

Schlussbericht vom 31.03.2022

zu IGF-Vorhaben Nr. 21158 N / 1

Thema

Entwicklung eines Modells zur Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrades von Arbeitsplänen

Berichtszeitraum

01.04.2020 bis 31.03.2022

Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik e.V. - BVL

Forschungseinrichtung(en)

Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

Thema.....	1
Berichtszeitraum.....	1
Forschungsvereinigung	1
Forschungseinrichtung(en).....	1
Inhalt	2
1. Zusammenfassung	3
2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	4
3. Gegenüberstellung angestrebter Teilziele und erzielter Ergebnisse	5
4. Erzielte Ergebnisse	7
5. Verwendung der Zuwendung.....	29
6. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	30
7. Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen	31
8. Veröffentlichungen und Transfermaßnahmen.....	32
9. Einschätzung der Realisierbarkeit der geplanten Maßnahmen	34
10. Durchführende Forschungsstelle	35
11. Förderhinweis.....	36
12. Anhang.....	37
13. Literaturverzeichnis	50

1. Zusammenfassung

Der Anspruch vieler Unternehmen an die Effizienz der internen Prozesse und das maximale Ausnutzen der vorhandenen Kapazitäten steigt immer mehr. Nichtwertschöpfende Aufgaben wie die Nacharbeit von Fehlern oder die Informationsbeschaffung wirken diesem Anspruch entgegen und sollten so weit wie möglich reduziert werden, um die eigenen Prozesse zu stabilisieren und ressourcenschonend agieren zu können. Mit der Anpassung des Detaillierungsgrades von Arbeitsplänen an die Bedürfnisse der Fertigung bzw. Montage kann bereits bei der Arbeitsvorbereitung ein wesentlicher Beitrag dazu geleistet werden. Dies kann sich beispielsweise in der Vermeidung von Missverständnissen, unnötigen Rücksprachen oder aufwändigen Informationsbeschaffungen äußern. Gleichzeitig steigt mit der Informationsmenge und –tiefe nicht nur der Aufwand zur Erstellung des Arbeitsplanes in der Arbeitsvorbereitung, sondern es kann auch die Aufnahmefähigkeit der Mitarbeiter durch Informationsüberladung überstrapaziert werden.

Vor dem Hintergrund des entstehenden Spannungsfeldes aus Aufwand zum Erstellen und Nutzen eines Arbeitsplanes in der Fertigung wurde deshalb eine Methode entwickelt, die den optimalen Detaillierungsgrad der Arbeitsplaninformationen ermittelt. Dafür wurden zunächst nichtwertschöpfende Tätigkeiten ermittelt, die mithilfe unterschiedlicher Arbeitspläne beeinflusst und im Idealfall reduziert werden können. Es wurde eine Bewertungsmethode entwickelt, die eine Quantifizierung verschiedener Informationsausprägungen ermöglicht und Anforderungen an Arbeitspläne aufgezeigt. Durch eine umfangreiche Identifikation von Aufwands- und Nutzentreibern wurden Rahmenbedingungen gefunden, deren Ausprägungen den optimalen Detaillierungsgrad direkt oder indirekt beeinflussen. Diese wurden im Anschluss verwendet, um Bewertungsmethoden sowohl für den Aufwand zum Erstellen eines Arbeitsplanes in der Arbeitsvorbereitung als auch für den Nutzen eines Arbeitsplanes in der Fertigung oder Montage abzuleiten. Die beiden Ansätze wurden als Gesamtmethode in ein Entscheidungsmodell integriert, welches das bestmögliche Verhältnis aus Aufwand und Nutzen ermittelt. Durch die Implementierung der Methodik in einen Softwaredemonstrator wurde eine aufwandsarme Übertragung der Ergebnisse durch KMU auf eigene Anwendungen sichergestellt. Dieser wurde mit Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses validiert.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Eine zunehmende Marktdynamik aufgrund kürzerer Produktlebenszyklen sowie einer steigenden Individualisierung erhöhen den Wettbewerbsdruck von Unternehmen [Wes16]. Aufgrund des dazu noch stetig wachsenden globalen Wettbewerbs ist es für Unternehmen besonders wichtig, die eigenen Prozesse zu stabilisieren und aus den vorhandenen Ressourcen die bestmögliche Produktivität zu erzielen. Die Produktion sollte dementsprechend effizient von der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) gestaltet werden, sodass der Anteil an wertschöpfenden Tätigkeiten der Mitarbeiter maximiert werden kann [Dom15].

Laut einer Studie der factorP managementberatung GmbH haben gewerblich operativ arbeitende Mitarbeiter einen nichtwertschöpfenden Zeitanteil von 40 % [Poh14]. In einer weiteren Studie wird in einem Fallbeispiel aus dem Bereich des Schiffbaus in der Vorfertigung ein nichtwertschöpfender Zeitanteil von über 50 % festgestellt [Tie13]. In dieser Zeit sind die Mitarbeiter damit beschäftigt, sich abzustimmen oder Informationen zu beschaffen, Wege und Transporte zu absolvieren, Anweisungen abzuwarten oder Fehlerbehebungen durchzuführen. Die Schaffung einer Basis für verlustfreies Arbeiten ist somit eines der Haupthandlungsfelder der PPS. Dabei spielt die Arbeitsplangestaltung eine wichtige Rolle. Ein detaillierter Arbeitsplan ist mit einem hohen Aufwand in der Arbeitsvorbereitung (AV) verbunden, bringt hingegen in der Ausführung einen Vorteil mit sich, da die Informationssuche reduziert werden kann. Ein detaillierter Arbeitsplan zeichnet sich bspw. durch eine genaue Darstellung der Einzelarbeitsschritte mit entsprechenden Arbeitsanweisungen, einer genauen Ressourcenzuordnung von bspw. Werkzeugen, Personalqualifikation (Lohngruppe) und Prüfmittel je Arbeitsschritt und Angaben zur Fertigungszeit aus. Ist der Arbeitsplan hingegen sehr detailliert geplant, entstehen Kosten und Aufwände in der AV, die ggf. zu keinem signifikant höheren Ertrag in der Ausführung führen. Bei einem zu niedrigen Detaillierungsgrad, bspw. einer reinen Konstruktionszeichnung, kommt es zu den beschriebenen nichtwertschöpfenden Tätigkeiten der Mitarbeiter in der Fertigung wie dem Suchen nach einem geeigneten Betriebsmittel, welches bspw. über den Arbeitsplan auch hätte schon geplant werden können. Studien belegen, dass ca. 16 % der Lieferzeit bei der Einzel- und Kleinserienfertigung auf die Arbeitsvorbereitung fällt [Mie98]. Heute stehen zusätzlich viele KMU vor der Umstellung, die PPS zukünftig softwarebasiert durchzuführen. Hinderungsgründe bei der Einführung eines MES sind unter anderem Schwierigkeiten bei der Schaffung der notwendigen Voraussetzungen, wozu auch der Detaillierungsgrad der Arbeitspläne gehört [Wes12].

Unternehmen benötigen daher ein Modell zur Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrades (DG) der Arbeitspläne, um zum einen den Gesamtaufwand bei der Erstellung und Ausführung des Arbeitsplanes zu reduzieren und zum anderen Hemmnisse zur Einführung von ERP- und MES-Lösungen zu nehmen.

3. Gegenüberstellung angestrebter Teilziele und erzielter Ergebnisse

Die Arbeitshypothese des hier beschriebenen Forschungsvorhabens besteht in der Annahme, dass der divergente Aufwand und die damit verbundenen Kosten der Arbeitsplanerstellung einerseits und die Verschwendung der operativen Mitarbeiter, die durch fehlende Informationen induziert werden andererseits durch die Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrades von Arbeitsplänen reduziert werden kann. Als Folge können KMU ihre Produktivität erhöhen und von den beschriebenen Vorteilen wie bspw. weniger Suchzeiten bei der Umsetzung und geringere Verschwendung der Arbeitszeit in der Arbeitsvorbereitung für zu detaillierte Arbeitspläne profitieren. Ziel des Forschungsvorhabens war daher die Entwicklung einer Methode zur quantitativen Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrades von Arbeitsplänen unter Berücksichtigung des Aufwands in der Arbeitsvorbereitung und des Nutzens in der Fertigung. Das Gesamtziel wurde dabei in folgende drei Teilziele unterteilt.

Teilziel 1:

Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag:

Das erste Teilziel beinhaltet zum einen die Identifikation von Einflussgrößen auf den optimalen DG von Arbeitsplänen (Arbeitspaket 3). Dabei sollen sowohl die Stärke der Einflussgrößen als auch die Abhängigkeit dieser untereinander untersucht werden. Zum anderen sollen Parameter identifiziert werden, die den DG von Arbeitsplänen bestimmen, wie bspw. die Ressourcenzuordnung, um eine Skala der verschiedenen DG mit den jeweiligen Ausprägungen der Einflussgrößen zu entwickeln (Arbeitspaket 2). Das erste Teilziel basiert auf den in Arbeitspaket 1 identifizierten nichtwertschöpfenden Tätigkeiten.

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens:

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Aufwands- und Nutzentreiber ermittelt, die einen Einfluss auf den optimalen Detaillierungsgrad von Arbeitsplänen haben. Diese als Rahmenbedingungen zu interpretierenden Faktoren wurden kategorisiert und ihre jeweilige Auswirkung beschrieben. Im Ergebnis steht dabei eine Liste möglicher Treiber, die unternehmensspezifisch reduziert bzw. erweitert werden kann. Als eine wesentliche Grundlage wurden dazu nichtwertschöpfende Tätigkeiten identifiziert, die durch die Wahl des Detaillierungsgrades eines Arbeitsplanes beeinflusst werden können. Diese wurden gemeinsam mit dem Projektbegleitenden Ausschuss exemplarisch hinsichtlich ihrer Praxisrelevanz gewichtet. Zur Entwicklung einer Skala, mit der Detaillierungsgrade verschiedener Arbeitspläne angegeben werden können, wurde eine Bewertungsmethode erstellt. Diese kann genutzt werden, um die einzelnen Ausprägungen von Informationselementen quantitativ nutzbar zu machen. Als Vorarbeit wurden dabei relevante Informationselemente sowie Anforderungen an Arbeitspläne definiert. Das erste Teilziel wurde erreicht.

Teilziel 2:

Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag:

Das zweite Teilziel besteht in der Entwicklung eines Entscheidungsmodells zur Bestimmung des optimalen DG (Arbeitspaket 6). Durch die Entwicklung eines Entscheidungsmodells können Unternehmen aufwandsarm unter Berücksichtigung der eigenen Unternehmensgegebenheiten den optimalen DG ihrer Arbeitspläne für die jeweiligen Fertigungsbereiche bestimmen. Zur Erreichung des Teilziels wird ein Bewertungsmodell zur Bestimmung des entstehenden Aufwands bei der Arbeitsplanerstellung (Arbeitspaket 4) und Ausführung in der Fertigung (Arbeitspaket 5) benötigt und bereitgestellt.

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens:

Zur Erfüllung des zweiten Teilziels wurde im Forschungsprojekt eine Methodik entwickelt, die eine unternehmensspezifische Bewertung des Aufwands zur Erstellung eines Arbeitsplanes und des Nutzens eines Arbeitsplanes in der Fertigung ermöglicht. Dazu wurde ein qualitativer Bewertungsansatz verfolgt, der eine Bewertung von Aufwand und Nutzen relativ zu branchennahen Standardprozessen beinhaltet. Die Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrades wurde nach Abstimmung mit dem Projektbegleitenden Ausschuss für jedes Informationselement einzeln vorgenommen, um maximale Praxisnähe zu gewährleisten. Sie begründet sich dabei aus dem bestmöglichen Verhältnis von Aufwand und Nutzen der jeweiligen Informationsausprägungen. Im Ergebnis kann mit der entwickelten Methode eine unternehmensspezifische Empfehlung für den optimalen Detaillierungsgrad eines Arbeitsplanes ermittelt werden. Das zweite Teilziel wurde erreicht.

Teilziel 3:

Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag:

Das dritte Teilziel beschreibt die Umsetzung des Entscheidungsmodells in einen Softwaredemonstrator und die Validierung anhand von Praxisanwendungen bei Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses (PA). Durch die Entwicklung eines Softwaredemonstrators wird den Unternehmen ein ganzheitliches und anwendungsfreundliches Instrument zur Ermittlung des optimalen DG bereitgestellt.

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens:

Das im zweiten Teilziel entwickelte Entscheidungsmodell wurde im Forschungsprojekt in einen Softwaredemonstrator überführt. Dabei erfolgte eine Zusammenführung der bereits erreichten Teilergebnisse zu einer Gesamtmethode. Die Umsetzung des Softwaredemonstrators erfolgte mit Standardsoftware und ermöglicht dem anwendenden KMU eine aufwandsarme Verwendung ohne zusätzliches Fachwissen. Das Unternehmen kann innerhalb des Softwaredemonstrators unternehmensspezifische Treiber angeben und dadurch eine individuelle Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrades vornehmen. Durch Gewichtungsmöglichkeiten ist der Benutzer in der Lage eigenständige Bewertungen einzelner Rahmenbedingungen vorzunehmen und dadurch ein passgenaues Ergebnis für den eigenen Anwendungsfall zu ermitteln. Der Softwaredemonstrator wurde durch Mitglieder des Projektbegleitenden Ausschusses getestet und die Ergebnisse der Validierung sind direkt zur Anpassung des Tools genutzt worden. Das dritte Teilziel und damit das Gesamtziel des Projektes wurden erreicht.

4. Erzielte Ergebnisse

4.1 Nichtwertschöpfende Tätigkeiten in der Fertigung, die durch die Arbeitsplanung beeinflussbar sind

In einem ersten Projektschritt wurden anhand von Literaturrecherchen und auf Basis von Gesprächen mit den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses die nichtwertschöpfenden Tätigkeiten in der Fertigung identifiziert, auf welche durch die Arbeitsplanung ein Einfluss genommen werden kann. Hieraus resultierte eine Liste mit relevanten Tätigkeiten, welche anschließend als wertschöpfend, bzw. nichtwertschöpfend klassifiziert wurden. In einer nachfolgenden Diskussion wurde die Beeinflussbarkeit der Tätigkeiten durch den Arbeitsplan ermittelt und eine Gewichtung der nichtwertschöpfenden Tätigkeiten vorgenommen. Tabelle 1 und Tabelle 2 stellen Ausschnitte aus den gemeinsam mit dem Ausschuss identifizierten wertschöpfenden und nichtwertschöpfenden Tätigkeiten dar. Die nichtwertschöpfenden Tätigkeiten wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit in die Kategorien Vorbereitung, Verzögerung, Nacharbeiten und Kontrolle eingeordnet.

Tabelle 1: Beispiele wertschöpfender Tätigkeiten

Bearbeiten	Fügen, Montieren
Entwicklungen	Konstruieren
Drehen, Fräsen	Etc.

Unter den wertschöpfenden Tätigkeiten lassen sich alle Arbeiten zusammenfassen, welche den Wert eines Materials aus Kundensicht durch Hinzufügen einer Eigenschaft steigern [Erl20, S.10]. Darunter fallen jene Tätigkeiten, die im Arbeitsplan unter der Vorgangsbeschreibung aufgeführt sind. Diese können die Bearbeitung des Materials durch Fräsen, Drehen oder Schleifen beinhalten, welche einen Mehrwert für den Kunden generiert. Im Austausch mit Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses hat sich der Einsatz von Arbeitsplänen als wichtige Voraussetzung für eine Durchführung wertschöpfender Tätigkeiten herausgestellt. Zudem ist eine exaktere Beschreibung dieser Tätigkeiten umso sinnvoller, je geringer die Fachkenntnisse des Mitarbeiters ausfallen [Eve96, S.80f.].

Tabelle 2: Beispiele nichtwertschöpfender Tätigkeiten

Kategorie	Nichtwertschöpfende Tätigkeiten
Vorbereitung	▪ Aufräumen des Arbeitsplatzes ▪ Informationsbeschaffung ▪ Werkzeugwechsel ▪ Rüstvorgänge ▪ Etc.
Verzögerung	▪ Zwischenlagerung ▪ Unnötige Transportwege ▪ Sortieren ▪ Etc.
Nacharbeiten	▪ Nacharbeit, Reparatur ▪ Rückruf ▪ Herstellung von Ausschuss ▪ Etc.
Kontrolle	▪ Überprüfung ▪ Freigabe ▪ Überwachung ▪ Etc.

Die Bezeichnung als nichtwertschöpfende Tätigkeiten ist auf Arbeiten anzuwenden, welche nicht zur direkten Wertsteigerung eines Produktes beitragen. Diese sind weitestgehend zu reduzieren oder zu eliminieren. [Erl20, S.10]

Es können bspw. Such- und Wartezeiten, Leerläufe oder Zeit für die Beschaffung von zusätzlichen Informationen unter dem Begriff der Verschwendung zusammengefasst werden. Unter anderem konnte durch Expertenbefragungen und in Zusammenarbeit mit dem Projektbegleitenden Ausschuss nichtwertschöpfende Tätigkeiten identifiziert werden, welche durch die Informationsmenge und -tiefe des Arbeitsplanes beeinflussbar sind. Hierzu zählen Angaben über die Verwendung bestimmter Werkzeuge, Vorrichtungen und Hilfsmitteln oder ergänzende Arbeitsunterlagen bezüglich des Arbeitsvorgangs. Zudem kann die Anwendung ungenauer Vorgabebeurmittlungsverfahren bei der Kalkulation von Rüst- und Bearbeitungszeit zu Wartezeiten und Leerläufen innerhalb der Produktion führen. In einer – aufgrund der geringen Stichprobe statistisch nicht aussagekräftigen – Erhebung innerhalb des Projektbegleitenden Ausschusses, wurde die Informationsbeschaffung vor Rüstvorgängen und der Nacharbeit als relevanteste nichtwertschöpfende Tätigkeit herausgestellt (siehe Abbildung 1).

