

Über den Umgang mit modellabhängigen Komponenten: Verfeinerungen und ihre Auswirkungen

Michaela Helbig¹, Jens Weller², Hajo Wiemer³ und Gunnar Dietz⁴

Abstract: Die Modellierung von Prozessen spielt in vielen Bereichen eine große Rolle. Dieser Artikel beschäftigt sich damit, was geschieht, wenn ein Modell nicht nur visualisiert, sondern für sich anschließende Aufgaben weiter verwendet wird. In diesem Fall sind weitere Komponenten von dem Modell abhängig und Modellmodifikationen sind nicht mehr trivial. Eben diese Schwierigkeiten treten bei der Verwendung einer im produktionstechnologischen Projektumfeld entstandene Methode auf. Das Beispiel der Verfeinerung von Modellen innerhalb dieser Methode soll zeigen, welche Auswirkungen aus derartigen Abhängigkeiten zu Modellelementen resultieren.

Keywords: Prozessmodellierung, Verfeinerung, modellbasierte Methode

1 Einleitung

In diesem Artikel wird eine Methode aufgegriffen, die im produktionstechnologischen Umfeld für die Entwicklung und Verbesserung von Prozessen entwickelt wurde und deren zentraler Bestandteil in der Prozessmodellierung liegt. Die Modelle bilden die Grundlage für weiterführende Betrachtungen und ganzheitliche Analysen, d.h. sie sind direkt mit anderen Komponenten der Methode verknüpft. Im ersten Teil dieser Arbeit sollen daher grundlegende Erläuterungen über die Ausgangssituation, die Modellierung selbst und ihre Rolle getroffen werden (Kapitel 2). Nach der Erprobung der Methode tritt zunehmend das Bedürfnis nach einer Möglichkeit der hierarchischen Verfeinerung von Prozessen auf. Dieses Beispiel wird im Weiteren (Kapitel 3) dazu verwendet, die Problematik der Modellmodifikation unter Berücksichtigung der modellabhängigen Komponenten zu erörtern. Dieses Kapitel beschäftigt sich zu Beginn mit theoretischen Grundlagen von Modellverfeinerungen und geht danach im Speziellen auf die Gründe, die Auswirkungen und Lösungsansätze sowie die Risiken von derartig gebundenen Modellen ein. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung und dem Ausblick auf zukünftige Vorhaben.

¹ TU Dresden, IWM, 01062 Dresden, michaela.helbig@tu-dresden.de

² Symate GmbH, Wittenberger Str. 97, 01277 Dresden, jens.weller@symate.de

³ TU Dresden, IWM, 01062 Dresden, hajo.wiemer@tu-dresden.de

⁴ TU Dresden, IWM, 01062 Dresden, gunnar.dietz@tu-dresden.de

2 Motivation und Ausgangssituation

2.1 Voraussetzungen im Projektumfeld

Die Verbesserung und Weiterentwicklung technologischer Prozesse spielt bei der Entwicklung industrieller Produkte eine immer stärkere Rolle. Vor diesem Hintergrund wurden im produktionstechnischen Sektor verschiedene Projekte initiiert, in denen sich jeweils Teilprojekte damit auseinandersetzen, ein datengetriebenes Vorgehen für die effektive Entwicklung und Verbesserung technologischer Prozesse auf Basis von Daten aus und zur Produktion zu erarbeiten. Die entwickelte Methodik ist in Abb. 1 skizziert.

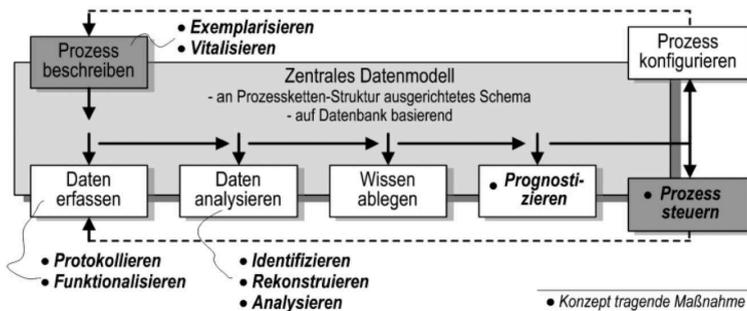


Abb. 1: Methode zur effektiven Entwicklung und Verbesserung produktionstechnischer Prozesse [GW10]

Fertigungsprozesse werden in diesem Ansatz auf operativer Ebene abgebildet. Dazu werden von den am Fertigungsprozess beteiligten Elementen hinsichtlich einer Verbesserungszielstellung relevante Daten berücksichtigt. Dies sind zunächst die festgelegten Bewertungsgrößen am Produkt und schließlich die darauf wirkenden Einflüsse, welche meist Einstellparameter an Maschinen, Eigenschaften der eingehenden Halbzeuge und oft auch Störgrößen u.a. aus der Umgebung sind. Diese Eigenschafts- und Einflussgrößen liegen in den Unternehmen in unterschiedlichen Datenqualitäten vor. Mit Hilfe eines grafischen Modelles wird der Fertigungsprozess mit seinen Elementen und deren Parametern notiert. Darauf aufbauend werden die Daten aus relevanten Quellen wie Messgeräten und Maschinen, Qualitätssicherungssystemen, Lieferscheinen, Anlagen- und Laborbüchern sowie Erfahrungen des Personals eingesammelt, in eine systematische und elektronisch verarbeitbare Form gebracht und in eine zentrale, analysefähige Datenbasis überführt [Wi13].

Wie bereits anhand der kurzen Methodenbeschreibung ersichtlich, spielt die Modellierung eine grundlegende Rolle in diesem Konzept, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll.

2.2 Nutzung von Prozessmodellen

Modellbegriff

Für den Begriff des Modells existiert eine Vielzahl von Definitionen. Eine weit verbreitete Definition ist die nach Schütte [Sc98], nach der ein Modell „das Ergebnis einer Konstruktion eines Modellierers, der für Modellnutzer eine Repräsentation eines Originals zu einer Zeit als relevant mit Hilfe einer Sprache deklariert [...]“ ist. Ebenso kann die Definition nach Stachowiak [St73] herangezogen werden, der über das Abbildungs-, das Verkürzungs- und das pragmatische Merkmal ein Modell eingrenzt. Diese Definitionen sind nicht domänengebunden, das heißt sie sind in der Informatik bzw. Wirtschaftsinformatik genau so zutreffend wie für die Beschreibung produktionstechnologischer Prozesse.

