

# Value Stream Model and Notation – Digitale Transformation von Wertströmen

Sebastian Heger<sup>1</sup>, Hildegard Thim<sup>2</sup>, Lynne Valett<sup>1</sup>, Jürgen Schröder<sup>2</sup> und Henner Gimpel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Augsburg, Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT, Augsburg, Deutschland; <sup>2</sup>Technische Hochschule Ingolstadt, Zentrum für angewandte Forschung, Business School, Ingolstadt, Deutschland;

{sebastian.heger, lynne.valett, henner.gimpel}@fim-rc.de,  
{hildegard.thim, juergen.schroeder}@thi.de

**Abstract.** Die digitale Transformation lässt Unternehmen und Organisationen durch den Einsatz digitaler Technologien existierende Arbeitsabläufe verbessern, neue Wertströme erschließen und effiziente Wertschöpfung sicherstellen. Etablierte Methoden und Modellierungssprachen zur Analyse und Gestaltung wertschöpfender Prozesse stoßen an ihre Grenzen. Zeitliche Abhängigkeiten zwischen Informations- und Materialflüssen können mit vorhandenen Notationen nicht dargestellt werden. Deshalb entwickelt der vorliegende Beitrag eine domänen-spezifische Modellierungssprache auf Basis der Notation der Wertstrommethode, welche um Elemente der Business Process Model and Notation 2.0 erweitert wird. Die resultierende Value Stream Model and Notation ermöglicht die Analyse und Gestaltung schlanker, digital-unterstützter Materialflüsse und den dafür notwendigen Informationsflüssen.

**Keywords:** Wertstrom, Informations- und Materialfluss, Modellierungssprache, Digitale Transformation, Value Stream Model and Notation

## 1 Einleitung

Die digitale Transformation stellt sowohl die Wissenschaft als auch Unternehmen vor große Herausforderungen und Chancen [1]. Mit der zunehmenden Verfügbarkeit digitaler Technologien und der angestrebten Vision vollständig vernetzter und virtualisierter Entitäten in Unternehmen und Einrichtungen ergeben sich viele neue Entwicklungen und Potentiale. Durch digitale Vernetzung neu geschaffener Informationsflüsse und daraus resultierender höherer Informationsverfügbarkeit können benötigte Informationen zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort bereitgestellt werden. Diese Vernetzung ermöglicht es, Produktions- und Logistikprozesse effizienter und flexibler zu steuern [2, 3].

Beispiele aus der Praxis und der wissenschaftlichen Literatur können dieses Potenzial verdeutlichen: Im Rahmen eines Forschungsprojektes mit zwei Krankenhäusern wurden verschiedene Verschwendungsarten von Ressourcen in den

logistischen Prozessen identifiziert. Neben den gängigen Verschwendungsarten, wie u.a. unnötige Materialbewegungen aufgrund ungeeigneter Prozesse, wurden auch Verschwendungen ermittelt, die durch ungeeignete Informationsflüsse und mangelhafte Informationsverfügbarkeit entstehen. Beispielsweise seien die mangelnde Transparenz der Lagerbestände in dezentralen Lagern oder vorhandene, aber ungenutzte Informationen genannt. Einerseits werden in den meisten Fällen unnötige Bestände aufgebaut, da bereits im System bekannte Aufträge weder priorisiert noch dringende Anforderungen direkt erfüllt werden. Andererseits kann dies zu Fehlbeständen führen. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass häufige Medienbrüche die Prozesse verlangsamen, da ausgedruckte Informationen in den meisten Fällen wieder an anderer Stelle manuell ins System eingegeben werden müssen. Dadurch intransparente, zu spät verfügbare oder vorhandene, aber nicht genutzte Informationen können den Materialfluss erheblich beeinflussen, was zu einer Verlängerung der benötigten Prozesszeiten führt. Nicht selten werden somit Entscheidungen im Materialfluss unter Unsicherheit getroffen oder das betreffende Material wird vorübergehend gepuffert, was zusätzlichen Flächenbedarf und Handhabungsaufwand zur Folge hat. Dies ist nur eine Auswahl von Verschwendungsarten, die durch den gezielten Einsatz digitaler Technologien und die Gestaltung geeigneter Informationsflüsse vermieden werden können.

Die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt wurden in Diskussionen mit neun Wissenschaftlern aus Wirtschaftsinformatik (WI) und Lean Management, sowie fünf Experten aus unterschiedlichen Branchen<sup>1</sup> bestätigt. In ihren Produktions- und Logistikprozessen bestehen ähnliche Probleme. Darüber hinaus bestätigten die Experten, dass die zunehmende Verfügbarkeit von digitalen Technologien und die damit verbundene Informationsvernetzung viele dieser Probleme löst.

Die Möglichkeiten, Verschwendung zu reduzieren und schlanke Produktions- und Logistikprozesse durch den Einsatz digitaler Technologien zu erreichen, werden auch durch wissenschaftliche Literatur unterstützt: Uckelmann fasst beispielsweise acht Möglichkeiten für Wertschöpfungsprozesse zusammen, die sich aus dem Einsatz dieser Technologien und daraus resultierend neuen Informationsflüssen ergeben [4]. Dazu gehören unter anderem die Vermeidung von Latenzzeiten, der Wegfall der manuellen Datenerfassung und eine höhere Verfügbarkeit der Informationen. Darüber hinaus skizzieren Metternich et al. die Reduzierung der Unsicherheit durch aktuelle und verfügbare Informationen, die Bereitstellung von Informationen am Ort der Wertschöpfung sowie die Möglichkeit dynamischer Bestandsanpassungen [5].

Wie können also Prozesse gestaltet werden, dass Verschwendung vermieden und eine kontinuierliche Wertschöpfung - also ein Wertstrom - geschaffen wird [6]? Zur Analyse und Gestaltung von Wertströmen wird bis heute auf die Wertstrommethode (WSM) [6] zurückgegriffen. Die Methode aus dem pre-digitalen Zeitalter nutzt dabei eine Notation zur Ist-Analyse, sowie zur Gestaltung des Soll-Wertstroms (Design). Die Methode berücksichtigt die Visualisierung von Informationsflüssen. Jedoch ist der Detaillierungsgrad nicht ausreichend, um diese im Rahmen der digitalen

---

<sup>1</sup> Die Experten sind Mitarbeiter eines Herstellers für technische Federn, Getriebeherstellers, Automobilherstellers, Logistikberatung, gemeinnützigen Einrichtung im Gesundheitswesen

Transformation zu analysieren und zu gestalten [vgl. 7]. Insbesondere die Zeitverschwendung auf Grund fehlender Informationen lässt sich im Zuge der Analyse nicht erkennen. Des Weiteren ist eine zielgerichtete Gestaltung der Informationsverfügbarkeit zur Reduzierung der benötigten Prozesszeiten nicht möglich. Auch Modellierungsansätze der Wirtschaftsinformatik (WI), wie beispielsweise das Business Process Model and Notation (BPMN), eignen sich nicht oder nur bedingt zur visuellen Analyse und Gestaltung von Material- und Informationsflüssen, wie im Rahmen dieser Arbeit erläutert wird.

