

3-5-2015

Vom Prozessmodell zum analytischen Informationssystem für diskrete Produktionsprozesse - Erweiterung einer Sprachbeschreibung

Uwe Wieland

Andreas Hilbert

Marco Fischer

Follow this and additional works at: <http://aisel.aisnet.org/wi2015>

Recommended Citation

Wieland, Uwe; Hilbert, Andreas; and Fischer, Marco, "Vom Prozessmodell zum analytischen Informationssystem für diskrete Produktionsprozesse - Erweiterung einer Sprachbeschreibung" (2015). *Wirtschaftsinformatik Proceedings 2015*. 35.
<http://aisel.aisnet.org/wi2015/35>

This material is brought to you by the Wirtschaftsinformatik at AIS Electronic Library (AISeL). It has been accepted for inclusion in Wirtschaftsinformatik Proceedings 2015 by an authorized administrator of AIS Electronic Library (AISeL). For more information, please contact elibrary@aisnet.org.

Vom Prozessmodell zum analytischen Informationssystem für diskrete Produktionsprozesse – Erweiterung einer Sprachbeschreibung

Uwe Wieland¹, Marco Fischer¹, Andreas Hilbert¹

¹ Technische Universität Dresden, Lehrstuhl Wirtschaftsinformatik Business Intelligence,
Dresden, Germany

{uwe.wieland,marco.fischer,andreas.hilbert}@tu-dresden.de

Abstract. Durch die Abbildung der realen Welt in Form von Erklärungsmodellen können komplexe Produktionsprozesse vor allem in ihrer Betriebsphase unterstützt werden, um Prozesszustände zu überwachen oder Störungen zu erkennen. Zur Überführung von real-weltlichen Produktionsprozessen mit deren Wirkungszusammenhängen und Verhalten in ein analytisches Informationssystem bedarf es insbesondere eines ganzheitlichen Informationsmodells als Konstruktionsgrundlage. Dazu werden im Beitrag die Anforderungen an ein Process-Performance-Measurement-System, die literaturgestützt erhoben wurden, in eine bestehende Sprachbeschreibung zur Prozessanalyse integriert.

Keywords: Process Performance Measurement System, Prozessmetamodell, diskrete Produktionsprozesse

1 Problemstellung und Motivation

Die industrielle Wertschöpfung erfolgt in fortwährend komplexer werdenden Produktionsprozessen, die oft durch sehr vielschichtige Ursache-Wirkungsbeziehungen charakterisiert sind. Durch die zunehmende Verbesserung und Verbreitung von Sensorik und Aktuatorik steigert sich die Leistungsfähigkeit von autonomen Produktionssystemen, die zukünftig selbständig miteinander durch Datennetze kommunizieren, entscheiden und agieren sollen. Neben den technologischen Verbesserungen im Prozessablauf stellt die enorme Menge an erzeugten Prozessdaten und das Management dieser Daten bereits heute eine zentrale Herausforderung, aber auch ein hohes Potential dar [34]. Prozessdaten enthalten historisierte, wettbewerbsrelevante Informationen, welche die Charakteristik von Prozessen abbilden und daher neben dem menschlichen Erfahrungswissen einen bedeutenden Stellenwert besitzen. Hinsichtlich ihrer Planung, Durchführung, Steuerung und Kontrolle sind derartige Prozesse dennoch von umfangreichem Expertenwissen [40] und flexiblen Strukturen sowie einer einheitlichen Datenbasis für schnelle Entscheidungen abhängig. Die Notwendigkeit sowie der Nutzen von Process-Performance-Measurement-Systemen (PPMS) sind daher heute unumstritten [13], [12], [33]. Zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens zielen sie auf das Vorantreiben des permanenten Verbesserungsprozesses durch fortlaufendes Messen, Bewerten und Visualisieren der Prozessperfor-

mance [13], [27]. Diesbezüglich fordern renommierte Publikationsorgane der Wirtschaftsinformatik explizit die Entwicklung von Modellierungswerkzeugen zur integrierten Analyse und Gestaltung von Geschäftsprozessen unter Berücksichtigung von Prozessdaten und Big Data [15].

Zum Aufbau eines PPMS werden vor allem die relevanten Prozesszielgrößen, die Einflussgrößen sowie deren Ursache-Wirkungsbeziehungen benötigt, die als Ergebnis von konventionellen Prozessanalysen (z.B. Six Sigma) oder durch Verfahren des Data Mining in Form von prozessspezifischen Erklärungsmodellen erzeugt werden [43], [44], [45]. Erklärungsmodelle sollen dabei helfen, solche sozio-technischen Systeme zu verstehen und anschließend zu verbessern [24]. Dazu sollen die Modelle für die Integration und Überführung der gewonnenen Erkenntnisse in ein bedarfsgerechtes PPMS verwendet werden, um eine permanente prozessspezifische Steuerung zu ermöglichen. Im Ergebnis entsteht ein PPMS in Form eines analytischen Anwendungssystems, das den Menschen unterstützt, bezogen auf die situativen und kontextabhängigen Zielvorgaben intelligent auf den Prozess Einfluss zu nehmen. Denn ein komplett autonomes Produktionssystem, das kein menschliches Entscheiden und Eingreifen erfordert, ist weder realistisch noch wünschenswert [36].

Innerhalb der Gesamtproblemstellung beschäftigt sich dieser Beitrag mit dem Problem der Speicherung von gewonnenen Erklärungsmodellen als Informationsbasis und Konstruktionsgrundlage für ein PPMS und schlägt dazu eine Weiterentwicklung einer existierenden Sprachbeschreibung vor. Die dafür zugrundeliegende Sprachbeschreibung in Form eines Prozessmetamodells ist bereits essentieller Bestandteil einer modellgestützten Methode zur Durchführung von Analyseprojekten in datenintensiven Prozessen mittels Data Mining. Die durch eine systematische Literaturrecherche im Vorfeld ermittelten Anforderungen und Konstruktionsmerkmale eines PPMS werden dazu in diesem Beitrag mit dem bereits vorhandenen Prozessmetamodell abgeglichen, um von der Wiederverwendbarkeit bereits evaluierter Sprachkonzepte zu profitieren. Für nicht vollständig realisierte Sprachkonzepte wird eine Erweiterung des Metamodells sowie der prototypischen Implementierung in Form einer webbasierten Datenbankanwendung vorgenommen. Dieser Beitrag ist somit eine konkrete Weiterentwicklung bereits gefestigter Artefakte auf dem Weg zur ganzheitlichen Integration von Prozessanalysen und der daraus resultierenden Informationsbasis für Prozesse in Form eines PPMS.