Modellierungssprache und -vorgehen

Die für die Umsetzung des beschriebenen Konzeptes verwendete Modellierungssprache basiert auf dem Input-Throughput-Output-Ansatz. Das heißt, entlang des Materialflusses geht Material mit Anfangseigenschaften in einen Prozess ein, beim Durchlaufen des Prozesses werden die Materialzustände unter Wirkung von Einflüssen der Fertigungsmittel und Umgebung verändert, so dass aus dem Prozess Produkte mit Endeigenschaften austreten. Die entwickelte Modellierungssprache ist eine semi-formale Sprache [Fr99], die auf Basis von [DW97] nach domänenspezifischen Gegebenheiten an die Anforderungen des Konzeptes der modellgestützten Methode angepasst wurde (u.a. in [Gr11]).

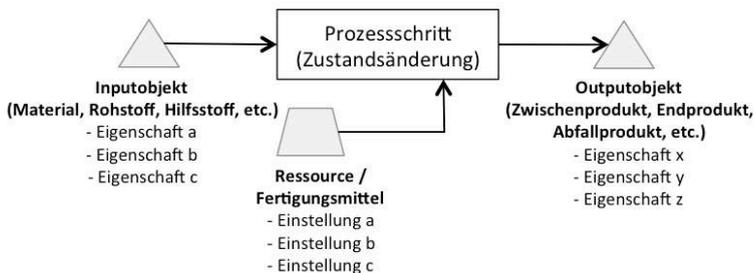


Abb. 2: Elemente der Modellierungssprache (vereinfacht)

Die Grundstruktur der Sprache ist Abb. 2 zu entnehmen. Die Modellierung eines produktionstechnologischen Prozesses läuft damit wie folgt ab:

Während der Modellierung beschreiben die Nutzer den zu untersuchenden Prozess, indem zunächst das Produkt (das Prozessergebnis) mit den zugehörigen Zieleigenschaften, die schließlich der Prüfung und Optimierung unterliegen, betrachtet wird. In den weiteren Modellierungsschritten erfolgt die Abbildung der relevanten Prozessschritte, die den Untersuchungsraum darstellen. Die Untergliederung des

Prozesses erfolgt zweckmäßig entsprechend der Untersuchungsaufgabe. Die Auflösung des Modells kann von einer groben Prozessdarstellung wie einer Lieferkette bis zu einer sehr detaillierten Darstellung wie für einen Operationsablauf in einer Anlage reichen. Zwischen den Prozessschritten werden entsprechend der Sprachdefinition Materialobjekte als Zwischenergebnisse definiert. Wichtig hierfür ist die praktikable Prüfbarkeit der Zwischenergebnisse als Voraussetzung der Datenerfassung und –analyse.

Für jeden Prozessschritt werden die auf die geforderten Eigenschaften des Prozessergebnisses bzw. –zwischenergebnisses wirkenden Einflussparameter definiert. Dieser Modellierungsschritt ist stark erfahrungsgeprägt und erfolgt häufig in einer Gruppe von Fachleuten unterschiedlicher Bereiche, die Schnittstellen zum behandelten Prozess haben. Das können beispielsweise der Technologe, der Maschineneinrichter und –bediener, der Produktionsleiter, der Qualitätsbeauftragte und der Einkäufer sein. Bereits hier wird deutlich, welche unterschiedlichen Sichtweisen auf die produktionstechnologische Prozesskette berücksichtigt werden müssen. Daraus ergeben sich bereits unterschiedliche Fragestellungen, die mit den modellbasierten Untersuchungen behandelt werden müssen.

Rolle der Modellierung im Kontext der verwendeten Methode

Gemäß des Vorgehens innerhalb der zugrundeliegenden Methode, generieren die modellierten Eigenschaften und Einstellungen im nächsten Schritt die Unterpunkte, die Grundlage für die Erfassung in der Datenbank sind. Je nach Datencharakter wird in der Umsetzung eine Erfassungsmaske für die Durchführung des Prozesses generiert oder die (aus bspw. der Maschinensteuerung ausgelesenen) Daten werden direkt in die Datenbank geschrieben und sind somit ebenfalls mit dem Modell verknüpft. Für jede tatsächlich durchgeführte Prozessinstanz können somit Daten erfasst werden und abschließend auf Basis der Modellstruktur über alle Prozessschritte hinweg ausgewertet werden.

Das methodische Konzept basiert (wie bereits in Abb. 1 ersichtlich) auf einem zentralen Datenmodell einer Datenbank, welches mit Hilfe eines Prozessmodells konfiguriert wird und somit den Ausgangspunkt der Generierung und Nutzbarmachung des Prozesswissens darstellt. Somit entstehen Abhängigkeiten zu weiteren Methodenkomponenten (Daten, Analysen, etc.), welche Modellmodifikationen erschweren. Die Zusammenhänge zwischen Modell, Datenbankstruktur und Prozessdaten sind schematisch in Abb. 3 zu sehen.

Die Modellierungssprache bildet den produktionstechnologischen Prozess ab, dient der ingenieurgerechten Beschreibung der prozessrelevanten Zusammenhänge und hilft beim Erzeugen des Prozessverständnisses. Während der experimentellen Untersuchungen oder während der Fertigung werden, zum Zwecke der Protokollierung, Prozessdaten zu den einzelnen Prozessschritten und –zyklen in die durch das Prozessmodell vorgegebene Struktur als Instanzdaten gesammelt.

Die Prozessbeschreibung bildet zudem die Grundlage für weitere methodische Maßnahmen wie Versuchsplanung, Datenanalyse sowie Generierung und Nutzbarmachung von Prozesswissen. Das Prozesswissen wird beispielsweise zur

Prognose und Steuerung des Prozessverhaltens sowie zur Prozesskonfiguration während der Planung angewendet. Methode, Modellierungssprache und Anwendungsbeispiele sind u.a. in [GW10], [Gr10] und [GW11] detailliert beschrieben.