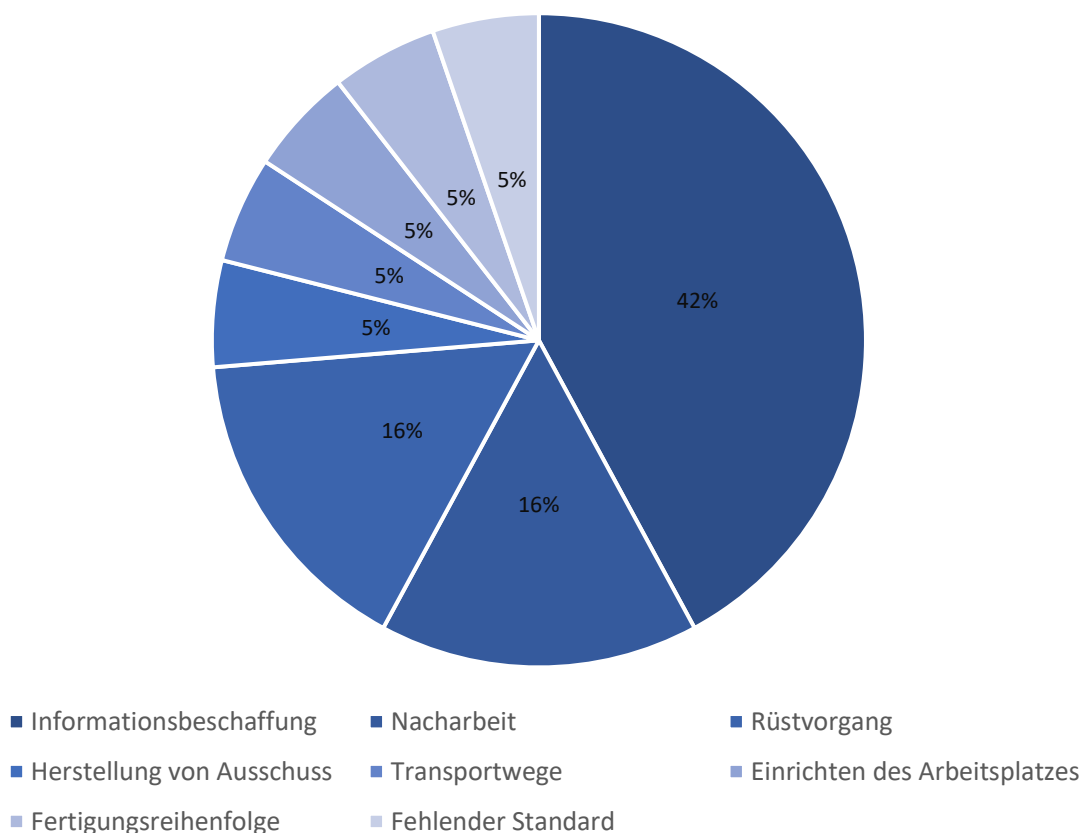


Abbildung 1: Einordnung der Relevanz nichtwertschöpfender Tätigkeiten

4.2 Skala für mögliche Vorgehen der Arbeitsplanerstellung unter Berücksichtigung der Detaillierungsgrade

Im Rahmen des zweiten Arbeitspakets wurde eine Identifikation von Eigenschaften, Merkmalen und Mindestanforderungen eines Arbeitsplanes vorgenommen, um nachfolgend Informationsgruppen mit untergeordneten Informationselementen zu kategorisieren. Für die quantitative Ermittlung der Detaillierungsgrade von unterschiedlichen Informationsausprägungen wurde eine Bewertungsmethode festgelegt.

Vorgehen zum Erstellen eines Arbeitsplanes

Die Arbeitsplanung ist als Teilgebiet der Arbeitsvorbereitung zwischen der Konstruktion und der Herstellung von Erzeugnissen eingegliedert [Wie19, S.189]. Dabei werden die zur Fertigung eines Erzeugnisses erforderlichen Verfahren, Abläufe und Betriebsmittel unter ständiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit ausgewählt und festgelegt [Arn17, S.1736]. Die zeitliche Effizienz eines produzierenden Unternehmens wird durch die arbeitsvorbereitenden Maßnahmen wesentlich beeinflusst.

Planungshorizont

In der Arbeitsplanung stellt der Arbeitsplan eine wesentliche Aufgabe im kurzfristigen Planungshorizont dar, in welcher als Ergebnis ein Arbeitsplan zur innerbetrieblichen Bearbeitung von Produktionsaufgaben entsteht. Neben Zeichnungen und Stücklisten zählt dieser zu den wichtigsten Arbeitsunterlagen für die Fertigung und dokumentiert die Ergebnisse sowie die Abläufe der Arbeitsvorgänge [Dan01, S.469]. Ggf. sind aber auch Ergänzungen durch auftragsabhängige Informationen möglich, um neben der Unterstützung des jeweiligen Mitarbeiters in der Produktion auch Funktionen in der Produktionssteuerung abzubilden. Die Vorgehensweisen und dadurch der Aufwand zur Erstellung eines Arbeitsplanes sind unter anderem stark von der Neuheit der verwendeten Fertigungstiefe abhängig. Hierbei kann zwischen Wiederholung, Variantenplanung, Ähnlichkeitsplanung und Neuplanung differenziert werden, wobei eine geringe Ähnlichkeit zu bisherigen Fertigungsaufträgen den Erstellungsaufwand potenziert [Wie19, S.194f.]. Zu Beginn der Planungsaufgabe wird entsprechend geprüft, welcher Fall vorliegt [Eve02, S.20]. Je nach Planungsart können abweichende Anforderungen an die Arbeitspläne sowie Anpassungen in der Vorgehensweise zum Erstellen eines Arbeitsplanes resultieren. Im Folgenden werden vier Varianten der Arbeitsplanerstellung genauer erläutert.

Bei einem bereits existierenden Arbeitsplan gleicher Fertigung ist eine Wiederholplanung möglich. Der bestehende Plan muss lediglich kopiert und durch auftragsbezogene und formale Daten ergänzt werden [Gla92, S.63]. So werden planerische Tätigkeiten im eigentlichen Sinn bei einer Wiederholungsplanung weitestgehend vermieden [Rem90, S.47]. Bei der Variantenplanung werden Standardarbeitspläne verschiedenster Teilefamilien für die Erarbeitung eines Arbeitsplanes genutzt [Chr06, S.286]. Die Ausprägung einer Variante können dabei unterschiedliche Geometrien oder Stückzahlen aufweisen. Entsprechend der Anforderungen der jeweiligen Fertigungsaufgabe werden diese Standardarbeitspläne modifiziert und erweitert [Eve96, S.83]. Eine Ähnlichkeitsplanung ist möglich, sobald Arbeitspläne für geometrisch und fertigungstechnisch ähnliche Bauteile bestehen. Durch eine etwaige Änderung der Arbeitsabläufe kann auf deren Grundlage ein Arbeitsplan erstellt werden [War95, S.274]. Die Neuplanung, auch als generative Planung bezeichnet, wird eine umfassende Neuerstellung des Arbeitsplanes durchgeführt. Dies hat einen entsprechend hohen Arbeitsaufwand zur Folge [Eve96, S.83]. Die flexible Gestaltung des Planungsablaufs und des Ergebnisses können allerdings zu prinzipiell innovativeren und besseren Planungsergebnissen führen.

Anforderungen an Arbeitspläne

Für die Identifikation des Nutzens eines Arbeitsplanes sind zunächst arbeitsplanabhängige Anforderungen der Nutzer zu differenzieren [Wie20, S.218]. Diese Anforderungen lassen sich trotz unternehmensspezifischer Betrachtung allgemeingültig in ihrem Informationsgehalt feststellen. Ausgehend von der Ist-Analyse von Fertigungsunterlagen verschiedener Unternehmen von EVERSHEIM ET AL. wurden Anforderungen an einen Soll-Arbeitsplan abgeleitet. Diese Anforderungen sind in der folgenden Abbildung 2 dargestellt.

Anforderungen an Arbeitspläne		
Genaue Beschreibung der Arbeitsvorgänge	Zuordnung der Fertigungsmittel und Fertigungshilfsmittel	Eindeutige Kennzeichnung der zu bearbeitenden Werkstücke
Genaue und unverwechselbare Kennzeichnung der einzelnen Arbeitsvorgänge	Gute Handhabung der Unterlagen und der dokumentierten Informationen	Organisatorische Hinweise
Berechnung und Zuordnung aller zur Bearbeitung erforderlichen Zeiten	Eindeutige Kennzeichnung des Ausgangsmaterials (Art, Form, Maße, Mengen, Gewichtsangaben)	Angabe des gültigen Stückzahlbereichs
Hinweise auf die Lohngruppe	Eindeutige Kennzeichnung der Unterlage selbst	Hinweise auf zugrundegelegte Zeichnungen

Abbildung 2: Anforderungen an einen Arbeitsplan in Anlehnung an [Eve75]

Bei der Übertragung dieses Soll-Konzepts auf einen Arbeitsplan ergibt sich jedoch ein Maximum an möglichen aufzunehmenden Informationsmerkmalen. Folglich muss eine Auswahl der für den Arbeitsplan notwendigen Informationsmerkmale stattfinden, wodurch andere je nach Automatisierungsgrad der Arbeitsvorbereitung und Organisationsstruktur eines Unternehmens unberücksichtigt bleiben [Eve75, S.99].

Schritte der Arbeitsplanerstellung

Ausgangspunkt bei der Arbeitsplanerstellung bietet die Prüfung von Stücklisten und Konstruktionszeichnungen, durch welche auch End- und Zwischenzustände des Arbeitsgegenstands bekannt werden [Wes06, S.160]. Anschließend wird bestimmt, ob eine Eigen- oder Fremdfertigung erfolgen soll und welcher Planungsfall vorliegt [Jeb89, S.594]. Die nachgelagerten Schritte Arbeitsvorgangsermittlung, Maschinenauswahl und Fertigungsmittelzuordnung beschäftigen sich mit der Festlegung der notwendigen Fertigungsschritte und Reihenfolge, die Auswahl der geeigneten Maschinen und der Zuordnung besonderer Fertigungshilfsmittel wie Werkzeuge oder Vorrichtungen [Wie19, S. 201f.]. Die Berechnung der Vorgabezeit für den Fertigungsprozess kann anhand verschiedener Methoden erfolgen, wobei mit der Genauigkeit einer verwendeten Methode auch der Ermittlungsaufwand steigt [Bäu17 S.39]. Über welche Qualifikation ein Mitarbeiter verfügen muss, um für die Ausführung des Arbeitsvorgangs geeignet zu sein, wird über Angaben zur Lohngruppe festgelegt [Krä95, S.87]. Abschließend werden die Teilergebnisse in einem Arbeitsplan festgehalten. Dabei sind sowohl Form als auch Formulierung kurz, aber verständlich und einheitlich zu gestalten [REF91, S.187].

Informationselemente und deren Ausprägungen

Die Angaben des Arbeitsplanes lassen sich in auftragsunabhängige und auftragsabhängige Daten, wie beispielsweise Stückzahlen oder Termine gliedern [Arn17, S.1738]. Abhängig von den Unternehmensanforderungen können die Inhalte von Arbeitsplänen allerdings stark variieren [Ste87, S.61]. Die Arbeitsplaninhalte können grundsätzlich vier nachfolgenden Datengruppen zugeordnet werden [REF91, S.166]. **Allgemeine Daten** beinhalten organisatorische und auftragsbezogene Daten zum Arbeitsplan selbst. Zu den allgemeinen Daten zählen Informationen

wie die Arbeitsplannummer oder das Erstellungsdatum. Diese häufig auch als „Kopfdaten“ bezeichneten Informationen sind im Wesentlichen auftragsbezogen und haben nur einen geringen Einfluss auf den optimalen Detaillierungsgrad bzgl. des Aufwands und Nutzens von Arbeitsplänen. Unter **Eingabedaten** fallen Informationen zum Ausgangs- bzw. Rohmaterial, wohingegen **Ausgabedaten** den Endzustand des Teils bzw. Erzeugnisse beschreiben und häufig durch Konstruktions- oder Montagezeichnungen ergänzt werden. Sowohl Eingabe- als auch Ausgabedaten werden in der Regel mit Maß-, Mengen- oder Gewichtsangaben versehen. **Ablaufdaten** beschreiben die Reihenfolge sowie den Inhalt der jeweiligen Arbeitsvorgänge. Eine umfassendere Übersicht über wesentliche Informationselemente der beschriebenen Datengruppen ist in Tabelle 3 dargestellt. Im Einzelfall können unternehmens- bzw. bereichsspezifische Informationselemente hinzukommen.

Tabelle 3: Wesentliche Arbeitsplandaten nach [Wie19, S. 192]

Datengruppen	Informationselemente	
Allgemeine Daten zum Arbeitsplan	- Unternehmen, Bereich, Teilbereich - Verwendung - Arbeitsplannummer - Mengenbereich - Ersteller, Erstellungsdatum, Gültigkeitsdauer	- Prüfer, Prüfdatum - Name des Bearbeiters, Änderungsdatum
Eingabedaten	- Sachnummer, Bezeichnung - Werkstoff - Mengen, Mengeneinheit	- Ausgangsmaße bzw. -zustand - Gewicht
Ausgabedaten	Sachnummer, Bezeichnung	- Zeichnungsnummer - Teilefamiliennummer
Ablaufdaten	- Arbeitsvorgangsnummer - Vorgangsbezeichnung - Arbeitsplatzgruppe, Arbeitsplatz - Werkzeug, Vorrichtungen, Hilfsmittel	- Rüstzeit, Zeit je Einheit - Zeiteinheit, Mengeneinheit - Zeitermittlungsmethode - Lohngruppe, Arbeitswertgruppe

Ein klassischer (analoger) Arbeitsplan bietet Platz für eine Vielzahl von Informationselementen. Um bei der Bewertung des Detaillierungsgrades einen leichter ersichtlichen Zugang zu Schwerpunkten eines Arbeitsplanes zu ermöglichen, werden die Informationselemente im Rahmen des Projektes nicht nur entsprechend ihrer Datengruppen, sondern insbesondere in Informationsgruppen kategorisiert, welche verschiedene Informationen zu einem Sachverhalt (z. B. Zeitangaben) zusammenfassen. Eine Zuordnung exemplarischer Informationselemente zu Informationsgruppen kann Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Informationsgruppen mit exemplarischen Informationselementen

Informationsgruppe	Bsp. Informationselemente
Allgemeine Daten	Zuständigkeit, Arbeitsplannummer
Material und Ausgangszustand	Rohmaterial, Ausgangsgewicht
Konstruktion und Endzustand	Konstruktionszeichnung, Toleranzen
Arbeitsvorgänge und -abläufe	Vorgangsbeschreibungen, Prioritäten
Arbeitsstätten und -mittel	Arbeitsplatz, Maschine
Zeitangaben	Vorgabezeiten, Rüstzeiten

Methode zur Bewertung des Detaillierungsgrades von Arbeitsplänen

Bestehende Ansätze für die Bewertung der optimalen Planungstiefe wie der von HÖHT und WIENAND gewichten und kombinieren Merkmalsausprägungen nach ihrer Relevanz. Hierdurch entsteht eine Skala, mit welcher sich Detaillierungsgrade von Arbeitsplänen in ihrer Gänze differenzierbar darstellen lassen. Beispielsweise liegen Arbeitspläne mit minimalen Merkmalsausprägungen im unteren Bereich der Skala, REFA-Lehrarbeitspläne mit dem höchsten Detaillierungsgrad im oberen Skalenbereich. Im Hinblick auf die variablen Ansprüche an Arbeitspläne und die Detailliertheit ist jedoch eine Kombination der Inhalte und eine Vergleichbarkeit der Detaillierungsgrade der Parameter von Vorteil.

Im Austausch mit Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses wurde zur Erstellung eines Arbeitsplanes keine Abgrenzung verschiedener Vorgehen und sich daraus ergebene Kombinationen der einzelnen Informationsausprägungen als zweckmäßig erachtet. Unter anderem lässt sich dies auf die hohe Anzahl notwendiger Vorgehen zur Darstellung sämtlicher Kombinationsmöglichkeiten zurückführen. Ebenso ist die Praxistauglichkeit bei der Verwendung eines hohen Detaillierungsgrades großer Anteile der Arbeitsplaninformationen nicht zwingend gegeben, da das Fehlen einzelner Informationselemente den Nutzen des Arbeitsplanes deutlich beeinträchtigen kann. Um dies zu umgehen wurde eine Methode für eine quantitative Bewertung des Detaillierungsgrades einzelner Informationselemente entwickelt. Als Grundlage wird dazu ein morphologischer Kasten verwendet, der den jeweiligen Informationselementen ihre möglichen Ausprägungen zuordnet und im Ergebnis eine Auswahl und die Bewertung aller möglichen Kombinationen ermöglicht.

Bewertung von Informationsausprägungen

Im Rahmen des zweiten Arbeitspakets wurde eine umfangreiche Liste möglicher Arbeitsplaninformationen erarbeitet. Die Informationstiefe hat einen wesentlichen Einfluss auf den Aufwand zur Erstellung und den Nutzen bei der Durchführung von Arbeitsplanvorgaben. Ein qualitatives Vorhandensein des jeweiligen Informationselements im Arbeitsplan reicht nicht bei allen Elementen aus, um den Detaillierungsgrad bewerten und optimal bestimmen zu können.

Im weiteren Verlauf wurden daher die Ausprägungen betrachtet, welche ein Informationselement annehmen kann. Die Ausprägungen können binär, wie das einfache Vorhandensein der Information oder mehrstufig, bei zusätzlichen detaillierten Erklärungen für unerfahrene Mitarbeiter, vorliegen. Zusätzliche Abstufungen der Ausprägungen von Informationen sind sinnvoll, um den Aufwand bei der Erzeugung, als auch der Nutzen der Arbeitsplaninhalte spezifischer einordnen zu können.

Eine Einteilung der Informationselemente mit diversen Unterscheidungen in ihrer Ausprägung, welche den Detaillierungsgrad einer Einzelinformation repräsentiert war deshalb zielführend. Diese wurden innerhalb eines morphologischen Kastens gemeinsam mit den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses zusammengestellt.

Um die Relevanz der Informationselemente zu ermitteln, können diese mithilfe von paarweisen Vergleichen gewichtet werden. Auf diese Weise kann festgestellt werden, wie hoch der Einfluss einer Information auf den Nutzen in der Praxis eingeschätzt werden kann. Ein durch den paarweisen Vergleich mit hoher Gewichtung $g_{i,gr}$ versehenes Informationselement i , welches der Informationsgruppe gr angehört, geht bei der Berechnung des Detaillierungsgrades stärker in die

Bewertung ein. Gleichzeitig liefern durchgehend geringe Bewertungen einen Ansatz zur Reduzierung der Gesamtanzahl von Informationselementen.

Für eine quantifizierbare Bewertung des Detaillierungsgrades wurden anschließend die nach ihrer Informationstiefe sortierten Ausprägungen in Zahlenwerte umgesetzt. Hierfür wurden die Ausprägungen abhängig von ihrer maximal möglichen Anzahl zwischen Werten von null bis eins skaliert. In Tabelle 5 sind Beispiele unterschiedlicher Ausprägungen und Informationselemente dargestellt.

