

Konzeption zur Arbeitsgangausarbeitung spanender Prozesse für eine digitale Lernplattform⁷

Prof. Dr.-Ing.habil. Andreas Nestler, Dipl.-Ing. Jens Hoffmann, Dipl.-Ing. Frank Arnold

1 Grundlagen

Für die Konzeption zur Arbeitsgangausarbeitung ist, als Grundvoraussetzung zum Lernen der relevanten Inhalte, die Verwendung eindeutiger Fachausdrücke unabdingbar. Gerade in der Fertigungsplanung und -steuerung treten zahlreiche Begriffe auf, die zum Teil synonym oder unterschiedlich strukturiert verwendet werden. Die Lehrmeinungen gehen bereits bei der Anwendung von Grundbegriffen der Systemtheorie /HAB-02/ im Fachgebiet, wie z.B. beim Begriff *Prozess* zur Gliederung der Fertigungsprozesse, auseinander /EVE-12, AWI-05, JAC-02/. Diese Tatsache muss für den Zweck der Lernplattform berücksichtigt werden⁸. Als verbindliche Grundlage dient ein auf die projektspezifische Anwendungsdomäne zugeschnittenes Glossar /Glossar/ (Abbildung 1).



German	Description GER	English	Description EN
Arbeitsgang	Teil eines Fertigungsprozesses, der nacheinander auf ein und demselben Arbeitsplatz durchgeführt wird, bis ein technisch bedingtes Umrüsten erforderlich wird.	operation	Part of a manufacturing process that is performed at the same workplace, until a technically required reconfiguration is necessary.
Fertigungsprozessgraph	Grafische Darstellung der gesamten Fertigungsprozesses durch Knoten und Kanten. Knoten symbolisieren die Werkstückzustände und die Kanten symbolisieren die Arbeitsgänge.	manufacturing process graph	Graphic representation of the entire manufacturing process through nodes and edges. Nodes symbolize the workpiece states and the edges symbolize the operations/works
Arbeitsstufe	Abschnitt eines Arbeitsganges , der nacheinander mit ein und demselben Werkzeug bei unveränderter Werkstückspannung durchgeführt wird.	sub-operation	Section is an operation carried out one after the other and the same tool, without changing the

Records 1 to 3 of 3 20 +

Abbildung 1: Glossarium zur Fertigungsplanung und -steuerung

Startpunkt der Fertigungsplanung ist eine Fertigungsaufgabe, die ursächlich mit einem Werkstück in Verbindung steht. In der Konzeption stehen für unterschiedliche Fertigungsaufgaben entsprechende Typenvertreter in Form von Einzelteilen mit zugehörigen Dokumenten und weiteren festzulegenden Merkmalen /GEI-00/. Aufgaben aus Übungen zur Fertigungsprozessgestaltung bzw. Fertigungsplanung an der TU Dresden verfolgen unterschiedliche Ziele, Randbedingungen und entsprechende Schwerpunktsetzungen in den zu lösenden Teilaufgaben /NES-17a/.

⁷ Das Projekt POKROK.digital wird über das Kooperationsprogramm Freistaat Sachsen – Tschechische Republik 2014-2020 sowie aus Landesmitteln des Freistaates Sachsen bzw. aus Mitteln des Staatshaushaltes der Tschechischen Republik zur Kofinanzierung der EU-Fördermittel Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

⁸ Vertikale Gliederung von Fertigungsprozessen: Arbeitsgang AG (Synonym Arbeitsvorgang) untergliedert in Arbeitsstufen (Synonym Teilarbeitsvorgang); Arbeitsstufe (AST) untergliedert in Operationen, auch Technologische Operationen (TOP) genannt.

Als Randbedingungen stehen z.B. häufig der idealisierte Betrieb, keine Berücksichtigung der zeitlichen Auslastung, Fertigung bleibt im Zeitraum konstant und Teilefertigung mit NC-Technik. Diese Randbedingungen sind für das Projektanliegen zu spezifizieren.

