zur Bestimmung von Auftragszeiten trotz fehlenden Auftragsinformationen wurde mit 200 Aufträgen evaluiert. Dabei wurde je Auftrag der Reihe nach jeweils ein Parameter als fehlend bestimmt und die Auftragszeiten durch das Modell bestimmt. Die erhaltenen Zeiten lagen alle innerhalb der Auftragszeiten der vollständig definierten Referenzaufträge, lediglich die Parameter *Länge*, *Höhe*, und die Parameter für die *Konfiguration 4* und *11* liefern bei allen Testläufen Abweichungen außerhalb des durch den Algorithmus angegebenen Bereichs der Abweichung. Die Bereiche der möglichen Abweichung liegen in einer ähnlichen Größenordnung wie die aktuell auftretenden Abweichungen der Ist-Zeit zur ermittelten Planzeit durch die aktuellen zeitwirtschaftlichen Methoden (siehe Abbildung 39). Generell liefert das Regressionsmodell des verwendeten RF-Algorithmus mit einem Bestimmtheitsmaß (R^2) von 90% und einem durchschnittlichen absoluten Fehler in Prozent von 5,5% (siehe Tabelle 7) auch ohne FS- bzw. FE-Algorithmus passable Ergebnisse. In Anbetracht der geringen Anzahl an betrachteten Aufträgen (230 Altaufträge) im Vergleich zu den möglich konfigurierbaren Aufträgen (1,3 Milliarden unterschiedliche Parameterkombination) ist die Auswertung nicht repräsentativ. Die Anzahl der zum Trainieren des RF-Modells benötigten Daten ist zu gering, um alle möglichen Kombinationen zu erlernen und somit mit dem Algorithmus bessere Aussagen treffen zu können. Um die mögliche Qualitätssteigerung der Aussagen mittels RF-Algorithmus zu ermitteln, wurde das Modell anstelle von 230 Aufträgen mit 500 zufällig generierten Auftragskonfigurationen trainiert. Die erhaltenen Ergebnisse der Modellparameter sind in Tabelle 9 angeführt, wobei die optimale Anzahl der Modellgröße durch die mehr als doppelten Eingangsinformationen nun nur mehr aus 160 Entscheidungsbäumen besteht.

Kennzahl	Wert	Einheit
R ²	94,10	%
mean absolut error	69,539	Minuten
mean squared error	7587,397	Minuten
root mean squared error	87,109	Minuten
mean signed difference	2,751	Minuten
mean absolute percentage error	4,40	%

Tabelle 9: Modellparameter RF-Modell für fehlende Auftragsinformationen (Modellgröße: 160 Entscheidungsbäume, 500 Aufträge als Dateninput)

Das Modell liefert deutlich bessere Ergebnisse. Das Bestimmtheitsmaß konnte um 4,1% erhöht und somit auch das durchschnittliche absolute Fehlermaß auf 4,4% gesenkt werden. Durch besseres Training des Modells wird folglich auch die Qualität der ermittelten Ergebnisse gesteigert. Die Qualität des Modells bei Fehlen der Parameter *Länge, Höhe und Konfigurationsparameter 4 und 11* verbessert sich allerdings nicht.

Die Anwendung des RF-Modells eignet sich dann gut, wenn die Anzahl der zum Trainieren des Modells verfügbaren Aufträge einer repräsentativen Stichprobengröße der tatsächlich möglichen Anzahl an unterschiedlich konfigurierten Aufträgen entspricht. Für die Modullinie ist dies, wie bereits erwähnt, nicht der Fall. Für ein Pilotprojekt dürfte dieses Modell für die Modullinie nur unter der Prämisse angewendet werden, dass anhand der zur Verfügung stehenden Prozessbausteine fiktive Aufträge erstellt und zum Trainieren des RF-Algorithmus verwendet werden. Außerdem müssen die kritischen Parameter (Produktlänge, Produktbreite, Parameter 4, Parameter 11, Parameter 14) zusätzlich definiert sein, da sich das Modell zur Ermittlung der Auftragszeit bei Fehlen dieser Parameter offensichtlich nicht eignet.

Zusammenfassend kann mit den entwickelten Ansätzen sowohl der Analysieraufwand reduziert als auch die Planung trotz fehlender Auftragsinformationen durchgeführt werden. Das Ergebnis des Ansatzes zur Aufwandsminimierung zeigt, dass rund 50% der in der Modullinie zu analysierenden Tätigkeiten zusammengefasst werden können. Der Analysieraufwand für Neuaufträge reduziert sich, bei gleicher Planungsqualität (Basis: Ist-Zustand), deutlich. Durch Anwendung einer der Prozesstypen entsprechenden Bewertungsmethode mit geringer Ausgleichzeit, wird das generelle Planungsergebnis weiter verbessert. Das Verfahren zum Ermitteln der zu gruppierenden Arbeitsfolgen ist unabhängig der Bewertungsmethode und kann somit auch nach Einführung einer neuen zeitwirtschaftlichen Methode genutzt werden. Durch die Verwendung von RF-Algorithmen wird eine Planung trotz unvollständiger Auftragsunterlagen ermöglicht.

5 Auswertung der Resultate

Im vorangegangenen Kapitel wurden die theoretischen Erkenntnisse in die Praxis umgesetzt und Optimierungsansätze für die Zeitwirtschaft im Allgemeinen, sowie speziell zur Reduktion des Analysieraufwandes und zur Planung trotz unvollständiger Auftragsabklärung, erarbeitet. Die Ergebnisse werden in diesem Kapitel ausgewertet und beschrieben. Die zu Beginn der Arbeit gestellten Forschungsfragen werden durch die erarbeiteten Erkenntnisse und entwickelten Optimierungsmethoden beantwortet.

5.1 Resultate der Systemunterstützung

Anfangs dieser Arbeit wurde erläutert, welche Aufgaben die Abteilungen der Arbeitsvorbereitung bzw. des Industrial Engineering haben und welche wichtige Rolle die Zeitwirtschaft in Unternehmen spielt. Zeitwirtschaftliche Methoden werden dargelegt und das methodische Vorgehen zur richtigen Auswahl beschrieben. Durch die Anwendung von Bewertungsmethoden, im speziellen von SvZ, wird die Dokumentation des Arbeitsumfeldes und der auszuführenden Arbeitsabschnitte genauestens dokumentiert. Eine standardisierte und vollständige Beschreibung der Rahmenbedingungen und Dokumentation des Arbeitsplatzes, sowie die benötigten Fähigkeiten zum Ausführen der Arbeiten sind wesentlich, um die Reproduzierbarkeit der Analyseergebnisse sicherstellen zu können. Abhängig der vorliegenden Produktionsorganisation eignen sich bestimmte zeitwirtschaftliche Bewertungsmethoden besser als andere. Durch Kategorisierung der Fertigungs- und Montagebereiche in Prozesstypen können die optimal passenden Bewertungsmethoden zum Analysieren und zeitlichen Bewerten der Arbeitsablaufabschnitte ausgewählt werden. Prozesstypen werden definiert über den Fertigungstyp, Zyklus, der Ablaufinformation, Arbeitsplatzgestaltung und dessen Versorgungsprinzip, Arbeitsweisenstreuung der MitarbeiterInnen sowie dem vorliegenden Methodenniveau. Das Bestimmen der Prozesstypen ist unumgänglich, um die richtigen Bewertungsmethoden auswählen zu können. Erst nach Auswahl der passenden Bewertungsmethoden können Optimierungspotentiale hinsichtlich Qualität und Aufwand in der Zeitwirtschaft abgeleitet werden. Eine Methode für den Prozesstyp 1 erfordert andere Prämissen zur Bewertung als jene für den Prozesstyp 3 (siehe Kapitel 2.2.3). Beispielsweise werden viel genauere Informationen über den Arbeitsablauf und die Bauteilgeometrie zur Analyse und zeitlichen Bewertung in der Massenfertigung (Prozesstyp 1) als in der Sonderfertigung von Produkten in Losgröße 1 benötigt. Die zeitlichen Schwankungen zum Ausführen einer Arbeitstätigkeit, welche beispielsweise aus der Arbeitsweisenstreuung von MitarbeiterInnen oder der Prozesssicherheit resultiert, können bei langzyklischen Tätigkeiten bereits mehrere Minuten betragen. Methoden wie MTM-MEK berücksichtigen diese Umstände.

Aber nicht nur die Definition der Prozesstypen und somit die Auswahl der richtigen Bewertungsmethoden beeinflusst die Qualität der Ergebnisse der Zeitwirtschaft, sondern auch die Art und Weise der Durchführung der Analysen und Bewertungen selbst. Die Bewertung von Arbeitsablaufabschnitten muss reproduzierbar sein. Das heißt, unabhängig der Person, welche die Arbeitsabläufe analysiert und anschließend zeitlich bewertet, muss das Ergebnis frei von Subjektivität sein. Folglich muss klar definiert sein, unter welchen Bedingungen ein bestimmter Prozessbaustein angewendet werden darf.

Durch den Einsatz von Softwaretools bzw. Programmen in der Zeitwirtschaft wird sichergestellt, dass die Analysen standardisiert erstellt und dokumentiert werden. Einen weiteren Vorteil bringt die zentrale, digitale Ablage der Prozessbausteine bzw. Datenkarten sowie die vordefinierte, strukturierte Ablage der erstellten Analysen. Die in Abbildung 40 dargestellten Qualitätsanforderungen und -merkmale der Prozessbausteinsysteme und folgend der zeitlichen Bewertungen werden somit sichergestellt. Gesamtheitlich betrachtet kann durch die Anwendung von Softwaretools zur Unterstützung über den gesamten Planungs- und Bewertungsprozess der Arbeitsaufwand enorm reduziert werden (vgl. Abbildung 47)

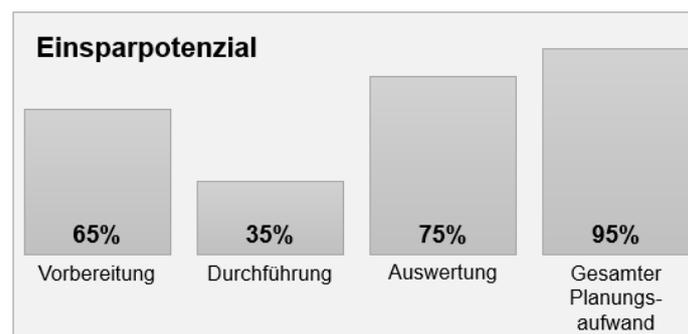


Abbildung 47: Einsparpotenzial durch DMC-ortim (Vgl. DMC - ortim GmbH 2020)

5.1.1 Ausgewählte Methoden und Softwareunterstützung

Aus den angestellten Analysen, wobei das Unternehmensumfeld und die Anforderungen an die Zeitwirtschaft, die im Unternehmen ablaufenden Prozesse und Produkte analysiert wurden, konnten Optimierungspotentiale bezüglich der anzuwendenden Methoden und Softwareunterstützung abgeleitet werden. Mit Hilfe der aus der Analyse gewonnenen Informationen wurde ein Anforderungskatalog für die Bewertungsmethoden und die Softwareunterstützung erstellt. Die recherchierten Methoden bzw. präsentierten Softwaretools wurden anschließend mittels einer Nutzwertanalyse in einem Workshop zusammen mit relevanten Personen im Unternehmen (AnwenderInnen, AbteilungsleiterInnen von Industrial Engineering, IT und Fertigung) ausgewählt (siehe Anhang 12.6).

Resultate der Methodenauswahl

Als Bewertungsmethoden soll künftig MTM-MEK sowie die REFA Zeitaufnahme zum Einsatz kommen. Aber auch das Schätzen von Zeiten lässt sich vor allem in der Einzelfertigung in Sonderfällen nicht vermeiden und wird deswegen auch als anzuwendende Methode angeführt. Schätzen darf jedoch nur dann zur Anwendung kommen, wenn weder die Arbeitsbedingungen noch die Arbeitsinhalte bekannt sind und auch keine vergleichbaren Altaufträge als Bewertungsreferenz herangezogen werden können. Ist ein Schätzen von Zeiten unumgänglich, wird angeraten die Datengrundlage, auf welcher die Schätzung basiert, zu dokumentieren. Dadurch kann im Nachhinein die zeitliche Bewertung für Projektbeteiligte bzw. betroffene Abteilungen einfacher nachvollzogen werden. Die zu präferierenden Methoden sind MTM-UAS, MTM-MEK und REFA Zeitaufnahme.

Vorausgesetzt, die Methoden werden entsprechend der vorherrschenden Prozesstypen im Fertigungsbereich eingesetzt, so kann die Qualität der Zeitwirtschaft weitreichend verbessert werden. Durch die Anwendung von SvZ muss der Arbeitsablauf, die eventuell benötigten Hilfsmittel und der Arbeitsplatz genau beschrieben werden, wodurch der Grundstein der Reproduzierbarkeit der Zeitanalyse gelegt wird. Durch die Verwendung von Zeitwerten aus Datenkarten der Methoden oder daraus abgeleiteten Prozessbausteinen werden die Ablaufabschnitte eindeutig beschrieben. Dadurch können Montagevorgänge besser geschult werden und Abweichungen der auszuführenden Tätigkeiten durch unzureichende Ablaufbeschreibung können verhindert werden. In Folge dessen kann bei einer Linienfertigung besser getaktet und somit die Überlastung von Fertigungslinien vermieden werden. (Bokranz 2012)

REFA Zeitaufnahmen unterliegen, im Vergleich zu SvZ, größerem subjektiven Einfluss der AnalystInnen. Eine REFA Zeitaufnahme wird fertigungs- bzw. montagebegleitend durchgeführt, wobei die durchgeführten Arbeiten dokumentiert und gestoppt werden. Das Personal, welche die Zeitaufnahme durchführt, muss während des Arbeitsprozesses unterscheiden können, ob die soeben durchgeführten Tätigkeiten notwendig oder als Verteilzeiten zu berücksichtigen sind. Vor allem in der Klein- und Einzelerienfertigung wird die Zeitaufnahme meist an Prototypen bzw. dem ersten produzierten Stück durchgeführt. Dabei sind den WerkerInnen am Arbeitsplatz die Arbeitsabläufe meist noch nicht vollständig bekannt, bzw. haben sie diese noch nicht soweit verinnerlicht, dass sie fließend durchgeführt werden können. Meist müssen MitarbeiterInnen die Arbeit unterbrechen, um die nächsten Schritte in den Arbeitsaufträgen nachzulesen oder gar Rücksprache mit beispielsweise Produktplanern oder Konstrukteuren zu halten. Die ZeitwirtschaftlerInnen müssen die Unterbrechungen der Tätigkeiten sowie das Potenzial zur Steigerung in der Ausführungsgeschwindigkeit abschätzen und in Leistungsgrade angeben können.

Dies erfordert neben Erfahrung auch genaue Kenntnis über das zu erzeugende Produkt und den Montagevorgang. Die Leistungsgradbestimmung hängt somit auch vom subjektiven Empfinden der AnalystInnen ab und wird sich, im Idealfall nur gering, von den bestimmten Leistungsgrad-Werten anderer Analysten für denselben beobachteten Prozess unterscheiden. Die Reproduzierbarkeit der Analysen leidet darunter, dennoch stellt die Methode der REFA Zeitaufnahme eine einfache Möglichkeit zur Bestimmung von Vorgabezeiten dar. Die REFA-Methode wird dann empfohlen, wenn keiner der drei Prozesstypen zugeordnet werden kann und mehrere Stücke von gleichen oder ähnlichen Produkten erzeugt werden müssen. Für das in dieser Arbeit betrachtete Unternehmen liegen die Auftragszeiten zum Herstellen der Produkte im Bereich von mehreren Stunden, weshalb eine Anwendung der REFA Zeitaufnahme bereits ab Stückzahlen von größer fünf wirtschaftlich ist. Werden Produkte in geringer Stückzahl erzeugt, erweist sich eine qualifizierte Schätzung der Zeiten für die Planung am wirtschaftlichsten.

Alle ausgewählten Methoden lassen sich mit Stift und Papier durchführen. Hinsichtlich des Ziels der ganzheitlichen Qualitätssteigerung in der Zeitwirtschaft wird eine Softwareunterstützung ausgewählt. Die recherchierten Softwareanbieter (Abbildung 33) werden zuerst anhand den zur Anwendung kommenden Methoden gegenübergestellt. Softwarelösungen, welche MTM-Methoden und REFA-Methoden standardmäßig nicht anbieten werden zur weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Der erforderliche Programmieraufwand, um diese Methoden in Softwarelösungen einzubinden, wird entweder nicht angeboten oder führt zu enormen Mehrkosten und potenziellen Fehlern in der Umsetzung. DCM Group und MTM bieten Softwarepakete an, welche sowohl zur Analyseerstellung als auch zur Planung der Fertigung bzw. Montage eingesetzt werden können. Außerdem sind diese beiden Anbieter im deutschsprachigen Raum am bekanntesten und verbessern ständig ihre Software auf Basis der Zusammenarbeit mit zahlreichen Kunden. Die Software Time-Study wird aus zwei Gründen, trotz der Eignung für REFA Zeitaufnahmen, ebenfalls ausgeschlossen und nicht weiter betrachtet. Mit Time-Study können zum einen keine Analysen mit MTM-Methoden durchgeführt werden und zum anderen bieten DCM und MTM Zusatzpakete zur Erstellung und Weiterverwendung von Zeitaufnahmen nach REFA an.

Resultate der Softwareauswahl

In einem Workshop und intensiven Einzelgesprächen mit internen Stakeholdern der Zeitwirtschaft wurde ein Anforderungskatalog (Anhang 12.5) an die Software erstellt und den beiden favorisierten Anbietern elektronisch übermittelt. Nach positiver Rückmeldung hinsichtlich der Erfüllung des Anforderungskataloges wurden beide Anbieter einzeln zu einer zweistufigen Produktpräsentation eingeladen. Im ersten Termin präsentierten die Anbieter ihre Softwarelösungen hinsichtlich der gestellten

Anforderungen und mögliche Zusatzpakete. Dabei ging hervor, dass TiCon sowohl die Analyse als auch Planung von Aufträgen unterstützt. Die Software kann entweder als eigenständiges Programm, oder durch die SAP 4HANA¹⁰ Zertifizierung verwendet werden. Durch die direkte Einbettung in SAP bleiben NutzerInnen in der SAP-Oberfläche, wodurch keine zusätzlichen Programme erlernt und verwendet werden müssen. Die Softwarelösung der DMC Group verfügt ebenfalls über eine zertifizierte SAP-Schnittstelle, jedoch nicht über die direkte Einbettung in die SAP-Oberfläche als Applikation, wie es bei TiCon der Fall ist. Die Unterstützungssoftware ORTIMplan ist als eigenständiges Programm zu nutzen, um Arbeitspläne aus vorhandenen Zeitanalysen und Produktionsdaten erstellen zu können. Zur Durchführung der Zeitbewertungen, Erstellung und Verwaltung von Zeitbausteinen wird zusätzlich die Softwareerweiterung *CAPP-Knowledge* benötigt. Die Erweiterung *ORTIMzeit* wird ebenfalls benötigt, um REFA Zeitaufnahmen digital durchführen und gleichzeitig dokumentieren zu können. ORTIMzeit ist ein weiteres Softwaretool, das mit CAPP-Knowledge und ORTIMplan direkten Datenaustausch ermöglicht, allerdings als separate Anwendung geöffnet wird. TiCon bietet eine Applikation zur Erstellung und Bearbeitung von REFA Zeitanalysen an, welche direkt in der Benutzeroberfläche über ein zusätzliches Icon ausgewählt und verwendet werden kann. In der ersten Stufe der Produktpräsentation wies TiCon einige Vorteile gegenüber der Kombination der Softwarelösungen von DMC auf. Exporte von Zeitbausteinen, Analyseberichte und Arbeitspläne können individuell definiert und somit auf die Anforderungen und Designs der Unternehmen eingestellt werden. DMC bietet nur die vordefinierten Standardberichte an, welche den Anforderungen des Unternehmens nicht entsprechen. Eine Anpassung der Exportmöglichkeiten und des Berichtlayouts ist mit Zusatzkosten durch entstehenden Programmieraufwand verbunden.