Aus diesem Grund ist das Ziel dieses Beitrags die Entwicklung einer domänenspezifischen Modellierungssprache (DSMS) auf Basis der bestehenden Notation der WSM unter Berücksichtigung von Informationsflüssen und -verfügbarkeit vor der Dimension Zeit. Die resultierende Value Stream Model and Notation (VSMN) unterstützt sowohl Praktiker wie auch Forscher bei der Entwicklung schlanker, digital-unterstützter Produktions- und Logistikprozesse. Analysen des Wertstroms (Ist-Analyse), die mit der VSMN durchgeführt werden, ermöglichen die Erkennung von Verschwendung durch fehlende Informationsflüsse oder verspätete Informationsverfügbarkeit. Designs des Wertstroms (Soll-Zustand), die mit der vorgestellten Sprache entwickelt werden, erleichtern die Kommunikation zwischen Modellierer und Modellbetrachter. Dabei kann die Darstellung des Wertstromdesigns als Input für die Entwicklung geeigneter IT-Systeme genutzt werden. Ebenso ermöglicht eine Darstellung des Ist- und Soll-Zustandes die Erhebung von Handlungsempfehlungen und Ableitung einer Transformations-Roadmap.

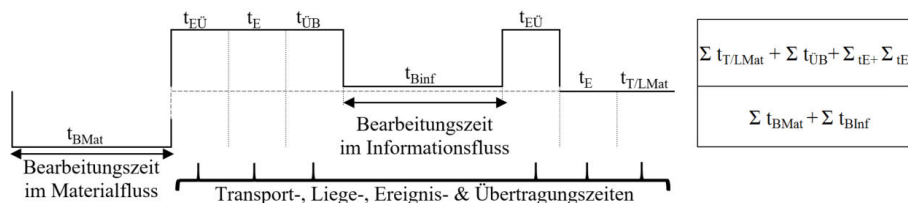
Dazu führt dieser Beitrag in Kapitel 2 in den theoretischen Hintergrund ein. Kapitel 3 beschreibt die Forschungsmethode. Die domänen-spezifischen Anforderungen und ein Metamodell werden in Kapitel 4 vorgestellt. In Kapitel 5 erfolgt eine Demonstration und Vorstellung der graphischen Notationselemente. Kapitel 6 schließt mit einer Diskussion der Ergebnisse und einem Ausblick.

## **2 Theoretischer Hintergrund**

Die Digitalisierung beschreibt die vielfältigen soziotechnischen Phänomene und Prozesse der Übernahme und Nutzung digitaler Technologien in breiteren, individuellen, organisatorischen und gesellschaftlichen Kontexten [8]. In Unternehmen führt dies zu einer digitalen Transformation im Sinne eines gesteuerten Wandels zur Einführung digitaler Technologien, um Geschäftsmodelle zu ändern, bestehende Arbeitsabläufe zu verbessern, neue Wertströme zu erschließen und eine Wertschöpfung zu gewährleisten [1]. Ein Wertstrom ist die Kombination aller Aktivitäten, die benötigt werden, um ein Produkt aus dem Ausgangsmaterial in die von einem Kunden gewünschte Form zu bringen [6]. Dies inkludiert nicht nur Produktionsprozesse und Materialflüsse, sondern auch Aktivitäten, um diese zu steuern. Die hierfür zugehörigen Informationsflüsse sind dafür essentiell. Zur Optimierung der Materialflussprozesse inkl. den dazugehörigen Informationsflussprozessen setzen Unternehmen bis heute auf die WSM. Diese wurde Anfang der 1990er Jahre im Rahmen des Toyota Produktionssystems und des daraus

entstandenen Lean Managements mit dem Ziel entwickelt, eine ganzheitliche und transparente Visualisierung aller Prozesse zu gewährleisten [9]. Anhand einer Ausrichtung auf den Kundenbedarf wird eine Optimierung und effiziente Gestaltung von Prozessen durch die Reduktion von Verschwendung im Produktionsprozess erreicht [10]. Hierbei steht die Reduzierung benötigter Prozesszeiten bei einem gegebenen Kundenbedarf durch die Eliminierung bzw. Minimierung von Verschwendung im Fokus. Generell werden sieben klassische Verschwendungsarten unterschieden, unter anderem Überproduktion und hohe Bestände von Produktionsgütern [6]. Durch die digitale Transformation und der zunehmenden Informationsvernetzung kommt eine achte Verschwendungsart durch ungeeignete Informationsprozesse und IT-Werkzeuge hinzu [11].

Um die Verschwendung zu visualisieren, steht im ersten Schritt der WSM die Wertstromanalyse, bei der die bestehenden Prozesse aufgenommen und bewertet werden. Ein wesentlicher Faktor für die Visualisierung von Verschwendung ist die Dimension Zeit. Mithilfe einer Zeitlinie (siehe Abbildung 1) unterhalb der Prozessdarstellung (Abbildung 3, Kapitel 5) werden zwei Zeitbereiche unterschieden: Zunächst die Bearbeitungszeit, welche am Ende der Zeitlinie summiert wird und aus Bearbeitungszeiten im Materialfluss ( $t_{BMat}$ ) und Informationsfluss ( $t_{BInf}$ ) besteht. Alle Zeiten zwischen den Bearbeitungsschritten werden als Wartezeit bzw. als nicht-wertschöpfende Zeit [6] zusammengefasst. Diese besteht aus Liege- bzw. Transportzeiten im Materialfluss ( $t_{T/LMat}$ ), sowie den Ereignis- ( $t_E$ ) und Übertragungszeiten zwischen Material- und Informationsfluss, sowie im Informationsfluss selbst ( $t_{EÜ} / t_{ÜB}$ ). Die Summe der Bearbeitungs- und Wartezeit wird am Ende der Zeitlinie ausgewiesen (siehe auch Abbildung 3, Kapitel 5).