Ausgehend von der Grobkonzeption für die Lernplattform POKROK.digital zur Fertigungsprozessplanung /NES-17b/ ist die Teilaufgabe „Arbeitsgangausarbeitung spanender Prozesse“ (Abb. 2) unter Berücksichtigung der gewählten Ausrichtung auf Arbeitsplätze mit automatisierten Fertigungseinrichtungen zu konzipieren.

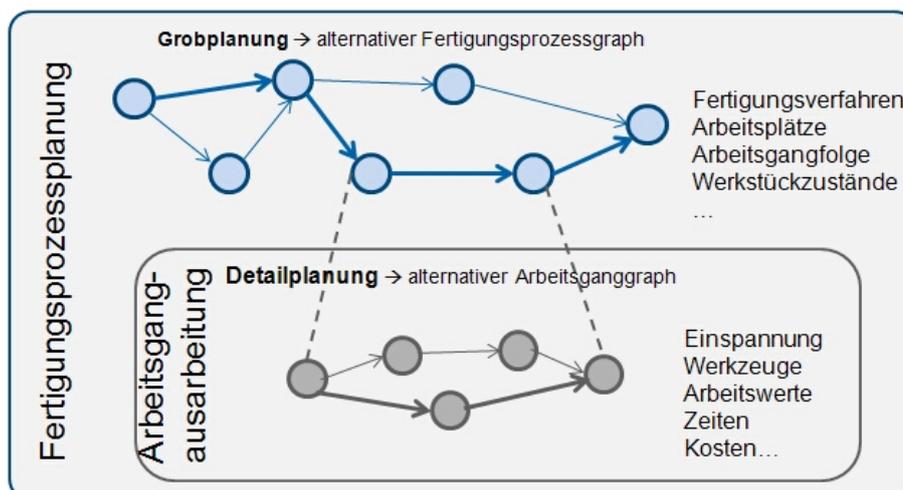


Abbildung 2: Fertigungsprozessplanung und Arbeitsgangausarbeitung (Bild: Geipel, TUBF)

Grundlage für o.g. Teilaufgabe ist eine Grobplanung (auch Prozessplanung, *engl.* process planning genannt), in deren Ergebnis Arbeitsgänge festgelegt sind. Hauptaufgabe der darauf aufbauenden Arbeitsgangausarbeitung (hier *engl.* process elaboration genannt) ist die weitergehende Detailplanung (auch Operationsplanung, *engl.* operation planning genannt) aller Abläufe auf der zum Arbeitsgang definierten Fertigungseinrichtung.

Planungsergebnisse für o.g. Teilaufgabe mit Bezug zu numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen sind z.B. Operationsfolgen, Werkzeuge, Vorgabezeiten und Dokumente wie NC-Programm, Werkzeugplan und Arbeitsunterweisung.

Zur inhaltlichen Ausarbeitung und Darstellung der Fertigungsprozesse ist der Prozessgraph (speziell Vorgangspfeil-Netzplan⁹ VPN) als Basismethode bewährt und hervorragend geeignet, um die Zielstellungen der Lernplattform zu verwirklichen. Das Potential dieser Darstellungsmethode ist für die Verkettung von Aktionen in der Grob- und Detailplanung als Fertigungsprozess- und Arbeitsganggraph gleichermaßen einsetzbar.

2 Der Prozessgraph als Basismethode

Die zweckmäßige Darstellung alternativer Prozessstrukturen erfolgt durch ein- oder mehrdeutige, gerichtete Prozessgraphen. Darstellungselemente sind Knoten und Kanten. Ablaufelemente beschreiben die Zustände und Vorgänge. Regeln für Abläufe werden durch logischen Verknüpfungen ermöglicht (Abbildung 3).

⁹ Der Vorgangspfeil-Netzplan (VPN) ist eine Methode der Netzplantechnik. Die Netzplantechnik verwendet Netzpläne, die eine Verkettung von Aktionen beschreiben.