Im zweiten Teil der Produktpräsentation wurden die Anbieter gebeten, eine Live-Demonstration der Software durchzuführen. Dabei wurden die Nutzungsfälle und die Vorgehensweisen zum Erstellen von Analysen, Zeitbausteinen, Berichten und Planungsmöglichkeiten demonstriert. TiCon überzeugt dabei mit einer intuitiven Durchführung der Arbeitsschritte und erfordert weniger manuelle Eingaben als ORTIMplan in Kombination mit CAPP-Knowledge. Außerdem kann in TiCon ohne Programmwechsel die Planung vollzogen werden. Durch die direkte Einbettung in SAP können Bauteilverknüpfungen generiert werden. Dies hat den Vorteil, dass die Bauteile in allen Applikationen von SAP (Oberflächen für Logistik, Einkauf, Planung, Zeitwirtschaft, usw.) eine gesamtheitliche Abbildung aller relevanten Bauteil-Informationen bietet. Verändert sich beispielsweise das Bauteilgewicht aufgrund konstruktiver Änderungen, so kann das aktuelle Gewicht des Bauteils in der Planung eingesehen und die passenden Zeitwerte aus den Datenkarten ausgewählt werden.

¹⁰ Zertifizierte Schnittstelle zu SAP (SAP ist Anbieter von Unternehmenssoftware, darunter versteht man z.B. Enterprise-Resource-Planning-Software)

Die aus den Produktpräsentationen gewonnenen Informationen wurden zur Bewertung anhand der aus dem Anforderungskatalog abgeleiteten Kriterien in der Nutzwertanalyse verwendet (siehe Anhang 12.6). In Tabelle 10 sind die Vor- und Nachteile der Softwaretools von MTM und DMC-ortim zusammengefasst ersichtlich. Die Vorteile der Zeitersparnis (vgl. Abbildung 41) und somit ressourcenschonenden Durchführung von Bewertungen und Analysen durch eine zentrale und standardisierte Oberfläche gelten ungeachtet der Softwareanbieter.

	TiCon (MTM)	ORTIM CAPP + Zeit & Plan (DMC-ortim)
Vorteile	+ zertifizierte SAP-Schnittstelle (S/4HANA)	+ SAP-Schnittstelle
	+ Direkt in SAP eingebunden	+ Integrierte Datenkarten für MTM-Methoden
	+ Integrierte Datenkarten	+ Individuell generierbare Datenkarten für MTM-Methoden
	+ Individuell generierbare Datenkarten	+ Bausteinkatalog
	+ Bausteinkatalog hierarchisch	+ Regel- und formelbasierte Bausteine
	+ Regel- und formelbasierte Bausteine	+ Drag & Drop in der Analyseerstellung
	+ Einfache und standardisierte Analyseerstellung (Drag&Drop, Verwendungsregeln von Bausteinen)	+ Verwendungsnachweis
	+ Verwendungsnachweis	+ Änderungsmanagement
	+ Änderungsmanagement	+ Verlinken von PDFs und Fotos zu Analysen
	+ Individuelle Reporte / Exporte möglich	+ REFA-Zeitaufnahme wird ganzheitlich unterstützt
	+ Verlinken von Dokumenten zu Analysen	+ Unterstützt Mobilgeräte
	+ Auswertung von KPIs & farbliche Kennzeichnung von Analysezeilen	
	+ Ressourcenauslastung ersichtlich	
Nachteile	- Erstellungsaufwand der Bausteine und Bausteinkataloge	- Erstellungsaufwand der Bausteine und Bausteinkataloge
	- Mobilgeräte werden nicht unterstützt	- Reporte / Exporte nicht anpassbar
		- Keine Auswertung von KPIs und automatische farbliche Kennzeichnung der Analysezeilen
		- Unterschiedliche Programme / Benutzeroberflächen

Tabelle 10: Zusammenfassung Vor- und Nachteile von unterstützenden Softwaretools

Das Ergebnis der Nutzwertanalyse zeigt, dass die Softwarelösung der deutschen MTM-Vereinigung, TiCon, mit einem Erfüllungsgrad von 94% auszuwählen ist. Ortim CAPP-Knowledge erfüllt, trotz der nicht wie gewünschten Planungsmöglichkeiten, die Anforderungen zu 82%. Das Paket der Softwarelösungen mit CAPP-Knowledge, ORTIMzeit und ORTIMplan gemeinsam, weist einen Erfüllungsgrad von 79% auf. Das vergleichsweise schlechte Abschneiden lässt sich durch die eingeschränkten Möglichkeiten, benutzerspezifische Anpassungen vornehmen zu können und mit dem der unterschiedlichen Benutzeroberflächen bzw. Anwendungen verbundenen Nachteilen z.B. der Unübersichtlichkeit, begründen.

5.1.2 Ergebnisse Optimierung Analysieraufwand

Das betrachtete Unternehmen steht aufgrund des Fertigungsprinzips der Einzel- und Kleinserienfertigung bei gleichzeitig großer Variantenvielfalt vor Kapazitätsengpässen in der Produktionsplanung. Die zum Einsatz kommenden Methoden zur Analyse und Planung der Arbeitsabläufe (ROM, REFA Zeitaufnahme, Schätzungen mittels Erfahrungswerte) liefern bei teilweise hohem Planungsaufwand nur unzureichend gute Ergebnisse. Die tatsächlich benötigten Auftragszeiten weichen teilweise bis zu 45% von der geplanten Auftragszeit ab. Die Abweichungen lassen sich durch die unzureichende Dokumentation der teilweise veralteten Planzeitwerte erklären. Zusätzlich erschwert die geringe Dokumentation der Planzeitwerte und nicht standardisierten Prozesse die methodisch richtige Anwendung. Durch die Einführung neuer und im vorigen Abschnitt beschriebenen Methoden und dafür geeigneter Softwareunterstützung, soll die Qualität der Zeitwirtschaft gehoben werden. Jedoch erfordern die Analysemethoden nach MTM ebenfalls hohen Aufwand in der Durchführung. Deswegen wurde eine Methode entwickelt, welche den Analysieraufwand reduzieren kann. Ein weiterer Vorteil der Lösung ist, dass bei Einführung der Software nicht alle einzelnen Planzeitwerte mit Regeln und Formeln angelegt und somit weitere Personalressourcen dafür eingesetzt werden müssen.

Durch Analyse der Zeitdaten vergangener Aufträge und aktuell verwendeten Planzeitwerte hat sich herausgestellt, dass eine Variation einzelner Konfigurationsparameter unterschiedlich großen Einfluss auf die endgültige Auftragszeit hat. Aus dieser Erkenntnis wurde mittels KNIME Analytics Platform ein Workflow erstellt, welche jene Planzeitwerte für Baugruppen herausfiltert, die trotz unterschiedlicher Konfigurationsparameter keine signifikante Auswirkung auf die Auftragszeit des betrachteten (Teil-) Erzeugnisses haben. Zur Bestimmung dieser nichtsignifikanten Anteile wurde ein Ähnlichkeitsmaß definiert (siehe Formel 4), welches es unter Berücksichtigung von Schwankungen der Ausführungszeit von Tätigkeiten erlaubt, die Baugruppen und Planzeitwerte nach ihrer Auswirkung auf die Auftragszeit zu klassifizieren. Die Standardabweichung der einzelnen Ist-Zeiten zur Ausführung der Tätigkeiten wird durch die durchschnittliche Auftragszeit der herangezogenen Aufträge dividiert, um die unterschiedliche Dauer der Ablaufabschnitte zu normieren und vergleichbar zu machen. Andere Ähnlichkeitsmaße wurden während der Entwicklung der Methode ebenfalls getestet, erwiesen sich allerdings als nicht geeignet. Wird zum Beispiel die Standardabweichung der jeweiligen Ablaufabschnitte mit der durchschnittlichen Zeitdauer der betrachteten Abschnitte normiert, so wirken sich Ausreißer stärker aus und gleichzeitig wird die Auswirkung auf andere Baugruppen durch die berücksichtigten Parameterkonfigurationen nicht berücksichtigt. Eine Normierung der Standardabweichung über die jeweilige tatsächlich benötigte Auftragszeit des betrachteten Produktes verfälscht das Ähnlichkeitsmaß. Es werden auch die zur

Abklärung bzw. zum Nachlesen der Einbauvorgänge benötigten Zeiten mitberücksichtigt. Durch das Heranziehen der durchschnittlichen Auftragszeiten über alle gefertigten Aufträge werden sowohl die baugruppenübergreifenden Auswirkungen der Konfigurationsparameter, und somit die damit verbundenen Fertigungszeiten, als auch die durch die erstmalige Ausführung entstehenden Schwankungen ausgeglichen.

Zur Entwicklung der Methode wird ein Pilotbereich, die Modullinie, definiert. Diese verfügt über insgesamt vier Arbeitsstationen und einem Ausweichplatz und 98 Ablauffolgen von Tätigkeiten, welche von 21 Parametern abhängen. Die letzten 230 Aufträge werden zur Auswahl des Grenzwertes für das Ähnlichkeitsmaß aus Formel 4 ausgewertet. Dabei wird der Grenzwert des Ähnlichkeitsmaßes sukzessive verkleinert. Ablauffolgen welche ein kleineres Ähnlichkeitsmaß als der definierte Grenzwert aufweisen, werden als nicht von Konfigurationsparametern abhängig deklariert. Die grenzwertunterschreitenden Ablauffolgen werden sodann mit den jeweiligen Durchschnittszeiten aller betrachteten Konfigurationen belegt und diese zu einem gesamten Planzeitwert zusammengefasst. Dieser Planzeitwert kann ohne Rücksichtnahme auf Konfigurationen zur Planung von Neuaufträgen herangezogen werden. Grenzwertüberschreitende Ablauffolgen müssen weiterhin, aufgrund des größeren Einflusses auf die gesamte Fertigungszeit, auf Basis der vorliegenden Produktkonfiguration bewertet werden. Bei größeren Grenzwerten unterschreiten mehrere Ablauffolgen diesen Wert, folglich müssen weniger Arbeitsvorgänge je Auftrag bewertet werden. Wird der Grenzwert herabgesetzt, unterschreiten weniger Arbeitsfolgen den vorgegebenen Wert und der Analysieraufwand erhöht sich.

Die unter verschiedenen Grenzwerten des Ähnlichkeitsmaßes erhaltenen Gruppierungen von Ablauffolgen, also aggregierten Planzeitwerten, werden zu einer Bewertung der gleichen 230 Aufträge verwendet. Die erhaltenen Vorgabezeiten für die Aufträge werden den vorhandenen Ist-Daten gegenübergestellt. Abbildung 45 zeigt die Abweichungen der Analysen mit dem jeweils zugrundeliegenden Ähnlichkeitsmaß. Die Eignung eines Grenzwertes wird anhand der Ähnlichkeit zur Ist-Situation festgemacht. Abbildung 45 zeigt bereits Bewertungen mit Ähnlichkeitsmaßen, welche die Ist-Situation mit geringen Abweichungen annähert.

In der angestellten Literaturrecherche konnten keine Informationen zur richtigen Auswahl von Grenzwerten und vergleichbaren Methoden gefunden werden. Die Auswahl eines konkreten Ähnlichkeitsmaßes wird somit rein auf Basis der Wirtschaftlichkeit durchgeführt.

Tabelle 6 zeigt die Anzahl der Arbeitsgänge, welche den jeweiligen Grenzwert des Ähnlichkeitsmaßes unterschreiten. Der Abgleich mit Abbildung 45 zeigt, dass bei einem Grenzwert von 1% zwar 81% der Arbeitsfolgen zu einem Planzeitwert zusammengefasst werden könnten, jedoch die Abweichungen zu den Ist-Daten noch

relativ groß ist. Bei einem Grenzwert von 0,1% werden 15 Arbeitsfolgen aggregiert und die Ist-Situation am genauesten angenähert. Der Analysieraufwand würde sich dadurch aber nur um etwa 15% verringern. Deshalb wird für den Pilotbereich ein Grenzwert zwischen 0,3% und 0,4% empfohlen. Dadurch müssen um 41% (bei Grenzwert von 0,3%), bzw. bis zu 52% (bei Grenzwert von 0,4%) weniger Arbeitsfolgen bewertet werden, wobei die aktuelle Aussagegenauigkeit bis auf einzelne Abweichungen erhalten bleiben würde.

Das Modell für den Pilotbereich ist so gestaltet, dass auch Ist-Daten anderer Fertigungsbereiche als Eingabequelle verwendet werden können. Somit kann nach positiver Umsetzung des Pilotprojekts die Methode einfach auf andere Fertigungsbereiche angewendet werden.

5.1.3 Resultate Vorgabezeitermittlung trotz fehlender Auftragsinformationen

Zum Bestimmen von Vorgabezeiten trotz fehlender Auftragsinformationen wird ein RF-Modell gewählt. Das RF-Modell bietet im Vergleich zu anderen ML-Algorithmen, wie CBR, einen entscheidenden Vorteil. Der Programmieraufwand zum Erstellen des Regelnetzwerkes, wie es bei CBR Algorithmen notwendig ist, entfällt bei RF-Modellen. Der Algorithmus trainiert sich mit einem Trainingsdatensatz selbst und nutzt die bestmögliche Kombination und Konfiguration einzelner Bäume zum Bestimmen der Testdaten, in diesem Fall die Aufträge mit nicht vollständig definierten Konfigurationsparametern. Wichtig dabei ist nur, dass die Trainingsdaten und Testdaten der gleichen Struktur entsprechen. Ein auf die Modullinie trainiertes RF-Modell kann somit nur Ergebnisse für Produkte mit den gleichen Parametern der Modullinie liefern. Für andere Fertigungsbereiche muss ein eigenes RF-Modell erstellt und trainiert werden.

Das RF-Modell wird ohne vorherige Datenaufbereitung angewendet. Eine Datenaufbereitung führt zu einem performanteren ML-Modell, muss aber individuell auf die eingegebenen Daten angepasst werden. Es wäre also erforderlich für jeden Fertigungsbereich und jedes Produkt einen separaten FS- bzw. FE- Algorithmus zu entwickeln. Das für diese Arbeit benötigte RF-Modell soll zur Grobplanung und Steuerung der Fertigung und Montage verwendet werden. Sind zu einem späteren Zeitpunkt alle Konfigurationsparameter des Produktes bekannt, werden die noch ausstehenden Analysen der bis dahin nicht bewerteten Arbeitsfolgen methodisch bestimmt.

Das für den Pilotbereich erstellte RF-Modell besteht aus 220 einzelnen Entscheidungsbäumen. Die Anzahl der Bäume wird über eine Optimierungsschleife während des Trainings des Algorithmus festgelegt. Dabei wird die Anzahl der Bäume, mit dem Ziel, einen maximal möglichen Wert für R^2 zu erhalten, variiert. Die Modelltiefe,

also die Anzahl der Verzweigungsebenen, bleibt für die Optimierungsschleife uneingeschränkt.

Die Datenbasis von 230 Aufträgen wird zum Testen des Modells partitioniert, wobei 80% der Aufträge als Trainingsdaten und 20% als Testdaten dienen. Bei einer Modellgröße von 220 Entscheidungsbäumen und jeweils einem zufällig fehlenden Konfigurationsparameter errechnet der Algorithmus Auftragszeiten, welche im Durchschnitt für die Testdaten um 5,5% zur Ist-Zeit abweichen. Die dabei fehlenden Parameter weder durch einen Zufallsgenerator ausgewählt. Diese Abweichung ist vergleichbar mit den Abweichungen, die trotz vollständiger Auftragsabklärung mit den aktuell verwendeten Bewertungsmethoden erreicht werden. Die durchschnittliche Ist-Abweichung der herangezogenen 230 Aufträgen beträgt 6,9%.

Bei der Berechnung der aufgrund der fehlenden Auftragsinformation nicht bestimmbar Arbeitsfolgen liefert der Algorithmus ebenfalls gute Ergebnisse (vgl. Tabelle 8). Lediglich bei Fehlen der Konfigurationsparameter *Produktlänge*, *Produkthöhe*, *Parameter 4* und *Parameter 11* weisen die jeweilig betroffenen Arbeitsfolgen deutlich höhere Abweichungen als die in der Ist-Situation mit ROM-Analysen auf.

5.2 Resultate in Bezug auf Forschungsfrage

In diesem Kapitel werden die zu Beginn definierten Forschungsfragen mit den gewonnenen Erkenntnissen und Ergebnissen beantwortet. Die ersten beiden Forschungsfragen greifen stark ineinander und werden deswegen gemeinsam beantwortet.

- **Welche zeitwirtschaftliche Methode eignet sich zur Bewertung von Arbeitsprozessen in der variantenreichen Kleinserienfertigung?**
 - **Welcher Detaillierungsgrad der Bewertungsmethode ist für ein Unternehmen mit hoher Produkt- und Variantenvielfalt notwendig, um wirtschaftliche Ergebnisse in passender Qualität in der Planzeitenbestimmung zu erreichen?**

Die Wahl der passenden Bewertungsmethode hängt von der Organisation und Charakteristika der vorliegenden Arbeitssysteme und Prozesse ab. Dazu gilt es, die Fertigungsbereiche eines Unternehmens zu analysieren. Die vorherrschenden Fertigungs- und Montageprinzipien (vgl. Abbildung 10) können durch angestellte Beobachtungen leicht festgestellt werden. Im betrachteten Unternehmen werden Produkte nach dem Fertigungsprinzip der Werkstätten-, Gruppen-, und bei Kleinserien in Variantenfertigung hergestellt. Dabei kommen die Montageprinzipien Baustellenfertigung und getaktete Standplatzmontage zum Einsatz. Bei Kleinserien in der Variantenfertigung werden die Erzeugnisse in Reihenmontage gefertigt. Allgemein sind Betriebe, wie das Beispielunternehmen, meist nicht nur nach einem Produktionsprinzip ausgerichtet. Das vorliegende Prinzip richtet sich nach den Produkten und der herzustellenden Stückzahl. Die Organisation von Arbeitssystemen und Prozesscharakteristika sind weniger von der Branche abhängig. Sie können in Prozesstypen kategorisiert werden. Unabhängig der zu fertigenden Produkte und Stückzahlen können die Prozesstypen anhand von Merkmalen wie Zyklus der Tätigkeiten, Arbeitsablauf, der Arbeitsplatzorganisation und dessen Versorgungsprinzip sowie die Arbeitsweise und deren Streuung zwischen unterschiedlichen WerkerInnen definiert werden (vgl. Bokranz 2012; Bauernhansl 2020). In der Einzel- und Kleinserienfertigung kann die Ablaufkomplexität und Typologie der Prozesse meist mit Prozesstyp 3 beschrieben werden. Da sich bei hoher Variantenvielfalt die Produktausprägungen einer Produktfamilie teilweise stark unterscheiden können, wurde bei der Analyse der Arbeitsprozesse zusätzlich noch die Prozesssicherheit untersucht. SvZ eignen sich bei geringen Stückzahlen durch die zeitlich intensive Analyse und Bewertung vorwiegend für Arbeitsprozesse, welche geringen bzw. keinen Störungen unterliegen. Unter Störungen werden in diesem Zusammenhang beispielsweise Unterbrechungen durch Absprachen mit Konstrukteuren

oder nachträgliche Anpassungen an vorgefertigten Bauteilen verstanden. Kann bei einer Sonderanfertigung der Aufbau und die Montagereihenfolge nicht vor Montagestart vollständig definiert werden, so ist auch mit Prozessbausteinen von SvZ die Tätigkeit und dafür benötigte Zeit nicht bestimmbar.

Allgemein wird für Prozesstyp 3 die Methode MTM-MEK empfohlen. Diese Methode bietet im Vergleich zu den in Kapitel 3 erläuterten Methoden Vorteile in der eindeutigen Methoden-Zeitbeziehung und die Möglichkeit der Vorausplanung. Im Vergleich zu anderen zeitwirtschaftlichen Analyse- und Bewertungsmethoden ist MTM international anerkannt. Aber auch die Qualität und Wirtschaftlichkeit der Zeitwirtschaft kann mittels MTM-MEK durch eine klare Beschreibung der Prozesse gesteigert werden. Abbildung 48 zeigt einen Vergleich der Methoden.