Tabelle 5: Beispiele für Bewertungen von Informationsausprägungen

Informationselement	Informationsausprägungen			
Zuständigkeit	Nicht angegeben (0)		Angegeben (1)	
Angaben zum Rohmaterial	Niedrig (0)	Mittel (0,5)	Hoch (1)	
Vorgangsbeschreibung	Min. (0)	Wenig (0,33)	Viel (0,66)	Max. (1)

Die Position der Ausprägung im morphologischen Kasten kann durch eine Positionsangabe $n_{i,gr}$ eindeutig beschrieben. Die erste ($n_{i,gr}=1$) und damit geringste Detaillierungsstufe (z. B. keine Information) der Information i in Informationsgruppe gr erhält dabei immer den Wert 0, während die jeweils detaillierteste Ausprägung ($n_{i,gr}=N_{i,gr}$) mit dem Zahlenwert 1 versehen wird. Die Schrittweite $S_{i,gr}$ zwischen dem Minimal- und Maximalwert ergibt sich in Abhängigkeit der Anzahl $N_{i,gr}$ an möglichen Ausprägungen für das jeweilige Informationselement. Die jeweilige Bewertung $B_{i,gr,n_{i,gr}}$ einer Ausprägung wird anhand ihrer Rangfolge $n_{i,gr}$ innerhalb der Ausprägungen des Informationselementes bestimmt.

$$S_{i,gr} = \frac{1}{N_{i,gr} - 1}$$

$$B_{i,gr,n_{i,gr}} = (n_{i,gr} - 1) * S_{i,gr}$$

Die Bewertung und Berechnung der Merkmalausprägungen beruht dabei auf der Annahme, dass Unterschiede zwischen den stufenweisen Ausprägungen hinsichtlich Aufwand und Nutzen innerhalb eines Informationselementes gleichwertig sind. Dies muss jedoch nicht zwangsweise in der Praxis zutreffen. Somit wurde diese Einteilung lediglich als Ausgangspunkt für eine Bewertung verwendet, welche jedoch auf Basis individueller Erfahrungswerte manuell angepasst werden kann. Die Bewertungen $B_{i,gr}$ der vorliegenden Informationsausprägungen ($n_{i,gr} = \text{vorl.}$) können mit der jeweiligen Gewichtung des Informationselementes $g_{i,gr}$ multipliziert werden.

$$GewB_{i,gr} = g_{i,gr} * B_{i,gr,n_{i,gr}=\text{vorl.}}$$

Anschließend werden die gewichteten Bewertungen der Informationselemente $GewB_{i,gr}$ innerhalb der jeweiligen Informationsgruppe gr aufsummiert, um einen Detaillierungsgrad DG_{gr} für die Informationsgruppe zu erstellen.

$$DG_{gr} = \sum_{i=1}^I GewB_{i,gr}$$

Der Detaillierungsgrad einer Informationsgruppe kann als Messgröße verwendet werden, um gezielte Anpassungen der Arbeitsplaninhalte vorzunehmen und so Aufwand und Nutzen der Arbeitspläne zu beeinflussen. Visualisierungen liefern darüber hinaus die Möglichkeit gezielt auf Schwerpunkte und Defizite der Arbeitspläne reagieren zu können. Bei einer unternehmensspezifischen Betrachtung können die Detaillierungsgrade der Informationsgruppen verwendet werden, um daraus erste Handlungsansätze abzuleiten.

$$DG = \frac{\sum_{gr=1}^{GR} DG_{gr}}{GR}$$

Aus dem Mittelwert der Detaillierungsgrade der einzelnen Informationsgruppen kann bei Bedarf ein Gesamtdetaillierungsgrad ermittelt werden. Da dieser kaum Aussagen über Aufwand und Nutzen eines Arbeitsplanes zulässt, ist sein Beitrag zur Bestimmung der optimalen Informationsinhalte eines Arbeitsplanes als gering einzustufen. Der Gesamtdetaillierungsgrad dient im Wesentlichen der Visualisierung des Gesamtergebnisses. Empfehlungen zur Anpassung von Arbeitsplaninhalten sollten jedoch auf Basis der Informationsgruppen abgeleitet werden.

Das entwickelte Formelwerk wurde in einer Veröffentlichung [Str21] aufbereitet und diente im weiterführenden Projektverlauf als Grundlage zur Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrades von Arbeitsplänen.

4.3 Aufwands- und Nutzentreiber der Detaillierungsgrade von Arbeitsplänen

Sowohl der Aufwand als auch der Nutzen eines Arbeitsplanes sowie einzelner Arbeitsplaninformationen werden durch diverse Rahmenbedingungen beeinflusst [Str20, S.389]. Im Rahmen des Forschungsprojektes wird durch die Bezeichnung Aufwands- und Nutzentreiber eine Differenzierung dieser Rahmenbedingungen vorgenommen, die zugleich auf die direkten oder indirekten Auswirkungen hinweist. Gemeinsam mit den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses wurden im Rahmen des Projektes Treiber ermittelt, welche den Aufwand und/oder den Nutzen eines Arbeitsplanes bestimmen. Diese können den folgenden Merkmalskategorien zugeordnet werden [Eve02, S.206]:

- Produktspezifische Faktoren
- Auftragsspezifische Faktoren
- Fertigungsspezifische Faktoren
- Unternehmensorganisatorische Faktoren
- Personalspezifische Faktoren

Zusätzlich wird die Kategorie der **informationsspezifischen Faktoren** in die Zuordnung aufgenommen. Die durch Literaturrecherche und in Diskussion mit dem Projektbegleitenden Ausschuss identifizierten Treiber werden in Tabelle 6 kategorisch dargestellt. Sie sollen ein möglichst umfangreiches und differenziertes Bild möglicher Einflussfaktoren darstellen. Im Anhang 1 werden zusätzlich exemplarische Ausprägungen der Treiber aufgeführt und eine Einordnung in Aufwands- und Nutzentreiber vorgenommen. Nicht bei jedem Unternehmen sind alle aufgeführten Treiber relevant – gleichzeitig können im Einzelfall weitere unternehmensspezifische Aufwands- oder Nutzentreiber vorliegen.

Tabelle 6: Aufwands- und Nutzentreiber

Produktspezifische Faktoren					
Produktneuheitsgrad		Produktkomplexität		Schwierigkeitsgrad	
Auftragsspezifische Faktoren					
Losgröße			Kundenspezifikation		
Fertigungsspezifische Faktoren					
Automatisierungsgrad	Fertigungstiefe	Prozessumfang Arbeitsvorgänge	Prozessumfang Maschinen	Prozessumfang Betriebsmittel	
Unternehmensorganisatorische Faktoren					
Zahl der Produktvarianten	Wiederhol- häufigkeit	Fertigungsart	Fertigungsprinzip	Montageprinzip	Organisations- struktur
Personalspezifische Faktoren					
Mitarbeiterqualifikation		Berufserfahrung		Unternehmenskultur	
Informationsspezifische Faktoren					
Informationsqualität und -quantität			Digitalisierung		

Produktspezifische Faktoren

Unter die Produktspezifischen Faktoren fallen insbesondere der Neuheitsgrad und die Komplexität eines Erzeugnisses. Als Neuheitsgrad wird der Grad an Unterschiedlichkeit eines Produkts entgegen seinem Vorgängerprodukt bezeichnet [Bäu17, S.140]. Durch diesen wird die Art der Planung und somit auch der planerische Aufwand definiert. Der Neuheitsgrad kann in Bezug auf die Produktstruktur oder auf Komponenten oder Baugruppen betrachtet werden. Obwohl alle Komponenten identisch mit Referenzprodukten sind, kann das Endergebnis in seinem Neuheitsgrad steigen, wenn eine veränderte Produktstruktur vorliegt. Auch der Einsatz von innovativen Produkttechnologien und neuen Materialien kann zu einem erhöhten Neuheitsgrad führen [Bäu17, S.140f]. Das Merkmal des Produktneuheitsgrades ist in seinen Ausprägungen in der Tabelle 7 in Anlehnung an BÄUMERS dargestellt.

Tabelle 7: Merkmal Produktneuheitsgrad in Anlehnung an [Bäu17]

Merkmal		Exemplarische Ausprägungen			
Produktneuheitsgrad	Neuheitsgrad der Komponenten	Ausschließlich bekannte Komponenten (0-10% aller Komponenten sind neu)	Wenige neue Komponenten (10-15% aller Komponenten sind neu)	Viele neue Komponenten (25-50% aller Komponenten sind neu)	Ausschließlich neue Komponenten (50-100% aller Komponenten sind neu)
	Neuheitsgrad der Produktstruktur	Bekannte Struktur	Wenige neue Strukturkomponenten	Weitgehend neue Strukturkomponenten	Gänzlich neue Strukturkomponenten
	Neuheitsgrad der Produkttechnologien und Materialien	Ausschließlich bekannte Werkstoffe und Produkttechnologien	Wenige Komponenten mit neuen Werkstoffen oder Produkttechnologien	Viele neue Werkstoffe oder Produkttechnologien	Ausschließlich neue Werkstoffe und Produkttechnologien

Die Zunahme des Neuheitsgrades bedeutet für die Arbeitsplanung auch einen zusätzlichen Bedarf an Informationen für die Arbeitsdurchführung, beispielsweise durch Änderungen der Montagetätigkeiten oder -reihenfolge. Die Bereitstellung einer höheren Informationsmenge bzw. -tiefe hilft dem Werker Fehler innerhalb der Fertigung und Montage zu reduzieren die Beschaffung von zusätzlichen Informationen zu vermeiden. Ist der Neuheitsgrad sehr gering oder nicht vorhanden kann die bisherige Arbeit mit dem vorhandenen Informationsgehalt fortgeführt werden.

Produktkomplexität

Bei vorgelagerter Konstruktion kann durch die Festlegung der Komplexität der Funktionsträger ebenfalls Einfluss auf die optimale Informationslage im Arbeitsplan genommen werden [Ste73, S.25]. Hierbei kann die Erzeugnisstruktur eine Ausprägung von geringteiligen Produkten bis hin zu mehrteiligen komplexen Erzeugnissen erreichen. Je geringer die Anzahl an Teilen, desto geringer ist die mentale und körperliche Beanspruchung für den Mitarbeiter und desto schneller verläuft der Montageprozess [Bor20, S.54]. Die Produktkomplexität steigt mit jeder Stufe der zur Montage benötigten Einzelteile an und resultiert in einem zunehmenden Informationsbedarf der ausführenden Mitarbeiter. Mit dem entstehenden Aufwand zur Erstellung des Arbeitsplanes bei einem hohen Detaillierungsgrad nimmt auch der Nutzen für die ausführende Kraft zu. Bei einer geringen Komplexität sind detaillierte Angaben nicht notwendig, sondern können vielmehr die

Aufmerksamkeit von den relevanten Arbeitsinformationen ablenken. Angaben wie Gewicht und Maße sind notwendig, sobald eine Kontrolle des gefertigten Produktes notwendig ist.

Schwierigkeit der Arbeitsaufgabe

Bezüglich der Arbeitsaufgabe ergeben sich die Merkmalausprägungen des Schwierigkeitsgrades und der Neuheit der Tätigkeit. Der Schwierigkeitsgrad lässt sich durch die Betrachtung der Produktkomplexität herleiten. Eine komplexere Montagetätigkeit führt zu einer Zunahme des Schwierigkeitsgrades der Arbeitsaufgabe, womit auch das Risiko für Fehleranfälligkeiten und Verluste in der Fertigungseffizienz ansteigen [Bor18, S.268]. Ausgehend von der Produktkomplexität ergibt sich auch das Merkmal der Fertigungsstruktur, welche die durchschnittliche Anzahl der Arbeitsvorgänge und Montageabschnitte im Prozess angibt, die für die Fertigstellung eines Erzeugnisses aufeinander folgen. Ein geringer Strukturierungsgrad kann beispielsweise bei einer Anzahl < 10 , ein mittlerer Strukturierungsgrad bei $10 < \text{Anzahl} < 20$ und bei einer Anzahl > 20 ein hoher Strukturierungsgrad angegeben werden [Sch12, S.135]. Das Ausmaß der Schwierigkeit einer Aufgabe verdeutlicht die Notwendigkeit, Arbeitsschritte zu planen und diese so detailliert wie möglich zu beschreiben, denn schwierig auszuführende Tätigkeiten sind zeitaufwendiger und fehlerbehafteter [Bor18, S.268].

Auftragsspezifische Faktoren

Losgröße

Die Aufwandsentstehung wird unter anderem durch die Losgröße eines Auftrags beeinflusst. Eine Gegenüberstellung des Zeitbedarfs zur Arbeitsplanung und die Fertigungszeit je Stück in Abhängigkeit der Losgröße wurde von OPITZ ET AL. durchgeführt. Diese Ergebnisse ließen sich auch in Befragungen von 12 Unternehmen aus dem Maschinenbau der Einzel- und Kleinserienfertigung validieren [Wie20, S.218]. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.

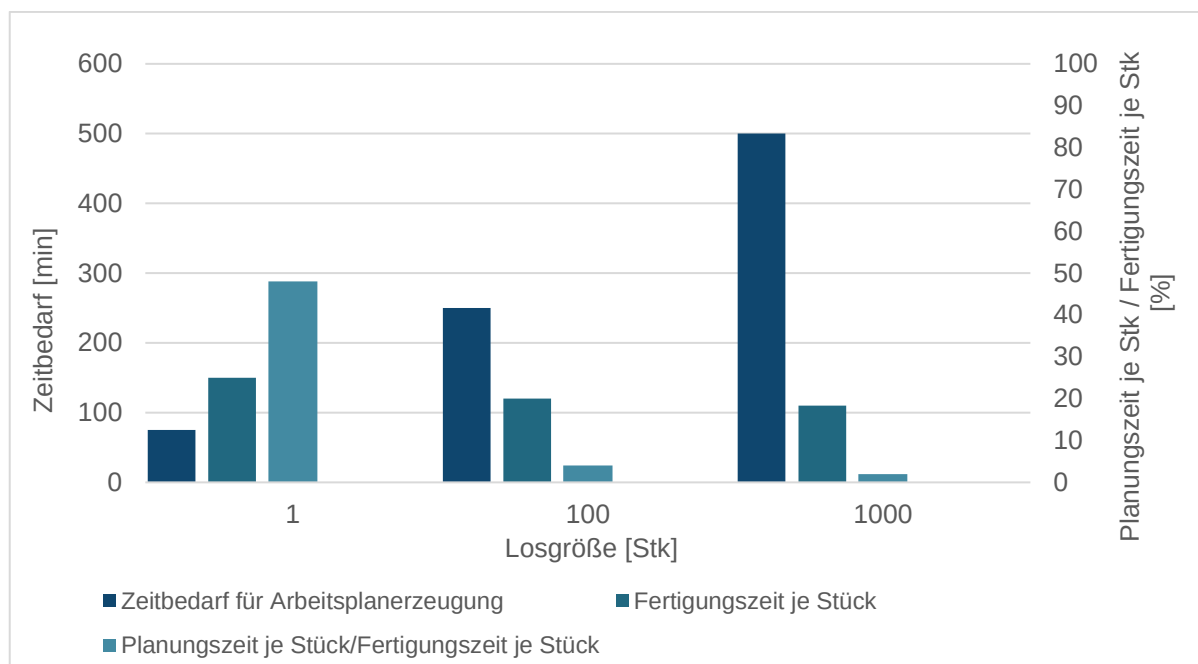


Abbildung 3: Zeitbedarf für die Arbeitsplanerzeugung und Fertigung eines Werkstücks bei verschiedenen Losgrößen nach [Wie20, S.218]

Hieraus wird ersichtlich, dass mit der Losgröße auch der Zeitbedarf für die Arbeitsplanerstellung ansteigt. Im Hinblick auf den Kosten Nutzen eines Arbeitsplanes wird dieser jedoch bei einer großen Stückzahl auch öfter angewendet, woraus eine geringere Planungszeit je Stück resultiert. Der hohe Aufwand zur Erzeugung eines Arbeitsplanes bei einer großen Losgröße lässt sich

insbesondere durch eine effektive Fertigungsmittelzuordnung und der Rohmaterialfestlegung erklären, da entsprechend ein größeres Fertigungsvolumen benötigt wird.

Kundenorientierung

Die Bedeutung von kundenorientierten Produkten nimmt für produzierende Unternehmen stetig zu. Diese Präferenz fordert eine spezialisierte Problemfindung und erweiterten Leistungsumfang im Portfolio des Unternehmens [Nie96, S.1]. Ebenfalls wird von der Produktion eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit sowie Flexibilität bezüglich der Kundenwünsche gefordert [Wes16, S. 60]. Es existieren verschiedene Bevorratungsstrategien, über die der Kundenentkopplungspunkt angepasst werden kann. Diese sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Formen der Bevorratungsstrategie in Anlehnung an [Wie20]

Merkmal	Bevorratungsstrategie	Erläuterung
Ausprägungen	Make-to-Stock (MTS)	— Prognosegesteuerte Herstellung des Endprodukts — Kundenspezifische Lieferung aus dem Fertigwarenlager ➔ Beispiel: Drucker, Haushaltsgeräte
	Assemble-to-Order (ATO)	— Kundenneutrale und prognosegesteuerte Fertigung von Komponenten und Baugruppen — Kundenspezifische Montage und Lieferung ➔ Beispiel: Werkzeugmaschinen, Kraftfahrzeuge aus Standardkomponenten
	Make-to-Order (MTO)	— Kundenspezifische Fertigung, Montage und Lieferung — Kundenneutrale und prognosegesteuerte Beschaffung aus Rohmaterial- und Komponentenlager ➔ Beispiel: Brücken von Hallenkränen
	Purchase-to-Order (PTO)	— Kundenspezifische Beschaffung, Fertigung, Montage und Lieferung — Kundenneutrale Konstruktion ➔ Beispiel: Ersatzteile, wie Getriebe- und Antriebskomponenten
	Engineer-to-Order (ETO)	— Kundenspezifische Konstruktion — Kundenspezifischer Herstellungs- und Lieferprozess ➔ Beispiel: Sondermaschinen, nach Kundenwünschen individuell entwickelte Produkte

Der Aufwand für die Erstellung eines Arbeitsplanes ist davon abhängig, wie weit der Entkopplungspunkt vom Endprodukt entfernt ist. Bei einem ETO-Auftrag muss beispielsweise eine Neuplanung durchgeführt werden, die entsprechend anspruchsvoll ist. Der geringste Aufwand entsteht durch die Lagerfertigung MTS, da hier lediglich eine Wiederholplanung für die Fertigung des Produkts eingesetzt wird.