Die Graphen beginnen beim Start- bzw. Anfangsknoten (A) und enden mit dem Ziel- bzw. Endknoten (E)¹⁰. Dem Graphenknoten werden vereinbarungsgemäß Werkstückzustände zugeordnet. Außer dem gegebenen Ausgangs- und dem erreichten Endzustand repräsentieren generell alle Zwischenzustände die erreichte Werkstückgeometrie nach einem Arbeitsgang bzw. nach einer Arbeitsstufe. Die Graphenkante repräsentiert grundlegend den Arbeitsgang mit der dazu notwendigen Werkzeugmaschine bzw. die Arbeitsstufe mit dem festgelegten Werkzeug. Zugelassen sind Normalfolgen¹¹. Die Kante (der Vorgangspfeil) beschreibt eine vorwärtsgerichtete unidirektionale Beziehung zwischen zwei Knoten, einen Vorgang, der durch Aktivitäten zustande kommt. Zu einer Aktivität können alle zum Vorgang gehörigen Informationen hinterlegt sein. Das bedeutet für die Konzeption, dass in den Kanten ein wesentliches Potential für die ebenfalls zu konzipierenden Lern- und Arbeitsaufgaben steckt. In der Konzeption ist detailliert zu erarbeiten, wie der parametrisierte Prozessgraph zur Erreichung der Zielstellungen der Lernplattform ausgelegt werden soll.

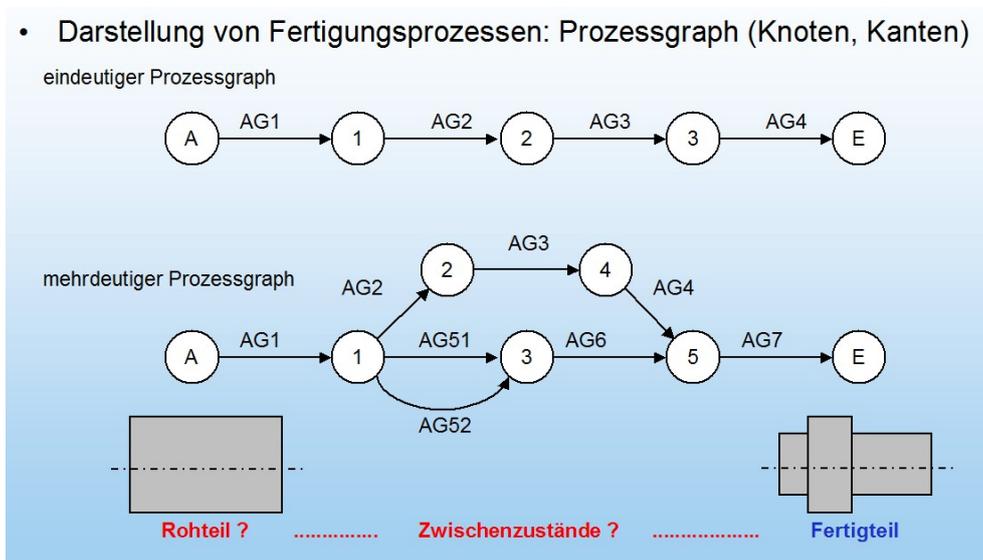


Abbildung 3: Methode der Graphen für Arbeitsgänge (AG) der Teilefertigung /NES-18a/

3 Erarbeitung von Rahmenfestlegungen

Im Rahmen der Konzeption POKROK.digital sind zahlreiche Festlegungen zu treffen. Diese sind als Kompromiss mit dem Zweck der Lernplattform in Einklang zu bringen.

Grundlegend ist die Definition zum Arbeitsgang (AG). „Der Arbeitsgang ist der Teil des Fertigungsprozesses, der an einem Arbeitsplatz am Werkstück ausgeführt wird“ /JAC-02/. Eng damit verbunden ist im Rahmen der Konzeption zur Arbeitsgangausarbeitung die Notwendigkeit der eindeutigen Abgrenzung der Aktivitäten.