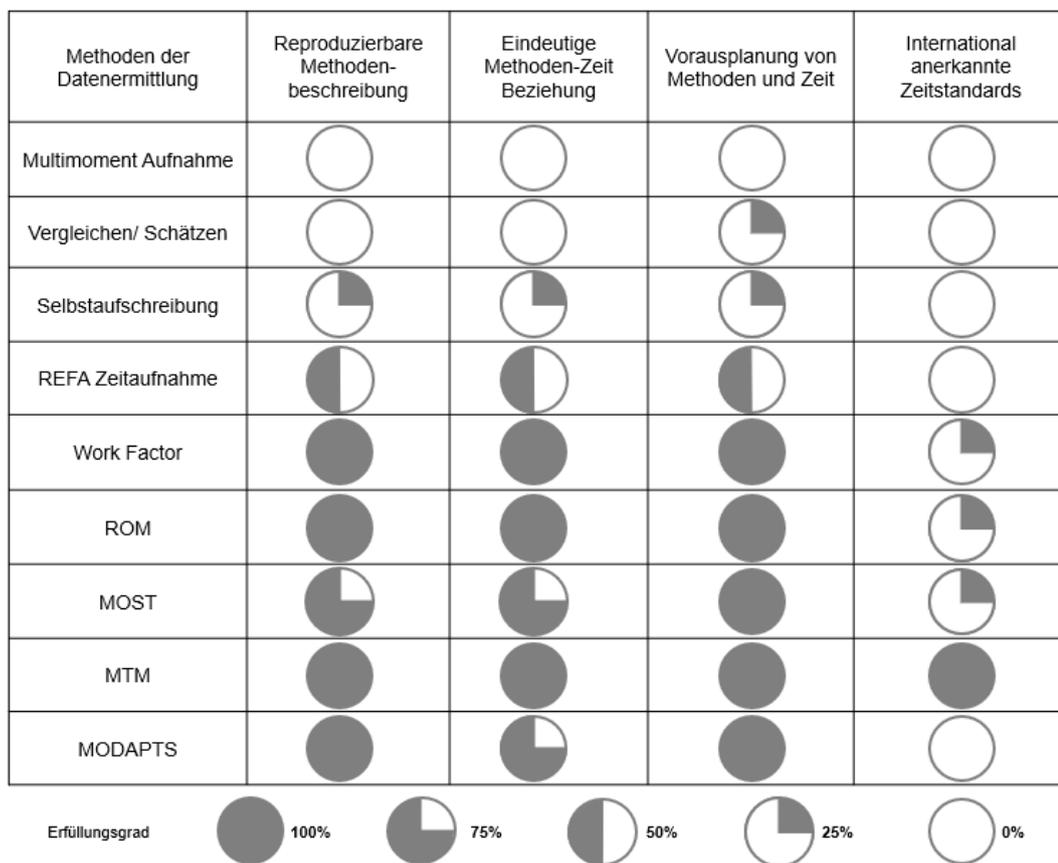


Abbildung 48: Vergleich von zeitwirtschaftlichen Methoden (vgl. Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020; Bokranz 2012)

Die Methoden von MTM werden fortlaufend auf statistischer Grundlage weiterentwickelt und den Zeitwerten der Datenkarten und Prozessbausteine (aggregiert aus Grundbewegungen) angepasst. Somit ist die Reliabilität und statistische Genauigkeit der Methode MTM-MEK gegeben. Die Bezugsleistungstreue wird ebenfalls sichergestellt, da die verwendeten Zeitwerte von einem geübten, eingearbeiteten und in normalem Tempo

arbeitenden Menschen ausgehen. Durch das klar formulierte Regelwerk wird Objektivität gewährleistet. (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020) MTM-MEK stellt somit die Stabilität und Validität im Sinne der Qualitätsanforderungen für Prozessbausteinsysteme (Abbildung 40) sicher.

Eine Verwendung von Methoden wie MTM-1 oder MTM-UAS für einen Prozesstyp 3 entsprechendes Arbeitssystem führen nicht, wie oft in der Praxis angenommen, zu genaueren Ergebnissen. Der statistische Effekt der Methoden wird durch den Anwendungseffekt überkompensiert. MTM-MEK führt zu höherer Objektivität und Reliabilität und somit zu einer höheren Stabilität als MTM-1 (Bokranz 2012).

Die Wirtschaftlichkeit, wobei Wirtschaftlichkeit in der Zeitwirtschaft vor allem auf die Nutzbarkeit bzw. Dokumentation von Informationen und deren Generierung beschreibt (Bokranz 2012), kann durch die Software TiCon sichergestellt werden. Das Verwenden dieser Software gewährleistet eine durchgängige und standardisierte Analyse, Bewertung und Dokumentation. Die gewonnenen Daten über die bewerteten Arbeitsprozesse werden zentral gespeichert. Für andere Unternehmensbereiche, z.B. Controlling oder Personalplanung, können relevante Informationen aus dem System durch Exporte oder Anknüpfung an die Datenbank einfach exportiert werden. Der Arbeitsaufwand zum Erstellen von Auswertungen für diese Bereiche reduziert sich dadurch enorm.

Eigene, speziell für den jeweiligen Betrieb erstellte / angepasste, Prozessbausteine und Planzeitwerte können für die Analysen angelegt und verwendet werden. Regeln und Formeln zur automatischen Berücksichtigung oder anteiligen Verwendung dieser können programmiert werden. Persönliche und sachliche Verteilzeitzuschläge werden im System einmal mit den jeweiligen Werten und Gültigkeiten hinterlegt und zu jeder zeitlichen Bewertung von Aufträgen automatisch errechnet und hinzugefügt. Dadurch lässt sich der Zeitaufwand zur Erstellung von Bewertungen deutlich reduzieren (vgl. Abbildung 47). Die digitale Ablage aller Daten und ein softwareunterstütztes Änderungsmanagement ermöglichen schnelle, aber ganzheitliche Änderungen von Analysen.

Angemerkt werden muss, dass der Aufwand für die Beschaffung der Informationen zum Bilden von MTM-Analysen auch durch Softwareunterstützung nicht bzw. nur begrenzt reduziert werden kann (siehe Abbildung 32). Jedoch ist der Aufwand je Prozessbaustein nur einmalig und kann mithilfe der Software beliebig oft weiterverwendet und wenn nötig generalisiert geändert oder angepasst werden.

Um den erstmaligen Erstellungsaufwand in Betrieben bewältigen zu können schafft die in dieser Arbeit entwickelte Methode zum Zusammenfassen von nicht konfigurationsparameterabhängigen Arbeitsfolgen die notwendige Abhilfe. Durch Zeiteinsparung in der Analyseerstellung können somit freigewordene Personalressourcen zur sukzessiven Erstellung von Prozessbausteinen in TiCon eingesetzt werden.

- **Welche Anforderungen gilt es zu erfüllen, um eine generische regressive Analyse von Arbeitsprozessen anhand Stammdaten durchführen zu können und ist diese wirtschaftlich einzusetzen?**

Es gibt unterschiedliche Methoden bzw. Algorithmen, um auf Basis von Stammdaten neue Aufträge zeitlich bewerten zu können. Generell hängt die Aussagekraft allerdings von der Datenqualität der Eingabedaten ab. Bei Expertensystemen und CBR müssen die Datensätze, mit denen die Systeme arbeiten, aufwändig bearbeitet werden. Wissen in Form von Zusammenhängen der Prozessbausteine, Montagereihenfolge, Randbedingungen von Zeitbausteinen und deren Abhängigkeiten von Produktkonfigurationsparameter müssen vorab erstellt werden. Beide Methoden nutzen das vorhandene Wissen (Stammdaten aus Altaufträgen) zum (direkten) Vergleich mit dem neu zu bewertenden Auftrag. (Görz et al. 2021; Chandramouli et al. 2018; Beierle und Kern-Isberner 2019) Damit diese Methoden für Betriebe, die ihre Produkte in hoher Variantenvielfalt herstellen, anwendbar sind, muss die Größe der Wissensbasis mindestens eine repräsentative Stichprobengröße der tatsächlichen Auftragskonfigurationen darstellen.

Auch bei RF-Modellen führt eine Datenaufbereitung der Eingangsdaten zu performanteren Lösungen. Dennoch weisen sie gegenüber CBR und Expertensystem entscheidende Vorteile auf. Wird der RF-Algorithmus als Regressions-Algorithmus verwendet, können die Vorgabezeiten auf Basis der vorhandenen Trainingsdaten auch bei abweichender Produktkonfiguration errechnet werden. Durch das selbstständige Trainieren der Methode entfällt die aufwändige Definition der Randbedingungen einzelner Attribute des Datensatzes. Der Algorithmus bildet aus dem Trainingsdatenset eine Vielzahl an unterschiedlichen Entscheidungsbäumen. Dabei werden die Entscheidungsknoten eines Baumes mit unterschiedlichen Inputparametern besetzt und der Zufallswald auf die Aussagekraft geprüft. Der Algorithmus findet somit selbstständig den besten Aufbau der Struktur und wendet diese dann für die Testdaten an. Außerdem erlaubt eine Anwendung der Regressionsrechnung eine, im Vergleich zu den anderen beiden Verfahren, kleinere Datenmenge als Ausgangsbasis. In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass zur Grobplanung ein

RF-Modell auch ohne FS oder FE bei sehr kleinen Datensätzen ausreichend genaue Ergebnisse für die Einzel- und Kleinserienfertigung liefert. Bei einer Anwendung für genauere Prognosen wird allerdings empfohlen, eine Datenaufbereitung durchzuführen, um redundante oder korrelierende Attribute zu entfernen bzw. zusammenzufassen, um dadurch eine qualitativ hochwertigere Lösung zu generieren.

Eine Anforderung müssen alle auf Vergangenheitsdaten beruhenden Methoden erfüllen. Es dürfen nur Aufträge herangezogen werden, die unter denselben Rahmenbedingungen (Fertigungsprinzip, Hilfsmittel, Arbeitsplatzgestaltung, gleichen Prozesstypen usw.) gefertigt wurden. Ansonsten würden die Aufträge unter Einbezug falscher Ausgangsgrößen, welche Auswirkungen auf die Vorgabezeitermittlung haben, ermittelt werden.

6 Diskussion und Ausblick

In diesem Abschnitt werden zuerst die Ergebnisse und Erkenntnisse zusammengefasst. Ebenfalls wird auf die Auswirkungen in naher Zukunft und auf die Potenziale bei erfolgreicher Umsetzung eingegangen. Jedoch gibt es auch für die umzusetzenden Methoden Einschränkungen, welche ebenfalls zusammenfassend aufgezeigt werden. Abschließend wird noch auf das weitere Vorgehen zur Methodenverbesserung und das betriebsweite Ausrollen der entwickelten Methoden eingegangen.

Bevor allerdings die genannten Punkte diskutiert werden, wird noch einmal auf die Wichtigkeit einer neutralen und ganzumfänglichen Ist-Analyse der Prozesse, Stakeholder und Produkte im Unternehmen hingewiesen. Die Ergebnisse der Zeitwirtschaft wirken sich auf viele Unternehmensbereiche aus. Bei einer ganzheitlichen Analyse können sowohl bestehende Probleme analysiert wie auch mögliche Potenziale aufgezeigt werden. Diese Potenziale können bei der Auswahl von Methoden und Softwareunterstützung berücksichtigt werden und in Folge dessen große Einsparungen erreicht werden.

6.1 Diskussion der Ergebnisse

Die Literaturanalyse und State-of-the-Art zeigen viele unterschiedliche Methoden zum Analysieren und Bewerten von Arbeitsvorgängen auf. Diese Methoden verfolgen alle das Ziel, Arbeitsabläufe bewertbar und vergleichbar zu machen. Die zeitwirtschaftlichen Bewertungsverfahren sind für bestimmte Fertigungsprinzipien und Prozesscharakteristika entwickelt worden. Die Methoden unterscheiden sich im Allgemeinen im Analyseniveau. Werden Arbeitsabläufe in der Massenfertigung bewertet, so muss aufgrund der kurzen Taktzeiten die Analyse möglichst genau sein. Die WerkerInnen führen ihre Arbeitsschritte kurzzyklisch aus, was das Methodenniveau stark anhebt bzw. die Arbeitsweisenstreuung vermindert (Prozesstyp 1). Für Betriebe mit Einzel- und Kleinserienfertigung ist das Methodenniveau durch langzyklische Tätigkeiten deutlich niedriger. Die MitarbeiterInnen haben aufgrund der sich von Produkt zu Produkt unterscheidenden Arbeitstätigkeiten keine Möglichkeit, eine Routine aufzubauen und somit beim folgenden Produkt die Tätigkeiten schneller abarbeiten zu können. Diese Tatsache wird beispielsweise in Methoden für den Prozesstyp 3 berücksichtigt. Abbildung 49 gibt zusammenfassend einen Überblick über die in dieser Arbeit beschriebenen Bewertungsmethoden.

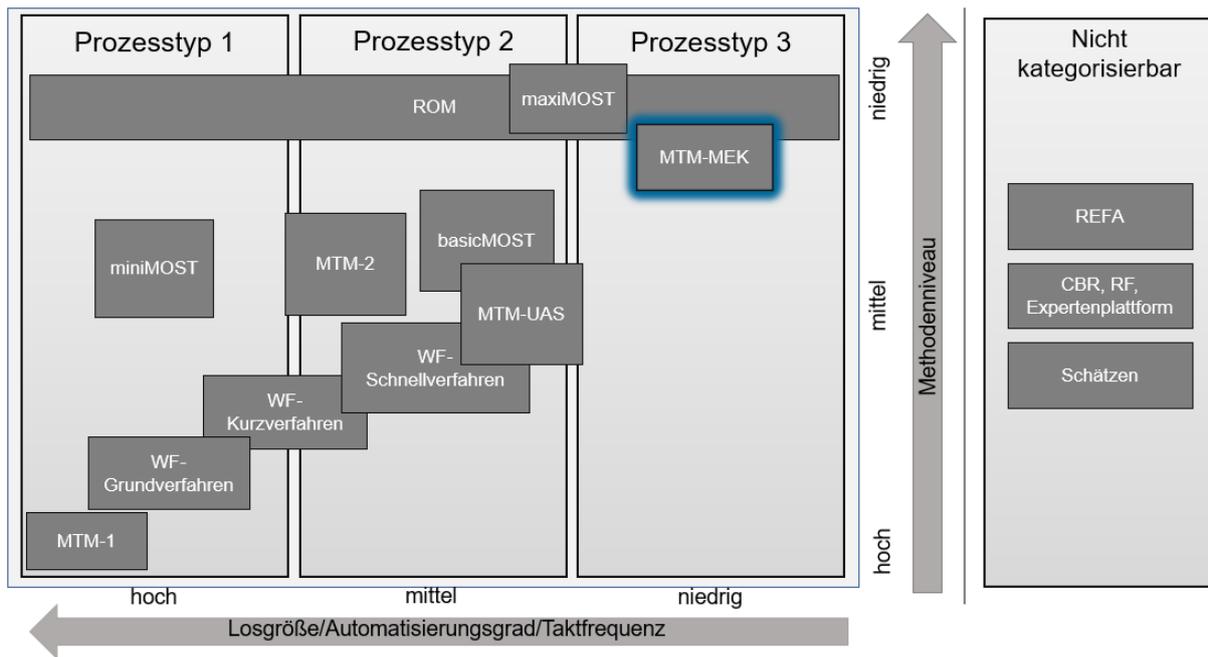


Abbildung 49: Bewertungsmethoden zu Prozesstypen (Salvendy 2001; Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020; Bokranz 2012; ROI 2015)

Mit der Auswahl der Methode MTM-MEK, aufgrund des vorliegenden Prozesstyps 3, können die Arbeitsabläufe auf Vorgangsebene analysiert werden. Durch die geringen Losgrößen bei Einzel- und Kleinserienfertigung ist es nicht wirtschaftlich und oft auch nicht möglich, Arbeitsvorgänge detaillierter zu beschreiben. MTM-MEK berücksichtigt in den Zeitbausteinen ebenfalls Zeitanteile von Nebentätigkeiten, wie beispielsweise dem Vorrichten oder Anpassen von Bauteilen an der Montagestelle. Die Bewegungen zum Vorrichten bzw. Anpassen müssen somit nicht extra in der Bewertung berücksichtigt werden. Dadurch ist auch der Analysieraufwand geringer und erfordert weniger detaillierte Informationen über Arbeitsfolgen. MTM-MEK wurde aufgrund des umfangreichen Regelwerks, der laufend überarbeiteten und angepassten Zeitwerten und der internationalen Anwendung und Vergleichbarkeit ausgewählt. Auch die Ausgleichszeit von 19 min ist ein Argument für MTM-MEK. Die aktuell zur Anwendung kommende Methode ROM benötigt eine Ausgleichszeit von 650min. Die Arbeitstätigkeiten im Unternehmen weisen im Durchschnitt 45 min, weshalb sich die Abweichungen der Bewertung zur Ist-Zeit, auch bei methodisch korrekter Anwendung von ROM, von größer 5% nicht vermeiden lassen. (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020; Bokranz 2012; ROI 2015) Außerdem gibt es im Gegensatz zu ROM oder maxiMOST deutschsprachige Softwareunterstützung.

In Tabelle 11 werden die zeitwirtschaftlichen Bewertungsmethoden, welche sich für den Prozesstyp 3 eignen, zusammengefasst und die Unterschiede gegenübergestellt.

Leitfaden und Beispielfragen zur Erstellung eines Anforderungskataloges			
Merkmale	MTM-MEK	ROM	maxiMOST
Analyse und Hierarchieebene	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse und Dokumentation von Grundvorgängen (z.B. Prozessbaustein "Aufnehmen und Platzieren") - Jeder Grundvorgang wird einzeln in einer neuen Analysezeile bewertet. Zum Beispiel wird ein "Gehen" eigens analysiert, obwohl es tatsächlich zwischen einem "Aufnehmen und Platzieren" vorkommt. Das "Aufnehmen und Platzieren" beinhaltet die Einflussgrößen des Werkzeuges oder Bauteils, das "Gehen" beschreibt die zurückgelegte Wegstrecke einzeln. - Klare Zuordnung von Einflussgrößen (Entfernung, Gewicht, Platziergenauigkeit, Sperrigkeit) zu einzelnen Prozessbausteinen 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse und Dokumentation von Bewegungssequenzen / Operationsfolgen (z.B. "geführtes Bringen"). - Bewegungssequenzen beinhalten z.B. das Überbrücken von Distanzen durch Greifen oder Gehen, die Veränderung der Körperlage, das Kontrolle erlangen über Bauteile/Werkzeuge, das Platzieren von Bauteilen/Werkzeugen, etc. Jede Operationsfolge wird durch zusammengesetzte Teiltätigkeiten eindeutig definiert. Den Teiltätigkeiten werden abhängig der Einflussgrößen Indexpzahlen zugeordnet. Die Indexpzahlen werden aufsummiert und in Zeitwerte umgerechnet. - Keine bestimmte Hierarchieebene oder Methode entsprechend den Prozesstypen. Die Aggregation der Zeitklassen auf Musterarbeitswerte ist an die Unternehmung individuell angepasst. 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse und Dokumentation von Bewegungssequenzen (z.B. "general move") - Bewegungssequenzen beinhalten z.B. zurückgelegte Distanzen durch Greifen oder Gehen, Körperbewegungen (vertikal), Manipulation der handzuhabenden Gegenstände, Platzierbedingungen. Jede Sequenz setzt sich aus Teiltätigkeiten/Bewegungen zusammen, welche unter Berücksichtigung von Einflussgrößen mit Indizes versehen werden. Die Indizes werden für jede Sequenz aufsummiert und in Zeitwerte - maxiMOST wird aus dem basicMOST Verfahren entwickelt und eignet sich vorwiegend für Prozesstyp 2 - 3.
Vorteile (+) / Nachteile (-)	<ul style="list-style-type: none"> + Bewertung durch MEK-Grundvorgänge und daraus aggregierten, standardisierten MEK-Standardvorgängen möglich. + Zeitwerte sind statistisch ermittelt und liegen für jeden Grundvorgang abhängig der Einflussgrößen vor. + Definiertes Regelwert von MTM + Ausgleichszeit von 19min; Anzuwenden für Prozesstyp 3 bei durchschnittlichen Zykluszeiten von ca. 9min; Vertrauensbereich $\pm 1\%$ (Bokranz 2012) - Keine chronologische Analyse (z.B. "Gehen" und "Aufnehmen und Platzieren") 	<ul style="list-style-type: none"> + Musterarbeitswerte exakt an Unternehmensprozesse anpassbar. - Durch Bildung von Musterarbeitswerten aus dem ROM-Grundverfahren entstehen (große) zeitliche Schwankungen. - Regeln abhängig der an das Unternehmen angepassten Musterarbeitswerte. \rightarrow Abweichungen durch falsche Interpretation möglich (Reproduzierbarkeit) - Ausgleichszeit von 40h für Musterarbeitswerte; Vertrauensbereich $\pm 5\%$ (Ausgleichszeit von 180min für ROM-Planzeitwerte; Vertrauensbereich $\pm 1\%$) (ROI 2015) - Individuelle, von den definierten Sequenzen abweichende Arbeitsfolgen können nicht/nur schwer analysiert und dokumentiert werden. \rightarrow Sequenzen mit Null bewerteten Teiltätigkeiten. 	<ul style="list-style-type: none"> + sehr schnelle Analyseerstellung (in 1h Analysezeit können durchschnittlich 25000 TMUs analysiert werden). (Deshpande 2007) - Durch die Anwendung von MOST-Methoden erfolgt eine deutliche zeitliche Überbewertung. (Seifermann et al. 2014) + Definiertes Regelwerk für MOST-Methoden - Unterscheidung der Körperbewegungen zum Distanz überbrücken ("Greifen" oder "Gehen" möglich) nicht aus Analysecode ersichtlich. - Individuelle, von den definierten Sequenzen abweichende Arbeitsfolgen können nicht/nur schwer analysiert und dokumentiert werden. \rightarrow Sequenzen mit Null bewerteten Teiltätigkeiten.
Informationsgewinnung durch Anwendung der Methode	<ul style="list-style-type: none"> - Durch die eindeutige Kodierung der Analysezeilen ist es möglich den Wertschöpfungsbeitrag zu bewerten. Durch die Klassifizierung der Einflussgrößen können Potentiale in der Arbeitsplatz- bzw. Produktgestaltung einfach erkannt werden. 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine eindeutige Unterscheidung der Bewegungen mittels Kodierung. Das Überbrücken von Distanzen wird immer gleich kodiert, abhängig der Bewegungssequenz werden Indizes nach unterschiedlichen Einflussgrößen vergeben. Die analysierte Arbeitsmethode kann nur mit Hilfe von Bewertungstabellen nachvollzogen werden. Das Ableiten von Wertschöpfungsbeiträgen der Teiltätigkeiten oder von Optimierungspotentialen in der Arbeitsplatz-/Produktgestaltung ist dadurch nur mit großem Aufwand möglich. 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine eindeutige Unterscheidung der Bewegungen mittels Kodierung. Das Überbrücken von Distanzen wird immer gleich kodiert, abhängig der Bewegungssequenz werden Indizes nach unterschiedlichen Einflussgrößen vergeben. Die analysierte Arbeitsmethode kann nur mit Hilfe von Bewertungstabellen nachvollzogen werden. Das Ableiten von Wertschöpfungsbeiträgen der Teiltätigkeiten oder von Optimierungspotentialen in der Arbeitsplatz-/Produktgestaltung ist dadurch nur mit großem Aufwand möglich.