Die Erfassung und Analyse entlang der im Modell festgelegten Prozesskette ermöglicht eine ganzheitliche Prozessbetrachtung über mehrere Prozessschritte und über komplexe Einflussbereiche hinweg. Die ganzheitliche Prozessbetrachtung erlaubt ebenso die Analyse von alternativen Prozessvarianten (sofern diese modelliert wurden), und bietet somit die Grundlage für die Optimierung in der Fertigungsprozessplanung.

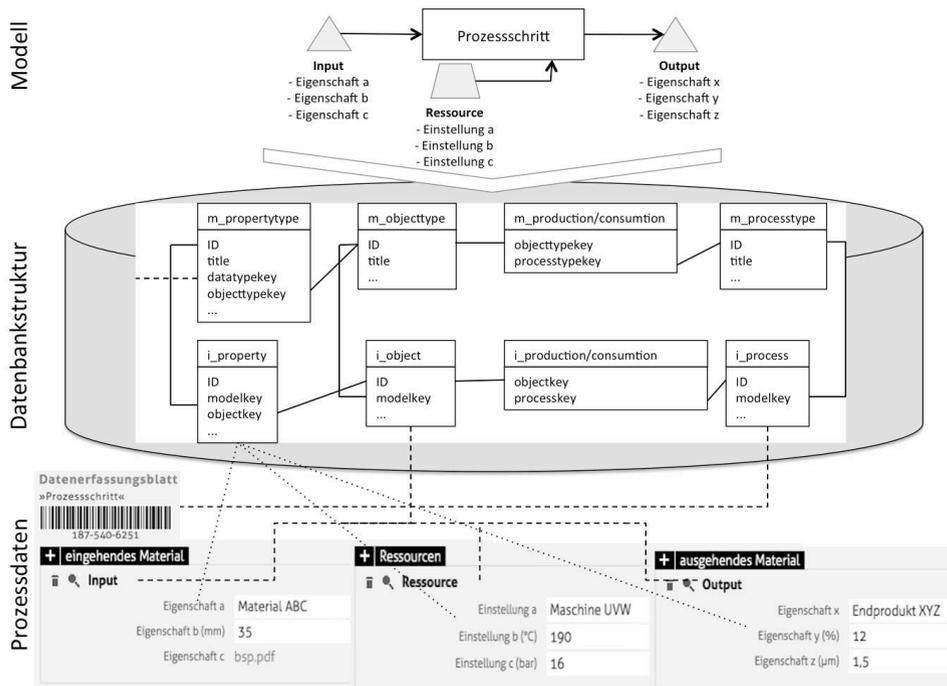


Abb. 3: Abhängigkeiten zwischen Modellkomponenten und Daten (stark vereinfacht)

Die einerseits im Rahmen der Folgenutzung gewinnbringende Verknüpfung der Modelle zu Daten etc., sorgt andererseits für einen erschwerten Umgang mit den Modellen. Aktivitäten im Rahmen der Modellierung sind demnach bei der Verwendung der ganzheitlichen Methodik deutlich weniger trivial als im Bereich der „Nur“-Modellierung. Die beiden oberen Ebenen in Abb. 3 bieten keinerlei Schwierigkeiten im Umgang mit Änderungen. Diese werden durch den Einsatz geeigneter Konzepte von (Modell-) Change bzw. Konfigurationsmanagement [Th07] abgedeckt. Die eigentliche Problematik ergibt sich erst im Umgang mit der Verknüpfung zu den realen Prozessdaten. Ausgehend von direkten Projektanforderungen wurde im Folgenden die Verfeinerung von Prozessmodellen als Beispiel für die Untersuchung zu beachtender

Einflüsse im Umgang mit modellabhängigen Komponenten (in diesem Artikel beschränkt auf Daten) gewählt.

3 Modellverfeinerung im Methodenkontext

Es konnten bereits gute Erfahrungen mit dem oben genannten Ansatz gemacht werden. Zunehmend entstehen jedoch Anforderungen, die Modellierung auf verschiedenen Ebenen durchführen zu können, wofür die derzeitige Modellierungssprache entsprechend erweitert werden soll. Im Folgenden soll daher der Fokus auf der Verfeinerung (top-down) und äquivalent, aber nicht explizit benannt, auf die Vergrößerung (bottom-up) von Prozessmodellen und deren Auswirkungen liegen. Hierzu wird ein kurzer Einblick in die theoretischen Grundlagen innerhalb der Modelltheorie gegeben (3.1). Anschließend wird untersucht, wie es innerhalb der Methodennutzung zu möglichen Modellverfeinerungen kommt (3.2), was diese für Auswirkungen haben und wie ggf. darauf reagiert werden kann (3.3) sowie welche Risiken dabei bestehen (3.4).

3.1 Theoretische Grundlagen

In der Modellierung wird das Prinzip der Verfeinerung (ebenso wie der Vergrößerung) häufig verwendet. Eine genaue Definition was darunter zu verstehen ist, wird jedoch selten gegeben. Aus Sicht der Wortherkunft bedeutet Verfeinerung etwas feiner, besser und exakter zu machen [Du15]. In anderen Worten heißt das (mit Bezug zur Modellierung), das ein Sachverhalt präzisiert wird.

Betrachtet man exemplarisch Petri-Netze [Ba96] als eine Form der Modellierung, so wird auch da bereits mit den Konzepten der Verfeinerung und Vergrößerung gearbeitet. Unter einer Verfeinerung wird dabei eine Konkretisierung der inneren Struktur einer Transition oder Stelle verstanden. Sie ist das Gegenstück zur Vergrößerung. Der Einsatz von Verfeinerung und Vergrößerung ist abhängig vom gewünschten Abstraktionsgrad und führt zu keiner Änderung im Grundverhalten des Systems.