2 Forschungsdesign

2.1 Ausgangspunkt des Beitrags

Die bisherigen Arbeiten in diesem Diskursbereich (siehe Fig. 1.) konzentrierten sich auf die Konstruktion einer modellgestützten Methode zur Vorbereitung und Unterstützung von Prozessanalysen mittels Data Mining im Kontext diskreter Produktionsprozesse, um prozessspezifische Erklärungsmodelle zu gewinnen [42], [10]. Eine modellgestützte Methode besteht stets aus einer Prozessbeschreibung, die neben der Erstellung eines Modells auch dessen Transformation in neue Modelle und die Nutzung des neugewonnenen Modells im Nicht-Modellraum beschreibt. Die dabei kon-

struierten Modelle müssen konform zu einer Modellierungssprache sein, die gemäß einer Sprachbeschreibung definiert ist [38]. Jede Modellierungssprache verfügt dabei über eine festgelegte Syntax, die über eine Grammatik oder ein Metamodell beschrieben werden kann [19].

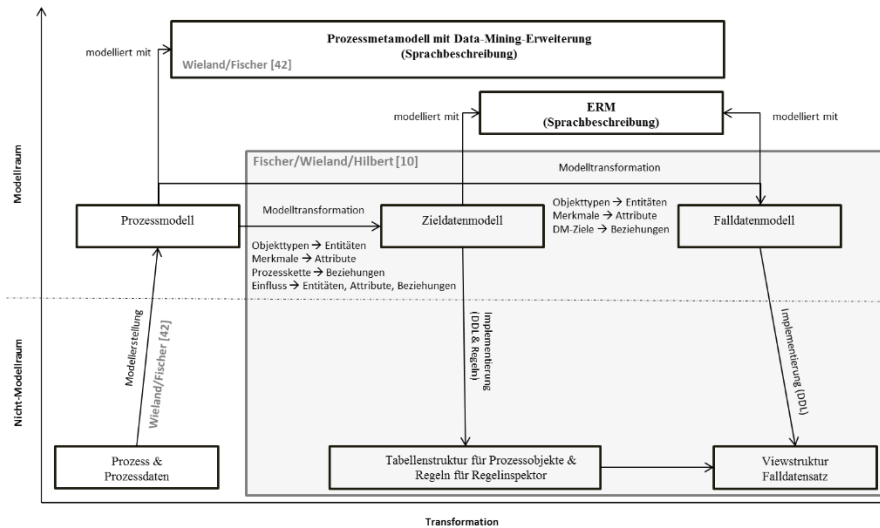


Fig. 1. Zerlegung des Modellierungsproblems

WIELAND und FISCHER schlagen für die Modellierung eines zu analysierenden Produktionsprozesses im Ist-Zustand eine Sprachbeschreibung in Form eines Prozessmetamodells vor, um zusammen mit der ebenfalls gelieferten Prozessbeschreibung ein entsprechendes Prozessmodell zu erstellen [42]. Das vorgeschlagene Prozessmetamodell definiert dabei im Sinne einer Modellierungssprache alle möglichen Sprachkonzepte und Regeln zu deren Kombination [41], um einen Produktionsprozess so zu modellieren, dass die Anforderungen diskreter Produktionsprozesse und der Datenvorverarbeitung in Data-Mining-Projekten berücksichtigt werden.

Als Ausgangspunkt für die Prozessmetamodellierung dient dabei das Modell der Fertigungssteuerung (MFST) als etablierter Standard für diese Domäne [7], [16].

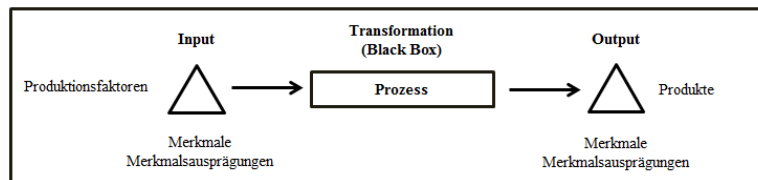


Fig. 2. Input-Output-System von Produktionsprozessen [6]

Durch die Einschränkung des Anwendungsbereiches grenzt sich dieses Vorgehen von anderen Methoden der (Geschäfts-)prozessmodellierung ab [7]. Im MFST werden Produktionsprozesse als Input-Output-Systeme modelliert, in denen jeder Produkti-

onsschritt als „Black-Box“ betrachtet wird, in den Güter hineinfließen (Inputs) und neue Güter hervorgebracht werden (Outputs) [6]. Der Produktionsprozess drückt sich dabei als Transformation von Input- und Output-Zuständen aus, die durch Merkmale und Merkmalsausprägungen charakterisiert sind (siehe Fig. 2.). Mehrstufige Produktionsprozesse können in eine Kette einzelner Input-Output-Systeme zerlegt werden.

Neben der Ablaufstruktur des Prozesses ist speziell die Strukturierung von Prozessdaten sowie die Abbildung existierender Abhängigkeiten und vermuteter Ursache-Wirkungsbeziehungen das Ergebnis der Modellierung, die zunächst unabhängig von den Data-Mining-Zielen sowie den eingesetzten Verfahren ist. Der so modellierte Prozess kann mit Hilfe der modellgestützten Methode in ein prozessspezifisches Datenmodell transformiert werden, aus dem wiederum analysespezifische Falldatensätze abgeleitet werden können, die die Grundlage für die Anwendung konkreter Data-Mining-Verfahren darstellen [10]. Dadurch entsteht eine einheitliche Wissensbasis über semantische Ablaufbeziehungen sowie über die zugrundeliegende Datenstruktur und deren Besonderheiten.