**Abbildung 1:** Darstellung der Zeitachse im Wertstrom in Anlehnung an [6]

Die Summe aller Zeiten entspricht der Zeitdauer, die ein Gut zum Durchlaufen aller Prozessschritte benötigt und wird als Durchlaufzeit (DLZ) bezeichnet. Die DLZ gilt als eine der wichtigsten Kennzahlen zur Optimierung und effizienten Gestaltung von Prozessen [10]. Kann die DLZ so verkürzt werden, dass sie der Summe aller zeitoptimalen Bearbeitungszeiten entspricht, so gilt die DLZ in der WSM als ideal, da im Gesamtprozess keine Verschwendung mehr enthalten ist [10]. Zur Beurteilung wird die DLZ mit der Summe der Bearbeitungszeiten der einzelnen Schritte ins Verhältnis gesetzt und ein Wertstromkoeffizient gebildet [10, 12].

Im zweiten Schritt der WSM erfolgt das Wertstromdesign, in dem der Soll-Zustand des betrachteten Prozesses erstellt wird. Im Anschluss werden Optimierungspotentiale im Rahmen einer Umsetzungsplanung erhoben, um den bestehenden Ist-Prozess der

Wertstromanalyse an den Zustand des Soll-Prozesses des Wertstromdesigns anzunähern [11].

Der Vorteil der WSM ist ein unkomplizierter und praxisnaher Ansatz zur Optimierung von Prozessen. Die DLZ und die Unterscheidung zwischen wertschöpfender und nicht-wertschöpfender Zeit ermöglicht eine transparente Beurteilung aller Abläufe. Durch die Reduktion der DLZ unter Berücksichtigung verfügbarer Kapazitäten bei gegebenem Kundenbedarf können Potentiale, wie eine steigende Flexibilität auf geänderte Kundenanforderungen, Reduktion von Kapitalbindung durch den Abbau von Beständen und die Reduktion von Verschwendung im Prozess gehoben werden [10].

Ein Nachteil der WSM ist die mangelnde Betrachtung und intransparente Gestaltung des Informationsflusses. Die Notation der WSM stellt die Anwendungssysteme und die zugehörigen Informationsflüsse ohne Abhängigkeit zum Materialfluss und der Dimension Zeit dar. Dies ist der wesentliche Nachteil, den die WSM im Hinblick auf die zunehmende digitale Vernetzung und Verfügbarkeit digitaler Technologien in Unternehmen aufweist [7].

Um diesen Nachteil zu beseitigen, wurden in jüngerer Vergangenheit Erweiterungen der WSM im Hinblick auf die Potenziale der Digitalisierung veröffentlicht. Meudt et al. stellen ein Verfahren zur Analyse von Wertströmen und Informationsflüssen (VSA 4.0) vor, das systematisch Möglichkeiten zur Verbesserung abbildet [13]. Hartmann et al. bauen darauf auf und präsentieren die Wertstrommethode 4.0, die die VSA 4.0 zusammenfasst und durch einen Ansatz zur Gestaltung digital gestützter Wertströme (VSD 4.0) ergänzt. Dabei verknüpfen sie den Informationsfluss zwischen einem Prozess, Speichersystemen und der Datennutzung. Die Autoren stellen einen Visualisierungsansatz zur Analyse und Gestaltung von Wertströmen vor, entwickeln dabei aber keine DSMS [7]. Gleiches gilt für das Extended Value Stream Mapping Verfahren, das von Busert und Fay eingeführt wurde [14]. Die Autoren entwickeln ein sechsstufiges Verfahren zur Anwendung geeigneter Kontrollmethoden und harmonisierter Informationsflüsse. Dabei liegt der Fokus auf der Ausrichtung der Informationsqualität auf die Anforderungen und Bedingungen eines Prozessschrittes. Die Vorgehensweise beinhaltet einen Schritt, in dem die Informationsflüsse modelliert werden. In diesem Schritt erweitern die Autoren die Notation der Wertstrommethode um separate Bereiche, in denen die Prozess- und Informationsverarbeitung individuell ausgewiesen und so fokussiert dargestellt wird [14].

Eine geeignete DSMS indes, muss die Berücksichtigung von Informationsflüssen und -verfügbarkeit vor der Dimension Zeit ermöglichen. Eine Modellierungssprache aus der WI, die die Visualisierung von Informationsflüssen in Prozessen erlaubt, ist die Business Process Model and Notation 2.0 (BPMN). Durch den Anspruch als gemeinsame Sprache der Betriebswirtschaft und IT, ist BPMN der de-facto Standard im Prozessmanagement [15]. BPMN ermöglicht die Visualisierung von Prozessen anhand eines Ablaufdiagramms, in dem Aktivitäten durch Verbindungspfeile (Sequence Flows) mit Entscheidungspunkten (Gateways) verknüpft werden [16]. Zudem können aber eben auch Informationsflüsse zwischen Prozessen (Messages), genutzten Daten und Quellsystemen (Data Stores) abgebildet werden [16]. Bei der

Visualisierung von Prozessen und Informationsabhängigkeiten in Bezug auf Dauer und zeitliche Verfügbarkeit ist BPMN jedoch eingeschränkt. Einerseits werden durch den Einsatz von sog. Zeitereignissen vorhandene Abhängigkeiten des Informationsbedarfes zur Ausführung des nächsten Prozessschrittes dargestellt. Allerdings berücksichtigt BPMN weder die zeitliche Verfügbarkeit von Informationen noch ordnet es den Informationsfluss visuell der DLZ zu. Zwar wurden kommerzielle Softwaretools zur Prozesssimulation wie Adonis<sup>2</sup> oder Signavio<sup>3</sup> entwickelt. Diese Werkzeuge ermöglichen die Analyse und Gestaltung von Geschäftsprozessen unter Berücksichtigung von Zeitabhängigkeiten, stellen aber keinen visuellen Ansatz dar.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es bis heute keine konsequent entwickelte DSMS gibt, welche die Analyse und Gestaltung von Wertströmen im Sinne von Materialflüssen sowie Informationsflüssen unter Berücksichtigung der Dimension Zeit ermöglicht. Eine geeignete DSMS kann auf der bestehenden Notation der WSM basieren und um Elemente der BPMN erweitert werden. Die Kombination beider Ansätze ermöglicht die visuelle Darstellung zeitlicher Abhängigkeiten in Informations- und Materialflüssen, die zeitliche Verfügbarkeit von Informationen und die Beziehung zur DLZ in Wertströmen.

### 3 Forschungsmethode

Eine DSMS besteht aus drei wesentlichen Komponenten: Abstrakte Syntax, konkrete Syntax und Semantik [17, 18]. Die abstrakte Syntax stellt eine Sprachsyntax dar, die in Form eines Metamodells den Aufbau und die Struktur der Modellierungssprache definiert [19] und Konzepte und Regeln der DSMS abbildet [19]. Die konkrete Syntax basiert auf der Notation der WSM und wird um Elemente der BPMN erweitert. Die Semantik beschreibt, wie die Konstrukte und Beziehungen der abstrakten Syntax zu verstehen sind [20].