Vor dem Hintergrund, dass nicht nur Anforderungen zur Qualität eingehalten werden müssen, sondern auch die Einhaltung der Lieferzeit gefordert wird, muss die Voraussetzung für eine korrekte Ausführung gegeben werden, um Verzögerungen durch Nacharbeit zu vermeiden. Die

vom Kunden gewünschten Anforderungen nehmen zum einen Einfluss auf die Variantenvielfalt und zum anderen auch auf die Wahl der Produktionsart [Nie96, S.1].

Fertigungsspezifische Faktoren

Automatisierungsgrad

Tabelle 9: Merkmal Automatisierungsgrad in Anlehnung an [Bäu17, S. 158]

Merkmal	Exemplarische Ausprägungen			
Automatisierungsgrad	Vollständige Automatisierung (75-100% der Prozesse sind automatisiert)	Eher hoher Automatisierungsgrad (50-75% der Prozesse sind automatisiert)	Eher geringer Automatisierungsgrad (25-50% der Prozesse sind automatisiert)	Rein manuelle Fertigung und Montage (0-25% der Prozesse sind automatisiert)

Die Merkmalsausprägungen des Faktors Automatisierungsgrad sind in Tabelle 9 beschrieben. Automatisierte Prozesse lassen sich häufiger in der Fertigung als der Montage finden, da die Montage überwiegend manuelle Tätigkeiten zum Zusammenbau von Teilen aufweist. Liegt ein voll automatisiertes oder teilweise automatisiertes System vor, sind geringfügig manuelle Tätigkeiten, wie das Einlegen von Teilen zu übernehmen [Bäu17, S.151]. Somit ist anzunehmen, dass für den Werker schwer auszuführende Tätigkeiten mit steigendem Automatisierungsgrad abnehmen und ein erhöhter Informationsbedarf ist nicht notwendig. Der Aufwand für die Arbeitsvorbereitung nimmt aufgrund des Planungsbedarfs konkreter Arbeitsschritte zu, sobald manuelle Tätigkeiten überwiegen.

Fertigungstiefe

Die Fertigungstiefe beschreibt den Anteil der Eigenfertigung eines Unternehmens an der gesamten Leistungserstellung. Für ein Unternehmen geht damit die Frage einher, in welchem Umfang Komponenten für die Herstellung eines Endproduktes im Rahmen der eigenen Wertschöpfung selbst erstellt werden [Zäp00, S.132]. Die Fertigungstiefe beeinflusst die Informationen und deren Detaillierungsgrad im Arbeitsplan nicht zwangsläufig direkt, dennoch steigt mit der Fertigungstiefe auch die Anzahl der Arbeitspläne im Unternehmen. Durch den höheren Anteil an Montagetätigkeiten im Verhältnis zu Tätigkeiten der Eigenfertigung, verschiebt sich der Fokus mehr in Richtung von Montagearbeitsplänen.

Prozessumfang

Der Prozessumfang umfasst zum einen die Gesamtmenge der eingesetzten Maschinen und Betriebsmittel, zum anderen aber auch die festgelegte Arbeitsvorgangsfolge. Um die Transformation vom Rohmaterial zum Fertigteil auszuführen, sind Fertigungsverfahren zur schrittweisen Bearbeitung des Rohmaterials anzuwenden. Die Auswahl eines Fertigungsverfahrens ist ausschlaggebend für die Beschreibung der Arbeitsvorgänge und die Bildung der Arbeitsvorgangsfolge. Hieraus ergeben sich zudem die Fertigungsmittelzuordnung und die Vorgabezeitermittlung. Ausgehend von der Produktkomplexität und der gewählten Planungsebene, steigt der Aufwand folglich mit zunehmender Arbeitsvorgangsfolge. Für den Mitarbeiter geht damit jedoch ein größeres Arbeitsvolumen einher, welches wiederum zu Überanstrengung und folglich zu Fehlern führen kann.

Im Rahmen der Fertigungsmittelzuordnung ist es notwendig, einen verfügbaren Arbeitsplatz zu bestimmen, mit Hilfe dessen der entsprechende Arbeitsvorgang durchgeführt werden kann [Opi72, S.19]. Mit einem steigenden Prozessumfang erhöht sich somit die Anzahl der Maschinen

und Fertigungshilfsmittel. Da für jeden Vorgang die Vorgabezeiten der eingesetzten Fertigungsmittel bestimmt werden müssen, steigt der Aufwand in der Arbeitsplanerstellung erheblich. In der Arbeitsdurchführung sind durch ungenaue Angaben bei der zunehmenden Handhabung mehrerer Anlagen und Hilfsmittel Überanstrengungen und Fehler der Mitarbeiter wahrscheinlicher. Die Angabe der Fertigungsmittel im Arbeitsplan ordnet die Arbeitsplätze den einzelnen Vorgängen zu und erfüllt den Zweck dem Mitarbeiter über die benötigten Fertigungshilfsmittel zu informieren, ohne deren Einsatz ein Vorgang nicht korrekt abgeschlossen werden kann. Damit sind Fehler, wie z.B. das Bearbeiten auf einer falschen Maschine, vermeidbar.

Unternehmensorganisatorische Faktoren

Variantenvielfalt

Individuelle Kundenansprüche an das Unternehmen führen zu einer Ausweitung der Produktvielfalt und der Diversifikation der Produkte [Nie96, S.1]. Mit der steigenden Produktvielfalt entsteht eine erhöhte Anzahl an unterschiedlichen Produkttechnologien und Materialien, wodurch es auch zu einer steigenden Zahl an Produktvarianten und Variantenvielfalt in der Produktion kommt. Werden viele verschiedene Technologien und Materialien in ein Produkt verbaut, steigt damit auch die Produktkomplexität und ein breites Spektrum an Bauteilen und Schnittstellen entsteht [Bäu17, S.139]. Eine hohe Variantenvielfalt in der Produktion zeigt sich durch eine große Anzahl an Produktvarianten und damit an einer Menge von vielfältigen Produkten, welche sich in ihrer Form, Technologie oder Material unterscheiden [Bäu17, S.161]. Je umfangreicher die Produktvielfalt innerhalb eines Unternehmens, desto größer ist die Teileanzahl und diesbezüglich auch die Anzahl der Prozesse und Arbeitspläne [Bäu17, S.161]. Hierdurch wird auch der Aufwand zur Planung und Erstellung der Arbeitspläne beeinflusst. Zwar besteht die Notwendigkeit die Bezeichnung des Fertigteils oder der Variante anzugeben, um Verwechslungen und Fehlerquellen in der Arbeitsdurchführung zu umgehen, jedoch sollte die Angabe der Bezeichnung auch unabhängig von der Vielfalt unterschiedlicher Varianten stattfinden.

Aufgabenwiederholhäufigkeit

Die Wiederholhäufigkeit einer Aufgabe wird in der Literatur häufig als Einflussfaktor zur Bestimmung der Produktionsart dargelegt. So können anhand der Wiederholhäufigkeit pro Jahr verschiedene Produktionsarten abgegrenzt werden [Eve02, S.11]. Im Hinblick auf verschiedene Planungsarten kann in Abhängigkeit der Wiederholhäufigkeit eine Abgrenzung vorgenommen werden. So findet bei Wiederholung einer identischen Aufgabe die Wiederholplanung Anwendung. Mit der Wiederholhäufigkeit sinkt aus Sicht der Arbeitsdurchführung zudem der Neuheitsgrad der Aufgabe. Entsprechend reduziert sich die Wahrscheinlichkeit für Fehler und nicht wertschöpfende Tätigkeiten mit zunehmender Ausführung. Als Folge kann der Informationsbedarf reduziert werden und der Planungsaufwand nimmt ab. Dennoch ist besonders bei einem wiederholten Einsatz von Arbeitsplänen auf deren fehlerfreie und ausreichend detaillierte Zusammenstellung von Informationen zu achten.

Produktionsart

Fertigungs- und Montagesysteme können hinsichtlich ihrer Produktionsart unterschieden werden. Im Zusammenhang mit der Aufgabenwiederholhäufigkeit definiert die Produktionsart, wie oft eine Leistung im Fertigungsprozess wiederholt wird [Sch12, S.130]. Es existieren verschiedene Produktionsarten, nach denen sich Fertigungs- und Montageaufträge gliedern lassen. Diese lassen sich generell in Einmal- oder Mehrfachproduktion aufteilen. Tabelle 10 stellt die Merkmalausprägungen des Faktors Produktionsart dar.

Tabelle 10: Unterteilung der Produktionsarten in Anlehnung an [Hol20, S.137]

Merkmal	Ausprägungen	Erläuterungen
Einzelproduktion	Einmalproduktion	— Erzeugnisse werden nur einmal produziert — Auftragsproduktion (nach Kundenwunsch) — Geringer Kosten- und Zeitanteil
	Wiederholproduktion	— Erzeugnisse werden in unregelmäßigen Abständen produziert — Wiederholte Produktion derselben Produkte — Geringer Aufwand bei Auftragswiederholung
Mehrfachproduktion	Variantenproduktion	— Ähnliche Erzeugnisse desselben Grundtyps — Gleicher Produktionsaufwand für alle Varianten
	Serienproduktion	— Begrenzte Stückzahl und Bildung von Losen — Meist Auftragsproduktion standardisierter Erzeugnisse — Klein-, Mittel-, und Großserien
	Massenproduktion	— Große Stückzahl und häufige Prozesswiederholung — Produktion für anonymen Markt, Anpassung an Kundenwunsch nur im Rahmen geplanter Erzeugnistypen — Hoher einmaliger Aufwand

Hieraus lassen sich Rückschlüsse auf den Einfluss der Produktionsart auf den Aufwand der Arbeitsplanung ableiten. Ebenfalls ist ein Zusammenhang zwischen den charakteristischen Merkmalen und den bereits behandelten Treibern, wie die Losgrößenbildung zu erkennen. Am Beispiel der Einzelproduktion ist erkennbar, dass es sich zunächst um eine kundenspezifische Neuplanung handeln kann, die mit hohem Aufwand verbunden ist. Auf der anderen Seite kann ein Produkt in unregelmäßigen Abständen produziert werden, welches dazu führt einen Arbeitsplan mehrfach zu verwenden. Eine Einmalfertigung geht daher nicht von einem einmalig ausgeführten Herstellungsprozess aus, sondern kann durchaus wiederholt werden [Lou09, S.78]. Durch die Festlegung der Produktionsart wird über die Arbeitsplanungsart entschieden. Im Wesentlichen kann die Wahl der Planungsart über zwei Variablen bestimmt werden. Abbildung 4 setzt die benötigte Stückzahl, sowie die Variantenvielfalt in einen Bezug zur Produktionsart.

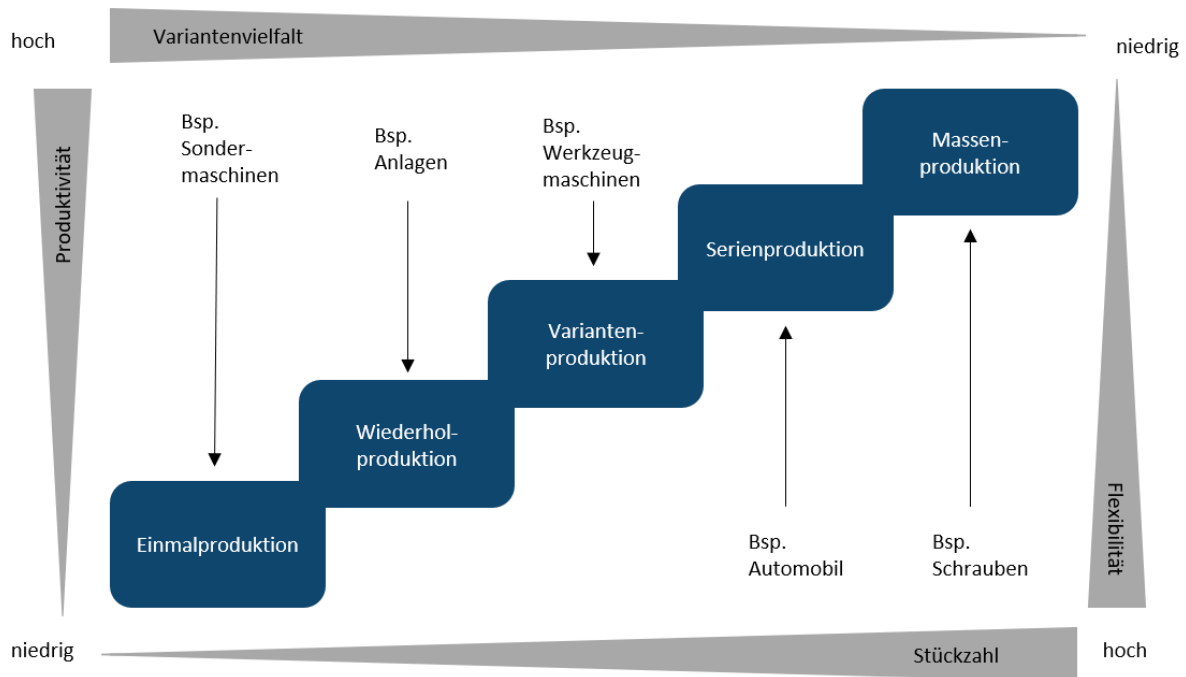


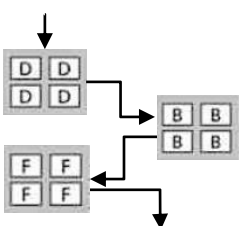
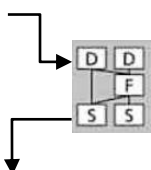
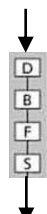
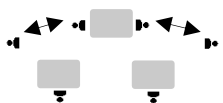
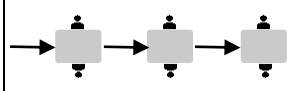
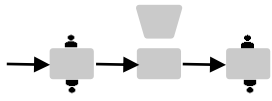
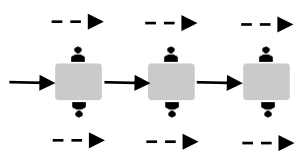
Abbildung 4: Produktionsarten in Abhängigkeit von Stückzahl und Variantenvielfalt nach [Hol20, S.136]

Produktionsprinzip

Das Produktionsprinzip ist als ein unternehmensorganisatorisches Merkmal zu deuten, welches den Detaillierungsgrad der Planung beeinflusst [Eve02, S.206]. Dabei wird zwischen dem Fertigungsprinzip und dem Montageprinzip unterschieden. Beide Produktionsprinzipien stellen die räumliche Anordnung der Betriebsmittel und damit auch des Personals und des Montageobjekts dar [Bäu17, S.152]. Die Wahl des Fertigungsprinzips wird im Wesentlichen durch die Stückzahl und die Variantenvielfalt bestimmt [Hol20, S.140]. Bei dem Montageprinzip hingegen sind alle Vorgänge zum Zusammenbau von geometrischen Körpern beinhaltet. Zusätzlich spielen bei der Wahl des Montageprinzips das Gewicht, das Material und die Geometrie der Komponenten eine Rolle [Hol20, S.142]. Die Merkmalsausprägungen sind in Tabelle 11 dargestellt.

Eine Produktion nach dem Werkstattprinzip ist bei einer geringen Stückzahl und einer hohen Variantenvielfalt sinnvoll, wohingegen es sich bei der Anwendung einer Fließfertigung um eine starre Produktion mit weniger Flexibilität aber kurzen Durchlaufzeiten für große Lose handelt. In der Montage lassen sich häufiger manuelle Tätigkeiten wiederfinden, für die Montageanweisungen unerlässlich sind. Der Unterschied in den Montageprinzipien lässt sich anhand des Grads der Arbeitsteilung beschreiben, welcher die Arbeitsplaninformationen und den Detaillierungsgrad beeinflussen [Bäu17, S.152]. Ein Mitarbeiter der, bspw. in der Reihenmontage, einer monotonen Arbeit nachgeht, verliert immer mehr an Bezug zum Produkt. Daher sind hier genauere Informationen zum Montageprozess notwendig. Die Ausprägung des Produktionsprinzips lässt sich somit unter dem Grad der Arbeitsteilung verdeutlichen. Dieser nimmt dabei von der Baustellenmontage bis zur Fließmontage weiter zu [Bäu17, S.152]. Je geringer der Grad, desto mehr Verantwortung wird dem Mitarbeiter zur Montage einer Baugruppe oder eines Produktes zugeschrieben. Infolgedessen steigt die Eigenverantwortlichkeit und Anzahl der manuellen Montagevorgänge, wodurch diese zwar nicht mehr auf einer detaillierten Planungsebene beschrieben, stattdessen aber in Teilaufgaben übersichtlich dargestellt werden sollten. Abhängig vom Schwierigkeitsgrad der Aufgabe liegen nach dieser Betrachtung unterschiedliche Fertigungs- und Montageprinzipien vor und die Zuweisung der Aufgaben zu den Mitarbeitern fällt je nach Grad der Arbeitsteilung differenziert aus.

Tabelle 11: Merkmal Produktionsprinzip nach [Hol20, S.139ff.]

Merkmal	Ausprägungen		
Fertigungsprinzip	Werkstattfertigung	Gruppenfertigung	Fließfertigung
			
Merkmal	Ausprägungen		
Montageprinzip	Baustellenmontage	Gruppenmontage	Reihenmontage
			
	Taktstraßenmontage	Kombinierte Fließmontage	
			

Organisationsstruktur

Die betriebliche Organisationsstruktur hat sich im Laufe der Zeit einem Wandel unterzogen, welcher aufgrund des verstärkten Einsatzes neuer Technologien und der damit verbundenen Automatisierung einhergeht. Mit steigender Automatisierung erhöht sich auch der Grad der Arbeitsteilung, sodass ein Wandel der Aufgabenverteilung und der Verantwortlichkeitsbereiche stattfindet. Während sich frühere Organisationsstrukturen durch tiefe Hierarchien auszeichneten, lassen sich in der heutigen Zeit flache Organisationsstrukturen wiederfinden [Nei91, S.32f.]. Diese Veränderungen der Rahmenbedingungen verlangen eine Anpassung der Prozesse, die engere Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschine sowie Förderung von Teamarbeit [Nei91, S.33]. Flache Organisationsstrukturen führen dazu, dass Mitarbeiter nicht mehr nur manuellen Tätigkeiten nachgehen, sondern vielmehr dispositive Aufgaben bewältigen. Die Durchführung einer größeren Anzahl an unterschiedlichen Arbeitsvorgängen, wie z.B. Kontrolltätigkeiten steht zusätzlich im Verantwortlichkeitsbereich eines Mitarbeiters [Rin91, S.202]. Detaillierte Arbeitspläne können hier insbesondere bei einem hohen Umfang an Teilaufgaben unterstützen.