Tabelle 11: Gegenüberstellung MTM-MEK, ROM, maxiMOST

MTM-MEK bietet mit der eindeutigen Kodierung der Analysezeilen die Möglichkeit, den Wertschöpfungsanteil der analysierten Arbeitsfolge zu definieren. Beispielsweise durch die explizite Analyse von Gehwegen, kann im Gegensatz zu ROM und maxiMOST unterschieden werden, ob die Bewegung wertschöpfend, teilwertschöpfend oder eine Verschwendung ist. Gehwege können durch Anpassungen am Arbeitsplatz einfach reduziert und somit der Wertschöpfungsgrad

der Arbeitsfolgen erhöht werden. Ebenfalls kann bei MTM über die Kodierung die Kategorisierung der Einflussgröße (Platziergenauigkeit, Sperrigkeit, Entfernungsbereiche, Gewicht) abgelesen werden. Diese Art der Ablaufbeschreibung ermöglicht es Potentiale in der Gestaltung der Produkte oder Arbeitsplätze zu erheben. Beispielsweise können durch die Anordnung der Materialbereitstellung Entfernungsbereiche herabgesetzt werden, oder durch Anbringen von Fügehilfen (Fasen, Anschläge, Halterungen) die notwendige Platziergenauigkeit gesenkt werden. Diese Potentiale lassen sich im Gegensatz zu den Methoden ROM und maxiMOST deutlich einfacher erkennen und auswerten.

Die Software TiCon wird, genauso wie MTM-MEK, von der deutschen MTM Vereinigung angeboten. TiCon ist somit perfekt als Unterstützungssoftware für die Erstellung von Analysen und Bewertungen mit MTM-MEK geeignet. Die Qualität in der Zeitwirtschaft kann durch die gemeinsame Anwendung der Unterstützungssoftware und der Bewertungsmethode MTM-MEK erhöht werden. Unternehmensspezifische Prozessbausteine können zentral erstellt und verwaltet werden. Die Analysen werden standardisiert durchgeführt und die Dokumentation bzw. Ergebnisse der zeitlichen Bewertungen können über Berichte in unterschiedlichen Dateiformaten exportiert werden. Durch die zertifizierte SAP-Schnittstelle wird ein abteilungsübergreifendes Arbeiten erleichtert. Jedoch erfordert die Einführung und Erstellung der anwendungsorientierten Zeitbausteine großen Ressourceneinsatz. Vor allem der zeitliche Aufwand kann für Unternehmen eine große Hürde darstellen, da die Einführung der Software und Bewertungsmethode zusätzlich zum Tagesgeschäft bewältigt werden muss.

Aus diesem Grund wurde eine Methode entwickelt, welche es erlaubt den Analysieraufwand bei gleicher Planungsqualität um 50% zu senken. In der Literatur (Bokranz 2012) wird allgemein von dem primären Ziel der Analysieraufwandsreduktion abgeraten. Da das entwickelte Verfahren allerdings nur für den Zeitraum der Einführung von TiCon angedacht ist, kann eine Umsetzung der Gruppierungsmethode von nicht signifikanten Arbeitsfolgen gerechtfertigt werden. Außerdem können aus den Ergebnissen jene Arbeitsfolgen mit großen Schwankungen herausgelesen und wenn möglich, durch einen Verbesserungsprozess optimiert und so in TiCon angelegt werden.

Zusammenfassend kann durch die Einführung von MTM-MEK in Kombination mit TiCon eine einheitliche, objektive und schnelle Durchführung der zeitlichen Analyse sowie deren Reproduzierbarkeit gewährleistet werden. Unterschiedliche Fertigungsbereiche können mit den gleichen Zeitbausteinen bewertet werden. Dadurch entsteht eine Vergleichbarkeit der fertigenden Unternehmensbereiche. Zusätzlich wird der Aufwand zum Erstellen der Analysen und Warten der Zeitbausteine

im Vergleich zur Methodenanwendung mit Stift und Papier oder Excel in Summe um bis zu 95% verringert. (DMC - ortim GmbH 2020)

MTM-MEK kann nur angewendet werden, wenn die Produktkonfiguration bekannt ist. Bei Sonderanfertigungen nach Kundenwünschen kann es allerdings vorkommen, dass nicht alle Konfigurationsparameter zum Planungszeitpunkt vorliegen. Mit RF-Algorithmen als Regressionsrechner kann jedoch auch bei kleinen Stammdatensätzen bereits eine gute Schätzung der benötigten Fertigungszeiten abgegeben werden. Da allerdings durch die Anwendung von ML-Algorithmen eine der wichtigsten Aspekte der zeitlichen Bewertungsmethoden, nämlich die Dokumentation der Analyse, nicht gegeben ist, eignet sich diese Methode ohne vorgezogene FS- oder FE-Algorithmen nur zur Grobplanung. Durch unbekanntes Merkmalswichtigkeit der einzelnen Attribute, also Konfigurationsparameter, ist unklar, woher die Abweichungen der ermittelten Auftragszeit zur tatsächlichen Ist-Zeit resultieren. Zum einen können die großen Abweichungen aus zu kleinen Datensätzen hergeleitet werden oder es liegt der Grund dafür wirklich in der Häufigkeit der Verwendung der Parameter Länge, Höhe, Parameter 4 und Parameter 11 in Zeitbausteinen. FS und FE würden eine Berechnung der Merkmalswichtigkeit einzelner Attribute des Datensatzes ermöglichen. Allerdings werden dafür größere Datensätze (mindestens repräsentative Stichprobengröße der möglichen Konfigurationen) benötigt und dies erfordert zusätzlich hohen Entwicklungsaufwand. (Hall 1999; N und Gupta 2021; Sun et al. 2004)

6.2 Einschränkungen der Ansätze und Ergebnisse

Methoden SvZ sind übersichtlich und standardisiert in der Anwendung. Jedoch unterliegen die Zeitbausteine bestimmten Anwendungsregeln, welche die Kombination von Zeitbausteinen definiert und EFG berücksichtigt. Dieses Regelwerk muss zuerst von den PlanerInnen erlernt werden, um Analysen methodisch richtig und somit auch realitätsabbildend erstellen zu können. Die deutsche MTM-Vereinigung bietet für alle ihrer Methoden entgeltliche Kurse an. Unternehmen müssen also vor Einführung von Bewertungsmethoden sicherstellen, dass die MitarbeiterInnen auch die notwendigen Ausbildungen absolviert haben. Zusätzliche unternehmensinterne Schulungen sollen angeboten werden, um die MitarbeiterInnen über vorgenommene Änderungen bzw. neu erstellte Zeitbausteine und deren methodisch richtigen Anwendung zu informieren. So kann eine gleichbleibend hohe Qualität der Zeitwirtschaft gewährleistet werden.

Softwarelösungen, wie TiCon, bieten eine Standardlösung mit Zusatzpaketen an. Für die Bewertung von Arbeitsvorgängen mit MTM-MEK (bzw. anderen MTM-Verfahren) reicht die Standardlösung aus. Kommen im Betrieb noch andere Bewertungsmethoden, wie z. B. REFA Zeitaufnahme, zum Einsatz, so müssen Lizenzen für die jeweiligen Zusatzpakete angekauft werden. Eine wirtschaftliche Einführung von Softwarelösungen ist nur dann möglich, wenn die Prozesse im

Unternehmen klar definiert sind und deren Anwendungsfälle und Häufigkeiten analysiert und bei der Softwareauswahl berücksichtigt wurden. In dem hier betrachteten Unternehmen wird REFA Zeitaufnahme vereinzelt zur Anwendung kommen, allerdings ist eine Anschaffung des Zusatzpakets TimeStudy hier nicht notwendig. Die wenigen Zeitaufnahmen werden in Zukunft weiterhin ohne Softwareunterstützung durchgeführt. Die Ergebnisse der Zeitaufnahmen können aber trotzdem in manuell erstellten Zeitbausteinen in der TiCon Bausteinbibliothek abgebildet werden.

Die in dieser Arbeit zur Reduktion des Analysieraufwands entwickelte Gruppierungsmethode ermöglicht eine schnellere Durchführung der Bewertung. Die Gruppierung der Arbeitsfolgen basiert aber nicht, wie bei SvZ, auf zeitwirtschaftlich methodisch korrektem Vorgehen. Die Bewertung erfolgt auf Basis von Stammdaten und vergleicht nur die Auswirkung der Produktkonfiguration auf Arbeitsvorgänge mit der gesamten Auftragszeit. Eine generelle Anwendung in der Zeitwirtschaft führt zu einer Verminderung der Analysequalität aufgrund fehlender Dokumentation der Arbeitstätigkeiten. Die Herangehensweise dient einzig der Ressourcenschonung in der Analyseerstellung und ermöglicht somit, ohne zusätzlichem Personal, die Einführung von MTM-MEK und TiCon.

Für generisch regressive Bewertungsmethoden hängt die Aussagekraft stark von der Größe und Qualität der zu Grunde liegenden Datensätze ab. Es dürfen nur Stammdaten verwendet werden, welche gleiche Produktionsbedingungen berücksichtigen, wie sie für den zu bewertenden Auftrag vorliegen. In Unternehmen mit Einzel- und Kleinserienfertigung bei gleichzeitig großer Variantenvielfalt führt dies allerdings leider oft zu sehr kleinen Datenmengen. Das RF-Modell ist in der Lage, auch Aussagen bei geringen Trainingsdaten treffen zu können, jedoch steigt die Aussagekraft mit größer werdender Anzahl an Trainingsdaten.

6.3 Nächste mögliche Schritte zur Weiterentwicklung

Das zur Grobplanung, trotz fehlender Auftragsinformationen, entwickelte RF-Modell wird ebenfalls einer Testphase unterzogen. Dadurch, dass vergleichsweise wenige Aufträge nicht vollständig definiert sind und trotzdem bereits geplant werden müssen, wird diese Methode nicht nur für die Modullinie getestet, sondern für alle Produktfamilien gleichzeitig. Der RF-Algorithmus wurde so entwickelt, dass er mit nur wenig Programmieraufwand für jede Produktfamilie und deren Stammdaten verwendet werden kann. Im Zuge der Pilotphase über mehrere Produktgruppen kann ermittelt werden, ob größere Datensätze zum Trainieren der Methode tendenziell genauere Ergebnisse liefern. Ist dies der Fall, kann der RF-Algorithmus vorerst nur bei Produktgruppen eingesetzt werden, wofür größere Mengen an Stammdaten vorliegen. Für jene Produkte, bei denen die ermittelten Planzeiten eine größere Abweichung als

10% zur tatsächlich benötigten Fertigungszeit aufweisen, muss die Anwendung von vorgelagerten Algorithmen zur Datenaufbereitung diskutiert werden.

Bevor die Digitalisierung der Zeitwirtschaft im betrachteten Unternehmen umgesetzt, und MTM-MEK zusammen mit TiCon ausgerollt wird, muss zuerst das Pilotprojekt in der Modullinie erfolgreich umgesetzt werden. Dabei wird die Gruppierungsmethode anhand der als nächstes zu planenden Aufträgen getestet. Es werden sowohl die Zeiten zum Analysieren der Aufträge mit und ohne der Gruppierungsmethode dokumentiert als auch die Abweichung der daraus ermittelten Fertigungszeiten zu den jeweiligen tatsächlich benötigten Montagezeiten definiert. Die Umsetzung der Methode wird dann als erfolgreich und implementierbar eingestuft, wenn auch die zukünftigen Aufträge gleiche Ergebnisse wie die Simulationen der vergangenen Aufträge liefern. Weichen in dem Pilotprojekt die mittels gruppierten Arbeitsfolgen ermittelten Zeiten stärker als die methodisch generierten Zeiten von den Ist-Zeiten ab, kann das Ähnlichkeitsmaß zu einem niedrigeren Wert herabgesetzt werden, um die Aussagekraft der Methode zu verbessern. Weichen die erzielten Zeitwerte nicht oder nur sehr gering von den Ist-Zeiten bzw. der methodisch ermittelten Fertigungszeiten ab, so kann mit der Implementierung von MTM-MEK und TiCon im Unternehmen begonnen werden.

7 Literaturverzeichnis

- Algeo, Mary Elizabeth A./Barkmeyer, Edward J. (2001). Enterprise Resource Planning Systems in Manufacturing. In: Gavriel Salvendy (Hg.). Handbook of Industrial Engineering. Hoboken, NJ, USA, John Wiley & Sons, Inc, 324–353.
- Arık, Oğuzhan Ahmet/Köse, Erkan/Forrest, Jeffrey (2019). Simple assembly line balancing problem of Type 1 with grey demand and grey task durations. *Grey Systems: Theory and Application* 9 (4), 401–414. <https://doi.org/10.1108/GS-05-2019-0011>.
- Bauer, Wilhelm/Herkommer, Oliver/Schlund, Sebastian (2015). Die Digitalisierung der Wertschöpfung kommt in deutschen Unternehmen an. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* (1-2), 68–73. <https://doi.org/10.3139/104.111273>.
- Bauer, Wilhelm/Herkommer, Oliver/Schlund, Sebastian/Nitsche, Jens (2016). Beste Chancen für Digitale Transformation. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 111 (9), 573–575. <https://doi.org/10.3139/104.111590>.
- Bauernhansl, Thomas (2020). *Fabrikbetriebslehre 1*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Becker, Jörg/Kugeler/Becker, Jvrg/Kugeler, Martin/Rosemann, Michael (2005). *Prozessmanagement*. Springer Berlin Heidelberg.
- Becker, Torsten (2018). *Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Beierle, Christoph/Kern-Isberner, Gabriele (2019). *Methoden Wissensbasierter Systeme. Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen*. SPRINGER VIEWEG.
- Böge, Alfred (2013). *Handbuch Maschinenbau*. 21. Aufl. Dordrecht, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bokranz, Rainer (2012). *Handbuch Industrial Engineering*. 2. Aufl. Stuttgart, Schäffer-Poeschel.
- Boysen, Nils/Fliedner, Malte/Scholl, Armin (2007). Produktionsplanung bei Variantenfließfertigung: Planungshierarchie und Elemente einer Hierarchischen Planung. *Zeitschrift für Betriebswissenschaft* 2007 (7/8), 759–793.
- Breiman, Leo (1998). *Classification and regression trees*. Boca Raton, Fla. [u.a.] : Chapman & Hall, CRC.
- Breiman, Leo (2001a). *Random Forests*. Hg. von Kluwer Academic Publisher. 45. Aufl. Netherland.
- Breiman, Leo (2001b). *Random Forests*. University of California. Netherland. CA 94720.

- Breiman, Leo (2001c). Statistical Modeling: The Two Cultures. *Statistical Science* 2001 (Vol. 16, No.3), 199–215. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1214/ss/1009213726>.
- Chandramouli, Subramanian/Dutt, Saikat/Das, Amit (2018). *Machine Learning. Indien*, Pearson Education India.
- Cook, Alexis/Holbrook, Ryan/DanB. (2022). Underfitting and Overfitting. Fine-tune your model for better performance. Online verfügbar unter <https://www.kaggle.com/dansbecker/underfitting-and-overfitting/tutorial?q=overfitting> (abgerufen am 06.02.2022).
- Deshpande, Vivek A. (2007). M.O.S.T. - Advanced Work Measurement Technique. *Journal of Engineering & Technology* 2007 (20), 109–113.
- Deutsche MTM-Gesellschaft Industrie- und Wirtschaftsberatung mbH (2021). *MTM-Easy*. Online verfügbar unter www.mtm-easy.com (abgerufen am 19.05.2021).
- Deutsche MTM-Vereinigung e. V. (2020). *MTM-1. Lehrunterlage. A/AB*. Maria-Enzersdorf, Eigenverlag Österreichische MTM-Vereinigung.
- Di Gironimo, Giuseppe/Di Martino, Carmine/Lanzotti, Antonio/Marzano, Adelaide/Russo, Gianluca (2012). Improving MTM-UAS to predetermine automotive maintenance times. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)* 6 (4), 265–273. <https://doi.org/10.1007/s12008-012-0158-8>.
- DIN EN ISO 9000. *Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2015)*, 00.11.2015. Berlin.
- DMC - ortim GmbH (2020). *Industrial Knowledge. Ihre Experten für Arbeits- und Zeitwirtschaft 2020*.
- Fleszar, Krzysztof/Hindi, Khalil S. (2001). An enumerative heuristic and reduction methods for the assembly line balancing problem. *European journal of operational research* 2003 (145), 606–620.
- Franz Coriand, Thomas Schranz (2021). *Softwareunterstützung TiCon*. E-Mail und Telefonate, 14.06.2021. Wien.
- Fricke, Werner (2016). *Arbeits- und Zeitwirtschaft verstehen. von der Zeitstudie bis zur Abtaktung*. Norderstedt, BoD - Books on Demand.
- Görz, Günther/Schmid, Ute/Braun, Tanya (2021). *Handbuch der Künstlichen Intelligenz*. Berlin/Boston, Walter De Gruyter GmbH.
- GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e. V. (Hg.) (2019). *Kompetenzbasiertes Projektmanagement (PM4). Handbuch für Praxis und Weiterbildung im Projektmanagement*. Berlin/Nürnberg, GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e. V.
- Hackl, Sebastian (2015). *Random Forest Klassifikation bei unbalancierten Daten*. Diplomarbeit. Wien, TU Wien. (abgerufen am 22.08.2021).