Die methodische Grundlage basiert auf den problemorientierten Schritten zur Fertigungsplanung allgemein /GEI-00, NES-18a/. Für die Konzeption ist zu

¹⁰ Anfangs- und Endknoten begrenzen einen Vorgangspfeil; Der Startknoten hat keinen Vorgangspfeil als Eingang, der Zielknoten hat keinen Vorgangspfeil als Ausgang. Außerdem: der Sammelknoten hat mehrere Vorgangspfeile als Eingang, der Verzweigungsknoten hat mehrere Vorgangspfeile als Ausgang.

¹¹ Normalfolge, eine Form der Anordnungsbeziehung: bevor im Vorgang die Folgeaktivität beginnen kann, muß der Vorgänger beendet sein, Ende-Anfang-Beziehung.

unterscheiden, welche Informationen zum Arbeitsgang in diesen Schritten aus der Grobplanung bereits vorliegen können und welche in der Detailplanung noch ermittelt und festgelegt werden müssen.

Der Umfang der Bearbeitungsaufgabe zur Arbeitsgangausarbeitung unterscheidet sich nach definierten Anfangs- und Endzuständen des Werkstückes, die in der Regel Zwischenzustände darstellen aber im Extremfall auch Roh- und Fertigteilzustände sein können.

Die Betrachtung der Arbeitsgangausarbeitung für eine Einzelmaschine (ein Arbeitsplatz) auf der nur ein Fertigungsverfahren ausführt wird oder für eine Komplettbearbeitungsmaschine (ein Arbeitsplatz) auf der mehrere Fertigungsverfahren ausführt werden führt nicht zu einer eindeutigen Abgrenzung. Eine ausgewählte Maschine (Arbeitsplatz) ist eng mit ihren technischen Ausstattungen und Zusatzgeräten z.B. für Möglichkeiten zur Werkstückspannung oder auch für Werkzeugplätze verbunden. Die Definition zum Arbeitsgang lässt offen, ob ein Arbeitsgang nicht auch enden kann, bevor alle technisch-technologischen Möglichkeiten des Arbeitsplatzes ausgeschöpft sind /GEI-18/.

Darüber hinaus kann der Automatisierungsgrad z.B. bzgl. Werkstückwechsel oder auch Werkzeugwechsel einbezogen werden. "Die Arbeitsstufe ist der Teil des Arbeitsganges, der ohne Änderung der Werkstückspannung bzw. der Werkstücklage am Werkstück mit dem selben Werkzeug ausgeführt wird" /JAC-02/. Die Realisierungsstufen von automatisierten Werkzeugmaschinen entscheiden darüber, welche Abläufe teilautomatisiert, d.h. durch Handarbeit unterbrochen, oder vollautomatisch ablaufen.

4 Ausgewählte Aspekte zur Konzeption Arbeitsgangausarbeitung

4.1 Das Aktivitätsdiagramm als Hilfsmittel zur Konzeption von Abläufen

Eine Möglichkeit zur Darstellung der Aktivitäten der Fertigungsplanung und zur Reduzierung der Komplexität bieten Aktivitätsdiagramme (Aktigramme)¹², die für die Grob- und Detailplanung als Fertigungsprozess- und Arbeitsgang-Aktigramme konzeptionell wesentliche Abläufe in Verbindung mit grundlegenden Daten und Objekten beinhalten. Hervorzuheben ist die einfache Detaillierung durch übersichtliche Hierarchien, die in der Arbeitsgangausarbeitung bereits Anwendung finden /NES-18b/ und gerade für konzeptionelle Ausarbeitungen oft hinreichend aussagekräftig sind.

Das erste übergeordnete Diagramm des Aktivitätsmodells wird mit A-0 bezeichnet und beschreibt das Gesamtsystem, d.h. diese Ausgangsbox A-0 definiert für einen Arbeitsgang die globalen Eingangs-, Ausgangs- sowie Hilfs- und Steuergrößen der Konzeption (Abbildung 4). Die Untersetzungen A1, A2 usw. stehen im Kontext zu A-0 und werden nach Bedarf fortgeführt. Die weitere Hierarchiebildung A11, A12 usw. ist in Analogie mit beliebiger Detaillierungsstufe fortsetzbar. Die relevanten Einflüsse ergänzen das funktionsorientierte Modell.