2.2 Forschungsziel des Beitrags

Bezogen auf den diskutierten Ausgangspunkt ist das Forschungsziel des Beitrags die gewonnenen Erklärungsmodelle im Prozessmodell zu dokumentieren, um dadurch als formale Wissensbasis für den jeweiligen Prozess und als Informationslieferant für die Entwicklung eines prozessorientierten, analytischen Anwendungssystems in Form eines PPMS zu dienen. Um sicherzustellen, dass keine relevanten Komponenten oder deren Beziehungen untereinander zur Konstruktion eines PPMS in der Sprachbeschreibung fehlen, wurden im Vorfeld in einer systematischen Literaturrecherche wesentlichen Anforderungen an ein PPMS auf Basis wissenschaftlicher Publikationen ermittelt. Konkretes Ziel dieses Beitrages ist es, die modellrelevanten Inhalte des Anforderungskatalogs zu explizieren und die identifizierten Bestandteile in die bestehende Sprachbeschreibung der modellgestützten Methode zur Prozessanalyse (siehe Kapitel 2.1) zu integrieren.

Davon abgeleitet entstehen folgende Forschungsfragen für diesen Beitrag:

- Welche Anforderungen bestehen an die modellgestützte Abbildung eines PPMS?
- Wie muss die Sprachbeschreibung einer modellgestützten Methode zur Entwicklung eines PPMS gestaltet werden, um diese Anforderungen zu erfüllen?

Die folgenden Kapitel sollen die Anforderungen an die Metamodellierung eines PPMS beschreiben und eine mögliche Abdeckung zur bestehenden Sprachbeschreibung von WIELAND und FISCHER überprüfen sowie Erweiterungen der Sprachbeschreibung nachvollziehbar erläutern. Anhand der prototypischen Implementierung der bestehenden Sprachbeschreibung als Bestandteil der modellgestützten Methode zur Prozessanalyse (siehe [10]) werden eventuell bereits integrierte Anforderungen und Konstruktionsmerkmale an ein PPMS in der Realwelt evaluiert. Zusätzlich notwendige Sprachkonzepte werden im Modell integriert und merkmalsbasiert evaluiert.

ckung von identifizierten Bedarfen und Konstruktionsmerkmalen werden die Top 20 Artikel dargestellt. Die Abbildung zeigt dabei, dass in der Literatur derzeit keine Lösung beschrieben ist, die den vollständigen Funktionsumfang eines ganzheitlichen und kundenorientierten PPMS abdeckt, da es keine Quelle gibt, die sämtlich, gewünschte Konstruktionsmerkmale eines solchen Systems adressiert. Für diesen Beitrag werden weiterführend Anforderungen und Konstruktionsmerkmale erläutert, die modellrelevante Konzepte zur Speicherung von Ergebnissen oder zur Parametrisierung von Methodenfragmenten erfordern und daher Bestandteil einer Sprachbeschreibung sein müssen.

Anforderungen

(A1) Untersuchungsmöglichkeiten auf verschiedenen Detaillierungsstufen: Ein PPMS soll ein Kennzahlensystem bieten, das eine Performancebetrachtung sowohl auf aggregierter Ebene als auch auf verschiedenen Detaillierungsstufen erlaubt, um die Ursachen signifikanter Performanceabweichungen zu analysieren [30], [9]. Zwischen den verschiedenen Ebenen muss ein logischer Zusammenhang gewährleistet werden.

(A2) Entscheidungsunterstützung: Ein zentrales Ziel eines PPMS ist die Bereitstellung entscheidungsrelevanter Informationen für die jeweiligen Prozessbeteiligten. Die Versorgung des Entscheidungsträgers mit der optimalen Menge und Qualität an Informationen und somit die Vermeidung eines „Information Overload“ stellt hier die Schwierigkeit dar [39]. Aus diesem Grund müssen die jeweiligen Informationsbedarfe und Analyseziele genau berücksichtigt werden [17].

(A3) PPMS muss für interne und externe Zielgruppen nutzbar sein: Die Nutzung des Process Performance Measurement (PPM) für interne und externe Zielgruppen resultiert vor allem aus der Verständlichkeit und der damit einhergehenden Akzeptanz der definierten Key-Performance-Indikatoren (KPIs) durch die Zielgruppen [8]. KPIs sind dahingehend zu optimieren und auf das für die entsprechende Zielgruppe Wesentliche und Passende zu reduzieren [18], [47].

(A4) Kopplung KPI und Prozessschritt: Performanceindikatoren müssen prozessspezifisch definiert sein [27]. Des Weiteren sind kritische Input- und Outputgrößen für jeden Prozess festzulegen [21]. Die Kopplung von KPIs an einen Prozessschritt soll die Nachvollziehbarkeit eines Prozesses ermöglichen. Die bestehenden Beziehungen zwischen KPI und einem Prozesselement sollen dazu verwendet werden, bereits in der Definitionsphase eines KPIs etwaige auf den KPI wirkende Prozesselemente zu berücksichtigen [8].

Konstruktionsmerkmale

(K1) Abbildung verschiedener Detaillierungs- und Aggregationsstufen sowie Verarbeitung unterschiedlicher Datengranularität: Aus PPMS-Sicht ergeben sich Besonderheiten an das Datenmodell eines solchen analytischen Systems. Ein PPMS muss für Daten in unterschiedlichen Ebenen und unterschiedlicher Dimensionierung zur Verfügung stellen, damit jeglicher Einfluss auf die Performance und die Auswirkungen einzelner Maßnahmen analysiert und Abweichungen erkannt werden können [30], [18], [9]. Dabei muss die Aggregation von Kennzahlen unabhängig von ihrer Dimensionierung gewährleistet sein [30], [2]. Für das Zusammenführen von Kennzahlen ist es zudem wichtig, dieselbe Granularität der Performancedaten zu verwenden [39]. Auf diese Weise können Anwender die Performancedaten als Ganzes und mittels Drill-Down-Analyse in unterschiedlichen Detaillierungsgraden bewerten [30] sowie die horizontalen und vertikalen Verflechtungen überprüfen [18].