Die Entwicklung der VSMN basiert auf dem generischen Design Science Research Ansatz nach Peffers et al. [21] und wird um Schritte der Methoden von Frank [22] und Braun und Schlieter [23] ergänzt. Im ersten Schritt wird das Darstellungsproblem der Informations- und Materialflüsse unter Berücksichtigung der Zeit identifiziert und der Zweck der DSMS beschrieben [vgl. 21, 22]. Im zweiten Schritt werden die domänenspezifischen Anforderungen (DSA) abgeleitet, welche aus der Literatur und den Erfahrungen im Rahmen eines Forschungsprojekts mit zwei Krankenhäusern abgeleitet werden [vgl. 22, 23]. Darauf aufbauend erfolgt im dritten Schritt die Entwicklung der VSMN auf Basis der DSA und generischen Anforderungen (GA) an eine DSMS nach Frank [22]: (1) Vertrautheit, (2) Unveränderlichkeit, (3) Detaillierungs- und Abstraktionsmöglichkeit sowie (4) die klare Zuordenbarkeit zu fachspezifischen Sprachkonzepten. Die Konstrukte der VSMN basieren auf den Konstrukten der WSM [6] und werden um Konstrukte des BPMN erweitert [16]. Dazu werden die benötigten Konstrukte geprüft und, sofern nicht in der WSM

<sup>2</sup> <https://de.boc-group.com/adonis>, zuletzt aufgerufen am 01.11.2019

<sup>3</sup> <https://www.signavio.com/>, zuletzt aufgerufen am 01.11.2019

Notation oder BPMN enthalten, neu erstellt [23]. Die Entwicklung der VSMN umfasst die Ableitung der abstrakten und konkreten Syntax der VSMN analog zu Stufe 4 und 5 nach Frank [22] bzw. Schritt 5 und 6 nach Braun und Schlieter [23]. Durch dieses Vorgehen stellen allgemein anerkannte und leicht verständliche Notationselemente die Grundlage der DSMS dar [22]. Im letzten Schritt wird die VSMN anhand des Logistikprozesses „Warenannahme“ demonstriert, welcher im Kontext des Forschungsprojekts in zwei Krankenhäusern analysiert und überarbeitet wurde, aber nicht Krankenhaus-spezifisch und auch in Unternehmen anderer Branchen geläufig ist.

## 4 Spezifizierung der Modellierungssprache

### 4.1 Domänen-spezifische Anforderungen

Zur Gestaltung und Evaluation der Modellierungssprache werden im Folgenden die DSA formuliert, welche die GA nach Frank [22] ergänzen und aus der Problemstellung abgeleitet werden.

*DSA1: Die VSMN soll die Betrachtung des Informationsflusses unter Berücksichtigung der Zeit ermöglichen.*

Die aktuelle Notation der WSM [6] ermöglicht eine Visualisierung von Informationsflüssen, deren Detaillierungsgrad für die Analyse und Gestaltung dieser Flüsse unter Berücksichtigung der Zeit allerdings unzureichend ist. Informationsflüsse werden so abgebildet, dass es möglich ist, die Quelle zu identifizieren, aus der die Informationen abgerufen werden [6]. Allerdings werden Informationsverfügbarkeiten und zeitliche Abhängigkeiten nicht berücksichtigt. Somit kann beispielsweise die Verschwendung von Zeit durch fehlende Informationen im Laufe der Analyse nicht erkannt werden und verhindert eine gezielte Gestaltung der Informationsverfügbarkeit

Bestehende WI-Modellierungssprachen sind ebenfalls nicht geeignet, um Informationsflüsse in Wertschöpfungsprozessen unter der Dimension Zeit hinreichend detailliert zu visualisieren. Formale Ansätze wie Petri-Netze [24] ermöglichen die Modellierung von Prozessen und Zeitkorrelationen. Petri-Netze weisen jedoch eine hohe Komplexität auf und sind daher für Prozessaufnahmen ungeeignet [25]. Visuellere Ansätze wie UML ermöglichen eine vereinfachte Kommunikation zwischen Modellierer und Modellbetrachter. Darüber hinaus fördern visuelle Ansätze Komfort und Produktivität, da Modellierer verwendete Fachbegriffe nicht selbst rekonstruieren müssen [22]. Beispielsweise enthält UML Interaktionsdiagramme wie Zeitdiagramme, um Zustandsänderungen oder unterschiedliche Zustände eines Strukturelements über die Zeit darzustellen [16]. BPMN ermöglicht die Visualisierung von Informationsflüssen und zeitlichen Abhängigkeiten in Form von Zeitereignissen – siehe Kapitel 2 – die für die Durchführung nachfolgender Aktivitäten erforderlich sind [26]. Andererseits sind Informationsverfügbarkeit und Zeitabhängigkeiten nur mit nicht-visuellen Simulationswerkzeugen möglich. Eine geeignete DSMS zur Wertstromanalyse und -gestaltung muss indes die Visualisierung von Informationsflüssen und zeitlichen Abhängigkeiten ermöglichen, um Zeitverluste

zu erkennen und geeignete Informationsflüsse zu gestalten. Im Rahmen der digitalen Transformation von Wertströmen ist daher eine DSMS erforderlich, die für diesen domänen-spezifischen Zweck [22] konzipiert ist.

*DSA2: Die VSMN soll die Wertstromanalyse im Hinblick auf Zeitverschwendung bedingt durch fehlende Informationsverfügbarkeit oder -flüsse ermöglichen.*