Neben der Betrachtung von Systemmodellen (Petri-Netz), kann man die Konzepte von Verfeinerung und Vergrößerung in ähnlicher Form auch in der Modellierung von (Software-)Systemen finden. Ein Beispiel hierfür ist die UML. In der Spezifikation der Sprache [OM13] wird u.a. bei der Nutzung von Aktivitätsdiagrammen die Funktion „refine“, also verfeinern umgesetzt. Darunter wird eine Beziehung zwischen Modellelementen verschiedener semantischer Ebenen verstanden. Es bestehen „Abstraction Dependencies“ zwischen den einzelnen Modellen. Die Verfeinerung hat auch in diesem Fall keinen direkten Einfluss auf den Modellinhalt, das heißt jedes Modell ist für sich gesehen komplett, beschreibt jedoch den gleichen Prozess wie eine Verfeinerung/Vergrößerung.

Die Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS) nach Scheer [Sc13], welche

einen Ordnungsrahmen für Geschäftsprozessmodelle unter verschiedenen Sichten liefert, stellt ein weiteres Beispiel dar. Innerhalb der Prozesssicht wird die sogenannte (erweiterte) Ereignisgesteuerte Prozesskette (e)EPK genutzt. Innerhalb der EPK gibt es ebenfalls ein Konzept, welches eine hierarchische Untergliederung von Prozessmodellen erlaubt. Der Prozesspfad (Viereck mit dahinterliegendem Sechseck) steht an der Stelle einer Funktion und repräsentiert einen Wegweiser zu einem detaillierteren Prozessmodell, welches (umklammert durch Prozesspfadelemente) aus dem gleichen Eingangsereignis hervorgeht wie der Prozesspfad und im gleichen Ereignis endet wie das vereinfachte Prozessmodell. Der Prozesspfad bildet somit den Aufruf eines Teils des Hauptmodells, welcher auf übergeordneter Ebene ausgeblendet ist, sowie dem Wegweiser zurück in das Hauptmodell. Der Prozesspfad kann daher genutzt werden, um komplexe Sachverhalte aus dem eigentlichen Prozessmodell auszulagern, aber auch um die Übersichtlichkeit im Modell zu wahren oder mehrere Aktivitäten zu gruppieren.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es sich bei der Verfeinerung um ein Konzept zum hierarchischen Umgang mit komplexen Aktivitäten handelt, bei dem miteinander verbundene (Teil-)Modelle semantisch gleiche Prozesse auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus darstellen.

3.2 Gründe für Verfeinerungen

Verfeinerungen eines Modells im Kontext der Methode für die effektive Entwicklung und Verbesserung von produktionstechnologischen Prozessen werden i.d.R. aus Darstellungs- oder Übersichtsgründen angelegt. In diesem Fall kann der Prozess beschrieben oder das Modell besser als Kommunikationsgrundlage genutzt werden. Dies ist der einfachste Fall einer Verfeinerung, solange diese nicht zum Zwecke der Datenerhebung genutzt wird. Da die Modellierung innerhalb des methodischen Ansatzes jedoch Basisbestandteil eines ganzheitlichen Konzeptes ist und damit der Annahme unterliegt nicht separat angewendet zu werden, ergeben sich weitere Gründe für die Erstellung von Verfeinerungen daraus, dass weitere Prozessebenen in die Erfassung und Analyse miteinbezogen werden sollen. Die Nutzung verschiedener Kontextebenen wie in Abb. 4 dargestellt, ist ein Grund für den Bedarf an Modellverfeinerungen, da je nach betrachteter Kontextebene verschiedene Informationen relevant sind oder gar deren Zugang verwehrt werden soll.

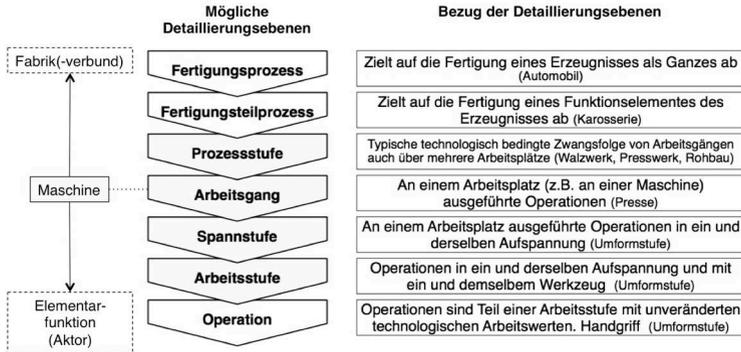


Abb. 4: Kontextebenen aus der Fertigungsprozessgestaltung [JD02]

Zusätzlich zu kontextbasierten Gründen können auch administrative bzw. methodische Gründe anfallen, die eine Verfeinerung der Prozessmodelle notwendig machen. Die folgende Auflistung (basierend auf Projekterfahrungen) fasst die unterschiedlichen Möglichkeiten für Verfeinerungsursachen noch einmal zusammen:

- Übersichtlichkeit, bessere Darstellung
- teilweise unterschiedliche Erfassungsebenen benötigt (z.B. Maschinendaten vs. manuelle Erfassung); Auswertung dann in verschiedenen Ebenen und/oder aggregiert gefordert
- Aufgabenverteilung (jeder sieht nur die für ihn relevanten Ebenen und dazugehörigen Details; aber auch bspw. zum Generieren von Handlungsanweisungen, in denen eine detailliertere Beschreibung notwendig ist)
- Integration von Maschinensteuerung (feingranulare Verfeinerung bis auf Maschinenschritzebene)
- Fabrikplanung (Betrachtung auf höherer Ebene)
- Logistikkbetrachtung (Integration von Umgebungsbedingungen und Interaktionseffekten u.a. in Lager- und Transportprozessen)
- Wiederverwendung (z.B. für den Technologietransfer [Wi2013] einzelner Elementarprozesse)

Aus den identifizierten Gründen lässt sich ableiten, welche Modellelemente von einer Verfeinerung betroffen sein können. Die klassische Verfeinerung, bei der Prozesse in feingranulare Prozessschritte mit detaillierteren Eigenschaften zerlegt werden, ist vermutlich der häufigste Anwendungsfall. Darüber hinaus ist es sinnvoll Ressourcen in Baugruppen o.ä. zerlegen zu können oder Umgebungsbedingungen genauer zu detaillieren. Diese Möglichkeiten lassen sich direkt aus der Modellierung ableiten. Auch eine verfeinerte Betrachtung von Eigenschaften (deren Werte bspw. auf höchster Ebene kumuliert werden) ist denkbar. Unter Einbezug der Kontextebenen wird deutlich, dass nicht jeder Grund zwingend zu einer Verfeinerung des Prozessmodells (und somit zu

einer anderen Sicht auf das Modell) führt, sondern vielmehr auch zu anderen Lösungen führen kann. Für verschiedene Szenarien ist darüber nachzudenken, die bisherige Modellstruktur aufzuweichen bzw. auf unterschiedlichen Ebenen jeweils andere Modellierungssprachen zu verwenden (z.B. Zustandsautomaten auf Operationsebene). Diese Möglichkeiten sollen im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet werden. Der Fokus liegt hier auf der Verfeinerung von Modellen innerhalb einer Sprache.