- Hall, Mark A. (1999). Correlation-based Feature Selection for Machine Learning. Dissitation. Hamilton, University of Waikato. Online verfügbar unter <https://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/publications/1999/99MH-Thesis.pdf> (abgerufen am 22.08.2021).
- Jakoby, Walter (2019). Projektmanagement für Ingenieure. 4. Aufl. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Jodlbauer, Herbert/Palmetshofer, Karl/Reitner, Sonja (2005). Implizite Determinierung von Plan-Belegungszeiten. *Wirtschaftsinformatik 2005* (47), 101–108.
- Kuhlang, Peter (2019). Positionen der Deutschen MTM-Vereinigung e.V. zu Assistenzsystemen und zur Verarbeitung von digitalen Bewegungsdaten. Hg. von Deutsche MTM-Vereinigung e.V., MTM-Institut. Hamburg, MTM Association.
- Landau, K./Bruder, R. (2014). Editorial: Arbeitswissenschaft 2020? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 68 (4), 201–202. <https://doi.org/10.1007/BF03373914>.
- Lenz, Mario (1998). Case-based reasoning technology. From foundations to applications. Berlin/New York, Springer.
- Liker, Jeffrey K. (2006). Der Toyota Weg. 6. Aufl. München, FinanzBuch Verlag.
- Lotter, Bruno/Wiendahl, Hans-Peter (2012). Montage in der industriellen Produktion. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Mayr, Thomas (2021). Softwarebasierte Evaluierung menschlicher Arbeit in der industriellen Baustellenmontage. Diplomarbeit. Wien, Technische Universität Wien.
- Mital, Anil/Desai, Anoop/Mital, Aashi (2016). Fundamentals of Work Measurement. What Every Engineer Should Know. Milton, CRC Press.
- MTM ASSOCIATION e. V. (2015). Human Work Design (HWD). Online verfügbar unter <https://mtm.org/forschungsprojekte/detail/human-work-design> (abgerufen am 21.05.2021).
- N, Thomas Rincy/Gupta, Roopam (2021). An efficient feature subset selection approach for machine learning. *Multimedia Tools and Applications* 80 (8), 12737–12830. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10011-7>.
- Nasreen, Shamila (Hg.) (2014). A Survey Of Feature Selection And Feature Extraction Techniques In Machine Learning, Science and Information, London, 27.-29.08.2014.
- Patzak, Gerold/Rattay, Günter (1998). Projekt-Management: Leitfaden zum Management von Projekten, Projektportfolios und projektorientierten Unternehmen. 3. Aufl. Wien, Linde.
- REFA (2014). REFA-Lehrunterlage Grundausbildung. Modul REFA-Zeitstudie – Durchführung und Auswertung. Hg. von REFA.

- REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (1993). Ausgewählte Methoden des Arbeitsstudiums. 2. Aufl. München, Hanser.
- REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (1997). Methodenlehre der Betriebsorganisation : Datenermittlung. München, Hanser.
- ROI (2015). ROM Analysiersystem. Basis Schulung.
- Salvendy, Gavriel (Hg.) (2001). Handbook of Industrial Engineering. Hoboken, NJ, USA, John Wiley & Sons, Inc.
- SAP (2021). CAP-Vorgabewertermittlung (PP-BD-CAP). 4. Aufl. SAP Hilfe 2021. Online verfügbar unter <https://help.sap.com/viewer/59aac49ab624425aa17de39792e0df41/6.00.31/de-DE/8778b6535fe6b74ce1000000a174cb4.html> (abgerufen am 22.08.2021).
- Schlick, Christopher/Bruder, Ralph/Luczak, Holger (2018). Arbeitswissenschaft. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Seifermann, Stefan/Böllhoff, Jörg/Metternich, Joachim/Bellaghnach, Amin (2014). Evaluation of Work Measurement Concepts for a Cellular Manufacturing Reference Line to Enable Low Cost Automation for Lean Machining. *Procedia CIRP* 17, 588–593. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.065>.
- Spreckelsen, Cord/Spitzer, Klaus (2009). Wissensbasen und Expertensysteme in der Medizin. Vieweg+Teubner.
- Sun, Zehang/Bebis, George/Miller, Ronald (2004). Object detection using feature subset selection. *Pattern Recognition* 37 (11), 2165–2176. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2004.03.013>.
- Ulich, Eberhard (2013). Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme - eine Erinnerung. *Journal Psychologie des Alltagshandelns* (Vol. 6/ No. 1), 4–12.
- Urban, Dieter/Mayerl, Jochen (2011). Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Anwendung. VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Wagner-Döbler, Roland (1989). Das Dilemma der Technikkontrolle. Wirkungen der Technikentwicklung und Probleme der Technologiepolitik. Berlin, Ed. Sigma.
- Weber, Marc-André/Jeske, Tim/Lennings, Frank (2017). Ansätze zur Gestaltung von Produktivitätsstrategien. Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft – Beitrag C.3.19.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehensweise zur Auswahl von Bewertungsmethoden	6
Abbildung 2: Technologiepolitische Dilemma (Wagner-Döbler 1989, S. 170)	7
Abbildung 3: Grundstruktur eines Problemlösungsprozesses (Jakoby 2019, S. 28)	8
Abbildung 4: Schritte, Gegenstände und Methoden der MTO-Analyse (Ulich 2013)	9
Abbildung 5: Traditionelle Aufgaben des IE.....	12
Abbildung 6: Zeitdaten im Industrial Engineering (Landau und Bruder 2014).....	13
Abbildung 7: Arbeitssystem (Schlick et al. 2018).....	15
Abbildung 8: Hilfestellungen zur vollständigen Definition einer Arbeitsaufgabe (Böge 2013; Schlick et al. 2018).....	15
Abbildung 9: Klassifizierung Fertigungsarten (Böge 2013).....	18
Abbildung 10: Fertigungs- und Montageprinzipen (Bauernhansl 2020, S. 138)	19
Abbildung 11: Gliederung der Auftragszeit für den Menschen nach REFA (Vgl. Bokranz 2012, S. 352).....	24
Abbildung 12: Gliederung der Zeitarten des Menschen, bezogen auf eine Einheit eines Auftrages nach REFA (Vgl. Bokranz 2012, S. 354).....	24
Abbildung 13: Methoden der Zeitermittlung nach REFA und dazugehörigen Methoden (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993; Bokranz 2012).....	27
Abbildung 14: REFA Normalleistung (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1997).....	29
Abbildung 15: Schematische Darstellung der Unterschiede zwischen den Zeitaufnahmeverfahren (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020).....	29
Abbildung 16: REFA Zeitaufnahme (Vgl. Ausgewählte Methoden des Arbeitsstudiums 1993, S. 229).....	31
Abbildung 17: Einteilung Zeitmessgeräte (Fricke 2016, S. 59).....	33
Abbildung 18: REFA Zeitaufnahme	33
Abbildung 19: Arten von Einflussgrößen (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993).....	36
Abbildung 20: Planzeit Beispiel Lackieren	37
Abbildung 21: Arbeitsschritte Regressionsanalyse (Urban und Mayerl 2011)	39
Abbildung 22: Kodierung MTM (Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020).....	41
Abbildung 23: Bausteinzusammenfassung in MTM (Vgl. Lotter und Wiendahl 2012, S. 102).....	42
Abbildung 24: Kodierung General Move (Vgl. Mital et al. 2016, S. 113).....	46
Abbildung 25: MOST Parameter und Index Tabelle General Move (Mital et al. 2016, S. 113).....	46
Abbildung 26: Kodierung Operationsfolgemodelle ROM (ROI 2015, S. 14)	48
Abbildung 27: Auszug aus ROM-Grundwerttabelle "Freies Bringen" (ROI 2015, S.57).....	48

Abbildung 28: Schematischer Aufbau eines Expertensystems (Beierle und Kern-Isberner 2019, S. 18)	51
Abbildung 29: modus ponens (Beierle und Kern-Isberner 2019; Spreckelsen und Spitzer 2009).....	53
Abbildung 30: Regelnetzwerk eines regelbasierten Systems (Beierle und Kern-Isberner 2019, S. 81)	53
Abbildung 31: Ansätze zur Datenaufbereitung und Parameterauswahl für ML-Algorithmen (Vgl. Nasreen 2014)	58
Abbildung 32: Relationen der Zeitaufwendungen für Hauptaktivitäten beim Durchführen von MTM-Analysen (Vgl. Bokranz 2012, S. 403)	60
Abbildung 33: Unterstützende Softwarelösungen in der Zeitwirtschaft.....	62
Abbildung 34: Effektivität und Effizienz (Vgl. Becker 2018, S. 12).....	64
Abbildung 35: Ansätze zur Prozessoptimierung (Vgl. Becker 2018, S. 21)	65
Abbildung 36: Prozessschaubild Kundenanfrage bis IWA	77
Abbildung 37: Bewertungskriterien Fertigungsbereiche (Vgl. Bokranz 2012).....	78
Abbildung 38: Bewertung nach Prozesstypen der Fertigungsbereiche	79
Abbildung 39: Prozentuelle Abweichung der Ist-Zeit zu Vorgabezeit und Ist-Zeit zu durchschnittlicher Vorgabezeit (Modullinie).....	80
Abbildung 40: Qualitätsanforderungen und Qualitätsmerkmale Prozessbausteine (Vgl. Bokranz 2012, S. 394).....	83
Abbildung 41: Einsparpotenzial durch DMC-ortim (vgl. DMC - ortim GmbH 2020)....	84
Abbildung 42: TiCon Produktübersicht (Franz Coriand, Thomas Schranz 14.06.2021).....	84
Abbildung 43: Struktur der CAP-Vorgabewertermittlung (SAP 2021)	89
Abbildung 44: Ausschnitt aus anonymisierter Excel-Kalkulationstabelle der Modullinie	93
Abbildung 45: Prozentuelle Abweichung der Ist-Zeit zu Vorgabezeit und Ist-Zeit zu durchschnittlicher Vorgabezeit mit unterschiedlichen Ähnlichkeitsmaßen (Modullinie).....	95
Abbildung 46: Zusammenhang Under-/Overfitting von Modellen (schematische Darstellung) (Vgl. Cook et al. 2022).....	97
Abbildung 47: Einsparpotenzial durch DMC-ortim (Vgl. DMC - ortim GmbH 2020) .	104
Abbildung 48: Vergleich von zeitwirtschaftlichen Methoden (Vgl. Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020; Bokranz 2012)	114
Abbildung 49: Bewertungsmethoden zu Prozesstypen (Salvendy 2001; Deutsche MTM-Vereinigung e. V. 2020; Bokranz 2012; ROI 2015) .	119

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategorisierung der Prozesstypen (Bokranz 2012, S. 23)	20
Tabelle 2: Leitfragen zur Erstellung eines Anforderungskataloges (Softwareunterstützung)	22
Tabelle 3: Interviewpartner und Dauer der jeweiligen Interviews.....	70
Tabelle 4: Ergebnisse für Umfeld- und Anforderungsanalyse aus Interviews.....	73
Tabelle 5: Stakeholder Analyse	75
Tabelle 6: Anzahl der das maximale Ähnlichkeitsmaß unterschreitenden Arbeitsgänge.....	94
Tabelle 7: Modellparameter RF-Modell für fehlende Auftragsinformationen (Modellgröße: 220 Entscheidungsbäume)	98
Tabelle 8: Vorgabezeitermittlung für verschiedene Aufträge bei jeweils anderen fehlenden Konfigurationsparametern durch RF	99
Tabelle 9: Modellparameter RF-Modell für fehlende Auftragsinformationen (Modellgröße: 160 Entscheidungsbäume, 500 Aufträge als Dateninput)	102
Tabelle 10: Zusammenfassung Vor- und Nachteile von unterstützenden Softwaretools	108
Tabelle 11: Gegenüberstellung MTM-MEK, ROM, maxiMOST	120

10 Formelverzeichnis

Formel 1: Leistungsgrad (Bauernhansl 2020, S. 181)	28
Formel 2: Variationszahl	34
Formel 3: Bandwirkungsgrad (Bokranz 2012)	81
Formel 4: Ähnlichkeitsmaß	94

11 Abkürzungsverzeichnis

AV	Arbeitsvorbereitung
CRM	Customer Relationship Management
EFG	Einflussgrößen
ERP	Enterprise Ressource Planning
ETO	Engineering to Order
FE	Feature Extraction (Merkmalsextraktion)
FS	Feature Selection (Merkmalsauswahl)
HM	Hunderstelminuten
HWD	Human Work Design
IE	Industrial Engineering
ISO	International Organization for Standardization
IWA	Interner Werksauftrag
ML	Maschinelles Lernen
MTM	Methods-Time Measurement
MTO	Mensch, Technik, Organisation
MOST	Maynard operation sequence technique
OLS	ordinary least squares
PCA	Principle Component Analysis
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
R ²	Determinationskoeffizient
ROM	ROI – Operationsfolge – Methode
SD-BW	Standard-Daten Basiswerte
SvZ	System vorbestimmter Zeiten
WBS	Wissensbasierte Systeme
ZE	Zeiteinheit

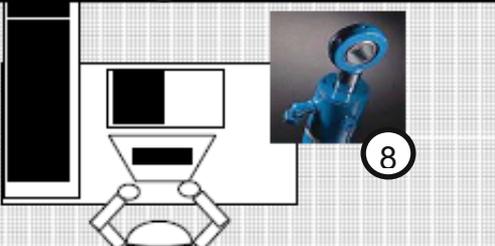
12 Anhang

12.1 Literaturanalyse Datenbanken und Suchbegriffe

Verwendete Datenbanken	Suchbegriffe (Deutsch)	Suchbegriffe (Englisch)
CatalogPlus (TU Wien) (catalogplus.tuwien.at, 09.12.2021)	Betriebsorganisation und -optimierung	Industrial Engineering
ResearchGate (researchgate.net, 09.12.2021)	Prozessplanung und -optimierung	Line balancing (algorithm)
Google Scholar (scholar.google.com, 09.12.2021)	Auftragsmanagement	Motion analysis
JSTOR (www.jstor.org, 09.12.2021)	Fertigungssteuerung und - planung	Systems of predetermined times (PTS)
SpringerLink (link.springer.com, 09.12.2021)	Arbeitsstudium und -planung	(work) planning algorithms
	(Arbeits-) Prozessbewertung	work measurement technique
	(generisch regressive) Planzeitermittlung	Random Forest, Case Based Reasoning
	Systeme vorbestimmter Zeiten	Feature selection (pipeline)
	Zeitstudien	Time studies
	MTM, MOST, REFA, ROM, Multimomentaufnahme	generic work evaluation method
	Produktionsplanung mit Machine Learning / Artificial Intelligence	Software tools for motion/time studies
	Fallbasiertes Schließen, Zufallswald, Regressionsanalyse	Digital assistance systems
	Planungsalgorithmen	Production engineering
	Softwareunterstützung in der Vorgabezeitermittlung	Computer-Aided Engineering
	Assistenzsysteme in der Planung	Engineering Management

12.2 REFA Zeitaufnahmebogen (REFA 2014)

Demonstrationsbeispiel:

Z2 ①		REFA-Zeitaufnahmebogen für Abläufe mit Wiederholungen			Ablage-Nr. ZA ② D11-09			
					Blatt 1 von 1 Blättern			
Arbeitsaufgabe Funktionsprüfung Hydraulikzylinder ③								
Auftrag Nr. 0815-4711 ④		Menge m des Arbeitsauftrags ⑤ 10		Abteilung ABC-D11 ⑥		Kostenstelle 5055		
Datum der Zeitaufnahme 13.10. ⑦		Uhrzeit 10:15 Menge 20		Ende Uhrzeit 10:49 Menge 35		Dauer 0:34 Std		
			Zusammenstellung der Zeit je Einheit		Zeit in Min	Herkunft		
			Grundzeit t_g				1,77	
			Erholungszeit t_{er} bei $Z_r =$ %				-	
			Verteilzeit t_v bei $Z_r = 10$ %				0,18	
			sonstige Zuschläge				-	
Zeit je Einheit t_{11}				1,95				
$t_{11}/t_{100}/t_{1000}$ in min/h								
Rüstzeit t_r in min/h								
Arbeitsverfahren und Arbeitsmethode								
Hydraulikzylinder aufnehmen und einsp. ⑩ Prüfvorrichtung anschließen; Prüfen nach Prüfvorschrift QMH-PH18; Werker selbstprüfung; abnehmen und in Transportbehälter ablegen								
Arbeitsgegenstand (Eingabe)	Benennung		Werkstoff		Zustand bei Eingabe			
	Hydraulikzylinder ⑪				Zeichn.-Nr. 23345623			
Mensch	Name		Personalnummer		Dauer der Ausübung ähnlicher Aufgaben			
	Adam Müller ⑫		918273645		3 Jahre			
Betriebsmittel	Benennung, Type		Anzahl		Betriebsmittel			
	Prüfvorrichtung Fa. Mess Typ AF-47 ⑬		1		33-987			
Umgebungseinflüsse ⑭				Entlohnung Prämienlohn ⑮				
Bemerkungen ⑯								
Qualität des Arbeitsergebnisses: In Ordnung ⑰								
Bearbeiter ⑱ O. Stark		geprüft		KdNr		Datum 14.10.		
						gültig ab 01.11. bis		

12.3 Beschreibung REFA Zeitaufnahmebogen (REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation 1993)

1	Bezeichnung des Vordrucks, z.B. Fahrzeugendmontage, Werk 1
2	Ablage-Nr.
3	Arbeitsaufgabe; Kurzgefasste Darstellung der Arbeitsaufgabe, z.B: Rahmen aufsetzen
4	Auftrags-Nr.
5	Auftragsmenge; Angabe der Menge m des Arbeitsauftrages für den untersuchten Arbeitsplatz, bei der die Zeitaufnahme durchgeführt wird. Die Menge m kann ggf. Teil eines Gesamtauftrages sein.
6	Abteilung/Kostenstelle
7	Datum, Uhrzeit, Menge, Dauer; ggf. muss angegeben werden bei welcher Menge (z.B.: dem wievielten Stück) des Auftrages die Zeitaufnahme begonnen und beendet wurde.
8	Zeichenfeld; Skizzen der räumlichen Anordnung. Sollte der Platz nicht ausreichen, so ist ein gesondertes Blatt zu verwenden.
9	Zeit je Einheit
10	Arbeitsverfahren und Arbeitsmethode; Kurze aber eindeutige Beschreibung des Arbeitsverfahrens und der Arbeitsmethode. Somit soll die Reproduzierbarkeit der Arbeitsaufgabe zugrundeliegenden Arbeitsablaufes gewährleistet werden.
11	Arbeitsgegenstand (Eingabe); Benennung, Werkstoff, Zustand, Zeichnungsnummer, Maße, Gewichte, ...
12	Mensch; Geschlecht, Alter, Erfahrungsgrad der beobachteten Person.
13	Betriebsmittel; verwendete Maschinen, Hilfsmittel, Reinigungsmaterial, ...
14	Umgebungseinflüsse; Temperatur, Lärm, Staub, Gase, Beleuchtung, Witterungseinflüsse, ...
15	Entlohnung; Entlohnungsgrundsatz soll eingetragen werden. (Im Fall von Akkord)
16	Bemerkungen; weitere Arbeitsbedingungen, besondere Vorkommnisse z.B. mündliche Abklärung bei Unklarheiten.
17	Qualität des Arbeitsergebnisses; hier wird die Qualität der Ausgabe beschrieben. Nur notwendig, wenn die Arbeit eine Ausführung in unterschiedlicher Qualität erlaubt.
18	Bearbeiter, Name des untersuchenden Arbeitsstudienmannes, Kontrollzeichen des Vorgesetzten, Datum der Fertigstellung und Gültigkeitsdatum.
19	Nummer; Fortlaufende Nummerierung der untersuchten Ablaufabschnitte
20	Ablaufabschnitt und Messpunkt; Beschreibung der Ablaufabschnitte und Messpunkte z.B. „Gehäusedeckel 4 Schrauben im Gehäusedeckel mit Drehmoment festziehen“ (Messpunktbeschreibung im kleinen Feld, z.B.: letzte Schraube angezogen)
21	Bezugsmenge; Menge der gleichzeitig bearbeiteten Mengen, sofern diese bei jeder Messung desselben Ablaufabschnittes gleich ist. Bei ungleicher Anzahl muss diese