Mangelnde Informationsverfügbarkeit und unangemessene Informationsflüsse führen zu offensichtlichen und unnötigen Verschwendungen in bestehenden Prozessen und reduzieren so den Wertschöpfungsanteil an der Durchlaufzeit. In einem angewandten Forschungsprojekt in zwei Krankenhäusern wurden Erkenntnisse über aktuelle Verschwendungen aufgrund fehlender oder unangemessener Informationsflüsse gewonnen. Die Erkenntnisse wurden im Rahmen des Projekts in Diskussionen mit Wissenschaftlern und Experten aus unterschiedlichen Branchen bestätigt. Beispielsweise führen zu wenig Informationen über die tatsächlichen Bestände zu Überbeständen, welche wiederum Flächenengpässe und eine erhöhte Kapitalbindung mit sich bringen. Andererseits können Fehlbestände auftreten. Darüber hinaus kommt es zu Bestandsengpässen aufgrund fehlender Informationen über den tatsächlichen Bedarf. Ohne entsprechende Informationen kann es zu Fehlentscheidungen aufgrund von Unsicherheiten kommen. Das bedeutet, dass entsprechende Prozessschritte nicht oder mit falscher Priorität durchgeführt werden, was zu unnötigem Aufwand führt. Weiterhin werden nicht selten Wertschöpfungsprozesse durch Papierdokumente gesteuert und gezielt durch IT-Systeme ergänzt. Durch diese Medienbrüche werden die Prozesse verlangsamt und somit die DLZ verlängert. Zudem sind diese durch Übertragungsfehler störanfällig. Letztendlich sind nicht alle notwendigen Informationen verfügbar. So werden beispielsweise Daten zum Mindesthaltbarkeitsdatum nur sporadisch erfasst und im weiteren Verlauf des Prozesses nicht systematisch verwendet. Dieser Umstand führt dazu, dass möglicherweise verfallene Artikel verwendet werden könnten oder im weiteren Prozess ungenutzt entsorgt werden müssen. Auch in der Literatur finden sich entsprechende Problemstellungen [z.B. 11]. Vor diesem Hintergrund muss eine DSMS die Analyse von Verschwendung in Produktions- und Logistikprozessen aufgrund fehlender oder verzögerter Informationen ermöglichen.

*DSA3: Die VSMN soll die Gestaltung des Wertstromdesigns unter Berücksichtigung geeigneter Informationsverfügbarkeit und -flüsse ermöglichen.*

Die Einführung digitaler Technologien im Zuge der digitalen Transformation kann bestehende Arbeitsprozesse verbessern und neue Wertströme schaffen [1]. Insbesondere die Digitalisierung von Produktions- und Logistikprozessen ermöglicht Effizienzsteigerungen bei Geschäftsprozessen [5]. Die zunehmende Verbreitung der digitalen Technologien ermöglicht neue Informationsflüsse und erhöht die Verfügbarkeit von Informationen. Diese Technologien ermöglichen eine effizientere Datenerfassung, Kommunikation, Datenverarbeitung und Prozesskontrolle. So kann Verschwendung durch unnötige Bewegungen, Korrekturen oder Kommunikationspausen vermieden werden [4]. Weitere Beispiele sind die Reduzierung der Unsicherheit in Planungs- und Unterstützungssystemen durch aktuelle Informationen (in Echtzeit), die Bereitstellung von Informationen am Ort der



Wertschöpfung sowie die Möglichkeit dynamischer Bestandsanpassungen und neue Möglichkeiten der Problemlösung mit Hilfe von Prozessdaten [5].

Zudem ist es wichtig, dass keine neuen Verschwendungsarten aus Informationsprozessen entstehen. Dies können überflüssige Informationsbewegungen und Bestände, aber auch überflüssige Aktivitäten (z.B. durch manuelle Eingabe), Wartezeiten (z.B. bei der Datenverarbeitung) oder Datenflut sein [4]. Die Bereitstellung von Informationen ist daher ein wichtiger Aspekt und erfordert die Gestaltung geeigneter Informationsflüsse unter Berücksichtigung der Dimension Zeit.

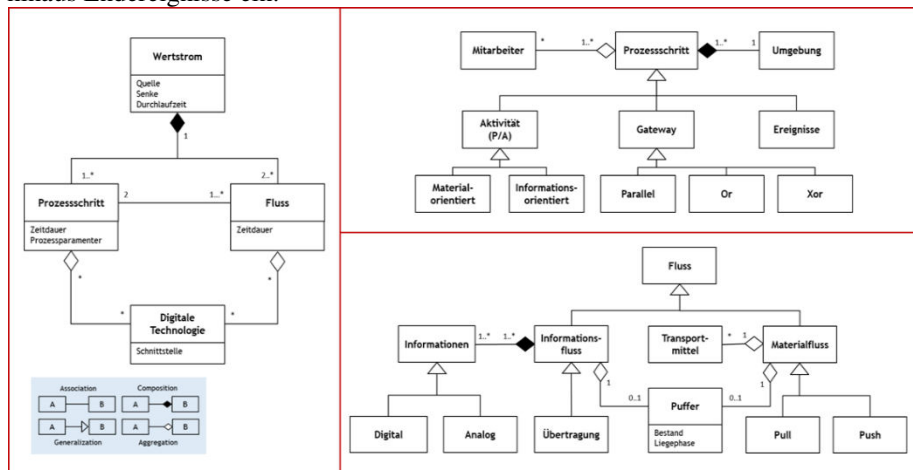
## 4.2 Abstrakte Syntax

Zur Darstellung der abstrakten Syntax wird ein semi-formales Metamodell [27] mithilfe der UML als de-facto Standard in der objekt-orientierten Modellierung [28] dargestellt. Um das Verständnis der abstrakten Syntax zu erleichtern, ist das Metamodell modular aufgebaut. Nach der Vorstellung des Kernmodells werden die Prozessobjekte und Flussobjekte als Teilkonzepte ausdetailliert. Zu diesem Zweck werden zur Spezifikation des Metamodells vereinfachte UML-Klassendiagramme verwendet [27].

Das **Kernmodell** besteht aus vier zentralen Konstrukten: Wertstrom, Prozessschritt, Fluss und digitale Technologie (Abbildung 2). Der Wertstrom stellt das übergeordnete Konstrukt dar und besteht aus einer Aneinanderreihung von Prozessschritten und Flüssen, welche mit einer Quelle (Lieferant) beginnt und in einer Senke (Kunde) endet [6]. Jeder Prozessschritt und jeder Fluss besitzt eine Zeitdauer (z.B. Bearbeitungszeit, Transportzeit, etc.). Die DLZ des übergeordneten Wertstroms fasst die Zeitdauer der einzelnen Prozessschritte und Flüsse zusammen und misst die Zeit, welche ein Gut im Materialfluss von der Quelle zur Senke benötigt. Darüber hinaus können sowohl in Prozessschritten als auch in Flüssen digitale Technologien zum Einsatz gebracht werden. Dies können die klassischen SMAC-Technologien (sozial, mobil, analytisch, cloud) sowie neue technologische Trends wie Internet-of-Things-Devices, künstliche Intelligenz oder Wearables [1] sein.