¹² Aktigramme nach SADT ("Structured Analysis and Design Technique") ermöglichen die Darstellung komplexer Systeme mittels hierarchisch geordneter Diagramme. Es werden zwei Sichten unterstützt: Aktivitäten und Daten. Die Abläufe werden mit den Elementen Aktivität, Eingabe-/Ausgabedaten, Steuerungsdaten und Mechanismen (Hilfsmittel) beschrieben.

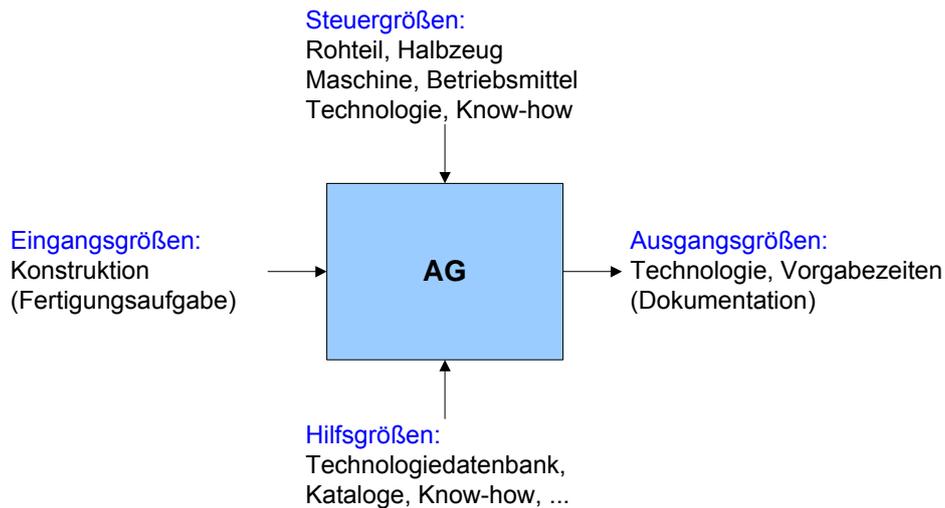


Abbildung 4: Aktigramm A-0 zur Arbeitsgangausarbeitung (AG), nach /NES-18b/

In der weiteren Untersetzung der Arbeitsgangausarbeitung könnten für eine gegebene Werkzeugmaschine und eine gegebene Ausgangsgeometrie des Werkstückes beispielhaft folgende Aktivitäten stehen (Abbildung 5):

A-0 Arbeitsgangausarbeitung

- A1 Analyse der Bearbeitungsaufgabe
 - o A1.1 Analyse der Fertigungsgerechtigkeit
 - o A1.2 Analyse zur Fertigungs-Sollgeometrie
- A2: Festlegung der Ein-/Aufspannung
 - o A2.1 Ermittlung der Spannbasen
 - o A2.2 Festlegung der Spannungen und Anzahl der Wechsel
 - o A2.3 Festlegung des Spannmittels
- A3: Festlegung der Verfahren und Werkzeuge
 - o A3.1 Ermittlung der Verfahrensmodifikationen
 - o A3.2 Ermittlung der Werkzeuge und Werkzeugbelegung
 - o A3.3 Festlegung der Verfahrensmodifikation mit Werkzeug
- A4: Festlegung der Bearbeitung
 - o A4.1 Definition der Arbeitsstufen und Reihenfolgen
 - o A4.2 Festlegung der Werkzeugwechsel
- A5: Festlegung der Schnittwerte.

Für die Konzeption einer Lernplattform sind insbesondere die hier benannten Steuer- und Hilfsgrößen genauer zu untersetzen.

Die Methode ermöglicht die Darstellung der Planungsaktivitäten zur Arbeitsgangausarbeitung mittels hierarchisch geordneter Diagramme. Eine Einbeziehung von Informationsflüssen ist möglich. Dabei wird ein "top-down" System beschrieben. Die Methode ist vor allem für die frühen Analysephasen zur Arbeitsgangausarbeitung einsetzbar, kommt aber bei erweiterten Anforderungen auch schnell an Einsatzgrenzen.