	zu jeder Messung ermittelt und in der ersten Zeile des betreffenden Ablaufabschnittes über den Leistungsgrad L eingetragen werden. Die Bezugsmenge ist das Teil-Arbeitsergebnis des Ablaufabschnittes.																				
22 & 23	Einflussgröße, Messwert und Klasse; Für die eindeutige Bestimmung der gemessenen Zeit des Ablaufabschnittes müssen die wichtigsten EFG mit ihren Messwerten oder Klassen beschrieben werden. Z.B.: Schnittgeschwindigkeit 18m/min; Drehzahl 280 U/min, ...																				
24	Leistungsgrad und Zeiten; Jeder Abschnitt enthält vier Zeilen zur Eintragung folgender Daten: <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-top: 10px;"> <div style="margin-right: 20px;"> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zeile: ohne Benennung: 2. Zeile: Leistungsgrad 3. Zeile: Ist-Einzelzeit 4. Zeile: Fortschrittszeit </div> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">Z_y</td> <td style="padding: 2px 5px;">1</td> <td style="padding: 2px 5px;">2</td> <td style="padding: 2px 5px;">3</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">m_z</td> <td style="padding: 2px 5px;"></td> <td style="padding: 2px 5px;"></td> <td style="padding: 2px 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">L</td> <td style="padding: 2px 5px;"></td> <td style="padding: 2px 5px;"></td> <td style="padding: 2px 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">t_i</td> <td style="padding: 2px 5px;"></td> <td style="padding: 2px 5px;"></td> <td style="padding: 2px 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">F</td> <td style="padding: 2px 5px;"></td> <td style="padding: 2px 5px;"></td> <td style="padding: 2px 5px;"></td> </tr> </table> <div style="margin-left: 20px;">Bezugsmenge</div> </div>	Z_y	1	2	3	m_z				L				t_i				F			
Z_y	1	2	3																		
m_z																					
L																					
t_i																					
F																					
25 bis 28	Diese Zeilen sind zur Auswertung der Ist-Einzelzeiten t_i und der des Leistungsgrades L vorgesehen.																				
25	Mittlerer Leistungsgrad; Mittlerer Leistungsgrad = Summe der beurteilten Leistungsgrade L bei dem Ablaufabschnitt dividiert durch die Anzahl der beurteilten Leistungsgrade $\bar{L} = \frac{\sum L}{n}$																				
26	Mittelwert der Ist-Einzelzeiten; Entsprechend wird aus den Ist-Einzelzeiten t_i jedes Ablaufabschnittes der Mittelwert bestimmt: $\bar{t}_i = \frac{\sum t_i}{n}$																				
27	Soll-Zeit; An die Berechnung von \bar{t}_i und \bar{L} schließt sich in der angrenzenden Spalte die Ermittlung der Soll-Zeit des Ablaufabschnittes an: $t = \frac{\bar{L}}{100} * \bar{t}_i$																				
28	Zeitart; erforderlichenfalls kann hier das Kurzzeichen der zum Ablaufabschnitt zugehörigen Ablaufart eingesetzt werden.																				
29	Zyklus-Nummer; die Kopfzeile des Feldes, in das die Leistungsgrade und Zeiten eingetragen werden, enthält oben eine Nummerierung Z_y der Spalten von 1 bis 15, die im Allgemeinen den aufgenommenen Zyklen entsprechen.																				
30	Teilemenge; Darunter folgt die Zeile mit der Bezeichnung m_z ; hier wird beim 1. Zyklus die bis dahin gefertigte Teilemenge des Auftrages und beim letzten Zyklus der Aufnahme die dann gefertigte Teilemenge eingetragen.																				
31 bis 35	Zusätzliche Ablaufabschnitte; unvorhergesehene Vorkommnisse (Störungen / Gespräche). Diese werden in den entsprechenden Ablaufabschnitten im unteren Teil des Zeitaufnahmebogens notiert. Gilt auch für Einflüsse, die die Bearbeitungszeit derart beeinflussen, dass auffallend lange oder kurze Zeiten entstehen.																				

31	Nummer des planmäßigen Ablaufabschnittes und Nummer des Zyklus, bei dem der zusätzliche Ablaufabschnitt vorkam.
32	Fortschrittszeit zu Beginn des zusätzlichen Abschnittes (falls der Abschnitt am Ende eines planmäßigen Abschnittes beginnt, kann die Fortschrittszeit von dort übernommen werden).
33	Fortschrittszeit am Ende des zusätzlichen Abschnittes
34	Dauer des zusätzlichen Ablaufabschnittes
35	Beschreibung des Arbeitsinhaltes des zusätzlichen Abschnittes

12.4 Interview Fragebogen

Fragebogen

Methoden zur Bewertung von Arbeitsprozessen mit Systemunterstützung

Die Antworten werden ausgewertet und dienen als Entscheidungsgrundlage zur Auswahl der Bewertungsmethoden. Ebenfalls soll durch die Beschreibung der Tätigkeiten die Systemanforderungen der Software ermittelt werden.

Abteilung: _____

Name: _____

Datum: _____

Allgemeines:

1. Was sind die Tätigkeiten der Abteilung und im Speziellen Ihre Tätigkeiten?
2. Können Sie mir bitte erzählen, wie Sie den letzten Auftrag abgearbeitet haben? Bsp.: Wo beginnen Sie und wann endet Ihre Tätigkeit? Welche Informationen/Dokumente werden benötigt und erstellt? Input/Output?
3. Wenn Sie einen allgemeinen Auftrag betrachten, welche Arbeitspakete haben Sie zu erledigen?

Detailfragen zu Planzeiten, Taktung und Softwareunterstützung:

1. Haben Sie Berührungspunkte mit Zeitdaten und dafür verwendete Planungstools?
Wenn ja, ...
2. ... welche Daten/Informationen werden benötigt (Input/Output)?
3. ... sind Sie mit den Daten/Informationen zufrieden? Oder gibt es Änderungsvorschläge?
4. ... was sind die Herausforderungen?
5. ... in welche Qualität werden diese Daten zur Verfügung gestellt und reicht diese aus? Wenn nicht, haben Sie Änderungsvorschläge? (Zielt auf die Genauigkeit der Daten ab)

Detailfragen zu Software:

1. Wie und mit welchen Programmen werden diese Informationen bearbeitet?
2. Die angesprochene Software genügt Ihren Ansprüchen?
3. Welche Herausforderungen/Nachteile ergeben sich durch die Verwendung der Software?
4. Wie könnte die Anwendung von Softwareunterstützungen verbessert werden?

Fragen für Konstruktion:

1. Wird bei der Konstruktion auf Montagefreundlichkeit geachtet?
2. Aufgrund welcher Basis wird die Montagefreundlichkeit bewertet?
3. Wie werden mehrere Konzepte miteinander verglichen?
4. Wie weit wird die Stückliste ausdetailliert? Gibt es Explosionszeichnungen zu jeder Baugruppe?
5. Stücklistenvollständigkeit? Z.B. Verbindungselemente (Schrauben, Muttern, Unterlegscheiben, Stifte, ...) in der Stückliste angeführt und in die Baugruppe eingefügt?

12.5 Anforderungskatalog Software

Das Unternehmen benötigt eine Softwareunterstützung in der Zeitwirtschaft. Verwendete Bewertungsmethoden sind:

- MTM (MTM-MEK)
- REFA Zeitaufnahme
- REFA Planzeiten
- Schätzen

Die Anforderungen an die Software sind im Folgenden aufgegliedert und in vier Gruppen unterteilt. Des Weiteren ist jeder Anforderungspunkt als Wunsch (W) oder Forderung (F) kategorisiert.

1. Benutzer
2. Prozessbewertung/-organisation/-gestaltung
3. Hardware und System
4. Analyse und Auswertung

Im Anschluss an die Anforderungen werden allgemeine Fragen an die Softwareanbieter formuliert.

Anforderungsliste Benutzer			
Nr.	W/F	Anforderung	Beschreibung
1.1	F	Einfache Bedienung/Handhabung	Einfache, übersichtliche und anpassbare Benutzeroberfläche
1.2	F	Einfach erlernbar	Kurze Einarbeitungszeit, Schulungsunterlagen/Handbuch vorhanden, Schulung für Anwender im Unternehmen
1.3	F	Support und Hilfe	Bei Unklarheiten oder Problemen kann Anwender schnell Lösungen finden. Hilfsfunktionen, Online-Support oder Telefon-Support möglich
1.4	F	Mehrsprachige Ausführung	Deutsch und Englisch; Einfach und je Anwender einstellbar
1.5	W	Zusätzliche Sprachen	Spanisch, Französisch, u.A. Zusätzliche Sprachen vorhanden
1.6	W	Farbschema und Schriftgröße anpassbar	Farbschema der Benutzeroberfläche und grafische Darstellungen können benutzerspezifisch angepasst werden. (Kontraste erhöhen, Sehschwächen & Farbblindheit) Schriftgröße und Größe der Anzeigefelder können individuell eingestellt werden.

Anforderungsliste Prozessbewertung/-organisation/-gestaltung			
Nr.	W/F	Anforderung	Beschreibung
2.1	F	Bewertungsmethoden verfügbar	Analyse und Bewertung von Arbeitsprozessen wird unterstützt für: <ul style="list-style-type: none"> - REFA Zeitaufnahme - REFA Planzeitkataloge - MTM (mindestens: MTM-1, MTM-UAS, MTM-MEK)
2.2	F	Integrierte Datenkarten	Standard Datenkarten für MTM sind vorhanden
2.3	F	Individuelle Datenkarten	Datenkarten können erstellt, ergänzt und/oder bearbeitet werden (Datenkarten für individuelle Prozessbausteine).
2.4	W	Datenkarten importieren	Datenkarten können aus Excel, HTML, PDF importiert werden.
2.5	F	Unterschiedliche Planzeitbasis	Vorgabezeiten für Aufträge können aus verschiedenen Planzeitbasen zusammengeführt werden. Synthese der Zeiten aus <ul style="list-style-type: none"> - Planzeittabellen - Formeln - MTM-Analysen / Prozessbausteine - Schätzwerten
2.6	W	Planzeitermittlung aus Diagrammen und Tabellen automatisch möglich	Planzeiten für Arbeitsgänge können auf Basis von Teile-Stammdaten, durch Definition von Kriterien oder Formeln automatisch ermittelt werden.
2.7	F	MTM-Prozessbausteine vorhanden	MTM-Prozessbausteine (für UAS und MEK) standardmäßig vorhanden.
2.8	F	Prozessbausteine konfigurierbar	Eigene Prozessbausteine können definiert werden.
2.9	F	Formeln/Regeln anwenden	Formeln und Regeln zur Kategorisierung/Auswahl von Prozessbausteinen oder Bewertungen von Arbeitsabläufen möglich.
2.10	W	Drag & Drop verfügbar	Durch Drag & Drop können bei Bewertungen/Analysen einfach Prozessbausteine bzw. Bewegungselemente aus der Datenkarte ausgewählt und in der Bewertung berücksichtigt werden.
2.11	W	Ressourcenbelastung ersichtlich	Hinterlegte Arbeitsplätze bzw. Ressourcen werden durch Analysen belastet. Auslastungsdiagramm kann erstellt werden. (Optimierung der Arbeitsgestaltung in Hinblick auf Austaktung.)
2.12	F	Änderungsmanagement vorhanden	Datenänderungen einfach möglich, automatisches Aktualisieren der betroffenen

			Bewertungen, Dokumentation des Änderungsstand und durchgeführte Änderung
2.13	F	Hierarchische Strukturierung	Bewertung und Analysen sollen hierarchisch aufgebaut und angewendet werden können. Formel und Regeln können über Hierarchieebenen hinweg angewendet werden.

Anforderungsliste Hardware und System			
Nr.	W/F	Anforderung	Beschreibung
3.1	F	Betriebssystem unabhängig	Software läuft auf Windows, iOS, Android.
3.2	W	Unterstützt Mobilgeräte	Anwendung kann von Mobilgeräten (Tablet, Handy) ausgeführt werden.
3.3	F	Multi-User tauglich	Netzwerkfähiger Zugriff über mehrere Lizenzen möglich
3.4	F	Berechtigungsmanagement	Vergeben von Berechtigungen zum Bearbeiten, Sehen, Löschen und Zugreifen auf Analysen/Bewertungen/Daten möglich
3.5	F	SAP Anbindung	Software kann in SAP integriert werden
3.6	F	Datenexport/-import möglich	Daten aus <ul style="list-style-type: none"> - Excel - MS Access - HTML - PDF - Foto- & Videodokumente können importiert werden.
3.7	F	Druckformulare vorhanden	Sichten und Anzeigefelder sowie Analysen/Bewertungen und Berichte können gedruckt werden.
3.8	W	Druckformulare anpassbar	Druckansicht anpassbar – Unternehmensstandards erstellbar
3.9	F	Wartung und Updates	Wartungsarbeiten und Systemupdates werden vom Anbieter durchgeführt/unterstützt. Im Hintergrund der Anwendung, ohne Störung in der Anwendung durchführbar
3.10	F	Fernzugriff	Fernzugriff ohne Einschränkungen möglich entweder über: <ul style="list-style-type: none"> - VPN - WEB
3.11	F	Adaptive Eingabefelder	Zusätzliche Eingabefelder konfigurierbar, Verwendung von Eingabefeldern konfigurierbar

Anforderungsliste Analyse und Auswertung			
Nr.	W/F	Anforderung	Beschreibung
3.1	F	Standardreporte vorhanden	Erstellen von Standardreporten (Zeiten, Wertschöpfungsgrad, Beschreibungen und Skizzen/Fotos, Diagramme)
3.2	F	Individuelle Reporte	Reporte in Bezug auf Auswertungen anpassbar. Frei konfigurierbar welche Informationen ausgegeben werden sollen (Tabellen, Bewertungen, Notizen, Bilder, Diagramme, Zeiten, Gruppierungen in Bezug auf Haupt- und Nebentätigkeiten, ...).
3.3	F	KPI Auswertung	KPIs können definiert und ausgewertet werden. Betrachteter Bereich (auf Ebene Arbeitsablaufabschnitt, Auftrag, Arbeitsplatz, Fertigungsbereich, Werk) als Basis zur Berechnung der jeweiligen KPI frei wählbar.
3.4	F	Farbliche Kennzeichnung	Automatische farbliche Kennzeichnung von beispielsweise Haupt- und Nebentätigkeiten, Prozesszeiten, Verteilzeiten, aber auch nach Kategorien wie Logistik, Montage, Liegezeiten, etc. möglich. Farbliche Kennzeichnung in Bewertungen und Prozessbausteinen sowie Reporten.
3.5	F	Hierarchische Auswertung	Auswertungen auf Ebenen möglich (Arbeitsablaufabschnitt, Arbeitsgang, Arbeitsplatz, Linie, Produkt).
3.6	F	Soll/Ist-Vergleiche	Soll/Ist-Auswertungen über sind möglich bzw. werden unterstützt.
3.7	F	Codierung anpassbar	Die Codierung von Prozessbausteinen, Zeitwerten aus Planzeittabellen, Schätzwerten kann angepasst und frei definiert werden.
3.7	F	Aufschläge berücksichtigen	Generelle Aufschläge (z.B. Verteilzeiten) werden für Werke, Fertigungsbereiche, Arbeitsplätze definiert und automatisch auf Basis der Bewertung in den Vorgabezeiten für Aufträge berücksichtigt.
3.8	W	Trends darstellbar	Vergleich von Produktvarianten, Linien und deren zeitliche Entwicklung (z.B. Entwicklung der Vorgabezeiten) möglich

Allgemeine Fragen:

- Wie absturzsicher ist die Software?
- Im Falle eines technischen Problems oder eines Softwareabsturzes werden gerade bearbeitete Bewertungen gespeichert?
- Wie erfolgt der Datenaustausch mit SAP?
- Welche Hardware und Softwareanforderungen muss das Unternehmen erfüllen?

- Welche Lizenzmodelle gibt es?
- Wie hoch sind die Lizenzkosten?
- Wie hoch sind die Kosten für die Implementierung?
- Gibt es Optionen für Wartungsverträge, wenn ja welche Modelle inkl. Kosten gibt es?
- Gibt es Erfahrungswerte zur Einarbeitungszeit?
- Gibt es Erfahrungswerte zur Effizienzsteigerung durch Anwendung Ihrer Software?
- Wenn zukünftig Erweiterungen (Ergonomie, produktionsgerechte Produktgestaltung, u.Ä.) gewünscht sind, können diese implementiert werden? Wenn ja, wie wird vorgegangen und welche Änderungen müssen vorgenommen werden?
- Wie erfolgt das Datenmanagement? Liest und schreibt die Software auf Datenbanken von SAP oder werden eigenständige Datenbanken erstellt und verwendet?

12.6 Nutzwertanalyse Methoden- und Softwareauswahl

Kriterien Methode	Punkte				
	4	3	2	1	0
Einfache Anwendung	klare, einfache Regeln. Geringer Schulungsaufwand,	wenige Regeln, mäßiger Schulungs- & Einarbeitungsaufwand, geringer Vorbereitungsaufwand	viele Regeln und Fallunterscheidungen, großer Schulungs- und Einarbeitungsaufwand, hoher Vorbereitungsaufwand	viele Regeln und Fallunterscheidungen, Interpretationsspielraum, großer Schulungs- und Einarbeitungsaufwand, hoher Vorbereitungsaufwand	nicht Anwendbar
Informationsgewinnung	auf Bewegungsebene (Grundbewegungen z.B. Greifen): Zeiten, Ergonomie, zurückgelegte Wege, Wertschöpfung, Arbeitsplatz und -umfeld	auf Tätigkeitsenebene (zusammengesetzte Tätigkeiten z.B. greifen und platzieren): Zeiten, Ergonomie, zurückgelegte Wege, Wertschöpfung, Arbeitsplatz und -umfeld	auf Prozessebene (grobe Zusammenbesetzte Bewegungen): Zeiten, Gruppierung der Belastungen und zurückgelegten Wege, grobe Zuordnung zu Wertschöpfungsbeitrag, Arbeitsplatz und -umfeld	methodische Begleitung, abhängig von erfassten Einflüssen und Bewegungen durch den /die Arbeitstechnikerin, Zeiten, Arbeitsplatz und -umfeld	benötigte Informationen kauf möglich, bzw. Ergebnis nicht für Planung anwendbar
zeitlich Effizient (Dauer für Analyse und Bewertung)	< 5 * Tätigkeitszeit	< 10 * Tätigkeitszeit	< 15 * Tätigkeitszeit	>15* Tätigkeitszeit	>20* Tätigkeitszeit
nachvollziehbare Dokumentation	einfache und übersichtliche Dokumente je Analyse, Einheitliche kurze Codeierung, Rahmenbedingungen und Arbeitsplatz sind klar definiert und können reproduziert werden	übersichtliche Analyse, einheitliche Codierung, Rahmenbed. und Arbeitsplatz sind klar definiert und können reproduziert werden	Einlesen und Studieren der Analyse notwendig, Interpretationsspielraum in Reproduktion	Einlesen und Studieren der Analyse notwendig, hängt stark von Arbeitstechnikerin ab, wieviele, welche und wie Informationen aufgenommen werden	keine Dokumentation möglich
Optimierungspotenzial & Möglichkeit auf Systemunterstützung	automatische, regressive Analyse und Bewertung durch Software/Algorithmus	Möglichkeit selbst definierte Analysebausteine zu erstellen. Softwareunterstützung zur Bewertung und Analyse anwendbar	Möglichkeiten durch Softwareunterstützung Bewertung und Analyse zu optimieren	kaum Vereinfachung/ Optimierung und Softwareunterstützung möglich	keine Vereinfachung/ Optimierung und Softwareunterstützung möglich
Nachträgliche Änderungen möglich	Abänderungen der Analyse einfach und schnell durchführbar, keine vollständige neue Berechnung. Altes Ergebnis wird an Änderungen angepasst	Abänderungen in bestehender Analyse ergänzbar, vollständige neue Berechnung	Änderungen erfordern neue Berechnung der Bewertung	Änderungen erfordern komplett neue Analyse / Bewertung von Tätigkeiten eines Ablaufabschnittes	Änderungen erfordern komplett neue Analyse / Bewertung von Ablaufabschnitten
Vertrauensbereich	>95%	>90%	>85%	>80%	<80%
Zeitpunkt der Durchführung	vor Montagestart; Wissensbasierte Analyse erlaubt Bewertung auf Basis von Konfiguration und Abgleich mit Altaufträgen	vor Montagestart; Analyse und Bewertung auf Basis von Produkteigenschaften (Geometrie und bestimmende Rahmenbedingungen)	vor Montagestart; Regelbasierte Analyse auf Basis von Konstruktion und Arbeitsfolge	methodische Begleitung während Montage	Zustandsaufnahme während Montage
International anerkannt	internationaler Standard	international bekannt	regional angewendet	Anwendung in Einzelfällen	Eigenentwicklung
Eindeutige Methoden-Zeit zuordnung	Grundbewegungen werden aggregiert	Zeitklassen	Planzeiten aus Regressionsanalysen aus Prozessbausteinen	Planzeiten aus Erfahrungswerte	keine Zuordnung möglich