Ein **Prozessschritt** ist eine abstrakte Superklasse, welche alle Prozesselemente enthält und der *FlowNode* Klasse in BPMN entspricht [26]. Jeder Prozessschritt kann durch einen oder mehrere Mitarbeiter ausgeführt werden und ist genau einem Bereich zugeordnet. Drei Ausprägungen beschreiben Prozessschritte: Prozesse und Aktivitäten (P/A), Gateways und Ereignisse. Die zentralen Prozessschritte sind die P/A, wobei Prozesse generell aus verschiedenen Aktivitäten bestehen [16]. Ein Prozess stellt dabei eine Folge von einzelnen Prozessschritten oder Aktivitäten analog zu BPMN dar. Je nach Granularität können einzelne Prozessaktivitäten wiederum als separater Prozess inkl. deren Aktivitäten betrachtet werden und ermöglichen somit unterschiedliche Abstraktions- und Detaillierungsgrade (GA3). Die Unterteilung der P/A erfolgt in materialorientiert und informationsorientiert. Während materialorientierte P/A physische Aufgaben abbilden und zum Materialfluss beitragen, bilden informationsorientierte Aktivitäten alle Aufgaben ab, um Informationen zu erstellen oder zu verarbeiten. Gateways stellen analog zu BPMN [26] Verzweigungen dar. Zum einen können informationsorientierte Aktivitäten

parallel ausgeführt werden. Zum anderen können Informationen zu unterschiedlichen Entscheidungen im Prozessablauf führen. Ereignisse sind Events [16], die im Ablauf des Wertstroms auftreten. So beginnt jeder Wertstrom nach der Quelle mit einem Startereignis. Zudem existieren Zwischenereignisse immer dann, wenn eine Abhängigkeit zwischen Informations- und Materialfluss eintritt (siehe Flussobjekt, Übertragung). In Fehlerfällen, oder zum Abschluss des Wertstroms, treten darüber hinaus Endereignisse ein.



**Abbildung 2:** Metamodell der VSMN bestehend aus dem Kernmodell (links) und Detaildarstellungen von Prozessschritt und Fluss (rechts)



















Ein **Fluss** verbindet zwei Prozessschritte und erfüllt zwei Aufgaben. Vergleichbar mit *SequenceFlow* Elementen in BPMN [26] bilden Flüsse die logische Reihenfolge der Prozessschritte und damit den Prozessablauf (Sequenzfluss) ab. Darüber hinaus stellen Flüsse entweder den Materialfluss oder den Informationsfluss dar und sind in Anlehnung an die Notation der WSM in die VSMN übernommen worden. Materialflüsse werden analog zur WSM in Push und Pull unterschieden. Schiebt der vorangegangene P/A das Material zum nächsten P/A (Folgeaktivität), so werden Push-Pfeile verwendet. Fordert der nachgelagerte P/A das Material nach Bedarf an, wird das Material gezogen und im Wertstrom mit Pull-Pfeilen visualisiert. Zudem können zur Ermöglichung des Flusses Transportmittel, wie Stapler oder Hubwagen, zum Einsatz gebracht werden. Ein Informationsfluss entsteht im Sequenzfluss informationsorientierter Aktivitäten. Der Fluss besteht dabei aus Informationen, welche analog oder digital sein können. In jedem Fluss können Puffer entstehen, die einen Bestand an Material oder Information halten und zu Wartezeiten führen. Im Informationsfluss stellen Puffer vorhandene, aber ungenutzte Informationen dar, die zu Verzögerungen und damit zu Verschwendung führen können. Im Materialfluss stellen Puffer physische Ansammlungen von Material dar. Einen Spezialfall eines Flusses ist die Übertragung. Diese findet immer dann statt, wenn ein P/A im Material- oder Informationsfluss einen nachfolgenden P/A im anderen Fluss auslöst. Auf diese Übertragungen muss sowohl in der Wertstromanalyse als auch dem Wertstromdesign

ein explizites Augenmerk gelegt werden, weshalb hierfür ein gesondertes Konstrukt (und entsprechend Notationselement) eingeführt wird. Dieses ist weder in der WSM noch BPMN enthalten. Ungenügende Übertragungen können Verschwendungen mit sich bringen, indem sie beispielsweise zu Wartezuständen oder falschen Entscheidungen unter Unsicherheit führen.

## 5 Demonstration der DSMS

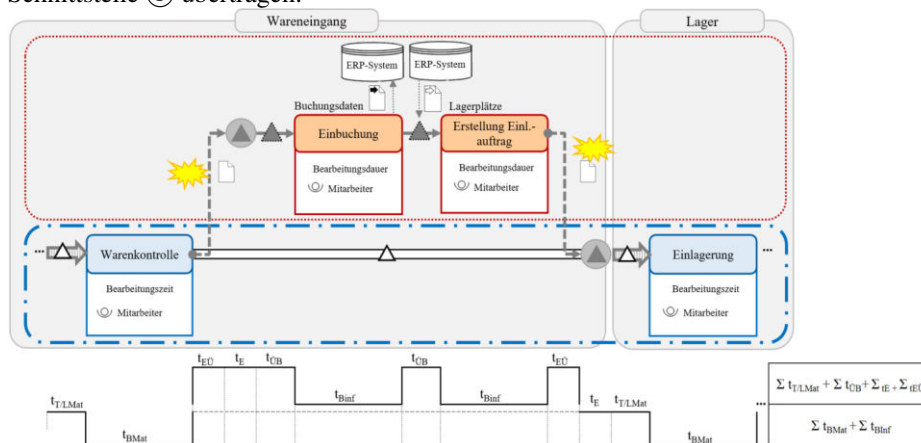
In diesem Kapitel wird die konkrete Syntax der VSMN anhand des Prozesses „Warenannahme“ aus einem Forschungsprojekt in zwei Krankenhäusern demonstriert (Abbildung 3). Um die Komplexität zu reduzieren und die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, ist lediglich ein Ausschnitt des logistischen Prozesses abgebildet. Bei dieser Demonstration der VSMN wird der Schritt der Analyse des Prozesses dargestellt, die dafür notwendigen Notationselemente in Tabelle 1 aufgelistet. Die Notation basiert auf [4, 11] und [16], um die Vertrautheit (GA1) und Zuordenbarkeit zu fachspezifischen Sprachkonzepten (GA4) zu gewährleisten.