3.3 Auswirkungen und Lösungsvorschlag

Die Verfeinerung bildet demnach eine Sonderform, in der Strukturänderungen durch das Hinzufügen und Ändern von Elementen vorgenommen werden, da hierbei „unechte“ Alternativen modelliert werden. Die Verfeinerung auf höchster Ebene verfolgt somit das gleiche Ziel (produktionstechnisch gesehen), wie die auf niedrigster, stellt nur je nach Verfeinerungsstufe einen anderen Detaillierungsgrad des Prozesses dar. Das heißt das es bspw. in der Prozessumsetzung nur eine Möglichkeit (keine „echte“ Alternative), aber je nach Verfeinerungsgrad im Prozess mehrere alternative Möglichkeiten („unechte“ Modellalternative) für die Erfassung gibt. Wie anhand dieser kurzen Einführung gezeigt, ist eine Modellverfeinerung innerhalb der Methode weniger trivial als eine bloße Verfeinerung der Beschreibung der Abläufe in der (Geschäfts-)Prozessmodellierung. Ein treffenderer Vergleich wäre bspw. die Modifikation von Meta-Modellen. In so einem Fall müssen ebenfalls Konzepte entwickelt werden, wie die darauf basierenden Folgefunktionen zu reagieren haben. Auf den Gründen für Modellverfeinerungen in der Produktionstechnik aufbauend, sind betroffene Elemente identifiziert worden. Die genaue Betrachtung der Konsequenzen führt im Folgenden zu der Ableitung von möglichen Lösungsansätzen.

Wird ein Prozessmodell aus genannten Gründen verfeinert oder vergrößert, können sich folgende Szenarien ergeben:

1. Es sind keine Daten zum Modell vorhanden und eine Erfassung ist nicht geplant.
2. Es sind noch keine Daten vorhanden, aber eine Erfassung ist geplant.
3. Es sind bereits Daten erfasst.

Im ersten Fall handelt es sich um eine unkritische Modellmodifikation, da dieses anscheinend nur zu Beschreibungszwecken genutzt wird. Eine Dokumentation der Veränderung im normalen Modell-KM [Th07] ist ausreichend. Im zweiten und dritten Fall müssen Konzepte für die Erfassung von Daten diskutiert werden. Beim dritten Szenario kommt außerdem hinzu, dass Möglichkeiten der Migration bestehender Daten in Betracht gezogen werden müssen.

Anhand von Abb. 5 soll daher zunächst diskutiert werden, welche zu berücksichtigenden Aspekte aus den dargestellten Verfeinerungsfällen für die Modellierung und den Umgang mit Daten resultieren.

Modellierung

Aus einem Prozessobjekt A werden mehrere Prozessschritte z.B. A.1 und A.2 sowie im Folgenden A.2.1 und A.2.2 aus A.2 werden. Anfang und Ende jeder Verfeinerung bleibt das Objekt was vor der Verfeinerung in den Prozess ein- bzw. aus dem Prozess ausgeht. Für die neuen Prozessschritte werden zusätzliche Materialobjekte (Throughputs) angelegt.

Für den Umgang mit Ressourcenobjekten sind mehrere Möglichkeiten denkbar. Das Ressourcenobjekt wird als Verlinkung wiederholt angebunden. Hierbei wäre zum Zwecke der Übersichtlichkeit das Ein- und Ausblenden der für diesen Prozessschritt relevanten und zu erfassenden Parameter sinnvoll. Zudem kann es sinnvoll sein das Ressourcenobjekt bspw. zur Modellierung einer komplexen Anlage selbst zu verfeinern bspw. in Arbeitsstationen oder Funktionsgruppen z.B. in Teilressourcen 1 und 2 in unterschiedlichen Prozessschritten oder Teilresource 2.1 und 2.2 in einem Prozessschritt.

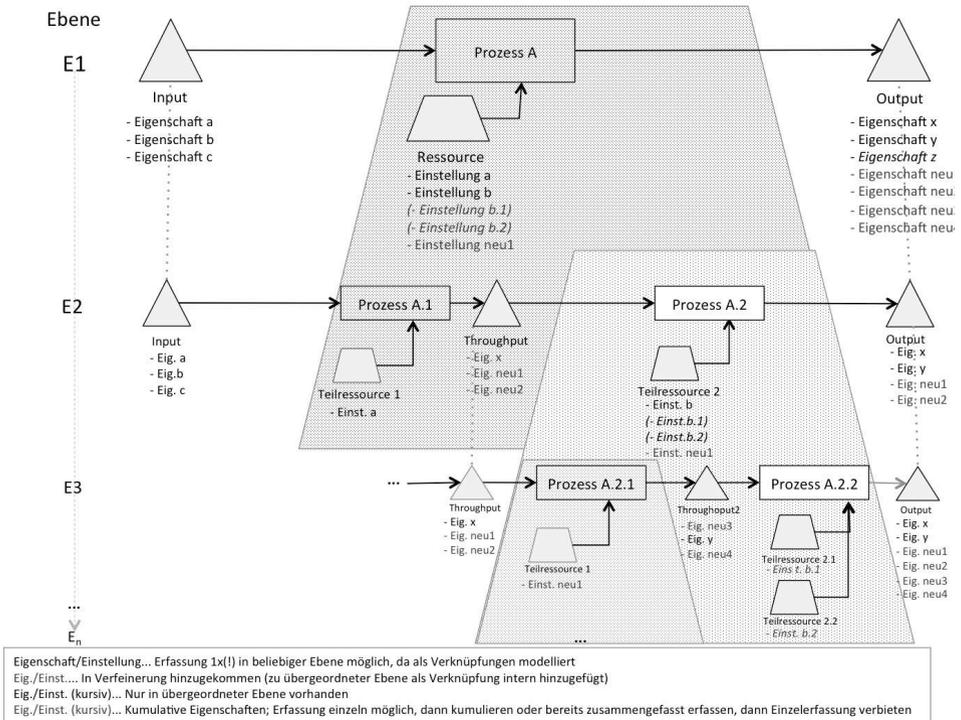


Abb. 5: Verfeinerungsansatz (Beispiel, stark vereinfacht)