Kriterien	Einfache Anwendung	Informationsgewinnung	zeitlich Effizient (Dauer für Analyse und Bewertung)	nachvollziehbare Dokumentation / Reproduzierbarkeit	Optimierungspotenzial & Möglichkeit auf Systemunterstützung	Nachträgliche Änderungen möglich	Vertrauensbereich der Bewertung und Analyse	Zeitpunkt der Durchführung	International anerkannt	Eindeutige Methoden-Zeit Zuordnung	Summe	Anteil in %	Gewichtung
Einfache Anwendung	-	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4	4%	0,04
Informationsgewinnung	1	-	1	1	1	1	1	0	1	1	8	9%	0,09
zeitlich Effizient (Dauer für Analyse und Bewertung)	1	1	-	2	1	0	1	1	0	0	7	8%	0,08
nachvollziehbare Dokumentation / Reproduzierbarkeit	1	1	0	-	1	1	1	1	1	1	8	9%	0,09
Optimierungspotenzial & Möglichkeit auf Systemunterstützung	1	1	1	1	-	1	2	1	2	1	11	12%	0,12
Nachträgliche Änderungen möglich	2	1	2	1	1	-	1	1	2	1	12	13%	0,13
Vertrauensbereich der Bewertung und Analyse	2	1	1	1	0	1	-	1	2	1	10	11%	0,11
Zeitpunkt der Durchführung	2	2	1	1	1	1	1	-	2	1	12	13%	0,13
International anerkannt	2	1	2	1	0	0	0	0	-	0	6	7%	0,07
Eindeutige Methoden-Zeit Zuordnung	2	1	2	1	1	1	1	1	2	-	12	13%	0,13
											90	100%	

	Einzelgewicht	RFA Zeitaufnahme		RFA Planzetkatalog		Schätzen		Vereinfachtes Work Factor		Work Factor Kurzverfahren		MTM UAS		MTM MEK		ROM		maxIMOST		KI (RF)		Maximalbewertung			
		Bew.	Gew.	Bew.	Gew.	Bew.	Gew.	Bew.	Gew.	Bew.	Bew.	Gew.	Bew.	Bew.	Gew.	Bew.	Bew.	Gew.	Bew.	Bew.	Gew.	Bew.	Bew.	Gew.	
Einfache Anwendung	0,04	3	0,133	1	0,044	3	0,133	3	0,133	3	0,133	3	0,133	3	0,133	3	0,133	3	0,133	4	0,178	4	0,178	4	0,178
Informationsgewinnung	0,09	1	0,089	1	0,089	1	0,089	2	0,178	2	0,178	4	0,356	3	0,267	3	0,267	2	0,178	1	0,089	4	0,356	4	0,356
zeitlich Effizient (Dauer für Analyse und Bewertung)	0,08	4	0,311	3	0,233	4	0,311	4	0,311	4	0,311	2	0,156	3	0,233	2	0,156	2	0,156	4	0,311	4	0,311	4	0,311
nachvollziehbare Dokumentation	0,09	3	0,267	3	0,267	1	0,089	2	0,178	2	0,178	3	0,267	3	0,267	2	0,178	2	0,178	1	0,089	4	0,356	4	0,356
Optimierungspotenzial & Möglichkeit auf Systemunterstützung	0,12	1	0,122	2	0,244	1	0,122	3	0,367	3	0,367	3	0,367	3	0,367	3	0,367	3	0,367	4	0,489	4	0,489	4	0,489
Nachträgliche Änderungen möglich	0,13	1	0,133	2	0,267	2	0,267	3	0,400	3	0,400	4	0,533	4	0,533	4	0,533	4	0,533	2	0,267	4	0,533	4	0,533
Vertrauensbereich der Bewertung und Analyse	0,11	4	0,444	4	0,444	2	0,222	3	0,333	3	0,333	4	0,444	3	0,333	3	0,333	3	0,333	1	0,111	4	0,444	4	0,444
Zeitpunkt der Durchführung	0,13	1	0,133	4	0,533	4	0,533	4	0,533	4	0,533	4	0,533	4	0,533	4	0,533	4	0,533	4	0,533	4	0,533	4	0,533
International anerkannt	0,07	4	0,267	4	0,267	1	0,067	3	0,200	3	0,200	4	0,267	4	0,267	1	0,067	2	0,133	3	0,200	4	0,267	4	0,267
Eindeutige Methoden-Zeit zuordnung	0,13	1	0,133	2	0,267	1	0,133	4	0,533	4	0,533	4	0,533	4	0,533	3	0,400	3	0,400	1	0,133	4	0,533	4	0,533
Summe Gewichtete Bewertung			2,033		2,656		1,967		3,167		3,167		3,589		3,467		2,967		2,944		2,400		4,000		4,000
Erfüllungsgrad in %			51%		66%		49%		79%		79%		90%		87%		74%		74%		60%		100%		100%

Kriterien Software	Punkte				
	4	3	2	1	0
Einfache Bedienung/Handhabung	Einfacher und intuitiver Aufbau, mehrer Sichten, übersichtliche Navigation, Strukturierter benutzerdefinierter Bausteinkatalog	Einfacher und intuitiver Aufbau, übersichtliche Navigation, strukturierter Bausteinkatalog	Übersichtlich	-	-
Einfach erlernbar	< 2 Tage inkl. Schulung	< 5 Tage inkl. Schulung	< 10 Tage inkl. Schulung	<15 Tage	>15 Tage
Support und Hilfe	24/7 Hotline, Online-Support und Hilfe + Handbuch mit Funktionsbeschreibungen	Hotline, Online-Support, Hilfefunktion	Ticket-System, Hilfefunktion	Hilfefunktion	-
Mehrsprachig ausgefügt	deutsch, englisch, französisch, italienisch, spanisch + weitere	deutsch, englisch, französisch, italienisch,	deutsch, englisch	deutsch oder englisch	englisch
Farbschema anpassbar	Farbschema Benutzerspezifisch anpassbar	Farbschema hell/dunkel	-	-	keine Einstellung
Bewertungsmethoden verfügbar	MTM, REFA, WF, MOST, Planzeitkataloge	MTM, REFA, Planzeitkataloge	MTM, REFA	-	keine Methoden standardmäßig implementiert
Integrierte Datenkarte	Standardkarten integriert				keine Datenkarten integriert
Individuelle Datenkarte	Datenkarten individuell anpassbar und erstellbar, Ergänzungen möglich	Datenkarten anpassbar	-	-	keine individuellen Datenkarten erstellbar
Datenkarten importierbar	Datenkarten aus Excel, PDF, HTML und Access importierbar	Datenkarten aus Excel und HTML importierbar	Datenkarten aus Excel importierbar	-	keine bestehenden Datenkarten importierbar
Zeitaufnahme durchführbar	REFA Zeitaufnahme wird unterstützt, Kategorisierung und Auswertung möglich, Ergebnisse können in Stammdaten hinterlegt werden. Auswertung nachträglich änderbar, können kopiert und abgeändert/weiterverwendet werden.	REFA Zeitaufnahme kann ausgewertet werden und Zeiten können in Stammdaten hinterlegt werden.	Ergebnisse der Auswertung können implementiert werden.	-	keine Möglichkeit
Unterschiedliche Planzeitbasis	Prozessbausteinkataloge können in Verwendung unterschiedlicher Methoden erstellt und importiert werden. Tabellen, Formeln, Graphen sind möglich. Importe aus HTML, Excel. Automatische Auswahl über Parameter möglich. Prozesszeiten können hinterlegt und in Analysen berücksichtigt werden. Unterschiedliche Bausteine und Methodelemente können in Analyse verwendet werden.	Prozessbausteinkataloge können in Verwendung unterschiedlicher Methoden erstellt werden. Tabellen, Formeln möglich. Prozesszeiten können hinterlegt und in Analysen berücksichtigt werden. Unterschiedliche Bausteine und Methodelemente können in Analyse verwendet werden.	Prozessbausteinkataloge und Prozesszeiten können verwendet werden, automatische Weiterverwendung nicht möglich. Beregelung möglich.	Bausteinkataloge nur mit gleicher Methode erstellbar.	-
MTM-Prozessbausteine vorhanden	Prozessbausteine des jeweiligen Systems sind vordefiniert und einsetzbar	-	-	-	keine Bausteine vorhanden
Prozessbausteine konfigurierbar	Prozessbausteine können erstellt, kopiert, adaptiert werden.	-	-	-	keine Konfiguration durch Anwender möglich.
Formeln/Regeln anwendbar	Formeln und Regeln können zum automatischen Auswerten verwendet werden (Auswahl aus Kategorien, Auswahl von mehreren Zeitwerten/Bewertungen). Regeln können für Pflichtfelder/Warnmeldungen erstellt werden	Formeln und Regeln können für Berechnungen herangezogen werden, aber nicht zur automatischen Bewertung einer Stückliste. Regeln für Pflichtfelder vorhanden.	Regeln können für Warnmeldungen oder Pflichtfelder genutzt werden	-	keine Regeln und Formeln anwendbar
Drag/Drop verfügbar	Analyse kann durch Anklicken der Datenkarteneinträge oder Ziehen der Prozessbausteine erstellt werden	-	-	-	Kein Drag&Drop verfügbar.
Ressourcenauslastung ersichtlich	Verknüpfung zu Arbeitsplätzen, Linien lässt die Anzeige der Auslastung dieser zu. Ressourcenplanung möglich.	Verknüpfung zu Arbeitsplätzen, Linien lässt die Anzeige der Auslastung dieser zu.	Verknüpfung zu Arbeitsplätzen, Linien lässt die Anzeige der Auslastung dieser zu. Erweiterung kommt in naher Zukunft.	-	keine Auswertung der Auslastung möglich

Änderungsmanagement vorhanden	Änderungen werden dokumentiert und versioniert. Altstände bleiben gespeichert und können aufgerufen werden. Freigabemanagement möglich. Tägliche/benutzerdefinierte Änderungsbenachrichtigung an alle Nutzer.	Änderungen werden dokumentiert und versioniert. Altstände bleiben gespeichert und können aufgerufen werden. Freigabemanagement möglich.	Änderungen werden dokumentiert.	-	Kein Änderungsmanagement vorhanden
Hierarchische Strukturierung	Bewertungen auf unterschiedlichen Hierarchieebenen des Fertigungsauftrages/Stückliste möglich. Arbeitsplätze oder Stücklisten können bewertet werden und Zeiten werden zusammengesetzt. Optionen zusätzlich bewertbar.	Bewertung auf unterschiedlichen Ebenen der Stückliste möglich. Keine Kombination von Stücklisten, Teilenummern, Arbeitsplätzen möglich	Bewertung nur auf Auftragsebene möglich.	-	-
Betriebssystem unabhängig	Unterstützt Windows, Mac, Linux	Nur Windows und Mac	Windows	-	-
Unterstützt Mobilgeräte	Unterstützt Android, iOS	Unterstützt nur iOS oder Android	Zusatzmodul für mobile Anwendung im Entstehen, kommt in naher Zukunft	-	-
Multi-User tauglich	unbeschränkt Lizenzen und zeitlicher Zugriff	Beschränkte Zugriffszahlen und bestimmte Lizenzvergaben + Leseberechtigung von Analysen und Bausteinen für alle SAP Nutzer	Beschränkte Zugriffszahlen und bestimmte Lizenzvergaben	-	-
Vergeben von Berechtigungen	Berechtigungen für Personen/Abteilungen können vergeben werden. (Änderungsrechte, Leserechte, Bearbeitungsrechte, Freigaberechte)	-	-	-	keine Berechtigungsmanagement
SAP Anbindung möglich	Vollintegriert in SAP	Eigenständiges Programm mit zertifizierter SAP Schnittstelle	Eigenständiges Programm mit SAP Schnittstelle.	Mehrere Module als eigenständige Programme mit jeweiliger eigenen Schnittstelle	keine Schnittstelle
Datenexport/-import möglich	Datentransfer mit Excel, PDF, HTML, Access	Datentransfer mit Excel und PDF möglich	Datentransfer mit Excel möglich	kein Import möglich	kein Export möglich
Dokumente/Dateien verlinken möglich	unbegrenzt Fotos, PDF, Videos können zu den Bewertungen hinterlegt werden	begrenzt Fotos, PDF, Videos können zu den Bewertungen hinterlegt werden	Nur bestimmter Datentyp unbegrenzt	Begrenzte Anzahl eines bestimmten Datentyps	keine Anhänge möglich
Druckformulare vorhanden	vordefinierte Druckansicht für alle Sichten und <u>Auswertungen/Analysen</u>	vordefinierte Druckansicht für Auswertungen/Analysen	-	-	-
Druckformulare anpassbar	Druckformulare können angepasst, Unternehmens-Standards & benutzerdefinierte Vorlagen können erstellt werden.	Druckformulare können angepasst, Unternehmens-Standards kann erstellt werden.	Druckformulare können angepasst werden	Kopf- bzw. Fußzeile können angepasst werden	keine Anpassung möglich
Fernzugriff möglich	Fernzugriff über Web oder VPN uneingeschränkt möglich	Fernzugriff über Web oder VPN eingeschränkt möglich	Fernzugriff nur über Web oder VPN möglich	-	Kein Fernzugriff möglich
Adaptive Eingabefelder	Eingabefelder in verschiedenen Sichten können erstellt bzw. bearbeitet werden. Verwendungszwecke frei wählbar (wie in SAP).	bestimmte Eingabefelder können erstellt bzw. bearbeitet werden. Verwendungszwecke frei wählbar	bestehende Felder können nur umbenannt werden	Nur Listeneinträge in Auswahlménüs können bearbeitet werden.	keine Bearbeitung möglich
Standardreporte vorhanden	Auswertung für alle Analysensysteme vorhanden. Zeiten, Analyseblatt, Grafiken und Kennzahlen wie Wertschöpfungsgrad ersichtlich. Reporte können SAP Daten verarbeiten	Auswertungen für MTM Systeme vorhanden. Zeiten und Analyseblatt ersichtlich. Grafiken und Kennzahlen können aufgedruckt werden. Reporte können SAP Daten verarbeiten	Report beinhaltet nur Zeiten und Herkunft. Keine methodische Zusammensetzung, Grafiken und Kennzahlen	-	Keine Standardreporte verfügbar
Individuelle Reporte	Reporte können individuell erstellt und als Standard definiert werden. Mehrere Reportevorlagen möglich. Reporte können Daten von SAP beinhalten	-	-	-	keine individuelle Anpassung möglich
KPIs auswerten	KPIs können selbst definiert und automatisch Bewertet werden. Ausgabe in Reporte möglich	KPIs nur auf Basis von methodischen Analysen möglich. Ausgabe in Reporten möglich	KPIs berechnbar aber keine Exportfunktion	-	keine Berechnung von KPIs möglich

Farbliche Kennzeichnung	Farbliche Kennzeichnung von Eingabefeldern auf Grund von Regeln. Farbliche Kennzeichnung von Analyseergebnissen (Überschreitung von Grenzwerten, Ressourcenbelastungen, Warnung bezüglich Ergonomie, Kategorisierung von Wertschöpfend, nicht Werts., ...)	Farbliche Kennzeichnung von Wertschöpfung und nicht Wertschöpfend	-	-	Keine Farbliche Kennzeichnung möglich
Hierarchische Auswertungen	Auswertung auf unterschiedlichen hierarchischen Ebenen eines Auftrages, Kostenstellen, Stücklisten, Baugruppen möglich. Dazugehörige Reporte werden erstellt.	Auswertung auf Baugruppenebene ersichtlich und dazugehörige Reporte möglich (Soll/Ist-Vergleiche Arbeitsplätze/Produkte)	Auswertung nur auf Arbeitsvorgangsfolgen möglich	-	keine hierarchische Auswertung möglich
Trends darstellbar	Verbesserungen über Zeit ersichtlich. zeitlichen Verlauf können dargestellt werden	-	-	-	keine Trendauswertungen möglich
Soll/Ist-Vergleichbar	Soll/Ist vergleiche möglich. Auswertung der Engpässe	Soll/Ist Auswertung möglich	-	-	keine Soll/Ist Auswertung möglich
Aufschläge kalkulierbar	Verteilzeitzuschläge und Erholzeitzuschläge, sowie Kalkulationszuschläge und andere Zeitzuschläge können in Bewertung mitberücksichtigt werden. Zuschläge können Bereichsabhängig/Auftragsabhängig angepasst werden.	allgemein gültige Verteilzeitzuschläge und Erholzeitzuschläge, sowie Kalkulationszuschläge und andere Zeitzuschläge können in Bewertung mitberücksichtigt werden.	Nur Verteil- und Erholzeitzuschläge können berücksichtigt werden.	-	Zuschläge können nicht berücksichtigt werden

Benutzer

Kriterium	Gruppengewicht	Einzelgewicht	Gesamtgewicht	ORTIM CAPP		CAPP + ORTIM Zeit & Plan		MTM TiCon		Max. Bewertung	
				Bew.	Gew. Bew.	Bew.	Gew. Bew.	Bew.	Gew. Bew.	Bew.	Gew. Bew.
				Einfache Bedienung/Handhabung	0,08	0,25	0,02	4	0,083	3	0,0625
Einfach erlernbar	0,20	0,02	3	0,050		3	0,05	4	0,0666667	4	0,067
Support und Hilfe	0,25	0,02	3	0,063		2	0,041667	4	0,0833333	4	0,083
Mehrsprachig ausgefügt	0,25	0,02	4	0,083		3	0,0625	4	0,0833333	4	0,083
Farbschema anpassbar	0,05	0,00	0	0,000		0	0	0	0	4	0,017
Bewertung				0,279		0,216667		0,3166667		0,333	
Erfüllungsgrad Anforderungskategorie				84%		65%		95%		100%	

wichtiger / als 0: weniger wichtig 1: gleich wichtig 2: wichtiger	Einfache Bedienung/ Handhabung	Einfach erlernbar	Support und Hilfe	Mehrsprachig ausgefügt	Farbschema anpassbar	Summe	Anteil in %	Gewichtung
Einfache Bedienung/Handhabung	-	2	1	1	1	5	25%	0,25
Einfach erlernbar	0	-	1	1	2	4	20%	0,20
Support und Hilfe	1	1	-	1	2	5	25%	0,25
Mehrsprachig ausgefügt	1	1	1	-	2	5	25%	0,25
Farbschema anpassbar	1	0	0	0	-	1	5%	0,05
						20	100%	