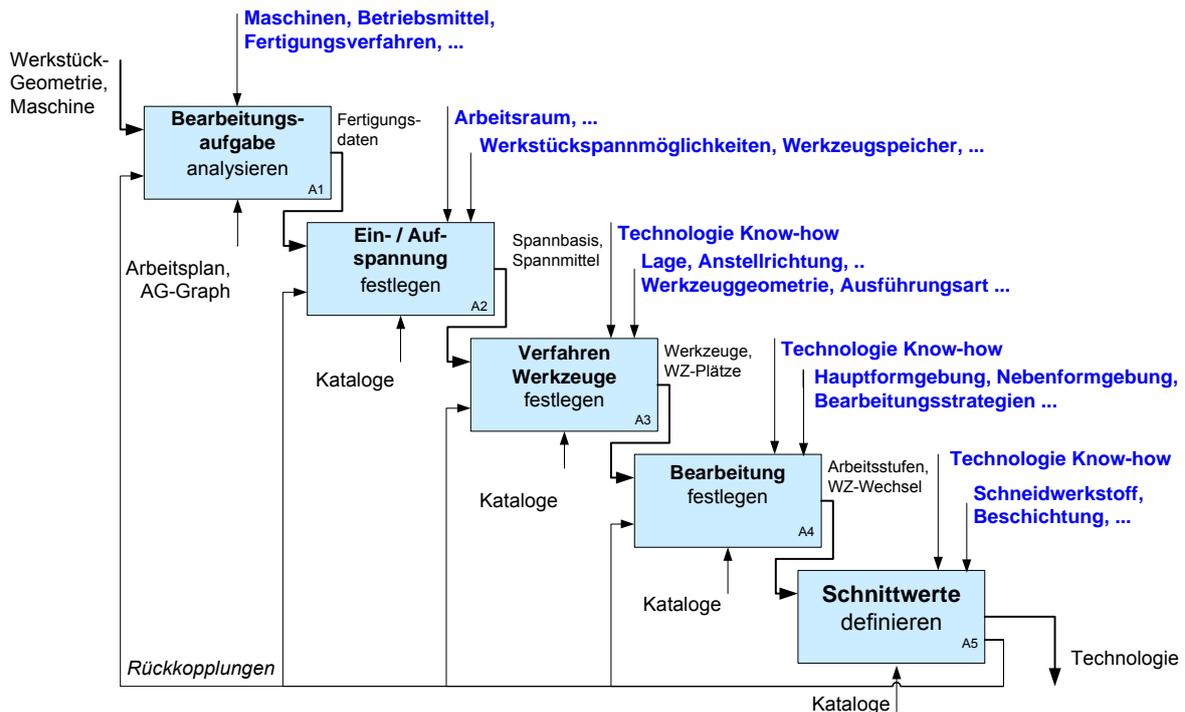


Abbildung 5: A0-Aktivogramm mit Untersetzungen A1 bis A5, nach /NES-18c/

4.2 Ansätze zur Systematisierung von Prozessen

Die Ausarbeitung, d.h. Entwicklung, Gestaltung und Bewertung von Prozessen, ist eine strukturierte Kombination von Aktivitäten, die durch eine definierte Eingabe die gewünschte Ausgabe, das Ergebnis, sicherstellen soll. Das Erreichen der Ergebnisse erfordert zu den einzelnen Arbeitsschritten u.a. die geeigneten Methoden und Unterstützungen bzw. Hilfs- und Steuergrößen. Als Voraussetzung dazu soll eine Systematisierung der Prozesse dienen, um relevante Prozesscharakteristika herauszufinden, zu sortieren und zu strukturieren.

Für Aktivitäten sind neben Inhalten insbesondere Arbeitsweisen, Funktionen, Darstellungsmittel und Datenmaterial zu ergründen.