Tabelle 1: Konkrete Syntax der VSMN

Bezeichnung	Element	Bezeichnung	Element
① P/A (informations- [rot], materialbezogen [blau])		⑩ Umgebung	
② Ereignis		⑪ Digitale Technologie	
③ Übertragung		⑫ Information (digital - Input)	
④ Materialfluss (push)		⑬ Information (digital - Output)	
⑤ Schnittstelle		⑭ Information (analog)	
⑥ Informationsfluss		⑮ Puffer Informationsfluss	
⑦ Bereich Materialfluss		⑯ Puffer Materialfluss	
⑧ Bereich Informationsfluss		⑰ Liegedauer	
⑨ Kaizen-Blitz		⑱ Mitarbeiter	

Die Elemente sind eine Auswahl aller verfügbaren Notationselemente der VSMN. Der betrachtete Teilprozess beginnt mit dem Transport der Ware zur Warenkontrolle in der Umgebung „Wareneingang“ ⑩. Hierbei wird das betrachtete Gut von dem Vorhergehenden hin zum nächsten Prozessschritt geschoben, was mit einem Push-Pfeil dargestellt ④ ist. Im Materialfluss kann es zu einem Bestandsaufbau kommen, z.B. wenn das Material vor dem nächsten P/A vorübergehend abgestellt werden muss, was mit einem Dreieck ⑮ visualisiert ist. Die P/A werden anhand von Prozesskästen ① dargestellt, welche analog zu [6] Prozessparameter wie Mitarbeiter ⑱ und Bearbeitungszeiten beinhalten. Im betrachteten Teilprozess findet zuerst der P/A „Warenkontrolle“ im Bereich Materialfluss ⑦ statt. Die Warenkontrolle stößt eine Übertragung an. Diese wird anhand eines neu eingeführten, gestrichelten Pfeiles in Anlehnung an den Nachrichtenfluss ③ in BPMN [16] visualisiert. Die Übertragung findet durch analoge Informationen ⑭ statt und löst im avisierten Bereich des

Informationsflusses ⑧ ein Start-Ereignis ② aus. Der nachfolgende P/A „Einbuchung“ beginnt nicht zwingend umgehend nach der Übertragung. Informationen können ebenfalls in einer Art virtuellem Puffer während eines Informationsflusses ⑥ bis zu ihrer Nutzung verweilen oder sind erst zu einem späteren Zeitpunkt verfügbar. Diese Informationsbestände werden anhand eines Dreiecks in Anlehnung an die Pufferdarstellung der Notation der WSM visualisiert ⑮. Im P/A „Einbuchung“ werden die Informationen aus der Warenkontrolle verarbeitet und die generierten Buchungsdaten ⑬ in das ERP-System ⑪ über eine Schnittstelle ⑤ übertragen.



**Abbildung 3:** Darstellung des Referenzprozesses zur Wertstromanalyse mit Hilfe der VSMN

Im nächsten P/A erfolgt die „Erstellung des Einlagerungsauftrags“, welche durch die fertiggestellte Einbuchung ausgelöst wird. Die für die Erstellung notwendigen Lagerplatzdaten ⑫ sind im ERP-System verfügbar und bereits vor dem Start der Erstellung vorhanden. Liegen diese Informationen nicht zeitgerecht vor, stellen diese einen Engpass zur weiteren Bearbeitung dar und verlängern die DLZ des gesamten Prozesses. Mit Abschluss des P/A im Informationsfluss erfolgt eine Übertragung der analogen Information zurück in den Materialfluss. Durch die Übertragung des Einlagerungsauftrags wird ein Ereignis ② ausgelöst, welches den Transport des betrachteten Guts hin zur Einlagerung im Lager anstößt. Die Darstellung des Referenzprozesses in dieser Demonstration endet mit dem P/A „Einlagerung“.

Die beiden P/A „Warenkontrolle“ und „Einlagerung“ im Materialfluss sind durch eine Liegephase ⑰ miteinander verbunden. Diese Darstellung verdeutlicht, dass eine weitere Bearbeitung des Gutes im Materialfluss erst nach Abschluss der notwendigen P/A im Informationsfluss möglich ist und eine Abhängigkeit besteht. Im Teilprozess stellen die Nachrichtenübertragungen in Papierform einen Medienbruch dar, der zu Verzögerungen führt und somit eine zu eliminierende Verschwendung darstellt. Diese Verschwendung ist mit einem Kaizen-Blitz ⑨ visualisiert.

Die Abhängigkeit des Materialflusses von einem effizienten Informationsfluss wird in der Zeitleiste anhand der separat dargestellten Bearbeitungsdauer, sowie Liege-, Übertragungs- und Transportzeiten verdeutlicht und messbar gestaltet.

## 6 Diskussion und Ausblick

Die digitale Transformation generiert nicht nur neue Wertströme, sondern ermöglicht es, bestehende Wertströme effizienter zu gestalten und Verschwendung zu eliminieren oder zumindest zu minimieren. Im Rahmen dieses Forschungsbeitrags wird die Value Stream Model and Notation auf Basis der Notation der WSM sowie BPMN vorgestellt. Die VSMN erlaubt eine Betrachtung von Material- und Informationsflüssen unter Berücksichtigung der Dimension Zeit und ermöglicht die Analyse und Gestaltung von schlanken, digital-unterstützten Wertströmen. Dabei wird der Zusammenhang zwischen Material- und Informationsfluss, sowie die Auswirkung auf die Durchlaufzeit anhand der Zeitleiste visualisiert. Neben der konkreten Notation wird ein Metamodell vorgestellt, welches den Aufbau und die Struktur der VSMN darstellt. Anschließend erfolgt eine Demonstration der Anwendbarkeit der VSMN anhand des logistischen Prozesses „Warenannahme“.

Die vorgestellte VSMN ist eine erste DSMS, um bestehende Wertströme und deren Informationsflüsse auf Verschwendungen hin zu analysieren. Des Weiteren stellt die VSMN einen praktischen Ansatz dar, um die effiziente Gestaltung von Informationsflüssen und Materialflüssen in Wertströmen zu unterstützen. Damit leistet der Ansatz einen Beitrag zu bestehendem Designwissen über DSMS und erweitert das Feld um einen neuen Ansatz zur Abbildung von Material- und Informationsflüssen vor der Dimension Zeit. Bisherige Erweiterungen der WSM fokussieren sich lediglich auf die Art der benötigten und erstellten Informationen [z.B. 7, 28], nicht aber auf die zeitliche Verfügbarkeit.

Die VSMN ermöglicht es Forschern und Praktikern bestehende Wertströme auf Verschwendungen hin zu untersuchen, welche durch mangelnde Informationsflüsse und -verfügbarkeit entstehen. Zudem erleichtert die VSMN die Kommunikation zwischen Modellierern und Modellbetrachtern und unterstützt die Entwicklung geeigneter Informationssysteme und den gezielten Einsatz digitaler Technologien in Produktions- und Logistikprozessen.