Die Objekteigenschaften und Maschineneinstellungen werden je nach Bedarf modelliert. Es ist zu beachten, dass die höheren Ebenen jeweils eine Verknüpfung erhalten, so dass sich folgende Möglichkeiten für die Modellierung von Eigenschaften ergeben:

- Es existieren Eigenschaften, die nur auf oberster Ebene modelliert wurden (Eig. z)
- Die oberste Ebene (E1) hat Kenntnis von allen Eigenschaften des Modells
- Es können Teileigenschaften modelliert werden, die auf höherer Ebene kumuliert werden können (Einstellung b.1 und b.2 entweder separat oder zusammen als Einstellung b oder zu b kumuliert)

Allgemein gilt, das jedes Modellelement genau ein Mal modelliert wird, alles weitere erfolgt durch die Verwendung von Objektreferenzen.

Tabelle 1 fasst die Auswirkungen von Verfeinerungen auf die Modellierung abschließend noch einmal zusammen.

Modellelement	Auswirkungen
a) allgemein	jedes Element nur 1x modelliert, darüber hinaus Verwendung von Referenzen
b) Prozesse	Prozesszerlegung (Bsp.: $A \rightarrow A.1+A.2$) mit jeweils gleichem In- und Output und Erzeugung von Throughputs kann zu c) und d) führen
c) Ressourcen	Wiederverwendung bereits modellierter Ressourcen Zerlegung (Bsp.: Ressource \rightarrow Teilressource 1+2) ggf. Zuordnung bereits modellierter Einstellungen zu Teilressourcen
d) Eigenschaften und Einstellungen	neue Eigenschaftsmodellierung auf Ebene je nach Bedarf Wiederverwendung mit Referenzen Zerlegung und Kumulation von Eigenschaften (Bsp.: $b \rightarrow b.1 + b.2$)

Tab. 1: Zusammenfassung der Auswirkung von Verfeinerungen auf die Modellierung

Umgang mit Daten

Für die Erfassung neuer Daten gibt es zwei Möglichkeiten. Bei der ersten Möglichkeit erfolgt die Erfassung grundsätzlich auf einer festgelegten Ebene z.B. auf der höchsten, niedrigsten oder frei festzulegenden. Bei einer Festlegung ergeben sich Probleme mit der Flexibilität des Systems. Höchste und niedrigste Ebene können sich ändern, sobald darüber oder darunter ein neues Modell erstellt wird. Auch beim Festlegen einer Ebene stellt sich die Frage, wer legt das nach welchen Regeln fest und wie kann mit möglichen Änderungswünschen über die Zeit umgegangen werden. Um diesen Ansatz nutzen zu können, muss die Festlegung fix bleiben und kann auch im Nachhinein nicht geändert werden.

Anhand des Beispiels in Abb. 5 könnte eine Erfassung auf E3 (vorerst detaillierteste Ebene) stattfinden. Dabei kann es dazu führen, dass relevante Eigenschaften, die ursprünglich auf E1 modelliert (Eig. z) und in keiner anderen Ebene referenziert wurden, verloren gehen. Auch die Nutzung von kumulierten Eigenschaften (Einstellung b) ist in

diesem Fall nicht möglich, da nur die Einzelwerte bekannt sind, jedoch nicht ihr Zusammenhang.

Bei einer Erfassung auf höchster Ebene (E1) besteht die Gefahr der Unübersichtlichkeit, da diese Ebene Information über sämtliche Eigenschaften der Verfeinerungsebenen besitzt. Besitzen Teilressourcen beispielsweise die Eigenschaft „Bezeichnung“, so werden bei der Erfassung ggf. mehrere Bezeichnungen aufgelistet, die zwar intern verknüpft, aber augenscheinlich zusammenhanglos aufgezählt erscheinen. Des Weiteren ist beim Umgang mit kumulativen Eigenschaften eine Entscheidung zu treffen, ob diese einzeln erfasst und kumuliert oder als ein Parameter erfasst werden sollen. Die jeweils nicht gewählte Möglichkeit sollte gesperrt werden, da mögliche Tippfehler etc. dazu führen das kumulierter Wert (z.B. $b.1 + b.2$ könnten Zeiten einzelner Prozessabläufe sein) und einheitlicher Parameter (b könnte Gesamtzeit auf einer Maschine sein) abweichen, was zu erheblichen Problemen bei einer Umsetzung in einem Tool führen kann.

Wählt man eine beliebige Ebene (bspw. E2) für die Erfassung, so ist dies nur sinnvoll, wenn dies explizit von der Projektleitung vorgegeben ist, da eine nicht-administrative Begründung der Ebenenwahl kaum möglich ist. Diese Form der Erfassung kombiniert zudem die Nachteile der Erfassung auf unterster und der Erfassung auf oberster Ebene und sollte daher nicht gewählt werden.