Prozessbewertung/-organisation/-gestaltung

Kriterium	Gruppengewicht	Einzelgewicht	Gesamtgewicht	ORTIM CAPP		CAPP + ORTIM Zeit & Plan		MTM TiCon		Max. Bewertung	
				Bew.	Gew. Bew.	Bew.	Gew. Bew.	Bew.	Gew. Bew.	Bew.	Gew. Bew.
				Bewertungsmethoden verfügbar	0,42	0,10	0,04	3	0,128	3	0,128205
Integrierte Datenkarte	0,05	0,02	4	0,085		4	0,08547	4	0,0854701	4	0,085
Individuelle Datenkarte	0,11	0,05	4	0,182		4	0,181624	4	0,1816239	4	0,182
Datenkarten importierbar	0,03	0,01	4	0,053		4	0,053419	4	0,0534188	4	0,053
Zeitaufnahme durchführbar	0,03	0,01	2	0,021		3	0,032051	3	0,0320513	4	0,043
Unterschiedliche Planzeitbasis	0,10	0,04	3	0,128		3	0,128205	4	0,1709402	4	0,171
MTM-Prozessbausteine vorhanden	0,10	0,04	4	0,171		4	0,17094	4	0,1709402	4	0,171
Prozessbausteine konfigurierbar	0,11	0,05	4	0,182		4	0,181624	4	0,1816239	4	0,182
Formeln/Regeln anwendbar	0,11	0,05	3	0,136		4	0,181624	4	0,1816239	4	0,182
Drag/Drop verfügbar	0,01	0,01	4	0,021		4	0,021368	4	0,0213675	4	0,021
Ressourcenauslastung ersichtlich	0,03	0,01	2	0,027		2	0,026709	4	0,0534188	4	0,053
Änderungsmanagement vorhanden	0,10	0,04	3	0,128		3	0,128205	4	0,1709402	4	0,171
Hierarchische Strukturierung	0,11	0,05	4	0,182		4	0,181624	4	0,1816239	4	0,182
Bewertung				1,445		1,501		1,656		1,667	
Erfüllungsgrad Anforderungskategorie				87%		90%		99%		100%	

wichtiger / als 0: weniger wichtig 1: gleich wichtig 2: wichtiger	Bewertungsmethoden verfügbar	Integrierte Datenkarte	Individuelle Datenkarte	Datenkarten importierbar	Zeitaufnahme durchführbar	Unterschiedliche Planzeitbasis	MTM- Prozessbausteine vorhanden	Prozessbausteine konfigurierbar	Formeln/Regeln anwendbar	Drag/Drop verfügbar	Ressourcenauslastun g ersichtlich	Änderungsmanageme nt vorhanden	Hierarchische Strukturierung	Summe	Anteil in %	Gewichtung
Bewertungsmethoden verfügbar	-	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	16	10%	0,10
Integrierte Datenkarte	0	-	0	1	1	1	1	0	0	2	1	1	0	8	5%	0,05
Individuelle Datenkarte	1	2	-	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	17	11%	0,11
Datenkarten importierbar	1	1	0	-	1	0	0	0	0	1	1	0	0	5	3%	0,03
Zeitaufnahme durchführbar	0	1	0	1	-	0	0	0	0	1	1	0	0	4	3%	0,03
Unterschiedliche Planzeitbasis	1	1	1	2	2	-	1	1	1	2	2	1	1	16	10%	0,10
MTM-Prozessbausteine vorhanden	1	1	1	2	2	1	-	1	1	2	2	1	1	16	10%	0,10
Prozessbausteine konfigurierbar	1	2	1	2	2	1	1	-	1	2	2	1	1	17	11%	0,11
Formeln/Regeln anwendbar	1	2	1	2	2	1	1	1	-	2	2	1	1	17	11%	0,11
Drag/Drop verfügbar	0	0	0	1	1	0	0	0	0	-	0	0	0	2	1%	0,01
Ressourcenauslastung ersichtlich	0	1	0	1	1	0	0	0	0	2	-	0	0	5	3%	0,03
Änderungsmanagement vorhanden	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	-	1	16	10%	0,10
Hierarchische Strukturierung	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	-	17	11%	0,11
														156	100%	

Hardware und System

Kriterium	Gruppengewicht	Einzelgewicht	Gesamtgewicht	ORTIM CAPP		CAPP + ORTIM Zeit & Plan		MTM TiCon		Max. Bewertung	
				Bew.	Gew. Bew.	Bew.	Gew. Bew.	Bew.	Gew. Bew.	Bew.	Gew. Bew.
				Betriebssystem unabhängig	0,08	0,089	0,0074	4	0,030	4	0,030
Unterstützt Mobilgeräte	0,008	0,0007	2	0,001		3	0,002	0	0	4	0,003
Multi-User tauglich	0,089	0,0074	4	0,030		4	0,030	4	0	4	0,030
Vergeben von Berechtigungen	0,137	0,0114	4	0,046		4	0,046	4	0	4	0,046
SAP Anbindung möglich	0,137	0,0114	4	0,046		2	0,023	4	0	4	0,046
Datenexport/-import möglich	0,129	0,0108	2	0,022		2	0,022	3	0	4	0,043
Dokumente/Dateien verlinken möglich	0,081	0,0067	3	0,020		3	0,020	4	0	4	0,027
Druckformulare vorhanden	0,097	0,0081	3	0,024		2	0,016	4	0	4	0,032
Druckformulare anpassbar	0,048	0,0040	2	0,008		2	0,008	4	0	4	0,016
Fernzugriff möglich	0,089	0,0074	3	0,022		3	0,022	3	0	4	0,030
Adaptive Eingabefelder	0,097	0,0081	1	0,008	1	0,008	3	0	4	0,032	
Bewertung				0,256		0,226		0,3044355		0,333	
Erfüllungsgrad Anforderungskategorie				77%		68%		91%		100%	

wichtiger /als 0: weniger wichtig 1: gleich wichtig 2: wichtiger	Betriebssystem unabhängig	Unterstützt Mobilgeräte	Multi-User tauglich	Vergeben von Berechtigungen	SAP Anbindung möglich	Datenexport/-import möglich	Dokumente/Dateien verlinken möglich	Druckformulare vorhanden	Druckformulare anpassbar	Geringe Lizenzkosten	Geringe Wartungskosten	Fernzugriff möglich	Adaptive Eingabefelder	Summe	Anteil in %	Gewichtung
Betriebssystem unabhängig	-	2	1	0	1	0	0	1	1	1	1	2	1	11	9%	0,0887
Unterstützt Mobilgeräte	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1%	0,0081
Multi-User tauglich	1	-	-	1	1	1	2	1	1	0	1	1	1	11	9%	0,0887
Vergeben von Berechtigungen	2	2	1	-	1	1	2	1	2	1	1	1	2	17	14%	0,1371
SAP Anbindung möglich	1	2	1	1	-	1	2	2	2	1	1	2	1	17	14%	0,1371
Datenexport/-import möglich	2	2	1	1	1	-	1	2	2	1	1	1	1	16	13%	0,129
Dokumente/Dateien verlinken möglich	2	2	0	0	0	1	-	1	2	0	0	1	1	10	8%	0,0806
Druckformulare vorhanden	1	2	1	1	0	0	1	-	2	1	1	1	1	12	10%	0,0968
Druckformulare anpassbar	1	2	1	0	0	0	0	0	-	0	0	1	1	6	5%	0,0484
Fernzugriff möglich	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	2	-	1	11	9%	0,0887
Adaptive Eingabefelder	1	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	-	12	10%	0,0968
														124	100%	

Analyse und Auswertung

Kriterium	Gruppengewicht	Einzelgewicht	Gesamtgewicht	ORTIM CAPP		CAPP + ORTIM Zeit & Plan		MTM TiCon		Max. Bewertung	
				Bew.	Gew. Bew.	Bew.	Gew. Bew.	Bew.	Gew. Bew.	Bew.	Gew. Bew.
				Standardreporte vorhanden	0,42	0,16	0,066666667	4	0,267	4	0,267
Individuelle Reporte	0,16	0,066666667	4	0,267		3	0,200	4	0,267	4	0,267
KPIs auswerten	0,18	0,075	3	0,225		3	0,225	4	0,300	4	0,300
Farbliche Kennzeichnung	0,02	0,008333333	1	0,008		1	0,008	4	0,033	4	0,033
Hierarchische Auswertungen	0,16	0,066666667	3	0,200		3	0,200	4	0,267	4	0,267
Trends darstellbar	0,08	0,033333333	1	0,033		1	0,033	1	0,033	4	0,133
Soll/Ist-Vergleichbar	0,08	0,033333333	1	0,033		1	0,033	1	0,033	4	0,133
Aufschläge kalkulierbar	0,16	0,066666667	4	0,267		4	0,267	4	0,267	4	0,267
Bewertung				1,300		1,233333		1,4666667		1,667	
Erfüllungsgrad Anforderungskategorie				78%		74%		88%		100%	

wichtiger /als 0: weniger wichtig 1: gleich wichtig 2: wichtiger	Standardreporte vorhanden	Individuelle Reporte	KPIs auswerten	Farbliche Kennzeichnung	Hierarchische Auswertungen	Trends darstellbar	Soll/Ist-Vergleichbar	Aufschläge kalkulierbar	Summe	Anteil in %	Gewichtung
Standardreporte vorhanden	-	1	1	2	1	1	1	1	8	16%	0,16
Individuelle Reporte	1	-	1	2	1	1	1	1	8	16%	0,16
KPIs auswerten	1	1	-	2	1	2	1	1	9	18%	0,18
Farbliche Kennzeichnung	0	0	0	-	0	1	0	0	1	2%	0,02
Hierarchische Auswertungen	1	1	1	0	-	2	2	1	8	16%	0,16
Trends darstellbar	1	1	0	1	0	-	1	0	4	8%	0,08
Soll/Ist-Vergleichbar	1	1	1	0	0	1	-	0	4	8%	0,08
Aufschläge kalkulierbar	1	1	1	0	1	2	2	-	8	16%	0,16
									50	100%	

	ORTIM CAPP	CAPP + ORTIM Zeit & Plan	MTM TiCon
Gesamtbewertung:	3,280	3,177	3,744
Erfüllungsgrad gesamt:	Gesamtbewertung Gesamtbewertung in % 82%	79%	94%

wichtiger / als 0: weniger wichtig 1: gleich wichtig 2: wichtiger	Benutzer	Prozessbewertung/-organisation/- gestaltung	Hardware und System	Analyse und Auswertung	Summe	Anteil in %	Gewichtung
Benutzer	-	0	1	0	1	8%	0,08
Prozessbewertung/-organisation/ -gestaltung	2	-	2	1	5	42%	0,42
Hardware und System	1	0	-	0	1	8%	0,08
Analyse und Auswertung	2	1	2	-	5	42%	0,42
					12	100%	

12.7 Ermittlung der Stichprobengröße

12.7.1 Überprüfen der Altaufträge auf normalverteilte Auftragszeiten durch Kolmogorov-Smirnov-Test

Allgemeine Angaben zur Berechnung:

e = 0,05 Fehlermarge
N = 230 Anzahl Aufträge des letzten Geschäftsjahres

Vorgehensweise zur Berechnung in Excel:

1. Auftragsdaten nach Auftragszeit aufsteigend sortieren
2. Vergabe eines Ranges (laufende Nummer)
3. Berechnen der theoretischen und empirischen Werte der Normalverteilung (Verteilungsfunktion)
4. Berechnen der Differenzen und ermitteln der größten Differenz

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		Anzahl:	230						
3		Mittelwert:	1441,630435						
4		Std.Dev.:	240,5664123					Maximum:	0,062971335
5									
6		Auftrags-Nr.	Auftragszeit (min)	Rang	theoretisch	(Rang-1)/N	NORM.S.INV	empirisch	Differenz
7		XXXX	937,2	1	0,004347826	0	-2,623793369	0,018003657	0,018003657
8		XXXX	952,8	2	0,008695652	0,004347826	-2,378328933	0,021076936	0,01672911
9		XXXX	979,2	3	0,013043478	0,008695652	-2,224914826	0,027286723	0,018591071
10		XXXX	1005	4	0,017391304	0,013043478	-2,110880219	0,034761189	0,021717711

Verwendete Formeln in Excel:

Spalte	Formel
Rang	laufende Nummerierung
theoretisch	=D7/\$C\$2
(Rang-1)/N	=(D7-1)/\$C\$2
NORM.S.INV	=WENN(E7<1; NORM.S.INV(E7);"")
empirisch	=NORM.VERT(C7;\$C\$3;\$C\$4;WAHR)
Differenz	=ABS(H7-F7)

Zelle	Formel
Anzahl:	=ANZAHL(B7:236)
Mittelwert:	=MITTELWERT(C7:C236)
Maximum:	=MAX(I7:I236)

5. Berechnen des kritischen Wertes (z-Wert); z-Wert kann auch über Tabelle ermittelt werden

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		Anzahl:	230				Kritischer Wert:	0,089550562	
3		Mittelwert:	1441,630435						
4		Std.Dev.:	240,5664123				Maximum:	0,062971335	
5									

Formel für kritischen Wert:

$$\frac{\sqrt{\ln\left(\frac{2}{e}\right)}}{\sqrt{(2 * N)}}$$

Verwendete Formel in Excel:

Zelle	Formel
Kritischer Wert	=WURZEL(LN(2/0,05))/(WURZEL(2*C2))

6. Hypothese überprüfen

Hypothese verwerfen, wenn: Maximum > Kritischer Wert

→ Hypothese behalten!
Standardverteilung liegt vor.

12.7.2 Stichprobengröße für Normalverteilung

n	Stichprobengröße
z	z-Wert
p	Standardabweichung
e	Fehlermarge

Annahmen zur Berechnung:

Konfidenzniveau:	0,99
e:	0,01
p:	0,5
z	2,58 (tabellarisch ermittelt: z-Wert-Tabelle für Normalverteilung)

$$n \geq \frac{z^2 * p(1 - p)}{e^2} = 16641$$

Die errechnete Stichprobengröße muss mindestens 16641 betragen. Durch die Simulation mit Knime Analytics Platform wird auf 17000 aufgerundet.

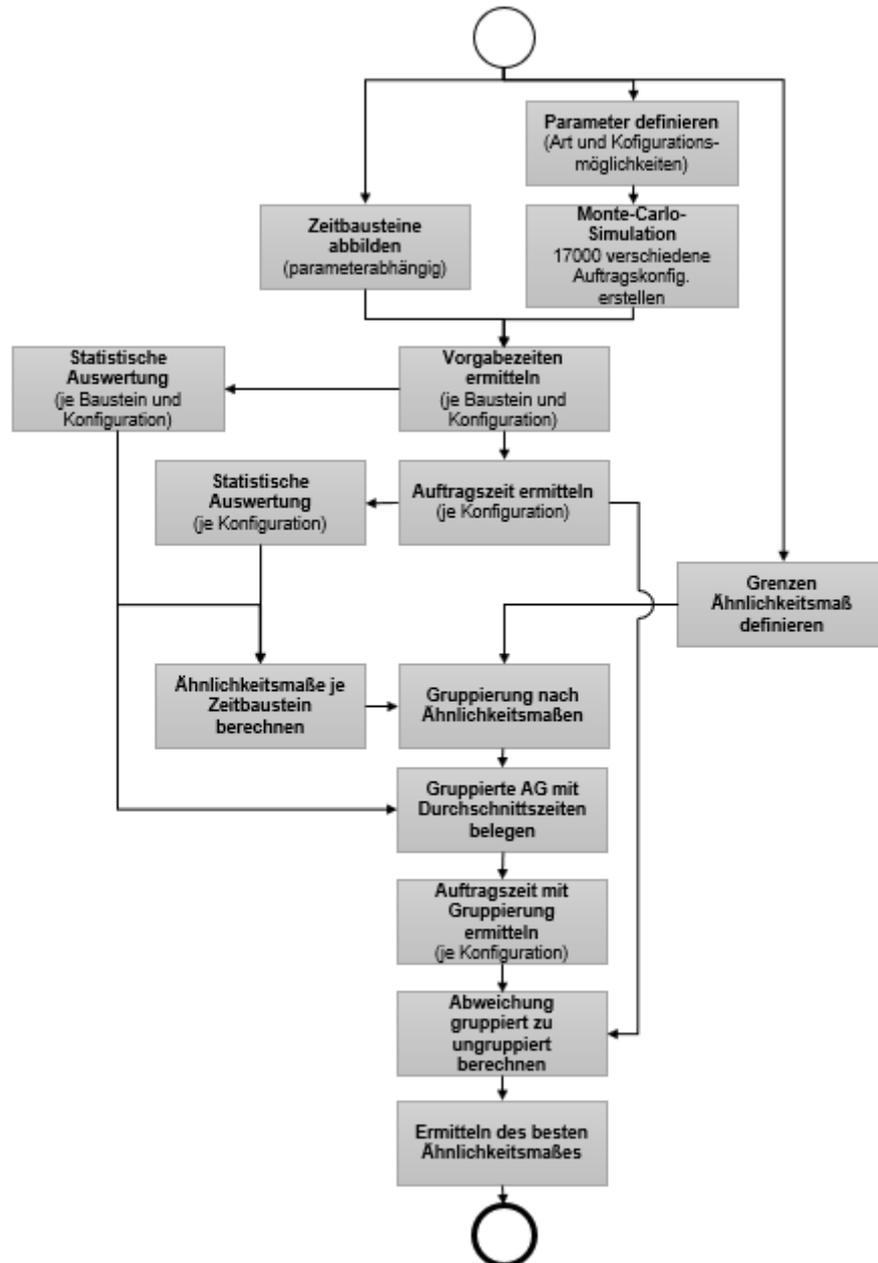
12.7.3 Stichprobengröße für unbekannte Verteilung

Ist die der Grundmenge zugrundeliegende Verteilungsfunktion unbekannt, so kann mittels der Slovin-Formel eine Stichprobengröße ermittelt werden:

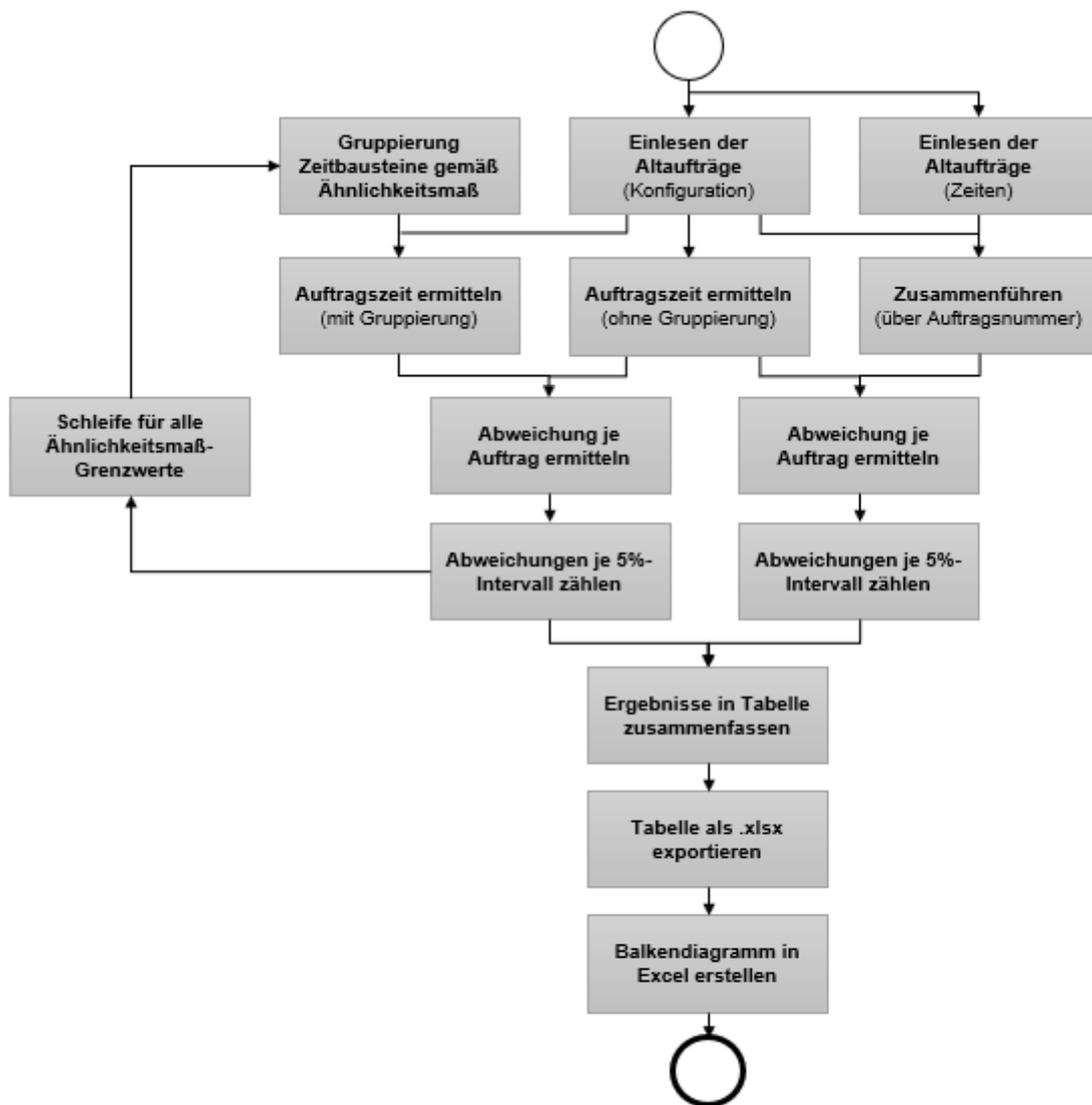
$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

12.8 Schematische Darstellung der Verbesserungsansätze

12.8.1 Gruppierungsansatz: Schematischer Aufbau zur Ermittlung eines geeigneten Ähnlichkeitsmaßes



12.8.2 Gruppierungsansatz: Validierung des Vorgehens mittels Altaufträgen



12.8.3 RF-Modell: Schematischer Aufbau RF-Modell zur Bestimmung der Vorgabezeiten trotz fehlender Auftragsinformationen