Personalspezifische Faktoren

Da der Mitarbeiter als wichtigste Ressource zu einem Großteil des Unternehmenserfolgs beiträgt, sind die personalspezifischen Faktoren ein wichtiger Bestandteil bei der Arbeitsplanerstellung. Ist der Arbeitsplatz ein flexibles Fertigungssystem, sind neben Kenntnissen zu Fertigungsverfahren auch Fachwissen zu beispielsweise Steuerungstechnik erforderlich [Rin91, S.206]. Da bei komplexen Varianten oft auch Sonderwerkzeuge oder Vorrichtungen einzusetzen sind, ist eine

Spezialisierung der Mitarbeiter gefordert [Bäu17, S.161]. Im Rahmen der Personalplanung wird dann abhängig vom Arbeitsinhalt und vom Kapazitätsbedarf der Arbeitsvorgänge die benötigte Anzahl und Qualifikation der Mitarbeiter festgelegt [Eve89, S.288]. Als mögliche Alternative wurde das Vorhandensein einer Lang- und Kurzform der Arbeitsanweisung herausgestellt. Eine detaillierte Langform gilt für weniger qualifizierte und unerfahrene Mitarbeiter, während eine Kurzform mit den relevantesten Informationen für qualifizierte und erfahrene Arbeiter genutzt werden kann [Hin20, S.29]. Eine Individualisierbarkeit von Arbeitsplänen ist nur durch hohen Aufwand zu erzielen, wenn Mitarbeiter je nach Schicht oder Vertretung, unterschiedlichen Arbeitsplätzen zugewiesen werden. Die notwendige Mitarbeiterqualifikation für einen Auftrag lässt sich durch die Angabe der Lohngruppe im Arbeitsplan festlegen [Wie19, S.193]. Werden beispielsweise ausländische Arbeitskräfte eingesetzt, ist es empfehlenswert Bearbeitungsskizzen in den Arbeitsplan zu integrieren, um aufgrund der Sprachbarriere mögliche Fehler zu vermeiden [Bab80, S.92].

Die menschliche Leistung wird dabei nicht nur auf Fachwissen und die Fähigkeit eine vorgegebene Arbeitsaufgabe auszuführen beschränkt. So tragen auch Erfahrung, Motivation und Verständnis zum Ergebnis bei [Sch18, S.109]. Mit der Erfahrung steigt auch das Wissen vorliegende Ressourcen und Prozesse zielgerichtet einzusetzen und eine bestimmte Montageaufgabe zu lösen. Entsprechend sinkt der Bedarf an detaillierten Arbeitsplaninformationen, da das Risiko einer fehlerhaften Ausführung und die Dauer der manuellen Tätigkeiten abnehmen. Die Unternehmenskultur der Mitarbeiter sowie deren sozialkooperativen Verhaltensweisen (z. B. bedingt durch eine Verbundenheit zum Unternehmensstandort) beeinflussen die Verantwortungsübernahme und damit die Notwendigkeit einer engen Führung durch die Arbeitsplanung [Bäu17, S.156f.]. Ein zu detaillierter Plan kann zu einer Überflutung an Informationen führen, welches nur zum Teil sinnvoll verarbeitet werden kann, da der Mitarbeiter mit Überforderung zu kämpfen hat [Fra09, S.822].

Informationsspezifische Faktoren

Das Informationsmanagement hängt sehr stark mit der Komplexität eines Arbeitssystems zusammen, denn mit steigender Komplexität steigt der Bedarf an Informationen [Hin20, S.22]. Aufwand sowie Nutzen eines Arbeitsplanes sind somit stark von der Bereitstellung aktueller, fehlerfreier und vollständiger Informationen in angemessener Menge beeinflusst.

Informationsqualität und -quantität

Die richtigen Informationen in angemessener Menge helfen Mitarbeitern die zunehmende Komplexität zu bewältigen und Überbeanspruchung zu vermeiden. Hierbei findet sich häufig der Begriff der Mitarbeiterinformation, welcher die Informationen bezeichnet, die für eine effiziente Ausführung einer Tätigkeit durch Mitarbeiter benötigt werden. Nichtwertschöpfende Tätigkeiten, wie das Suchen nach Informationen, das Nachfragen, das Beschaffen von Informationen zum Werkzeug oder die Suche nach Arbeitsmitteln tragen zur Entstehung der Verteilzeit bei [Hin20, S.37ff.]. Diese beschreibt Zeitanteile von Soll-Zeiten, die durch organisatorische Unvollkommenheit entstehen. Die Vermeidung dieser nichtwertschöpfenden Tätigkeiten kann durch eine nutzergerechte Darstellung der Arbeitsplaninformationen erfolgen.

Informationsverfügbarkeit

Die Darstellungsform von Informationen spielt eine nicht zu vernachlässigende Rolle bei der Arbeitsplanerstellung. Es können vier Arten der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsanweisungen unterschieden werden. Es wird zwischen mündlichen, grafischen und videobasierten Anweisungen sowie Mischformen differenziert [Dom10, S.283]. Auch die textuelle und IT-gestützte Darstellung kann ergänzt werden [Lan07, S.43ff.]. Die Darstellungsarten haben unterschiedliche Vor- und Nachteile, unterscheiden sich aber in jedem Fall in ihrem Erstellungsaufwand [Dom10, S.283f.]. Studien haben jedoch gezeigt, dass die Darstellungsform

des Arbeitsplanes nicht zwangsweise einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit eines Mitarbeiters hat [Jes13].

Neben der Dokumentation und Archivierung ist der flexible Zugriff auf Informationen vorteilhaft. Hierbei ist vor allem die Einbindung eines unterstützenden IT-Systems (meist ERP- oder ME-Systeme) von Bedeutung, um fehlerfreie und aktuelle Arbeitsplaninformationen bereitzustellen und somit das Suchen in Archiven, Sortieren und Zuordnen von Arbeitsunterlagen als nichtwertschöpfende Tätigkeiten zu unterbinden. Liegt beispielsweise eine Wiederholplanung vor, können die in der EDV verwalteten Arbeitspläne aufgerufen, auftragsspezifische Daten ergänzt und schließlich ausgegeben werden. Die Reproduzierbarkeit von Informationen und Planungsabläufen ist hier wesentlicher Bestandteil. Sowohl der direkte Austausch zwischen Mitarbeiter und System als auch die Überwachung von Tätigkeiten und Prozesszuständen im Rahmen einer effizienten Fehlervermeidung und -bewältigung, tragen erheblich zum Nutzen in der Arbeitsdurchführung bei.

4.4 Bewertung des Aufwands zum Erstellen eines Arbeitsplanes

Da die Bewertung, anders als im ursprünglichen Projektvorhaben angedacht, nicht auf Basis verschiedener Vorgehen zum Erstellen eines Arbeitsplanes, sondern auf Ebene einzelner Informationselemente erfolgte, musste zunächst eine Bewertungsmatrix erstellt werden, in der die Aufwände jeder einzelnen Ausprägung der Informationselemente hinterlegt werden konnten. Dabei wurde gemeinsam mit Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses ein Standard für einen Arbeitsplan festgelegt, welcher den am häufigsten gewählten Informationsausprägungen der KMU entsprechen soll. Dieser wurde als Vergleichswert jeweils mit 100% angegeben. Ausgehend von den Standardausprägungen wurden in Experteninterviews die relativen Aufwandsveränderungen ermittelt, die bei den jeweils anderen Ausprägungen zu erwarten sind. Diese wurden anteilig an den zu erwartenden Zeitanteilen angegeben. Kostet die Angabe einer anderen Informationsausprägung in der Arbeitsvorbereitung beispielsweise nur die Hälfte der Zeit, so wurde sie innerhalb der Bewertungsmatrix mit 50% versehen. Da die betrachteten Aufwandsabweichungen nicht mit dem Ziel einer möglichst großen Allgemeingültigkeit bewertet, sondern stattdessen unternehmensspezifische Rahmenbedingungen berücksichtigt werden sollten, wurde gleichzeitig eine Verknüpfung zu den in Arbeitspaket 3 ermittelten Aufwandstreibern hergestellt. Bis auf die mit 100% festgelegte Standardausprägung wurden jeweils die relativen Aufwandserhöhungen/-reduzierungen für alle Informationsausprägungen aller Informationselemente bei allen Aufwandstreibern bewertet. Da nicht alle Rahmenbedingungen bzw. Treiber auch den Aufwand jedes Informationselementes beeinflussen, wurden im Vorfeld einige Kombinationsmöglichkeiten ausgeschlossen. Tabelle 12 zeigt exemplarisch einen Auszug aus einer Expertenbefragung. Die vollständigen Ergebnisse dieser exemplarischen Expertenbefragung sind dem Anhang 2 zu entnehmen.

Tabelle 12: Exemplarischer Auszug der Ergebnisse eines Experteninterviews

		Aufwandstreiber (t)					
		Produktkomplexität		Planungsart			
		Ausprägungen Aufwandstreiber (ta)					
Informationselement (i)	Ausprägung Informationselement (a)	gering	hoch	Neuplanung	Anpassungs- planung	Varianten- planung	Wiederhol- planung
Rohform und -abmessungen	Rohform	50%	25%	60%	60%	70%	80%
	2D-Abmessung	50%	75%	80%	80%	80%	90%
	Rohform + 2D-Abmessung	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Rohform + 3D-Abmessung	125%	150%	120%	120%	110%	110%
Fertigungshilfsmittel (FHM)	FHM-Art	50%	25%	70%	70%	80%	90%
	FHM-Gruppe	75%	70%	80%	80%	90%	90%
	FHM-Nummer	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	FHM-Nummer + -Lagerort	200%	300%	120%	120%	120%	120%
Rüstzeit	Zeitintervalle	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Minutentakt	200%	400%	150%	150%	130%	110%
	Sekundentakt	400%	800%	160%	160%	140%	110%
Maschinengruppe	Maschinenart	75%	50%	80%	80%	80%	90%
	Maschinengruppe	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Maschinennummer	125%	150%	110%	110%	110%	110%
	+Maschineneinstellungen	300%	500%	200%	200%	180%	120%

$$A_{i,a}(t, ta) = \frac{\sum_{t=1}^T AE_{i,a,t,ta=vorl.} * r_t}{T}$$

Durch die vollständige Abfrage der Treiberausprägungen eines Unternehmens kann der durchschnittliche Aufwand $A_{i,a}(t, ta)$ zum Aufbereiten bzw. Bereitstellen einer Informationsausprägung mithilfe eines Mittelwertes berechnet werden. Der Mittelwert berechnet sich aus der Summe aller Bewertungen der Einzelaufwände $AE_{i,a,t,ta}$ in der jeweils vorliegenden Treiberausprägung ($ta=vorl.$), welche durch die Anzahl der betrachteten Treiber T geteilt wird. Die Treiber werden dabei durch t und ihre Ausprägungen durch ta angegeben, während mit a die jeweilige Informationsausprägung beschrieben wird. Da in der Praxis bei einem Unternehmen jeweils nur eine Ausprägung der Treiber vorliegt, müssen die einzelnen Treiberausprägungen nicht miteinander verglichen werden. Weil die Treiber jedoch unterschiedliche Relevanz hinsichtlich der Aufwandsveränderungen haben, wurde zusätzlich ein Relevanzfaktor r_t berücksichtigt. Der Relevanzfaktor eines Treibers kann vom Anwender beliebig gewählt werden und ist nicht auf Basis eines paarweisen Vergleiches entstanden. Die Summe der Relevanzfaktoren aller Treiber muss daher nicht 1 betragen.

4.5 Bewertung des Nutzens eines Arbeitsplanes in der Fertigung

Bei der Bewertung des Nutzens eines Arbeitsplanes in der Fertigung wurde die Vorgehensweise zur Bewertung des Aufwands zum Erstellen eines Arbeitsplanes adaptiert. Ausgangspunkt waren nun die Nutzentreiber, die den Nutzen unterschiedlicher Detaillierungsgrade von Arbeitsplänen beeinflussen. Es wurde eine zweite Bewertungsmatrix erstellt, in der erneut die Standardausprägungen mit 100% hinterlegt wurden. Bei den Experteninterviews (siehe exemplarisches Experteninterview in Anhang 2) konnten nun die im ersten Arbeitspaket identifizierten durch den Arbeitsplan zu beeinflussenden nichtwertschöpfenden Tätigkeit verwendet werden, um den jeweiligen Experten eine Orientierungshilfe liefern zu können. Auf der Basis einer zeitlichen Einordnung dieser Tätigkeiten konnte der Nutzen spezifischer Informationsausprägungen abgeschätzt werden. Der Nutzen einer Informationsausprägung ist dann höher als 100%, wenn dadurch ein geringerer Anteil nichtwertschöpfender Tätigkeiten zu erwarten ist. Ist bei einer Informationsausprägung bspw. zu erwarten, dass sich die

nichtwertschöpfenden Zeitanteile im Vergleich zur Standardausprägung halbieren lassen, so wird ihr Nutzen mit 200% angegeben.

$$N_{i,a}(t, ta) = \frac{\sum_{t=1}^T NE_{i,a,t,ta=vorl.} * r_t}{T}$$

Der durchschnittliche Nutzen $N_{i,a}(t, ta)$ einer Informationsausprägung ergibt sich in diesem Fall aus den jeweiligen Angaben des Einzelnutzens $NE_{i,a,t,ta}$, welche aus den Experteninterviews ermittelt wurden. In der Bewertungsmethode wurde eine einheitliche Treiberliste verwendet, in der eine Klassifikation eines Treibers in Aufwandstreiber, Nutzentreiber sowie Aufwands- und Nutzentreiber vorgenommen wurde. Daher konnten die Angabe t für den jeweiligen Treiber und ebenfalls seine Ausprägungen ta aus der Aufwandsbewertung übernommen werden.

4.6 Zusammenführung der Bewertungsmethoden und Implementierung in einen Softwaredemonstrator

Der Aufbau einer Entscheidungsunterstützung setzte die Zusammenführung der Bewertungsmethoden für den Aufwand und den Nutzen voraus. Grundlage für die Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrades jedes Informationselementes stellt dabei das bestmögliche Verhältnis aus Aufwand und Nutzen dar. Beides kann unternehmensspezifisch bestimmt werden.

$$V_{i,a}(t, ta) = \frac{A_{i,a}(t, ta)}{N_{i,a}(t, ta)}$$

Das Verhältnis $V_{i,a}(t, ta)$ ergibt sich aus den jeweils berechneten Werten $A_{i,a}(t, ta)$ für den durchschnittlichen Aufwand und $N_{i,a}(t, ta)$ für den durchschnittlichen Nutzen einer Informationsausprägung. Da sich das bestmögliche Verhältnis bei möglichst geringem Aufwand und möglichst hohem Nutzen ergibt, kann die jeweils beste Ausprägung eines Informationselementes und damit der optimale Detaillierungsgrad $Opt_i(a, t, ta)$ durch Bestimmung des jeweils kleinsten Verhältnisses ermittelt werden.

$$Opt_i(a, t, ta) = \min[V_{i,a}(t, ta)]_{a=1}^A$$

Tabelle 13: Im Softwaredemonstrator verwendete Aufwands- und Nutzentreiber

Treiberbezeichnung	Aufwandstreiber	Nutzentreiber
Produktkomplexität	x	x
Planungsart	x	x
Automatisierungsgrad		x
Fertigungstiefe	x	
Maschinendiversität		x
Mitarbeiterqualifikation & -erfahrung	x	x
Verfügbarkeit von Informationssystemen	x	x

Da die im Softwaredemonstrator hinterlegten Aufwands- und Nutzenbewertungen zum Teil auf Ergebnissen von Expertenbefragungen aufbauen, musste der Umfang der Methodik verringert werden. Daher wurde nach Rücksprache mit dem Projektbegleitenden Ausschuss nur ein Teil der möglichen Aufwands- und Nutzentreiber implementiert. Einige der möglichen Treiber wurden dabei zusammengefasst, wodurch partiell andere Bezeichnungen gewählt werden mussten. Eine Übersicht der verwendeten Treiber ist in Tabelle 13 dargestellt. Bei der Auswahl möglicher Informationselemente wurde der in Abbildung 5 dargestellte Standardaufbau eines Arbeitsplanes (vgl. [Eve02, S.10]) verwendet. Da im Rahmen des Projektes der Einfluss auftragsabhängiger Informationselemente (in der Abbildung grau hinterlegt) auf den optimalen Detaillierungsgrad als

vernachlässigbar gering angenommen wurde, konnte außerdem eine Reduzierung auf die auftragsunabhängigen Informationselemente vorgenommen werden.

Blatt:	Datum:	Auftragsnummer:					
	Bearbeiter:						
Stückzahl:	Bereich:	Benennung:			Zeichnungsnummer:		
Werkstoff:		Rohform und -abmessungen:		Rohgewicht:		Fertiggewicht:	
Arbeitsvorgangsnummer	Arbeitsvorgangsbeschreibung	Kostenstelle	Lohngruppe	Maschinengruppe	Fertigungshilfsmittel	Rüstzeit	Fertigungszeit

Abbildung 5: Standardaufbau eines Arbeitsplanes in Anlehnung an [Eve02, S.10]

Die Implementierung der Entscheidungsunterstützung erfolgte mit Excel VBA, um eine Anwendung mit Standardsoftware und damit ohne zusätzlichen Kostenaufwand gewährleisten zu können. Der Benutzer wird dabei durch eine einfach zu bedienende Menüführung (Startseite in Abbildung 6 dargestellt) navigiert, bei der er durch ergänzende Hinweise sowie Beispiele für exemplarische Informationsausprägungen unterstützt wird. Über eine Eingabemaske erfolgt die Hinterlegung der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen als Aufwands- und Nutzentreiber. Gleichzeitig kann durch das Festlegen individueller Gewichtungen die Relevanz einzelner Treiber gesteuert werden. Auf Basis der Nutzereingaben erfolgt die Ermittlung des optimalen Detaillierungsgrades für die jeweiligen Informationselemente. Bei weiterführendem Interesse oder Unklarheiten des Anwenders bzgl. einzelner Informationselemente, ihrer jeweiligen Ausprägungen oder der Treiberbezeichnungen, kann auf ergänzende Hinweistexte und Praxisbeispiele zugegriffen werden.