Arbeitsweisen (Funktionsweise): Die Methode des Arbeitens und auch der Ablauf sind in den Arbeitsschritten oft miteinander verwoben und erfordern wiederholt Vor- und Rücksprünge mit Korrekturen. Unabhängig von diesen Iterationen wird auch die Planungsrichtung als Vorwärts- und Rückwärtsplanung begründet unterschiedlich angewendet.

Darstellungsmittel: Medien in Form von Text, Bild, Grafik, 3D-Modell, Audio, Video und Animation sind für auftretende Objekte und Abläufe in allen Inhaltsbereichen von Bedeutung.

Funktionen (Funktionsumfang): Neben generellen Funktionen sind insbesondere typische zur Planung von Interesse. Das sind grundlegende Regeln und Richtlinien, nach denen gearbeitet wird. Häufig wiederkehrende Beispiele sind Funktionen zur Auswahl, Zuordnung und Rangfolge.

Datenmaterial: Differenzierter betrachtet geht es um die Daten-, Informations- und Wissensversorgung zu den Aktivitäten der problemorientierten Schritte. Zu berücksichtigen sind nicht nur die notwendigen Daten und beschreibenden Informationen der Objekte. Wissensarten wie prozedurales Wissen (Gesetzmäßigkeiten, Formeln) und deklaratives Wissen (Fakten-, Regelwissen) sind für Planungsprozesse unentbehrlich. Darüber hinaus sind die informationellen Verknüpfungen des Daten-

materials im Zusammenhang mit der Ablaufplanung und zur Bearbeitung von Lern- und Arbeitsaufgaben von Interesse. Dazu sind erste strukturierte Informationen in Form von *Wissenskatalogen* und *Objekthierarchien* aufbereitet. Das betrifft bisher die Objekte Roh-/Fertigteil, Form-/Fertigungselement, Werkzeugmaschine, Werkstückspannmittel, Schneidwerkstoff, Schnittwert, Werkzeug und Arbeitsstufe bzw. Operation /FRI-18/.

Für die Aktivität „Werkzeuge festlegen“ sind beispielhaft Arbeitsweisen, Funktionen, Darstellungsmittel und Datenmaterial genannt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Beispiele zu einer Aktivität „Werkzeuge festlegen“

Legende: WZM ... Werkzeugmaschine, SPM ... Spannmittel, WST...Werkstück, WZ ... Werkzeug

Arbeitsweise	Funktionen	Darstellungsmittel	Datenmaterial
Vertrautmachen mit dem System WZ für festgelegte WZM/SPM; Ergründen von Möglichkeiten zum WZ-Einsatz; Festlegen WZ.	Auswahl WZ; Zuordnung WZ - WST; Rangfolge der WZe für Verfahrensmodifikation; Berechnungen für eine begründeten Auswahl.	Kante AG-Graph, Foto WZ, 3D-Modell WZ; Virtuelle Maschine mit WZ; Abläufe in Abhängigkeit vom WZ.	Werkzeugdaten zum Komplettwerkzeug; Katalogdaten; Einsatzempfehlungen; Mediendaten für WZ-Abläufe.

4.3 Lern- und Arbeitsaufgaben

Grundlegend ist die mit dem Werkstück gegebene Fertigungsaufgabe. Die Ausführung dieser übergeordneten Gesamtaufgabe folgt den problemorientierten Schritten. Für viele fertigungstechnische Problemstellungen ist insbesondere die Reduzierung von Komplexität von Bedeutung. Deshalb sind für die einzelnen Schritte einfache Aufgaben im Zusammenhang mit den Aktivitäten zu konzipieren. Erste Vorschläge für Lern- und Arbeitsaufgaben zur Steuerung von Lernprozessen und zum Erwerb von Wissen für technisch-technologisch Sachverhalte liegen vor /FRI-18/.