(K2) Abbildung von Regeln und Zusammenhängen: Kausalität spielt eine wichtige Rolle in jeglicher Form der Ursachenanalyse [23]. Die Darstellung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen und damit das Abbilden von Wechselwirkungen zwischen Zielen erweist sich auch in der Praxis von zunehmender Bedeutung [29]. Mit Hilfe von Analysetechniken können Geschäftsregeln gewonnen werden, die Einflussfaktoren für den Prozesserverfolg aufdecken. Solche Geschäftsregeln müssen dabei eine „valide und konsistente Steuerungslogik zur zielsetzungsgerechten Prozessausführung bilden“ [14]. Gewonnene Regeln können mit Hilfe von Regeleditoren abgebildet und in einem zentralen Regelrepositorium verwaltet werden [18], [14]. Sie stehen damit direkt der Prozesssteuerung als Regulationsgrundlage zur Verfügung [14].

(K3) Abbildung von nicht-monetären und weichen Faktoren: Moderne Steuerungskonzepte wie ein PPMS müssen über das quantitative Reporting aggregierter Finanzkennzahlen hinaus auch nicht-monetäre Größen und qualitative Signale mit Frühwarncharakter erfassen [18], [27]. Finanzkennzahlen allein geben keine Aussage zu Produktivität, Qualität, Termintreue und Kundenfreundlichkeit [4]. Der Einfluss qualitativer Faktoren wie zum Beispiel Personalzufriedenheiten, Kundenzufriedenheit oder Innovationsgrad ist zwar schwer messbar, darf aber im heutigen Geschäftsumfeld nicht vernachlässigt werden [1], [5]. Beispiele für nicht-monetäre Größen in der Produktion, die durch ein PPMS abgebildet werden sollten, sind Prozesskennzahlen (Durchsatz, Durchlaufzeit), Qualitätskennzahlen (Ausbeute, Ausschuss, Nacharbeiten) und Kundenzufriedenheitskennzahlen (termingerechte Lieferung, Rückläufer, Beschwerden, Lieferrückstand) [4].

(K4) Abbildung des zeitlichen Verlaufs und Trends von KPIs: Ein PPMS vergleicht aktuelle Werte gegen Soll- und Zielwerte, aber auch gegen historische Werte und berechnet Trends [28]. Gerade für die Interpretation der Messgrößen ist die Möglichkeit wichtig, die Entwicklung ihrer Ausprägungen über mehrere Perioden vergleichen und Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen einzelnen Einflussgrößen erkennen zu können [29]. Mit der Verfolgung von Performance über die Zeit lässt sich der Einfluss von Prozessverbesserungsmaßnahmen bewerten [22].

(K5) *Abbildung von Soll- und Ziel-Werten:* Ein Performanceindikator ist eine Messgröße, die quantitativ die Effektivität oder Effizienz im Prozess gegenüber einem Soll oder Ziel ausdrückt [31], [2]. Ein PPMS muss daher über einen geeigneten Mechanismus verfügen, Soll- und Zielwerte bzw. Zielerreichungsgrade für Performanceindikatoren setzen und verwalten zu können [3], [39].

(K6) *Definition von KPIs:* Eine Performancekennzahl ist im Wesentlichen durch drei Elemente charakterisiert: eine Einheit, eine Datenquelle und die Frequenz, mit der die Daten erhoben werden [4]. Neben der Art und Weise der notwendigen Datenerhebungen ist es ebenfalls wichtig, Regelungen des Informationsflusses festzulegen [29]. Dazu gehören beispielsweise Zugriffsrechte und die Beschreibung von Indikatoren. Ein PPMS muss diese Daten zu Performancekennzahlen abbilden können [39].

4 Konstruktionsergebnisse

4.1 Sprachbeschreibung zur Prozessanalyse als Ausgangspunkt

Ziel dieses Artikels ist es, eine Sprachbeschreibung für eine Modellierungssprache zu entwerfen, die sämtliche Anforderungen und Konstruktionsmerkmale eines PPMS allgemeingültig abbildet. Eingebettet in einer modellgestützten Methode für die Vorbereitung von Data-Mining-Analysen im Kontext diskreter Produktionsprozesse schlagen WIELAND und FISCHER [42] eine Sprachbeschreibung in Form eines Prozessmetamodells vor, das bereits alle für eine Prozessanalyse relevanten Komponenten enthält und deren Beziehungen und Regeln definiert. Mit Hilfe dieses Prozessmetamodells, das in Anlehnung an MFST [7], [16] die Anforderungen diskreter Produktionsprozesse sowie die Anforderungen an die Datenvorverarbeitung in Data-Mining-Projekten abdeckt [42], wird ein Produktionsprozess im Ist-Zustand modelliert. Neben der Ablaufstruktur des Prozesses ist speziell die Strukturierung von Prozessdaten sowie die Abbildung existierender Abhängigkeiten und vermuteter Ursache-Wirkungsbeziehungen das Ziel der Modellierung.

Mit der Prozessanalyse als wesentliche Informationsquelle eines PPMS soll nachfolgend die Sprachbeschreibung für eine modellgestützte Prozessanalyse in Form des Prozessmetamodells geprüft werden, inwieweit die in Kapitel 3 erarbeiteten Anforderungen und Konstruktionsmerkmale eines PPMS bereits abdeckt sind bzw. unterstützt werden.

Anforderungen

(A1) *Untersuchungsmöglichkeiten auf verschiedenen Detaillierungsstufen:* Das Prozessmetamodell bietet keinerlei Komponenten, um Aggregationsebenen zu modellieren und Aggregationsfunktionen zuzuordnen.