Die zweite Möglichkeit des Erfassens sieht vor das gemischt auf unterschiedlichen Ebenen erfasst werden kann. Dies käme im aktuellen Stand der Methodenentwicklung dem Erfassen in verschiedenen, eigenständigen Modellen gleich. So könnten bspw. im ungünstigsten Fall alle Inputeigenschaften auf Ebene E1, alle Throughput-Eigenschaften und Maschineneinstellung auf Ebene E2 und alle Outputeigenschaften auf Ebene E3 erfasst werden. Außer den bereits genannten Nachteilen würde dieses Erfassungskonzept dazu führen, dass eine Auswertung unmöglich ist. Die Prozessdaten sind mit unterschiedlichen Modellen verknüpft, da sie ja keine Alternativen darstellen, sondern den gleichen Prozess beschreiben. Die durchgängige Betrachtung wäre zerstört.

Damit ist weder eine Erfassung auf einer Ebene, noch die losgelöste Erfassung auf verschiedenen Ebenen geeignet.

Ein Konzept zur Nutzung von Verfeinerungen, welches die modellbasierte Methode ergänzt, muss daher auf die Anforderung eingehen, Daten in beliebigen Ebenen zu erfassen und dennoch eine Prozessauswertung unabhängig der Ebenenstruktur realisieren zu können.

Zusätzlich zu den Verfeinerungen im Modell müssen demnach interne Verknüpfungen auf Seiten der Datenbank vorgenommen werden. Für den direkten Fall heißt das u.a., dass die Teilressourcen direkt zur Ressource auf E1 zuordenbar sind. Die Ressource wird somit zusätzlich mit den Einstellungen verknüpft, die aus der Modellierung der Verfeinerung resultieren. Ebenso sind die bereits auf höherer Ebene modellierten Einstellungen als Verknüpfung an der Verfeinerung zu erfassen, falls dies gewünscht ist. Hierfür muss eine Zuordnung zur betreffenden Teilressource vorgenommen werden. Eine erneute Modellierung entfällt. Ähnliches gilt bei den Objekteigenschaften. Es gibt

somit verfeinerte Attribute, die zur nächst höheren Ebene verknüpft sind und andersherum, aber es kann ebenfalls Eigenschaften etc. geben, die nur in übergeordneter Ebene anfallen und keinen direkten Bezug in einer Verfeinerung aufweisen (z.B. Eig. z). Tabelle 2 fasst die Konzepte für die Datenerfassung bei verfeinerten Modellen zusammen.

Möglichkeit	Probleme	Ansatz denkbar?
1.) Erfassung auf einer Ebene	Ebenenauswahl Flexibilität des Systems beeinträchtigt mögliches Nichterfassen relevanter Werte, die auf anderer Ebene modelliert wurden	nein
2.) Erfassung auf verschiedenen Ebenen	u.U. keine ganzheitliche Betrachtung mehr möglich; Nachteile von 1.)	nein
3.) Erfassung auf verknüpften Ebenen	geeignetes Verknüpfungskonzept	ja

Tab. 2: Zusammenfassung der Möglichkeiten zur Datenerfassung bei verfeinerten Modellen

Sofern ein konsequentes Konzept für die interne Verknüpfung der Modellelemente der unterschiedlichen Ebenen vollständig und sinnvoll erarbeitet wurde, ist die Integration bestehender Datensätze genau so möglich wie eine Neuerfassung. Je nachdem auf welcher Ebene bereits erfasst wurde, kann es sein das einige Felder nach der Detaillierung leer sind. Tritt keine inhaltliche oder semantische Änderung auf, kann es wie bei einer regulären Modellmodifikation als neue Modellversion gehandhabt werden, die zu einer bestehenden Auswertungsbasis hinzugefügt wird (vorausgesetzt in der Modellierung wurden alle Referenzen gesetzt).

Überlegungen zu Anforderungen an eine technische Umsetzung

Für eine technische Umsetzung im Modellierungswerkzeug ergeben sich somit neue Anforderungen.

- Zur Wahrung der Übersichtlichkeit sollten Auswahlmöglichkeiten in der Anzeige eingeführt werden, die es erlauben Eigenschaften aus detaillierteren Prozessebenen aus- und einzublenden oder gar die gesamte Modellstruktur aus- bzw. einklappbar darzustellen.
- Bei der Erstellung einer Verfeinerung sollten bereits vorhandene Elemente zur Auswahl stehen, damit diese als Referenzen eingefügt werden können.
- Referenzierte Objekte und Eigenschaften sollten gekennzeichnet werden.

Außerdem wurden folgende Regeln (für Modellierung und Methode), aus den Überlegungen zur Integration des Verfeinerungskonzeptes in die derzeitige Methodenumgebung heraus, formuliert:

- Objekte am Anfang und am Ende der Verfeinerung sind Referenzen der zum verfeinerten Prozess gehörigen Objekte der höheren Ebene
- es komme keine Eingangs- oder Ausgangsobjekte hinzu, die in der darüber liegenden Ebene nicht vorkommen
- alle Elemente sind nur einmal in der Datenbank abgelegt und ggf. mit Referenzen verknüpft

3.4 Risiken beim Umgang mit Verfeinerungen

Die Verwendung von Verfeinerungen in der Modellierung bietet auch Fehlerpotenzial. Der Modellierer sollte daher sowohl Domänenenerfahrung aufweisen, um die Prozessbeschreibung zu verstehen, als auch ein Mindestmaß an Modellverständnis mitbringen. So ist genau zu unterscheiden, ob es sich um eine Verfeinerung oder eine „Verlängerung“ der Prozesskette handelt. Nicht jede Ausweitung des Prozesses ist gleichgesetzt mit einer Verfeinerung, es kann sich ebenfalls um eine Erweiterung um zusätzliche (reale, vom ursprünglichem Prozessschritt unabhängige) Prozessschritte handeln. In diesem Fall greift das bisherige KM und es wird eine neue Versionsfamilie und damit eine neue Auswertbasis generiert.

Ein weiterer Nachteil dieses Ansatzes (der zugleich ebenfalls Fehlerpotenzial birgt) ist, das die Verwendung mehrerer Verfeinerungsebenen schnell zu Unübersichtlichkeit führen kann, wenn eine Vielzahl bereits existierende Elemente vorliegt. Doppelmodellierungen oder Falschreferenzierungen können die Folge sein. Spätestens an dieser Stelle ist es sinnvoll eine Konsistenzkontrolle zu integrieren, die vermeintliche Doppelmodellierungen aufspürt. Um derartig detail- und umfangreiche Modelle handhaben zu können, ist die bereits erwähnte Selektierung der Anzeige bzw. das Arbeiten mit verschiedenen Sichten essentiell.