Tool zur Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrades von Arbeitsplänen

Der Nutzen eines Arbeitsplans in der Fertigung oder Montage ist grundlegend vom Detaillierungsgrad der darin enthaltenen Informationen abhängig. Gleichzeitig beeinflusst dieser Detaillierungsgrad den zum Erstellen des Arbeitsplans benötigten Aufwand in der Arbeitsvorbereitung. Jedes Informationselement kann in seinen Ausprägungen individuell festgelegt werden.

Die unterschiedlichen Detaillierungsstufen der Informationselemente eines Arbeitsplans verdeutlicht dieses [Beispiel](#)

Mit Hilfe dieses Tools können Sie den optimalen Detaillierungsgrad Ihrer Arbeitspläne bestimmen. Basierend auf der Auswahl der in Ihrem Unternehmen vorliegenden Rahmenbedingungen (hier als Ausprägungen von Aufwand- und Nutzen-Treibern bezeichnet), ist das Tool in der Lage, den für Ihr Unternehmen idealen Detaillierungsgrad der Informationselemente eines Arbeitsplans individuell zu bestimmen.

Den optimalen Detaillierungsgrad Ihrer Arbeitspläne können Sie bestimmen, indem Sie folgende Schritte befolgen:

1. Klicken Sie zunächst auf die Schaltfläche [Reset](#) und anschließend auf [Formular](#). Es öffnet sich ein Eingabefenster für Sie.
2. Wählen Sie per Mausclick die jeweils auf Ihr Unternehmen zutreffenden Ausprägungen der Aufwands- bzw. Nutzentreiber aus.
3. Sie haben die Möglichkeit, die Gewichtungen einzelner Treiber durch die Gewichtungsoptionen (jeweils rechts der Treiber) anzu passen. Dadurch können Sie die Bedeutung der Treiber für Ihr Unternehmen individuell festlegen.
 0 x Gewichtung: Treiber aus Wertung ausschließen
 1 x Gewichtung: Normale Gewichtung (standardmäßig voreingestellt)
 2 x Gewichtung: Treiber doppelt gewichten
4. Klicken Sie abschließend auf die Schaltfläche "Eingabe", um Ihre Informationen zu übermitteln.
5. Der optimale Detaillierungsgrad der Informationselemente ihrer Arbeitspläne wird basierend auf Ihren Angaben errechnet. Hier finden Sie Ihr [Ergebnis](#).

Abbildung 6: Startseite des Softwaredemonstrators

Die Ausgabe des Ergebnisses erfolgt in Form eines Standardarbeitsplanes (vgl. [Eve02, S. 10]), um auch den Praxisbezug visualisieren zu können. In Abbildung 7 ist eine exemplarische Ausgabe dargestellt. Dem Benutzer wird der auf Basis der Berechnungen empfohlene Gesamtdetaillierungsgrad auf einem „Tacho“ dargestellt, wodurch der Vergleich verschiedener Lösungen vereinfacht wird. Dieser kann jedoch nicht wertend, sondern lediglich als Orientierungshilfe betrachtet werden, da ein höherer Detaillierungsgrad nicht zwangsläufig als

positiv zu bewerten ist. Der Benutzer erhält zusätzliche Hinweise zum berechneten Detaillierungsgrad sowie zur Interpretation dieses. Darüber hinaus bekommt er allgemeine Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Arbeitsplänen (z. B. mögliche Darstellungsformen), die über die inhaltliche Tiefe hinausgehen.

[Zurück zur Startseite](#)

IPH

Blatt:		Datum:		Auftragsnummer:		Exemplarischer Arbeitsplan	
Stückzahl:		Bereich:		Benennung:		Zeichnungsnummer:	
				Produktgruppe			
Werkstoff:		Rohform und -abmessungen:		Rohgewicht:		Fertiggewicht:	
Werkstoffnummer		2D-Abmessungen		Nettogewicht		Nettogewicht	
Arbeitsvorgangsnummer	Arbeitsvorgangsbeschreibung	Kostenstelle	Lohngruppe	Maschinengruppe	Fertigungshilfsmittel	Rüstzeit	Fertigungszeit
vorhanden	Fertigungsverfahren + Objekt			Maschinenart	Fertigungshilfsmittel-Art	Zeitintervalle	Zeitintervalle

Wie können Sie das Ergebnis interpretieren?

Sie sehen die schematische Darstellung eines Arbeitsplanes. Einige der Informationselemente (insb. auftragspezifische Informationen) haben keinen Einfluss auf den Aufwand oder den Nutzen des Arbeitsplanes. Die jeweiligen Felder sind grau hinterlegt und wurden im Rahmen der Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrades nicht berücksichtigt.

In den übrigen Feldern der Informationselemente finden Sie jeweils eine Empfehlung für den zu wählenden Detaillierungsgrad (in blauer Schrift). Falls bei einzelnen Informationselementen Unklarheiten bzgl. der Ausprägungen bestehen sollten, schauen Sie sich gerne nochmal unser [Beispiel](#) an.

Sollten Sie mit dem Ergebnis nicht zufrieden sein, passen Sie in einem zweiten Versuch doch gerne Ihre Treiberausprägungen oder die zugewiesenen Gewichtungen an und lassen Sie sich in wenigen Minuten ein neues Ergebnis ausgeben.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit Ihrem neuen Arbeitsplan!

Hinweise zum berechneten Detaillierungsgrad:

Der für den Gesamtdetaillierungsgrad des Arbeitsplanes kalkulierte Wert soll Ihnen zur Orientierung dienen. Einzelne Informationselemente können deutlich von diesem Wert abweichen.

Ein Detaillierungsgrad von 0 würde bedeuten, dass für jedes Informationselement die minimale Ausprägung gewählt wurde, während ein Wert von 1 den jeweils höchsten Detaillierungsgrad widerspiegelt.

Bei der Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrades wurden sowohl der Nutzen als auch der Aufwand des Arbeitsplanes berücksichtigt. Ein höherer Detaillierungsgrad ist somit nicht pauschal zu bevorzugen.

Berechneter Detaillierungsgrad



0.15

Abbildung 7: Exemplarische Ausgabe im Softwaredemonstrator

Der Softwaredemonstrator wurde gemeinsam mit Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses erprobt, validiert und angepasst. Interessierten Unternehmen wird er zur eigenen Anwendung zur Verfügung gestellt.

4.7 Ergebnisdokumentation und Veröffentlichung

Die erzielten Ergebnisse wurden während der Projektlaufzeit dokumentiert und veröffentlicht. Die Veröffentlichungen erfolgten durch Artikel in Fachzeitschriften sowie bei der Vorstellung auf unterschiedlichen Veranstaltungen. Die Dokumentation unterstützt die Anwendung des Softwaredemonstrators und hilft damit bei der Verbreitung der Ergebnisse über den Projektbegleitenden Ausschuss hinaus. Eine Auflistung der Veröffentlichungen sowie der Transfermaßnahmen ist in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu finden.

5. Verwendung der Zuwendung

- wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans)
 - 1 wissenschaftlicher Mitarbeiter (HPA A) mit besonderen Kenntnissen in der Produktionsplanung und -steuerung für 20 Monate
 - 1 wissenschaftlich-technischer Mitarbeiter (HPA B) mit besonderen Kenntnissen im Bereich der Softwareentwicklung für 5 Monate
- Hilfskräfte (Einzelansatz A.3 des Finanzierungsplans)
 - Wissenschaftliche Hilfskräfte (HPA F) als Unterstützung bei der Projektbearbeitung für 1175 Stunden
- Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans)
 - Keine Geräte angeschafft
- Leistung dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans)
 - Keine Leistung Dritter in Anspruch genommen

6. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

In Gesprächen mit Unternehmen wurde deutlich, dass speziell KMU einen hohen Anteil nichtwertschöpfender Tätigkeiten aufweisen, was nicht zuletzt auf eine wenig zielgerichtete Informationsweitergabe über Arbeitspläne zurückzuführen ist. Die *Notwendigkeit* der geleisteten Arbeit begründet sich durch ihre hohe Praxisrelevanz und dem Fehlen wissenschaftlicher Ansätze zur Unterstützung der Unternehmen. Das Schließen der bestehenden Forschungslücke erforderte den im Arbeitsplan des bewilligten Forschungsantrags veranschlagten Aufwand.

Die *Angemessenheit* der einzelnen Arbeitsschritte ergibt sich aus der sachgemäßen und gründlichen Bearbeitung der Teilschritte, die zur Erreichung der gesetzten Teilziele führte. Hierfür war neben einer Vielzahl wissenschaftlicher Methoden insbesondere ein intensiver Austausch mit Praxispartnern aus der produzierenden Industrie sowie mit Anbietern von produktionsnahen Softwarelösungen notwendig. Eine Aufbereitung der jeweiligen Teilergebnisse einzelner Arbeitsschritte war notwendig, um den Ergebnistransfer in die Wirtschaft sicherzustellen und eine direkte Berücksichtigung von Rückmeldungen zu ermöglichen. Die geleistete Arbeit entspricht dem begutachteten sowie bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen.

7. Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen

Die Forschungsergebnisse liefern praxisorientierte Lösungen für produzierende Unternehmen sowie Entwicklungsansätze für den Einsatz in spezifischen Softwarelösungen. Anwendende Unternehmen, insbesondere KMU, können durch den Einsatz der Methode die Informationsqualität sowie -quantität mithilfe ihrer Arbeitspläne nachhaltig optimieren. Durch die Wahl der optimalen Detaillierungsgrade können sie unternehmens- und situationsspezifisch den Gesamtaufwand ihrer Mitarbeiter reduzieren und somit einen wesentlichen Beitrag zur Effizienz ihrer Produktion sowie der dazugehörigen Produktionsplanung leisten. In Planungsprozessen können unnötige Informationen eingespart und der zeitliche Aufwand zum Zusammenstellen der Informationselemente dadurch reduziert werden. In der Produktion kann die Anwendung der Methode zu einer zielgruppengerechten und damit besser zu verarbeitenden Informationsverfügbarkeit führen. Dies hat mitunter eine deutliche Reduktion nichtwertschöpfender Zeitanteile (etwa durch einen geringeren Bedarf an Nacharbeiten oder zusätzlichen Informationsbeschaffungen) zur Folge. Als **unmittelbarer Nutzen** können KMU dadurch mit der Entlastung ihrer Mitarbeiter interne Erfolge erzielen, als auch infolge einer möglichen Qualitätsverbesserung eine erhöhte Kundenzufriedenheit erwirken.

Der im Forschungsvorhaben entwickelte Softwaredemonstrator gewährleistet eine aufwandsarme Nutzung der Ergebnisse und kann darüber hinaus als Ausgangspunkt für weiterführende Entwicklungsleistungen verwendet werden. Die umgesetzten sowie noch folgenden Transfermaßnahmen fördern hierbei die Verbreitung und Nutzung der Ergebnisse. Insbesondere die entstandenen Publikationen sowie die Verbreitung der Ergebnisse auf Informationsveranstaltungen adressieren hierbei einen großen potenziellen Nutzerkreis. Die Relevanz der erarbeiteten Lösung sowie der zugrundeliegenden Problemstellung wurde auch im Rahmen studentischer Arbeiten hervorgehoben und schärft langfristig das Bewusstsein der Beteiligten für die Bedeutung einer passenden Informationsgestaltung in produzierenden Unternehmen. Dadurch ergibt sich durch die Umsetzung der Ergebnisse auch ein **mittelbarer Nutzen**.

Durch die Zusammenarbeit mit dem Projektbegleitenden Ausschuss konnte der Nutzen der entwickelten Methode sichergestellt werden. Gleichzeitig sind gesammelte Erkenntnisse und Rückmeldungen direkt in die Anpassung der Methode geflossen, wodurch ihr praktischer Nutzen erhöht werden konnte.

8. Veröffentlichungen und Transfermaßnahmen

Erste Schritte zum Ergebnistransfer sind bereits während der Projektlaufzeit durchgeführt worden. Weitere Maßnahmen zur Verwertung und Verbreitung der Projektergebnisse sind im Anschluss an das Forschungsprojekt geplant. Über den Austausch zwischen Forschungsstelle und den Unternehmen des PA sowie weiteren interessierten Unternehmen hat bereits ein erster Wissenstransfer stattgefunden. Dieser ist die Basis für die praktische Umsetzbarkeit der Ergebnisse. Die Mitglieder des PA bestanden aus produzierenden Unternehmen sowie Anbietern von Softwarelösungen bei denen Arbeitspläne und Arbeitsanweisungen verarbeitet werden. Die bereits durchgeführten sowie noch geplanten Transfermaßnahmen können dem Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft in Tabelle 14 und Tabelle 15 entnommen werden.

Tabelle 14: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft (spezifisch durchgeführte Transfermaßnahmen)

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Zeitraum
Projektbegleitender Ausschuss	Unmittelbarer Ergebnistransfer in die Wirtschaft, Erfahrungsaustausch	Abstimmungstreffen des Projektbegleitenden Ausschuss: Vorstellung des Forschungsvorhabens und der ersten Ergebnisse, Bewertung nichtwertschöpfender Tätigkeiten und Diskussion zu möglichen Skalen zur Bewertung von Detaillierungsgraden	05.11.2020
		Abstimmungstreffen des Projektbegleitenden Ausschuss: Vorstellung und Diskussion der Bewertungsmethoden für Aufwand und Nutzen, Erfahrungsaustausch zum Aufwand und Nutzen verschiedener Detaillierungsgrade und Test des Softwaredemonstrators	28.03.2022
		Arbeitstreffen mit Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses: Diskussion, Aufwands- und Nutzenbewertungen	gesamte Projektlaufzeit
Ansprache potenziell interessierter Unternehmen außerhalb des PA	Gewinnung für die Teilnahme am PA und unmittelbarer Ergebnistransfer in die Wirtschaft	Vorstellung der Projektziele und erzielter Ergebnisse bei interessierten Unternehmen vor Ort sowie fernmündlich	gesamte Projektlaufzeit
Versorgung der interessierten Fachöffentlichkeit, im besonderen KMU, mit Informationen	Ergebnistransfer in die Wirtschaft, Information der interessierten Öffentlichkeit	Einrichtung einer Projekthomepage: http://optiplan.iph-hannover.de	04/2020
		Pressemitteilung zum Projektbeginn: „Arbeit bis ins Detail planen: Lohnt sich das?“	22.04.2020
		Veröffentlichung: Strating, T.; Müller, M.; Stonis, M.: Effizienzsteigerung durch ideale Arbeitspläne. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Carl Hanser Verlag, 115. Jg. (2020), H. 6, S. 387-390, ISSN 0947-0085.	25.06.2021
		Veröffentlichung Strating, T.; Stonis, M.: Methode zur Bewertung des Detaillierungsgrades von Arbeitsplänen. In: Logistics Journal, Vol. 2021. ISSN: 1860-5923, DOI: 10.2195/lj_NotRev_strating_de_202106_01	06/2021

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Zeitraum
Akademische Lehre und berufliche Weiterbildung	Qualifizierung von Studenten	Betreuung der Bachelorarbeit: „Entwicklung einer Skala zur Differenzierung verschiedener Detaillierungsgrade von Arbeitsplänen“	06/2020 - 09/2020
		Betreuung der Masterarbeit: „Anforderungen zur Bewertung des Detaillierungsgrades von Arbeitsplänen“	05/2020 - 12/2020
		Betreuung der Bachelorarbeit: „Modellierung der Aufwand-Nutzen-Verhältnisse der Detaillierungsgrade von Arbeitsplänen in der Fertigung“	01/2021 - 03/2021
		Betreuung der Studienarbeit: „Identifikation von Aufwands- und Nutzentreibern für die Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrads von Arbeitsplänen“	02/2021 - 08/2021
		Anstellung von studentischen Hilfskräften	gesamte Projektlaufzeit

Tabelle 15: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft (spezifisch geplante Transfermaßnahmen)

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Zeitraum
Projektbegleitender Ausschuss	Unmittelbarer Ergebnistransfer in die Wirtschaft, Erfahrungsaustausch	Durchführung von weiterführenden Validierungen zur stetigen Weiterentwicklung des Planungstools	04/2022 ff.
Versorgung der interessierten Fachöffentlichkeit, im besonderen KMU, mit Informationen	Ergebnistransfer in die Wirtschaft und Wissenschaft	Pressemitteilung zum Projektende	04/2022
		Vorstellung der Projektziele und erzielter Ergebnisse bei interessierten Unternehmen vor Ort und fernmündlich	04/2022 ff.
		Veröffentlichung in Fachzeitschrift (VDI-Z o. ä.): geplante Themenschwerpunkt: - Vorstellung der der Bewertungsmethoden - Vorstellung des Softwaredemonstrators	06/2022
	Akademische Ausbildung	Wissenschaftliche Qualifikation des Projektbearbeiters und Weiterverwendung der Projekthinhalte zur Unterstützung der Anfertigung einer Dissertationsschrift	04/2022 ff.
		Integration in den Vorlesungsbetrieb der Universität Hannover, bspw. in die Vorlesung Arbeitswissenschaft des Instituts für Fabrikanlagen und Logistik	10/2022 ff.
Nutzung des Softwaredemonstrators in eigenen Dienstleistungsprojekten	Effizienzsteigerung bei KMU	Beratungsangebote des IPH an interessierte KMU	04/2022 ff.

9. Einschätzung der Realisierbarkeit der geplanten Maßnahmen

Die Methode zur Bestimmung des optimalen Detaillierungsgrades von Arbeitsplänen bietet KMU die Möglichkeit aufwandsarm eine Überprüfung bestehender oder eine Auslegung neu zu erstellender Arbeitspläne vorzunehmen. Die Umsetzung der im Softwaredemonstrator implementierten Methode ist für Anwender einfach und mit Standardsoftware (Microsoft Excel) zu bedienen. Es sind keine weiteren Investitionen (z. B. Gerätebeschaffung, Beratungsleistungen) notwendig. Dies ist insbesondere für KMU mit begrenzten Ressourcen relevant. Eine Anwendung ist in wenigen Minuten durchgeführt, wodurch die mehrfache Verwendung auch bei wechselnden Rahmenbedingungen (z. B. für verschiedene Unternehmensbereiche) mit geringem Zeitaufwand realisiert werden kann.

10. Durchführende Forschungsstelle

Das IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung, die eng mit der Universität Hannover kooperiert. Die Gesellschafter des IPH, Prof. Behrens, Prof. Overmeyer und Prof. Nyhuis, sind gleichermaßen Inhaber produktionstechnischer Lehrstühle an der Universität Hannover. Die Gliederung des IPH in die drei Abteilungen „Prozesstechnik“, „Produktionsautomatisierung“ und „Logistik“ spiegelt die Ausrichtung dieser Lehrstühle wider.