(A2) *Entscheidungsunterstützung:* Diese Anforderung kann nicht vollständig durch das Prozessmetamodell abgebildet werden. Ziel ist zwar die Abbildung prozessspezifischer Ursache-Wirkungsbeziehungen, was prinzipiell die Bereitstellung einer optimalen Menge und Qualität an Informationen zur Entscheidungsunterstützung unter-

stützt, allerdings fehlen Elemente, um Prozessbeteiligte zu modellieren, die mit dieser Information versorgt werden sollen.

(A3) *PPMS muss für interne und externe Zielgruppen nutzbar sein*: Für diese Anforderungen fehlen im Prozessmetamodell Elemente, um entsprechende Zielgruppen abzubilden zu können.

(A4) *Kopplung KPI und Prozessschritt*: Ein KPI kann als Merkmal interpretiert werden, für das es Ursache-Wirkungsbeziehungen gibt. Merkmale sind über Merkmalszuordnungen eines Objekttyps direkt mit den entsprechenden Prozessschritten verknüpft und lassen sich so direkt in Beziehung setzen.

Konstruktionsmerkmale

(K1) *Abbildung verschiedener Detaillierungs- und Aggregationsstufen sowie Verarbeitung unterschiedlicher Datengranularität*: Analog zu A1 bietet das Prozessmetamodell keine Elemente, um Aggregationsebenen zu modellieren und Aggregationsfunktionen zuzuordnen.

(K2) *Abbildung von Regeln und Zusammenhängen*: Die Beschreibung von (vermuteten) Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Merkmalen verschiedener Objekttypen lassen sich als Einfluss in Form von Implikationen zwischen Aussagen, die mittels Variablen, Konstanten, Funktionen und (mathematischen u. logischen) Operatoren definiert werden, im Prozessmetamodell beschreiben.

(K3) *Abbildung von nicht-monetären und weichen Faktoren*: Über das Skalenniveau lassen sich neben kardinalen Merkmalen auch nominal- und ordinalskalierte Merkmale modellieren. So lassen sich neben quantitativen Kennzahlen auch qualitative Faktoren im Prozessmetamodell abbilden.

(K4) *Abbildung des zeitlichen Verlaufs und Trends von KPIs*: Objekttypen abstrahieren individuelle Objekte im Produktionsprozess und beschreiben über zugeordnete Merkmale immer genau einen Objektzustand. Das zeitliche Auftreten eines solchen Zustands könnte im Prozessmetamodell als zusätzliches Merkmal abgebildet werden. Um aber Zeit explizit im Prozessmetamodell zu dokumentieren, fehlt ein entsprechendes Attribut.

(K5) *Abbildung von Soll- und Ziel-Werten*: Im Prozessmetamodell können für Merkmale Sollwerte und Toleranzen für Merkmalsausprägungen vorgegeben werden. So lassen sich in der späteren Analyse der tatsächlichen Merkmalsausprägungen der Prozessdaten untypische Ausreißer erkennen oder Zielerreichungsgrade bestimmen.

(K6) *Definition von KPIs*: Ein KPI kann prinzipiell als Merkmal interpretiert werden, für das Ursache-Wirkungsbeziehungen und damit andere Merkmale als Einflussgrößen identifiziert wurden. Allerdings gibt es im Prozessmetamodell kein Attribut, um ein spezielles Merkmal als Prozessergebnisgröße und damit als KPI zu kennzeichnen. Das Prozessmetamodell erlaubt die Zuordnung von Einheiten zu Merkmalen, allerdings fehlen Attribute zur Dokumentation der entsprechenden Datenquelle und der Analysefrequenz als weitere wesentliche Elemente eines KPIs.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Anforderung A4 sowie die Konstruktionsmerkmale K2, K3 und K5 bereits durch das Prozessmetamodell abge-

bildet werden können. Allerdings gibt es offene modellrelevante Anforderungen, die eine Erweiterung der Sprachbeschreibung notwendig machen.

4.2 Erweiterung der Sprachbeschreibung für ein PPMS

Basierend auf der Prüfung im letzten Abschnitt zeigt sich, dass nicht alle modellrelevanten Anforderungen und Konstruktionsmerkmale eines PPMS durch das Prozessmetamodell abgedeckt werden und es einer Erweiterung bedarf. Fig. 4. stellt das erweiterte Prozessmetamodell in Form eines Entity-Relationship-Modells dar. Hell hinterlegt sind dabei jene Sprachkonzepte, die ergänzt oder neu hinzugefügt wurden und nachfolgend näher erläutert werden.

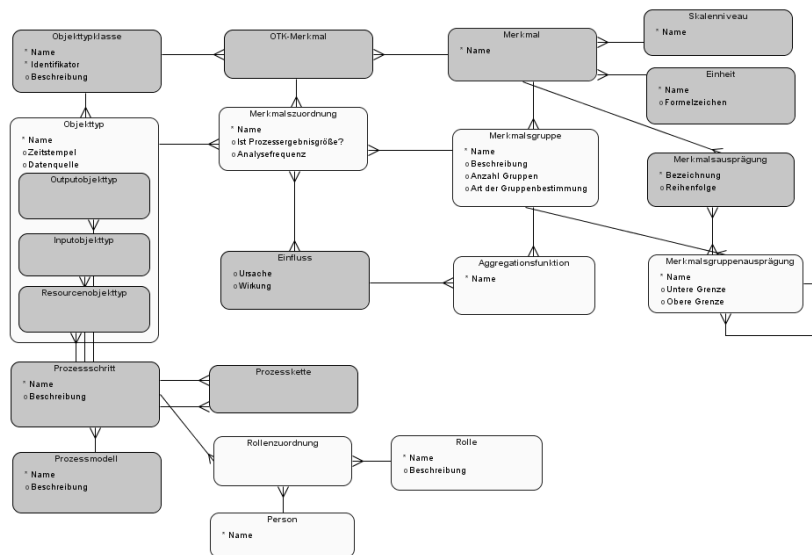


Fig. 4. Erweitertes Prozessmetamodell

Eine wesentliche Anforderung und entsprechendes Konstruktionsmerkmal eines PPMS ist die Abbildung verschiedener Detaillierungsstufen (A1 und K1). Daten müssen in unterschiedlichen Ebenen und unterschiedlicher Dimensionierung zur Verfügung stehen. Dabei muss die Aggregation der Daten unabhängig von ihrer Dimensionierung gewährleistet sein und ein logischer Zusammenhang zwischen den verschiedenen Ebenen bestehen. Im Prozessmetamodell werden Prozessdaten als **Merkmale** zu **Objekttypen** erfasst. Eine **Merkmalsgruppe** stellt einen Container zur Verfügung, um Ausprägungen eines Merkmals zu gruppieren. Durch Attribute (z.B. die Anzahl von Gruppen und Art der Gruppenbestimmung) lässt sich eine Merkmalsgruppe näher spezifizieren. **Merkmalsgruppenausprägungen** bilden dann konkrete Instanzen einer Merkmalsgruppe (siehe Fig. 5.).