Auf Basis der iterativen Vorgehensweise kann nicht formell behauptet werden, dass alle möglichen Szenarien und Konstrukte der WSM abgedeckt wurden. Durch die Demonstration kann angenommen werden, dass die wichtigsten Konstrukte und Szenarien abgedeckt werden können. Künftige Arbeiten müssen dennoch die VSMN in weiteren Anwendungsfällen validieren und weiterentwickeln. Zudem muss die VSMN in einer umfassenden Evaluation untersucht und deren Anwendbarkeit und Verständlichkeit in der Praxis gezeigt werden. Dazu müssen weiterführende Arbeiten die VSMN in verschiedenen Branchen mit potentiellen Nutzern diskutieren und zum Einsatz bringen. Aus einer methodischen Perspektive wird zudem eine Modellierungssprache und keine Modellierungsmethode vorgestellt. Insbesondere die Eignung der bisherigen WSM muss vor dem Hintergrund der VSMN hinterfragt und bei Bedarf weiterentwickelt werden.

## Danksagung

Dieser Artikel wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Projekts „Hospital 4.0 – schlanke, digital-unterstützte Logistikprozesse in Krankenhäusern“ gefördert. Wir danken an dieser Stelle für die Unterstützung.

## References

1. Gimpel, H., Hosseini, S., Huber, R., Probst, L., Röglinger, M., Faisst, U.: Structuring Digital Transformation: A Framework of Action Fields and its Application at ZEISS. *Journal of Information Technology Theory and Application* 19, 31–54 (2018)
2. Emmrich, V., Döbele, M., Bauernhansl, T., Paulus-Rohmer, D., Schatz, A., Weskamp, M.: Geschäftsmodell-Innovation durch Industrie 4.0: Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau. München, Stuttgart: Dr. Wieselhuber & Partner, Fraunhofer IPA (2015)
3. Kelkar, O., Heger, R., Dao, D.-K.: Studie Industrie 4.0–Eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie (2014)
4. Uckelmann, D.: Wertstromorientierte Informationsflüsse für Industrie 4.0—Kernprozesse und Gestaltungsvariablen. *Industrie Management* 6, 13–17 (2014)
5. Metternich, J., Müller, M., Meudt, T., Schaede, C.: Lean 4.0 – zwischen Widerspruch und Vision. *ZWF* 112, 346–348 (2017)
6. Klevers, T.: Wertstrom-Mapping und Wertstrom-Design. Verschwendung erkennen - Wertschöpfung steigern. *mi-Wirtschaftsbuch*, München (2009)
7. Hartmann, L., Meudt, T., Seifermann, S., Metternich, J.: Value stream method 4.0: holistic method to analyse and design value streams in the digital age. *Procedia CIRP* 78, 249–254 (2018)
8. Legner, C., Eymann, T., Hess, T., Matt, C., Böhm, T., Drews, P., Mädche, A., Urbach, N., Ahlemann, F.: Digitalization: Opportunity and Challenge for the Business and Information Systems Engineering Community. *Business & Information Systems Engineering* 59, 301–308 (2017)
9. Koch, S.: Einführung in das Management von Geschäftsprozessen. Six Sigma, Kaizen und TQM. Springer Vieweg, Berlin (2015)
10. Bertagnolli, F.: Lean Management. Einführung und Vertiefung in die japanische Management-Philosophie. Springer Gabler, Wiesbaden (2018)
11. Erlach, K.: Wertstromdesign. Der Weg zur schlanken Fabrik. Springer, Berlin, New York (2010)
12. Tomanek, D.P., Schröder, J.: Value Added Heat Map. Eine Methode zur Visualisierung von Wertschöpfung. Springer Gabler, Wiesbaden (2018)
13. Meudt, T., Metternich, J., Abele, E.: Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production. *CIRP Annals* 66, 413–416 (2017)
14. Busert, T., Fay, A.: Extended Value Stream Mapping Method for Information based Improvement of Production Logistics Processes. *IEEE Eng. Manag. Rev.*, 1 (2019)

15. Allweyer, T.: BPMN 2.0 - Business Process Model and Notation. Einführung in den Standard für die Geschäftsprozessmodellierung. BOD - Books on Demand, Norderstedt (2015)
16. Object Management Group: OMG Unified Modeling Language (OMG UML). Version 2.5, <https://www.omg.org/spec/UML/2.5/PDF>
17. Wand, Y., Weber, R.: Research Commentary: Information Systems and Conceptual Modeling—A Research Agenda. *Information Systems Research* 13, 363–376 (2002)
18. Nordstrom, G., Sztipanovits, J., Karsai, G., Ledeczi, A.: Metamodeling - Rapid Design and Evolution of Domain-Specific Modeling Environments. In: *Proceedings of the 1999 IEEE Conference on Engineering of Computer-Based Systems*, pp. 68–74. IEEE Computer Society, Nashville, Tennessee (1999)
19. Gonzalez-Perez, C., Henderson-Sellers, B.: *Metamodelling for Software Engineering*. Wiley Publishing (2008)
20. Bouhdadi, M., Balouki, Y., Chabbar, E. (eds.): *Meta-Modelling Syntax and Semantics of Structural Concepts for Open Networked Enterprises*. Springer Berlin Heidelberg (2007)
21. Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M.A., Chatterjee, S.: A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems* 24, 45–77 (2007)
22. Frank, U.: Domain-Specific Modeling Languages: Requirements Analysis and Design Guidelines. In: Reinhardt-Berger, I., Sturm, A., Clark, T., Cohen, S., Bettin, J. (eds.) *Domain Engineering: Product Lines, Languages, and Conceptual Models*, pp. 133–157. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2013)
23. Braun, R., Schlieter, H.: Requirements-based development of BPMN extensions: The case of clinical pathways. In: *IEEE 1st International Workshop on the Interrelations between Requirements Engineering and Business Process Management (REBPM)*, pp. 39–44. IEEE (2014)
24. van der Aalst, W.M.P.: *Business Process Management: A Comprehensive Survey*. *ISRN Software Engineering* 2013, 1–37 (2013)
25. Meyer, U.B., Creux, S.E.M., Weber Marin Silva, A.K.: *Grafische Methoden der Prozessanalyse. Für Design und Optimierung von Produktionssystemen*. Hanser, München (2005)
26. Object Management Group: *Business Process Model and Notation (BPMN)*. Version 2.0, <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>
27. Eriksson, O., Henderson-Sellers, B., Ågerfalk, P.J.: Ontological and Linguistic Metamodeling Revisited: A Language Use Approach. *Information and Software Technology* 55, 2099–2124 (2013)
28. Lodderstedt, T., Basin, D., Doser, J. (eds.): *SecureUML: A UML-Based Modeling Language for Model-Driven Security*. Springer Berlin Heidelberg (2002)