Während die universitären Mutterinstitute des IPH hauptsächlich den Bereich der Grundlagenforschung abdecken, widmet sich das IPH hauptsächlich der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung. Das IPH wurde 1988 mit Unterstützung des niedersächsischen Wirtschaftsministeriums gegründet und ist besonders der technologischen Förderung mittelständischer Industriebetriebe verpflichtet. Der Technologietransfer von der Universität in die Industrie erfolgt dabei hauptsächlich über gemeinsam mit der Industrie durchgeführte, öffentlich geförderte Verbundforschungsprojekte sowie über Fortbildungsseminare und Arbeitskreise für spezielle Zielgruppen aus Industrie und Handel. Darüber hinaus stellt das IPH laufend in einer Vielzahl ausschließlich industriefinanzierter Beratungsprojekte seine Praxisorientierung und Wettbewerbsfähigkeit unter Beweis.

Leiter der Forschungsstelle

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

Geschäftsführender Gesellschafter des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Tel.: 0511/27976-119

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer

Geschäftsführender Gesellschafter des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Tel.: 0511/27976-119

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

Geschäftsführender Gesellschafter des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Tel.: 0511/27976-119

Dr.-Ing. Malte Stonis

Koordinierender Geschäftsführer des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Tel.: 0511/27976-111

Projektleiter

M.Sc. Tom Strating

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Logistik des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH

11. Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 21158 N / 1 der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e. V. wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Für die Förderung sei an dieser Stelle gedankt.

12. Anhang

Anhang 1: Exemplarische Ausprägungen der Aufwands- und Nutzentreiber

Treiber		Exemplarische Ausprägungen				Aufwands- treiber	Nutzen- treiber
Produktspezifische Faktoren							
Produktneuheitsgrad	Sehr hoch	Eher hoch	Eher gering	Kaum vorhanden	x	x	
Produktkomplexität	Sehr hoch	Eher hoch	Eher gering	Sehr gering	x	x	
Schwierigkeitsgrad	Sehr hoch	Eher hoch	Eher niedrig	Sehr niedrig	x	x	
Auftragsspezifische Faktoren							
Losgröße	Hoch Losgröße ≥ 1000		Mittel 10 < Losgröße < 1000		Gering Losgröße ≤ 10	x	
Kundenspezifikation	Rein kundenspezifische Prozesse	Überwiegend kundenspezifische Prozesse	Zum Teil kundenspezifische Prozesse	Eher kundenneutrale Prozesse	Ausschließlich kundenneutrale Prozesse	x	
Fertigungsspezifische Faktoren							
Automatisierungsgrad	Vollständige Automatisierung	Eher hoher Automatisierungsgrad	Eher geringer Automatisierungsgrad	Rein manuelle Fertigung und Montage		x	
Fertigungstiefe	Hoher Anteil		Mittlerer Anteil		Geringer Anteil	x	
Prozessumfang Arbeitsvorgänge	Deutlich viele Vorgänge	Eher viele Vorgänge	Mehrere Vorgänge	Wenige Vorgänge	X	x	
Prozessumfang Maschinen	Deutlich viele Maschinen	Eher viele Maschinen	Mehrere Maschinen	Wenig Maschinen		x	
Prozessumfang Betriebsmittel	Deutlich viele Fertigungshilfsmittel	Eher viele Fertigungshilfsmittel	Mehrere Fertigungshilfsmittel	Wenig Fertigungshilfsmittel	x	x	
Treiber		Exemplarische Ausprägungen				Aufwands- treiber	Nutzen- treiber
Unternehmensorganisatorische Faktoren							
Zahl der Produktvarianten	Eine Variante	Mehrere Varianten ähnlicher Struktur	wenige Varianten unterschiedlicher Struktur	Mehrere Varianten unterschiedlicher Struktur	x		

Wiederholhäufigkeit	Hohe Anzahl an Wiederholungen	Eher viele Wiederholungen	Mehrere Wiederholungen	Wenige Wiederholungen	x	x	
Produktionsart	Einmalproduktion	Variantenproduktion	Wiederholproduktion	Massenproduktion	x	x	
Fertigungsprinzip	Werkstättenfertigung		Gruppenfertigung		Fließfertigung	x	x
Montageprinzip	Baustellenmontage	Gruppenmontage	Reihenmontage	Taktstraßenmontage	Kombinierte Fließmontage	x	x
Organisationsstruktur	Hierarchische Struktur mit zentraler Führung			Flache Strukturen mit autonomer Führung		x	
Personalspezifische Faktoren							
Mitarbeiterqualifikation	Hoch	Eher hoch	Eher gering	Gering	x	x	
Berufserfahrung	Keine	Eher wenig	Eher hohe	Langjährig	x	x	
Unternehmenskultur	Geringe Bereitschaft zur Verantwortungsübernahme	Eher geringe Bereitschaft zur Verantwortungsübernahme	Eher hohe Bereitschaft zur Verantwortungsübernahme	Hohe Bereitschaft zur Verantwortungsübernahme		x	
Informationsspezifische Faktoren							
Informationsqualität und -quantität	Bedarfsgerechte Bereitstellung vollständiger, aktueller und fehlerfreier Informationen		Teilweise fehlende, nicht aktuelle und fehlerbehaftete Informationen		Unvollständige, nicht aktuelle und fehlerbehaftete Informationen	x	x
Digitalisierung	Vollständig digitalisiert	Größtenteils digitalisiert	Teilweise digitalisiert		Keine Digitalisierung	x	x

Anhang 2: Exemplarische Ergebnisse eines Experteninterviews

Aufwandstreiber Produktkomplexität

Informations- element	Ausprägung Informationselement	Produktkomplexität	
		gering	hoch
Benennung	Produktgruppe	0%	0%
	Produktspezifikation	0%	0%
Werkstoff	Sortenklasse	0%	0%
	Werkstoffnummer	0%	0%
Rohform und - abmessungen	Rohform	50%	25%
	2D-Abmessung	50%	75%
	Rohform + 2D-Abmessung	100%	100%
	Rohform + 3D-Abmessung	125%	150%
Rohgewicht	Nettogewicht	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%
Fertiggewicht	Nettogewicht	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%
Arbeitsvorgangs- nummer	vorhanden	100%	100%
	Hierarchiestufen	125%	150%
Arbeitsvorgangs- beschreibung	Fertigungsverfahren	75%	50%
	+Objekt	100%	100%
	+Maß- und Toleranzangaben	200%	400%
	+Hinweistext	300%	600%
Fertigungs- hilfsmittel (FHM)	FHM-Art	50%	25%
	FHM-Gruppe	75%	70%
	FHM-Nummer	100%	100%
	FHM-Nummer + -Lagerort	200%	300%
Rüstzeit	Stundentakt	100%	100%
	Minutentakt	200%	400%
	Sekundentakt	400%	800%
Fertigungszeit	Stundentakt	100%	100%
	Minutentakt	200%	400%
	Sekundentakt	400%	800%
Maschinengruppe	Maschinenart	75%	50%
	Maschinengruppe	100%	100%
	Maschinennummer	125%	150%
	+Maschineneinstellungen	300%	500%

Aufwandstreiber Planungsart

Informations- element	Ausprägung Informationselement	Planungsart			
		Neuplanung	Anpassungs- planung	Varianten- planung	Wiederhol- planung
Benennung	Produktgruppe	100%	100%	100%	100%
	Produktspezifikation	150%	130%	120%	105%
Werkstoff	Sortenklasse	90%	90%	95%	95%
	Werkstoffnummer	100%	100%	100%	100%
Rohform und - abmessungen	Rohform	60%	60%	70%	80%
	2D-Abmessung	80%	80%	80%	90%
	Rohform + 2D-Abmessung	100%	100%	100%	100%
	Rohform + 3D-Abmessung	120%	120%	110%	110%
Rohgewicht	Nettogewicht	100%	100%	100%	100%
	Bruttogewicht	120%	120%	110%	110%
Fertiggewicht	Nettogewicht	100%	100%	100%	100%
	Bruttogewicht	120%	120%	110%	110%
Arbeitsvorgangs- nummer	vorhanden	100%	100%	100%	100%
	Hierarchiestufen	120%	120%	120%	120%
Arbeitsvorgangs- beschreibung	Fertigungsverfahren	70%	80%	80%	90%
	+Objekt	100%	100%	100%	100%
	+Maß- und Toleranzangaben	150%	140%	130%	110%
	+Hinweistext	160%	150%	140%	120%
Fertigungs- hilfsmittel (FHM)	FHM-Art	70%	70%	80%	90%
	FHM-Gruppe	80%	80%	90%	90%
	FHM-Nummer	100%	100%	100%	100%
	FHM-Nummer + -Lagerort	120%	120%	120%	120%
Rüstzeit	Stundentakt	100%	100%	100%	100%
	Minutentakt	150%	150%	130%	110%
	Sekundentakt	160%	160%	140%	110%
Fertigungszeit	Stundentakt	100%	100%	100%	100%
	Minutentakt	150%	150%	130%	110%
	Sekundentakt	160%	160%	140%	110%
Maschinengruppe	Maschinenart	80%	80%	80%	90%
	Maschinengruppe	100%	100%	100%	100%
	Maschinennummer	110%	110%	110%	110%
	+Maschineneinstellungen	200%	200%	180%	120%

Aufwandstreiber Fertigungstiefe

		Fertigungstiefe	
Informations- element	Ausprägung Informationselement	niedrig (hoher Anteil an Fremdleistungen)	hoch (hoher Anteil an Eigenfertigungen)
Benennung	Produktgruppe	0%	0%
	Produktspezifikation	0%	0%
Werkstoff	Sortenklasse	0%	0%
	Werkstoffnummer	0%	0%
Rohform und - abmessungen	Rohform	0%	0%
	2D-Abmessung	0%	0%
	Rohform + 2D-Abmessung	0%	0%
	Rohform + 3D-Abmessung	0%	0%
Rohgewicht	Nettogewicht	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%
Fertiggewicht	Nettogewicht	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%
Arbeitsvorgangs- nummer	vorhanden	100%	100%
	Hierarchiestufen	110%	120%
Arbeitsvorgangs- beschreibung	Fertigungsverfahren	95%	90%
	+Objekt	100%	100%
	+Maß- und Toleranzangaben	250%	300%
	+Hinweistext	700%	800%
Fertigungs- hilfsmittel (FHM)	FHM-Art	40%	60%
	FHM-Gruppe	95%	90%
	FHM-Nummer	100%	100%
	FHM-Nummer + -Lagerort	130%	150%
Rüstzeit	Stundentakt	100%	100%
	Minutentakt	150%	130%
	Sekundentakt	250%	200%
Fertigungszeit	Stundentakt	100%	100%
	Minutentakt	150%	130%
	Sekundentakt	250%	200%
Maschinengruppe	Maschinenart	70%	70%
	Maschinengruppe	100%	100%
	Maschinennummer	110%	105%
	+Maschineneinstellungen	150%	200%

Aufwandstreiber Mitarbeiterqualifikation & -erfahrung

Informations- element	Ausprägung Informationselement	Mitarbeiterqualifikation & -erfahrung		
		geringe Qualifikation / Berufseinsteiger	überwiegend Generalisten / erste Berufserfahrung	Spezialisten und Fachkräfte / langjährige Berufserfahrung
Benennung	Produktgruppe	0%	0%	0%
	Produktspezifikation	0%	0%	0%
Werkstoff	Sortenklasse	0%	0%	0%
	Werkstoffnummer	0%	0%	0%
Rohform und - abmessungen	Rohform	0%	0%	0%
	2D-Abmessung	0%	0%	0%
	Rohform + 2D-Abmessung	0%	0%	0%
	Rohform + 3D-Abmessung	0%	0%	0%
Rohgewicht	Nettogewicht	0%	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%	0%
Fertiggewicht	Nettogewicht	0%	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%	0%
Arbeitsvorgangs- nummer	vorhanden	0%	0%	0%
	Hierarchiestufen	0%	0%	0%
Arbeitsvorgangs- beschreibung	Fertigungsverfahren	95%	95%	95%
	+Objekt	100%	100%	100%
	+Maß- und Toleranzangaben	150%	130%	120%
	+Hinweistext	400%	250%	200%
Fertigungs- hilfsmittel (FHM)	FHM-Art	75%	85%	90%
	FHM-Gruppe	87%	92%	95%
	FHM-Nummer	100%	100%	100%
	FHM-Nummer + -Lagerort	120%	110%	110%
Rüstzeit	Stundentakt	100%	100%	100%
	Minutentakt	200%	150%	150%
	Sekundentakt	400%	300%	200%
Fertigungszeit	Stundentakt	100%	100%	100%
	Minutentakt	250%	200%	150%
	Sekundentakt	500%	400%	300%
Maschinengruppe	Maschinenart	80%	80%	80%
	Maschinengruppe	100%	100%	100%
	Maschinennummer	150%	125%	115%
	+Maschineneinstellungen	250%	175%	150%

Aufwandstreiber Verfügbarkeit von Informationssystemen

Informations- element	Ausprägung Informationselement	Verfügbarkeit von Informationssystemen			
		keine IT- Unterstützung	ERP	MES	MES-Zugang an den Arbeitsplätzen
Benennung	Produktgruppe	100%	100%	100%	100%
	Produktspezifikation	150%	120%	110%	110%
Werkstoff	Sortenklasse	75%	80%	90%	90%
	Werkstoffnummer	100%	100%	100%	100%
Rohform und - abmessungen	Rohform	50%	50%	50%	50%
	2D-Abmessung	50%	50%	50%	50%
	Rohform + 2D-Abmessung	100%	100%	100%	100%
	Rohform + 3D-Abmessung	150%	150%	120%	120%
Rohgewicht	Nettogewicht	100%	100%	100%	100%
	Bruttogewicht	100%	110%	105%	105%
Fertiggewicht	Nettogewicht	100%	100%	100%	100%
	Bruttogewicht	100%	110%	105%	105%
Arbeitsvorgangs- nummer	vorhanden	100%	100%	100%	100%
	Hierarchiestufen	120%	110%	105%	105%
Arbeitsvorgangs- beschreibung	Fertigungsverfahren	50%	80%	90%	90%
	+Objekt	100%	100%	100%	100%
	+Maß- und Toleranzangaben	150%	120%	110%	110%
	+Hinweistext	300%	200%	150%	150%
Fertigungs- hilfsmittel (FHM)	FHM-Art	25%	50%	80%	80%
	FHM-Gruppe	75%	90%	90%	90%
	FHM-Nummer	100%	100%	100%	100%
	FHM-Nummer + -Lagerort	200%	150%	120%	120%
Rüstzeit	Stundentakt	100%	100%	100%	100%
	Minutentakt	300%	200%	150%	150%
	Sekundentakt	600%	300%	200%	200%
Fertigungszeit	Stundentakt	100%	100%	100%	100%
	Minutentakt	300%	200%	150%	150%
	Sekundentakt	600%	300%	200%	200%
Maschinengruppe	Maschinenart	50%	80%	80%	80%
	Maschinengruppe	100%	100%	100%	100%
	Maschinennummer	125%	125%	110%	110%
	+Maschineneinstellungen	300%	200%	150%	150%

Nutzentreiber Produktkomplexität

		Produktkomplexität	
Informations- element	Ausprägung Informationselement	gering	hoch
Benennung	Produktgruppe	100%	100%
	Produktspezifikation	120%	150%
Werkstoff	Sortenklasse	0%	0%
	Werkstoffnummer	0%	0%
Rohform und - abmessungen	Rohform	50%	50%
	2D-Abmessung	75%	75%
	Rohform + 2D-Abmessung	100%	100%
	Rohform + 3D-Abmessung	120%	200%
Rohgewicht	Nettogewicht	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%
Fertiggewicht	Nettogewicht	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%
Arbeitsvorgangs- nummer	vorhanden	100%	100%
	Hierarchiestufen	120%	150%
Arbeitsvorgangs- beschreibung	Fertigungsverfahren	50%	25%
	+Objekt	100%	100%
	+Maß- und Toleranzangaben	150%	200%
	+Hinweistext	300%	500%
Fertigungs- hilfsmittel (FHM)	FHM-Art	50%	15%
	FHM-Gruppe	75%	50%
	FHM-Nummer	100%	100%
	FHM-Nummer + -Lagerort	200%	300%
Rüstzeit	Stundentakt	100%	100%
	Minutentakt	120%	140%
	Sekundentakt	130%	180%
Fertigungszeit	Stundentakt	100%	100%
	Minutentakt	150%	200%
	Sekundentakt	180%	300%
Maschinengruppe	Maschinenart	50%	20%
	Maschinengruppe	100%	100%
	Maschinennummer	150%	300%
	+Maschineneinstellungen	250%	500%

Nutzentreiber Planungsart

Informations- element	Ausprägung Informationselement	Planungsart			
		Neuplanung	Anpassungs- planung	Varianten- planung	Wiederhol- planung
Benennung	Produktgruppe	100%	100%	100%	100%
	Produktspezifikation	120%	120%	110%	105%
Werkstoff	Sortenklasse	80%	80%	90%	95%
	Werkstoffnummer	100%	100%	100%	100%
Rohform und - abmessungen	Rohform	80%	80%	85%	90%
	2D-Abmessung	80%	80%	85%	90%
	Rohform + 2D-Abmessung	100%	100%	100%	100%
	Rohform + 3D-Abmessung	120%	120%	115%	105%
Rohgewicht	Nettogewicht	0%	0%	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%	0%	0%
Fertiggewicht	Nettogewicht	0%	0%	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%	0%	0%
Arbeitsvorgangs- nummer	vorhanden	100%	100%	100%	100%
	Hierarchiestufen	120%	115%	110%	105%
Arbeitsvorgangs- beschreibung	Fertigungsverfahren	80%	80%	85%	90%
	+Objekt	100%	100%	100%	100%
	+Maß- und Toleranzangaben	115%	115%	113%	110%
	+Hinweistext	120%	120%	117%	115%
Fertigungs- hilfsmittel (FHM)	FHM-Art	80%	83%	93%	95%
	FHM-Gruppe	90%	93%	95%	98%
	FHM-Nummer	100%	100%	100%	100%
	FHM-Nummer + -Lagerort	110%	108%	105%	103%
Rüstzeit	Stundentakt	100%	100%	100%	100%
	Minutentakt	110%	105%	102%	100%
	Sekundentakt	110%	105%	102%	100%
Fertigungszeit	Stundentakt	100%	100%	100%	100%
	Minutentakt	110%	105%	102%	100%
	Sekundentakt	110%	105%	102%	100%
Maschinengruppe	Maschinenart	95%	95%	98%	99%
	Maschinengruppe	100%	100%	100%	100%
	Maschinennummer	105%	105%	103%	101%
	+Maschineneinstellungen	130%	130%	120%	118%