Für kardinale-stetige Prozessdaten können für die Gruppengrenzen untere und obere Werte definiert werden. Auf diese Weise erfolgt eine Diskretisierung so skaliert

Daten. Für kardinal-diskrete, nominale und ordinale Merkmale können die zur Gruppenausprägung gehörigen **Merkmalsausprägungen** zugeordnet werden. Ausprägungen von Merkmalsgruppen können sich wiederum aus anderen Merkmalsgruppenausprägungen zusammensetzen und so neue Instanzen von Merkmalsgruppenformen. Es entsteht eine Parent-Child-Hierarchie, über die sich verschiedene Aggregationsstufen, die miteinander in logischer Beziehung stehen, abbilden lassen. Der Merkmalsgruppe kann dafür eine **Aggregationsfunktion** (z.B. Summe, Durchschnitt, Modalwert, Median, Maximum oder Minimum) zugeordnet werden, die in Abhängigkeit des entsprechenden **Einflusses** und der daraus resultierenden Additivität der Prozessergebnisgröße bestimmt, wie die Daten entlang der Hierarchie aggregiert werden sollen.

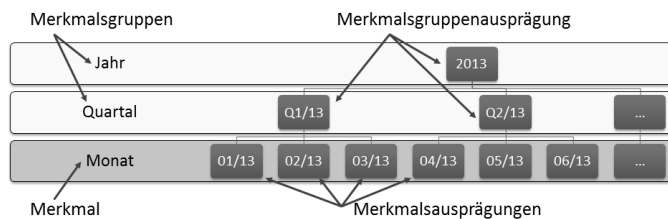


Fig. 5. Beispiel Merkmalsgruppentyp und Merkmalsgruppen

Eine weitere wichtige Anforderung an ein PPMS liegt in der Nutzbarkeit der Informationen für verschiedene Zielgruppen (A3). Auch bei der Forderung nach Entscheidungsunterstützung (A2) fällt der Bereitstellung entscheidungsrelevanter Informationen an die entsprechenden Prozessbeteiligten eine grundlegende Bedeutung zu. Dafür ist es wichtig, entlang des Prozesses die maßgeblichen Zielgruppen definieren zu können. Im Prozessmetamodell wird der Prozess in einer **Prozesskette** einzelner **Prozessschritte** abgebildet. Prozessbeteiligte können als **Person** über die **Rollenzuordnung** direkt einem Prozessschritt zugeordnet werden. Dabei kann eine Person verschiedene **Rollen** entlang eines Prozesses einnehmen, beispielsweise Verantwortlicher, Beteiligter, Adressat oder Datenlieferant.

Die Definition eines KPI (K6) ist im Wesentlichen durch drei Elemente charakterisiert: eine Einheit, eine Datenquelle und die Frequenz, mit der die Daten für die Analyse erhoben werden. Ein KPI kann dabei im Prozessmetamodell als **Merkmal** interpretiert werden, für das es einen **Einfluss** in Form von Ursache-Wirkungsbeziehungen gibt. Für die Modellierung entscheidungsrelevanter Merkmale wurde im Prozessmetamodell die **Merkmalszuordnung** um ein Attribut erweitert, das kennzeichnet, ob es sich um eine Prozessergebnisgröße handelt. Gleichzeitig kann an selber Stelle die Analysefrequenz dokumentiert werden. **Objekttypen** abstrahieren individuelle Objekte im Produktionsprozess und beschreiben über die zugeordneten Merkmale immer genau einen Objektzustand. Solche Prozessdaten kommen in der Regel von derselben Datenquelle. Daher kann diese am Objekttyp an zentraler Stelle für sämtliche zugeordneten Merkmale registriert werden.

Für die Abbildung des zeitlichen Verlaufs und Trends von KPIs (K4) muss im Prozessmetamodell für jeden Objektzustand die Zeit des Auftretens dokumentiert wer-

den. Das kann bereits durch ein entsprechendes zusätzliches Merkmal abgebildet werden, allerdings liegt es dann in der Verantwortung des Modellierers, ein solches Merkmal ins Prozessmodell aufzunehmen. Um die Zeit des Auftretens eines Objektzustandes explizit im Prozessmetamodell zu dokumentieren, wurde der **Objekttyp** im Prozessmetamodells um ein Zeitstempel-Attribut erweitert.

Mit den vorgestellten Erweiterungen des Prozessmetamodells lassen sich formal die modellrelevanten Anforderungen und Konstruktionsmerkmale eines PPMS in einer Sprachbeschreibung abbilden, die in dieser Form als zentrale Komponente einer modellgestützten Methode zur Konstruktion eines PPMS fungieren kann. Der folgende Abschnitt evaluiert die PPMS-Sprachbeschreibung und gibt einen Ausblick auf die weitere Forschungstätigkeit.

5 Evaluation und Ausblick

Ziel des Beitrags war der Entwurf einer Sprachbeschreibung zur Modellierung eines PPMS. Mit Hilfe einer systematischen Literaturrecherche wurden modellrelevante Anforderungen und Konstruktionsmerkmalen eines PPMS zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage abgeleitet [46]. Ausgehend von diesen Ergebnissen konnte das bestehende Prozessmetamodell [42] zur Sprachbeschreibung für ein PPMS erweitert und fertig konstruiert werden, was zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage führt.