Die Möglichkeit der Verwendung verschiedener Sichten und Anzeigedetaillierungen ist ebenso für die Erfassung und die Analyse relevant. Hierfür sollte die Auswahl nur bedingt durch den Bediener erfolgen. Vielmehr ist es bereits Aufgabe des Modellierers (oder eines Projektmanagers), festzulegen wer welche Einzelheiten sehen und bearbeiten darf. Dabei können unterschiedliche Konzepte zur Rechtevergabe diskutiert werden. Je nach Einzelfall kann es bspw. relevant sein Maschinendaten einsehen (nicht ändern) zu können oder eben aus Geheimhaltungsgründen maschineninterne Werte komplett aus Anzeige und Erfassung auszuschließen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Ausgehend von einer kurzen Beschreibung einer im produktionstechnischen Umfeld entstanden Methodik für die effektive Entwicklung und Verbesserung von Prozessen, wurde erläutert, welche Rolle die Modellierung innerhalb dieses Konzeptes spielt und

wie diese eingesetzt wird. Die Modellierung ist ein Kernbestandteil der Methodik und auf ihr aufbauend, sind die weiteren Schritte der Datenerhebung und Auswertung zur Generierung und Nutzbarmachung von Prozesswissen erstmöglich. Diese ganzheitliche Betrachtungsweise führt dazu, dass Modifikationen an Modellen mit besonderer Achtsamkeit durchgeführt werden müssen. Modellabhängige Komponenten (Daten, Analysen, etc.) sind direkt betroffen. Am Beispiel der Modellverfeinerung (deren Ursachen ebenfalls identifiziert wurden) wurden die einzelnen Probleme und Auswirkungen sowohl für die Modellierung, als auch für die abhängigen Komponenten diskutiert. Abschließend wurden erste Überlegungen über den Umgang mit diesen Komplikationen theoretisch und umsetzungstechnisch angeführt. Weiterführend wird dieses Verfeinerungskonzept präzisiert, so dass es softwareseitig (in einer, im Projektrahmen entstandenen und durch eine Ausgründung weiterentwickelten Anwendung [Sy15]) im Kontext der Gesamtmethodik integriert werden kann. Hierfür werden derzeit (zusätzlich zu den hier getätigten Überlegungen) Anpassungen und Umstrukturierungen in der Datenbank und im Konfigurationsmanagement der Methode erarbeitet sowie Berechtigungskonzepte überprüft, geändert und ergänzt. Die Formulierung formaler Constraints ist ebenfalls Forschungsbestandteil. Hierfür ist jedoch zu beachten, dass die Modelle durch Ingenieure erstellt werden, die dadurch bereits außerhalb ihres gewohnten Arbeitsumfeldes agieren. Sie sollten sich demnach nicht zusätzlich mit Constraints beschäftigen müssen. Eine automatisierte Umsetzung wird daher angestrebt.

Danksagung

Die hier vorgestellten Arbeiten wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereiches SFB 639 „Textilverstärkte Verbundkomponenten für funktionsintegrierende Mischbauweisen bei komplexen Leichtbauanwendungen“ gefördert.

Literaturverzeichnis

- [Ba96] Baumgarten, B.: Petri-Netze – Grundlagen und Anwendungen, Spektrum Akademischer Verlag, 1996
- [Du15] Duden online: www.duden.de (April 2015)
- [DW97] Dangelmaier, W.; Warnecke, H.-J.: Fertigungslenkung. Planung und Steuerung des Ablaufs der diskreten Fertigung. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1997
- [Fr99] Frank, U.: Zur Verwendung formaler Sprachen in der Wirtschaftsinformatik: Notwendiges Merkmal eines wissenschaftlichen Anspruchs oder Ausdruck eines übertriebenen Szientismus?, in (Becker, J. et al., Hrsg): Bestandsaufnahme und Perspektiven. Wiesbaden: Gabler 1999, S. 127-160

- [Gr10] Großmann, K. et al.: Reproduzierbare Fertigung in innovativen Prozessketten. Konzeption eines Beschreibungs- und Analysetools (Teil 2). ZWF Zeitschrift für den wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 105 (11), S.: 954-958, 2010
- [Gr11] Großmann, K. et al.: Adopting potentials of biogenetic materials into composites by using the advantages of database-driven modelling. In Proc of International Conference on Innovative Technologies IN-TECH 2011
- [GW10] 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 den wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 105 (10), S.: 855-859, 2010
- [GW11] Großmann, K.; Wiemer, H.: Reproduzierbare Fertigung in innovativen Prozessketten. Anwendungsbeispiele und Erfahrungen (Teil 3). ZWF Zeitschrift für den wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 106 (1-2), S.: 26-29, 2011
- [JD02] Jacobs, H.-J.; Dürr, H.: Entwurf und Gestaltung von Fertigungsprozessen: Planung und Steuerung der spanenden Teilefertigung. Fachbuchverlag Leipzig, Carl Hanser Verlag München Wien. 2002
- [OM13] OMG Unified Modeling Language (OMG UML) Version 2.5, September 2013; Download: <http://www.omg.org/spec/UML/2.5>
- [Sc98] Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung: Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Gabler, 1998
- [Sc13] Scheer, A.-W.: ARIS – Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem, Ausgabe 4, Springer Verlag, 2013
- [St74] Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie. Springer, Wien, 1973
- [Sy15] Symate GmbH: Software Detact; Webseite: <http://www.symate.de/de/detact.html> (Juni 2015)
- [Th07] Thomas, O.: Version Management for Reference Models: Design and Implementation. In (Becker, J.; Delfmann, P., Hrsg.): Reference Modeling, 2007
- [Wi13] Wiemer, H.: Technologiedatenmanagement als Werkzeug für Technologieentwicklung und Wissenstransfer. In Proc. Internationales ECEMP-Kolloquium: Ressourcenschonende Werkstoffe – Technologien – Prozesse, S.: 281-297. Dresden. Verlag wissenschaftliche Scripten. 2013