Nutzentreiber Automatisierungsgrad

Informations- element	Ausprägung Informationselement	Automatisierungsgrad		
		Nicht automatisiert	Teilautomatisiert	Vollautomatisiert
Benennung	Produktgruppe	0%	0%	0%
	Produktspezifikation	0%	0%	0%
Werkstoff	Sortenklasse	0%	0%	0%
	Werkstoffnummer	0%	0%	0%
Rohform und - abmessungen	Rohform	0%	0%	0%
	2D-Abmessung	0%	0%	0%
	Rohform + 2D-Abmessung	0%	0%	0%
	Rohform + 3D-Abmessung	0%	0%	0%
Rohgewicht	Nettogewicht	0%	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%	0%
Fertiggewicht	Nettogewicht	0%	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%	0%
Arbeitsvorgangs- nummer	vorhanden	100%	100%	100%
	Hierarchiestufen	0%	50%	50%
Arbeitsvorgangs- beschreibung	Fertigungsverfahren	100%	100%	100%
	+Objekt	100%	100%	100%
	+Maß- und Toleranzangaben	110%	100%	100%
	+Hinweistext	50%	70%	80%
Fertigungs- hilfsmittel (FHM)	FHM-Art	0%	0%	0%
	FHM-Gruppe	0%	0%	0%
	FHM-Nummer	0%	0%	0%
	FHM-Nummer + -Lagerort	0%	0%	0%
Rüstzeit	Stundentakt	100%	100%	100%
	Minutentakt	50%	70%	70%
	Sekundentakt	0%	0%	0%
Fertigungszeit	Stundentakt	100%	100%	100%
	Minutentakt	50%	70%	70%
	Sekundentakt	0%	0%	0%
Maschinengruppe	Maschinenart	100%	100%	100%
	Maschinengruppe	100%	100%	100%
	Maschinennummer	50%	70%	80%
	+Maschineneinstellungen	50%	70%	80%

Nutzentreiber Maschinendiversität

Informations- element	Ausprägung Informationselement	Maschinendiversität		
		gleichartige Maschinen	universelle Maschinen	spezifische Maschinen
Benennung	Produktgruppe	0%	0%	0%
	Produktspezifikation	0%	0%	0%
Werkstoff	Sortenklasse	0%	0%	0%
	Werkstoffnummer	0%	0%	0%
Rohform und - abmessungen	Rohform	50%	20%	10%
	2D-Abmessung	95%	90%	50%
	Rohform + 2D-Abmessung	100%	100%	100%
	Rohform + 3D-Abmessung	105%	120%	150%
Rohgewicht	Nettogewicht	0%	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%	0%
Fertiggewicht	Nettogewicht	0%	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%	0%
Arbeitsvorgangs- nummer	vorhanden	0%	0%	0%
	Hierarchiestufen	0%	0%	0%
Arbeitsvorgangs- beschreibung	Fertigungsverfahren	0%	0%	0%
	+Objekt	0%	0%	0%
	+Maß- und Toleranzangaben	0%	0%	0%
	+Hinweistext	0%	0%	0%
Fertigungs- hilfsmittel (FHM)	FHM-Art	90%	90%	85%
	FHM-Gruppe	95%	95%	90%
	FHM-Nummer	100%	100%	100%
	FHM-Nummer + -Lagerort	110%	110%	110%
Rüstzeit	Stundentakt	0%	0%	0%
	Minutentakt	0%	0%	0%
	Sekundentakt	0%	0%	0%
Fertigungszeit	Stundentakt	0%	0%	0%
	Minutentakt	0%	0%	0%
	Sekundentakt	0%	0%	0%
Maschinengruppe	Maschinenart	100%	100%	90%
	Maschinengruppe	100%	100%	100%
	Maschinennummer	100%	110%	140%
	+Maschineneinstellungen	200%	220%	250%

Nutzentreiber Mitarbeiterqualifikation & -erfahrung

Informations- element	Ausprägung Informationselement	Mitarbeiterqualifikation & -erfahrung		
		geringe Qualifikation / Berufseinsteiger	überwiegend Generalisten / erste Berufserfahrung	Spezialisten und Fachkräfte / langjährige Berufserfahrung
Benennung	Produktgruppe	0%	0%	0%
	Produktspezifikation	0%	0%	0%
Werkstoff	Sortenklasse	30%	50%	70%
	Werkstoffnummer	100%	100%	100%
Rohform und - abmessungen	Rohform	50%	60%	80%
	2D-Abmessung	70%	80%	90%
	Rohform + 2D-Abmessung	100%	100%	100%
	Rohform + 3D-Abmessung	120%	110%	120%
Rohgewicht	Nettogewicht	0%	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%	0%
Fertiggewicht	Nettogewicht	0%	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%	0%
Arbeitsvorgangs- nummer	vorhanden	0%	0%	0%
	Hierarchiestufen	0%	0%	0%
Arbeitsvorgangs- beschreibung	Fertigungsverfahren	80%	85%	95%
	+Objekt	100%	100%	100%
	+Maß- und Toleranzangaben	150%	130%	110%
	+Hinweistext	250%	220%	180%
Fertigungs- hilfsmittel (FHM)	FHM-Art	85%	85%	90%
	FHM-Gruppe	90%	90%	95%
	FHM-Nummer	100%	100%	100%
	FHM-Nummer + -Lagerort	200%	150%	110%
Rüstzeit	Stundentakt	100%	100%	100%
	Minutentakt	120%	130%	110%
	Sekundentakt	130%	150%	120%
Fertigungszeit	Stundentakt	100%	100%	100%
	Minutentakt	120%	130%	110%
	Sekundentakt	130%	150%	120%
Maschinengruppe	Maschinenart	90%	90%	90%
	Maschinengruppe	100%	100%	100%
	Maschinennummer	120%	120%	120%
	+Maschineneinstellungen	400%	300%	150%

Nutzentreiber Verfügbarkeit von Informationssystemen

		Verfügbarkeit von Informationssystemen			
Informations- element	Ausprägung Informationselement	keine IT- Unterstützung	ERP	MES	MES-Zugang an den Arbeitsplätzen
Benennung	Produktgruppe	0%	0%	0%	0%
	Produktspezifikation	0%	0%	0%	0%
Werkstoff	Sortenklasse	0%	0%	0%	0%
	Werkstoffnummer	0%	0%	0%	0%
Rohform und - abmessungen	Rohform	20%	20%	50%	60%
	2D-Abmessung	60%	65%	80%	100%
	Rohform + 2D-Abmessung	100%	100%	100%	100%
	Rohform + 3D-Abmessung	120%	120%	140%	170%
Rohgewicht	Nettogewicht	0%	0%	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%	0%	0%
Fertiggewicht	Nettogewicht	0%	0%	0%	0%
	Bruttogewicht	0%	0%	0%	0%
Arbeitsvorgangs- nummer	vorhanden	0%	0%	0%	0%
	Hierarchiestufen	0%	0%	0%	0%
Arbeitsvorgangs- beschreibung	Fertigungsverfahren	40%	45%	60%	60%
	+Objekt	100%	100%	100%	100%
	+Maß- und Toleranzangaben	130%	130%	140%	180%
	+Hinweistext	135%	135%	150%	185%
Fertigungs- hilfsmittel (FHM)	FHM-Art	20%	20%	20%	20%
	FHM-Gruppe	22%	22%	22%	22%
	FHM-Nummer	100%	100%	100%	100%
	FHM-Nummer + -Lagerort	150%	160%	180%	200%
Rüstzeit	Stundentakt	100%	100%	100%	100%
	Minutentakt	100%	110%	120%	130%
	Sekundentakt	100%	110%	130%	140%
Fertigungszeit	Stundentakt	100%	100%	100%	100%
	Minutentakt	100%	110%	150%	180%
	Sekundentakt	100%	110%	160%	200%
Maschinengruppe	Maschinenart	95%	95%	95%	95%
	Maschinengruppe	100%	100%	100%	100%
	Maschinennummer	120%	120%	150%	150%
	+Maschineneinstellungen	120%	125%	160%	200%

13. Literaturverzeichnis

- [Arn17] Arndt, K.-D.: Arbeitsvorbereitung und Arbeitsplanung. In: Böge, A.; Böge, W. (Hrsg.): Handbuch Maschinenbau. Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2017, ISBN 978-3-658-12528-8, S. 1735-1772.
- [Bab80] Baberg, T.: Rationalisierung in der Arbeitsplanung unter Berücksichtigung dynamischer Unternehmensveränderungen und der Auswirkungen auf die Fertigungskosten. Dissertation RWTH Aachen, 1980.
- [Bäu17] Bäumers, Y.: Wirtschaftlicher Detaillierungsgrad der Montageablaufplanung. Dissertation RWTH Aachen. In: Klocke, F. et al. (Hrsg.): Ergebnisse aus der Produktionstechnik. Apprimus Verlag, Aachen 2017.
- [Bor18] Bornewasser, M.; Bläsing, D.; Hinrichsen, S.: Informatorische Assistenzsysteme in der manuellen Montage: Ein nützliches Werkzeug zur Reduktion mentaler Beanspruchung? In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. ISSN 2366-4681, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 72. Jg. (2018), H. 4, S. 264-275.
- [Bor20] Bornewasser, M.: Montage und Komplexität. In: Bornewasser, M.; Hinrichsen, S.: (Hrsg.): Informatorische Assistenzsysteme in der variantenreichen Montage. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2020, ISBN 978-3-662-61373-3, S.43-63.
- [Chr06] Chryssolouris, G.: Manufacturing Systems: Theory and Practice. Second Edition, Springer Science+Business Media Inc., New York 2006.
- [Dan01] Dangelmaier, W.: Fertigungsplanung. Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung. Grundlagen, Algorithmen und Beispiele. 2. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg 2001.
- [Dom10] Dombrowski, U.; Wesemann, S.; Korn, G. H.: Werkerinformationssystem. In: ZWF Zeitschrift für wissenschaftlichen Fabrikbetrieb. Carl Hanser Verlag, München, ISSN 0932-0482, 105. Jg. (2010), H. 4, S. 282-287.
- [Dom15] Dombrowski, U.; Mielke, T.: Ganzheitliche Produktionssysteme. Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch) (2015), S. 32-33.
- [Erl20] Erlach, K.: Wertstromdesign. Der Weg zur schlanken Fabrik. 3. Aufl., Berlin: Springer Vieweg, Berlin 2020.
- [Eve75] Eversheim, W.; Szabo, Z.-J.: Analyse der Fertigungsunterlagen. In: Die Gesellschaft für Kernforschung mbH (Hrsg.): CAD Bericht. Bd. 10, Karlsruhe, 1975.
- [Eve89] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik. In: Eversheim, W. (Hrsg.): Studium und Praxis. Fertigung und Montage. Bd. 4, 2. Auflage, VDI Verlag, Berlin, Heidelberg, 1989.
- [Eve96] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik. Band 1: Grundlagen. In: Eversheim, W. (Hrsg.): Organisation in der Produktionstechnik. Bd. 1, 3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin Heidelberg 1996.
- [Eve02] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik 3. Arbeitsvorbereitung. In: Eversheim, W. (Hrsg.): Organisation in der Produktionstechnik. Bd. 3, 4., bearbeitete und korrigierte Auflage, Springer, Berlin Heidelberg 2002.

- [Fra09] Franke, J.; Risch, F.: Effiziente Erstellung, Distribution und Rückmeldung von Werkerinformationen in der Montage. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Carl Hanser Verlag, München, ISSN 0932-0482, 104. Jg. (2009), H.10, S.822-826.
- [Gla92] Glas, J.; Koeper, T.; Strohmayer, R.: Tätigkeiten und Hilfsmittel in der Arbeitsplanung. In: Milberg, J. (Hrsg.): Von CAD/CAM zu CIM: [Leitfaden zum Erfolg]. Springer, Berlin Heidelberg 1992, ISBN 978-3-540-53244-6, S. 61–88.
- [Hin20] Hinrichsen, S.: Informatorische Gestaltung der Montage mittels Anreizsystemen. In: Bornewasser, M.; Hinrichsen, S. (Hrsg.): Informatorische Assistenzsysteme in der variantenreichen Montage. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2020, ISBN 978-3-662-61373-3, S.21-40.
- [Hol20] Holtewert, P.; Wiendahl, H.-H.: Fertigungs- und Montagesysteme. In: Bauernhansl, T. (Hrsg.): Fabrikbetriebslehre 1. Springer Verlag, Berlin, 2020, ISBN 978-3-662-44537-2, S.129-164.
- [Jeb89] Jebesen, H. (1989): Funktionale Betriebsorganisation. In: Meins, W. (Hrsg.): Handbuch Fertigungs- und Betriebstechnik. Braunschweig, Wiesbaden: Friedr. Vieweg&Sohn Verlag, Braunschweig Wiesbaden 1989, ISBN 978-3-322-84911-3, S. 581–604.
- [Jes13] Jeske, T.; Hasenau, K.; Schlick, C.M.: Flexible Arbeitsgestaltung und Lernprozesse in der Montage. In: Bornewasser, M.; Zülch, G. (Hrsg.): Arbeitszeit-Zeitarbeit. Springer Verlag, Wiesbaden, 2013, ISBN 978-3-8349-3739-1, S. 346-359.
- [Krä95] Kränzle, B. S. (1995): Informationssysteme der Produktion. Ein objektorientierter Ansatz. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig Wiesbaden 1995.
- [Lan07] Lang, S.: Durchgängige Mitarbeiterinformation zur Steigerung von Effizienz und Prozesssicherheit in der Produktion. Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg. In: Feldmann, K. (Hrsg.): Fertigungstechnik-Erlangen. Meisenbach Verlag, Bamberg, 2007.
- [Lou09] Louis, J.-P.: Manufacturing Execution Systems. In: Gabler Edition Wissenschaft. Dissertation Universität Marburg, Springer Verlag, 2009
- [Mie98] Miehler, G.: Zeitcontrolling indirekter Prozessketten. Gabler Edition Wissenschaft. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 1998.
- [Nei91] Neipp, G.: Planung und Einsatz rechnerintegrierter Techniken als Schlüsselfaktoren für den Unternehmenserfolg. In: Neipp, G.; Stracke, H.-J. (Hrsg.): Einführung in die CIM-Praxis. Studium und Praxis. VDI Verlag, Düsseldorf, 1991, ISBN 978-3-642-95809-0, S.7-33.
- [Nie96] Nietsch, T.: Erfahrungswissen in der computerunterstützten Angebotsbearbeitung. Springer Verlag, Wiesbaden, 1996.
- [Opi72] Opitz, H.; Olbrich, W.; Steinmetz, G.: Automatische Arbeitsplanerstellung. In: Kühn, H.; Rau, J. (Hrsg.): Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen. Bd. 2296, Westdeutscher Verlag, Opladen, 1972.
- [Poh14] Pohlmann, J.: Kosteneffizienz durch Wertschöpfung – Wo liegt das Potenzial für den Mittelstand? factorP managementberatung GmbH, Berlin 2014.
- [REF91] REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (REFA): Methodenlehre der Betriebsorganisation. Planung und Steuerung Teil 3. In: ders. (Hrsg.): Planung und Steuerung. Bd. 3, Carl Hanser, München 1991

- [Rem90] Rembold, U. et al. (Hrsg.): CAM-Handbuch. Springer, Berlin u.a. 1990.
- [Rin91] Rinza, P.: Auswirkungen neuer Technologien auf Mitarbeiterqualifikation und Organisationsstruktur. In: Neipp, G.; Stracke, H.-J. (Hrsg.): Einführung in die CIM-Praxis. Studium und Praxis. VDI Verlag, Düsseldorf, 1991, ISBN 978-3-642-95809-0, S.200-221.
- [Sch12] Schuh, G.; Schmidt, C.; Helmig, J.: Prozesse. In: Stich, V. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung 1. 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [Sch18] Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2018.
- [Ste73] Steinmetz, G.: Integrierte Konstruktion und Arbeitsplanung für Varianten. Dissertation Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen. Aachen, 1973.
- [Ste87] Steinmetz, G.: Grunddatenverwaltung. In: Geitner, U. W. (Hrsg.): CIM-Handbuch. Wirtschaftlichkeit durch Integration. Friedr. Vieweg&Sohn Verlag, Braunschweig Wiesbaden 1987, ISBN 978-3-528-04522-7, S. 50–63.
- [Str20] Strating, T.; Müller, M.; Stonis, M.: Effizienzsteigerung durch ideale Arbeitspläne. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Carl Hanser Verlag, München, ISSN 0947–0085, 115. Jg. (2020), H. 6, S. 387-390.
- [Str21] Strating, T.; Stonis, M.: Methode zur Bewertung des Detaillierungsgrades von Arbeitsplänen. In: Logistics Journal, Vol. 2021. ISSN: 1860-5923, DOI:10.2195/lj_NotRev_strating_de_202106_01
- [Tie13] Tietze, F.; Lödding, H.: Analyse der Arbeitsproduktivität in Arbeitsvorbereitung und Produktion von Unikaten. In: Corporate Capability Management – Wie wird kollektive Intelligenz im Unternehmen genutzt? (2013), S. 185-212.
- [War95] Warnecke, H.-J.: Der Produktionsbetrieb 1. Organisation, Produkt, Planung. In: ders. (Hrsg.): Der Produktionsbetrieb. Bd. 1, 3. Aufl., Springer, Berlin u.a. 1995.
- [Wes06] Westkämper, E.: Einführung in die Organisation der Produktion. Unter Mitarbeit von Markus, D. und Jendoubi, L., Springer, Berlin Heidelberg New York 2006.
- [Wes12] Weskamp, M.; Wochinger, T.: Problemanalyse MES-Implementierung. In: Computer & Automation (2012), H. 3, S. 26-28.
- [Wes16] Westkämper, E.; Löffler, C.: Strategien der Produktion. Technologien, Konzepte und Wege in die Praxis. Springer Vieweg Verlag, Berlin, Heidelberg, 2016.
- [Wie19] Wiendahl, H.-P.; Wiendahl, H.-H.: Betriebsorganisation für Ingenieure. 9., vollständig überarbeitete Aufl., Carl Hanser, München 2019.
- [Wie20] Wiendahl, H.-H.; Auftragsmanagement. In: Bauernhansl, T. (Hrsg.): Fabrikbetriebslehre 1. Springer Verlag, Berlin, 2020, ISBN 978-3-662-44537-2, S.193-294.
- [Zäp00] Zäpfel, G.: Strategisches Produktionsmanagement. In: Zäpfel, G. (Hrsg.): Internationale Standardlehrbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. 2. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 2000.