Für eine weiterführende Entwicklung ist es jedoch notwendig, die finalisierte Sprachbeschreibung hinsichtlich ihrer korrekten Konstruktion auf Basis feststehender Anforderungen zu überprüfen [32]. Die Systematisierung von Evaluationsmethoden innerhalb der Wirtschaftsinformatik [32] bietet unterschiedliche Ansatzpunkte zur Evaluierung von entwickelten Artefakten.

Table 1 macht die Ergebnisse einer entsprechenden merkmalsbasierten Evaluation ersichtlich. Sowohl die Sprachbeschreibung für die Prozessanalyse [42] als auch ihre Erweiterungen können in Bezug auf die modellrelevanten Anforderungen an ein PPMS positiv merkmalsbasiert evaluiert werden. In Ergänzung zu dieser eher schwachen Evaluationsmethode kann konstatiert werden, dass die als Grundlage dienende Sprachbeschreibung für die Prozessanalyse zudem bereits durch die Verwendung in einer modellgestützten Methode mittels Prototyp erfolgreich evaluiert wurde (siehe [10]). Dieser Prototyp wurde um die aufgezeigten Sprachkonzepte und deren Beziehungen (siehe 4.2) erweitert. Damit liefert die entwickelte Sprachbeschreibung zur Modellierung eines PPMS einen wesentlichen Baustein in der Konstruktion einer modellgestützten Methode zum Aufbau eines entsprechenden analytischen Informationssystem. Jedoch werden für eine ganzheitliche Evaluation der erweiterten Sprachbeschreibung noch Prozessbeschreibungen für die Modellerstellung, -transformation und -nutzung benötigt, die in nachfolgenden Forschungstätigkeiten entstehen sollen. Zusammenfassend sind die Anforderung A4 und die Konstruktionsmerkmale K2, K3 und K5 vollständig evaluiert. Hingegen können A1, A2, A3 sowie K1, K4 und K6 erst nach erfolgreicher Integration der erweiterten Sprachbeschreibung in eine modellgestützte Methode mittels Fallbeispiel evaluiert werden.

Table 1. Merkmalbasierte Evaluation

Abk.	Anforderungen / Konstruktionsmerkmale	Sprachbeschreibung [42]	Erweiterte Sprachbeschreibung
A1	Untersuchungsmöglichkeiten auf verschiedenen Detaillierungsstufen		X
A2	Entscheidungsunterstützung		X
A3	PPMS muss für interne und externe Zielgruppen nutzbar sein		X
A4	Kopplung KPI und Prozessschritt	X	
K1	Abbildung verschiedener Detaillierungs- und Aggregationsstufen sowie Verarbeitung unterschiedlicher Datengranularität		X
K2	Abbildung von Regeln und Zusammenhängen	X	
K3	Abbildung von nicht-monetären und weichen Faktoren	X	
K4	Abbildung des zeitlichen Verlaufs und Trends von KPIs		X
K5	Abbildung von Soll- und Ziel-Werten	X	
K6	Definition von KPIs		X

References

1. Aydogan, E.K.: Performance measurement model for Turkish aviation firms using the rough-AHP. *Expert Systems with Applications*, No. 38, 3992-3998, (2011)
2. Berrah, L. et al.: Monitoring the improvement of an overall industrial performance. *Omega*, No. 36, 340-351, (2008)
3. Bourne, M. et al.: Designing, implementing and updatation performance measurement systems. *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 20, pp. 754-771, (2003)
4. Buchheim, R.K.: Developing performance metrics for a design engineering department. *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 47, No. 3, 309-320, (2000)
5. Cleven, A. et al.: Process performance measurement - a systematic problem analysis and identification of design principles. *International Journal of Organisational Design and Engineering*, No. 3, 227-249, (2012)
6. Dangelmaier, W.: *Theorie der Produktionsplanung und -steuerung*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg (2009)
7. Dangelmaier, W., Felser, W.: Ganzheitliche Modellierung von Fertigungsprozessen. Ein erster Schritt bei der Konstruktion unternehmensspezifischer Fertigungssteuerungssysteme. *The Electronic Library of Mathematics* 1994, 34-48, (1994)
8. Del-Rio Ortega, A. et al.: On the definition and design-timeanalysis of process performance indicators. *Information Systems*, No. 38, 470-490, (2013)
9. El-Baz, M.A.: Fuzzy performance measurement of a supply chain in manufacturing companies. *Expert Systems with Applications*, No. 38, 6681-6688, (2011)