5 Zusammenfassung

Der Stand der Arbeiten am Gesamtkonzept zu einer digitalen Lernplattform für die Fachgebiete der Fertigungsplanung und -steuerung /ARN-18a, ARN-18b/ ist in der Folge mit den Projektpartnern für alle Teilaufgaben des Projektes weiterführend zu untersetzen. Der Prozessgraph und das Aktivitätsdiagramm sind in der konzeptionellen Phase geeignete Methoden, um die Komplexität der Fertigungsplanung für den Zweck einer digitalen Lernplattform zu reduzieren. Die bisherigen eignen Arbeiten an der Konzeption zur Teilaufgabe Arbeitsgangausarbeitung bestätigen die Erfordernisse zu übergreifenden Vereinbarungen und Kompromissen im Interesse einer geschlossenen Gesamtkonzeption.

Literatur

- /ARN-18a/ Arnold, F. u. a.: Digitale Lernkonzepte für die grenzübergreifende Kompetenzentwicklung-POKROK.digital. Arbeitsgangplanung spanender Fertigungsprozesse. In: Nestler, A. (Hrsg.): Digitalisierung und Vernetzung von Systemen und Prozessen der spanenden Teilefertigung. Vortragsband zum 21. PAZAT-Fachkolloquium am 28.09.2018. Dresden: Selbstverlag TU Dresden, ISBN 978-3-86780-580-3
- /ARN-18b/ Arnold, F.: Learning content and IT development. Oral Presentation for the 8th Project Meeting POKROK.digital, Freiberg, 06.12.2018
- /AVI-05/ Awiszus, B.; Bast, J.; Dürr, H.; Matthes, K.-J.: Grundlagen der Fertigungstechnik, München, Wien: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2016, ISBN 978-3-446-44779-0
- /EVE-12/ Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik 3, Arbeitsvorbereitung. 4. Auflage, Springer Berlin, 2012, 978-3-642-62640-1
- /FRI-18/ Fritz, T.: Erstellung exemplarischer Prozessketten und Arbeitsaufgaben für die Fertigungsplanung zum Einsatz in der Lehr- und Lernplattform POKROK.digital. Großer Beleg, Professur Formgebende Fertigungsverfahren, TU Dresden, 2018
- /GEI-00/ Geipel, T.: Produktionssysteme Produktionssystematik. 1. und 2. Studienbrief, Fertigungsplanung. Dresden: TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, 2000
- /GEI-18/ Geipel, T.: Festlegungen zur Abgrenzung des Begriffs "Arbeitsgang" - Ein praktikabler Vorschlag. Präsentation zum POKROK-Workshop. TU Dresden, 14.08.2018
- /Glossar/ <http://pokrok.fsi.ujep.cz/glossary/login.php>
- /HAB-02/ Haberbollner, R. u.a.: Systems Engineering - Methodik und Praxis. Hrsg.: Daenzer, W.F.; Huber, F.; Zürich: Verlag industrielle Organisation, 2002, ISBN 3-85743-998-X
- /JAC-02/ Jacobs, H.-J.; Dürr, H.: Entwicklung und Gestaltung von Fertigungsprozessen. Planung und Steuerung der spanenden Teilefertigung. Leipzig: Fachbuchverlag 2002, ISBN3-446-21748-7
- /NES 17a/ Nestler, A.: Fertigungsplanung: Übungsmaterial, Aufgaben und Datenquellen. Unveröffentlichtes Arbeitsmaterial, TU Dresden, 31.05.2017
- /NES-17b/ Nestler, A.; Hoffmann, J.; Arnold, F.: Konzeption zur Lernplattform POKROK.digital als Hilfsmittel für Lehrende und Lernende zur Fertigungsprozessplanung. Forschungsergebnisbericht 2017 der Arbeitsgruppe Produktionsautomatisierung, Zerspan- und Abtragtechnik. TU Dresden, 2017, S. 13-17
- /NES-18a/ Nestler, A.: Skript zur Vorlesung „Fertigungsplanung“. TU Dresden, Institut für Fertigungstechnik, Professur Formgebende Fertigungsverfahren, Studienrichtung Produktionstechnik, Wintersemester 2018/19
- /NES-18b/ Nestler, A.: Skript zur Vorlesung „Fertigungsplanung-Teilefertigung“. TU Dresden, Institut für Fertigungstechnik, Professur Formgebende Fertigungsverfahren, Studienrichtung Produktionstechnik, Sommersemester 2018