10. Fischer, M. et al.: Industrie 4.0 und Data-Mining-Projekte - interdisziplinäre Zusammenarbeit von Ingenieuren und Datenanalysten im Produktionsprozess. In: Tagungsband der MKWI 2014, 167-180, (2014)
11. Fettke, P.: State-of-the-Art des State-of-the-Art“. *Wirtschaftsinformatik*, Vol. 48, No. 4, 257-266, (2006)
12. Glavan, L.: Understanding Process Performance Measurement Systems. *Business Systems Research*, Vol. 2, No. 2, 4–50, (2012)
13. Gleich, R.: Performance Measurement. Konzepte, Fallstudien und Grundschema für die Praxis. 2. Aufl., Verlag Franz Vahlen, München, (2011)
14. Grob, H.L. et al.: Regelbasierte Steuerung von Geschäftsprozessen–Konzeption eines Ansatzes auf Basis von Process Mining. *Wirtschaftsinformatik*, Vol. 50, No. 4, 268-281, (2008)
15. Großmann, K., Wiemer, H., Weller, J., Großmann, K.K.: Reproduzierbare Fertigung in innovativen Prozessketten. Konzeption eines Beschreibungs- und Analysetools (Teil 2). *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 105, 954–958, (2010)
16. Großmann, K., Wiemer, H.: Reproduzierbare Fertigung in innovativen Prozessketten. Besonderheiten innovativer Prozessketten und methodische Ansätze für Ihre Beschreibung, Analyse und Führung (Teil 1). *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 105, 855–859, (2010)
17. Grosswiele, L. et al.: A decision framework for the consolidation of performance measurement systems. *Decision Support Systems*, No. 54, 1016-1029, (2012)
18. Hahn, A., Zwerger, G.: Performance Measurement Software Tools. *HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik*, Vol. 227, 97-102, (2002)
19. Hesse, W., Mayr, H-C.: Modellierung in der Softwaretechnik: eine Bestandsaufnahme. *Informatik-Spektrum*, Vol. 31, No. 5, 377-393, (2008)
20. Hilbert, A., Wieland, U.: Business-Intelligence-Konzepte im operativen Kontext. *WISU - Das Wirtschaftsstudium* 42, Nr. 10, 1295-1302, (2013)
21. Hoopes, B. J., Triantis, K. P.: Efficiency performance, control charts, and process improvement: complementary measurement and evaluation. *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 48, No. 2, 239-253, (2001)
22. Jain, S. et al.: Manufacturing performance measurement and target setting: A data envelopment analysis approach. *European Journal of Operational Research*, Vol. 214, No. 3, 616-626, (2011)
23. Janiesch, C. et al.: Beyond process monitoring: a proof-of-concept of event-driven business activity management. *Business Process Management Journal*, Vol. 18, No. 4, 625-643, (2012)
24. Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V., München, (2013)
25. Kiener, S., Maier-Scheubeck, N., Obermaier, R., Weiß, M.: *Produktions-Management. Grundlagen der Produktionsplanung und –steuerung*, Oldenbourg Verlag, München, (2012)
26. Kitchenham, B.: Procedures for performing systematic reviews. *University*, Keele, 33, (2004)
27. Kueng, P.: Process performance measurement system: a tool to support process-based organizations. *Total Quality Management*, Vol. 11, No. 1, 67-85, (2000)
28. Kueng, P., Krahn, A. J.: Building a process performance measurement system: some early experiences. *Journal of Scientific and Industrial Research*, Vol. 58, 149-159, (1999)
29. Kudernatsch, D.: Performance Measurement im IT-Management. *HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik*, No. 227, 56-66, (2002)

30. Lauras, M.: Towards a multi-dimensional project performance measurement system. *Decision Support Systems*, Vol. 48, No. 2, 342-353, (2010)
31. Lohman, C. et al.: Designing a performance measurement system: a case study. *European Journal of Operational Research*, Vol. 156, No. 2, 267-286, (2004)
32. Riege, C., Saat, J., Bucher, T.: Systematisierung von Evaluationsmethoden in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. In: Becker, J., Krcmar, H., Niehaves, B.: *Wissenschaftstheorie und gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik*. Physica-Verlag, Heidelberg (2009)
33. Robson, I.: From process measurement to performance improvement. *Business Process Management Journal*, Vol. 10, No. 5, 510-521, (2004)
34. Schäfer, A. et al.: Big Data – Vorsprung durch Wissen. Fraunhofer-Institut für intelligente Analyse- und Informationssysteme Sankt Augustin, (2012)
35. Schermann, M. et al.: Big Data – Eine interdisziplinäre Chance für die Wirtschaftsinformatik. *Wirtschaftsinformatik*, No. 5, 281-287, (2014)
36. Spath, D., Weisbecker, A.: Potenziale der Mensch-Technik Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von Morgen. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, (2013)
37. Weller, J. et al.: Modellierung in der Produktionstechnik: Ein Ansatz zur effektiven Generierung von Technologie-Know-how für die Absicherung einer reproduzierbaren Fertigung. In: Esswein, W., Jührisch, M., Turowski, K.: *Modellierung betrieblicher Informationssysteme*. *Modellgestütztes Management*, 69–86 (2010a)
38. Weller, J.: *Modellgestützte Prozessverbesserung. Entwicklung einer wiederverwendungsorientierten Methode zur durchgängigen Unterstützung der Modellerstellung, -transformation und -nutzung im Rahmen der Prozessverbesserung*. Dissertation, Technische Universität Dresden, (2010b)
39. Wettstein, T. et al.: Performance Measurement als Ausweg aus dem Information Overload: Ein zielorientierter Ansatz. *HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik*, No. 222, 49-58, (2001)
40. Wiedenmann, H.: *Modellierung von Produktionsprozessen als Beitrag zur Generierung von Termin- und Kapazitätsplanungs-Systemen bei variantenreicher Serienfertigung*. Jost-Jetter Verlag, Heimsheim, (2001)
41. Wand, Y., Weber, R.: Research Commentary: Information Systems and Conceptual Modeling - a Research Agenda. *Information Systems Research* 13, 363–377, (2002)
42. Wieland, U., Fischer, M.: Zur methodischen Vorbereitung von Data-Mining-Projekten unter Verwendung von CRISP-DM im Kontext diskreter Produktionsprozesse. In: H. Baars (Hrsg.), *Tagungsband zum fünften Workshop Business Intelligence: Innovationsstränge in der Business-Intelligence-Forschung*, 91-107, (2013)
43. Wieland, U., Fischer, M., Hilbert, A.: Prozessverbesserung im Kontext von Industrie 4.0 – ein Geschäftsmodellansatz für IT-Unternehmen. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, Nr. 292, 63-72, (2013a)
44. Wieland, U., Fischer, M., Hilbert, A.: Menschliches Expertenwissen und Prozessdaten im Verbund – Six Sigma und Data Mining im Kontext von Industrie 4.0. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, Nr. 294, 66-75, (2013b)
45. Wieland, U., Fischer, M., Hofinger, S.: Six Sigma und Data Mining - Diskrete Produktion eines Sensorherstellers. *BI-Spektrum*, Nr. 05/13, 31-33, (2013c)
46. Wieland, U. et al.: Process Performance Measurement System – towards a customer-oriented solution. *Business Process Management Journal*, Vol. 21, Iss. 2, (2015)
47. Xirogiannis, G., Glykas, M.: Fuzzy cognitive maps in business analysis and performance-driven change, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 51, No. 3, 334-351, (2004)