

Herbert Weber

Data Engineering 4.0

Kompositionale Informationsmodelle
für industrielle Anwendungen

Data Engineering 4.0

Herbert Weber

Data Engineering 4.0

Kompositionale Informationsmodelle für
industrielle Anwendungen

Herbert Weber
Berlin, Deutschland

ISBN 978-3-658-33184-9 ISBN 978-3-658-33185-6 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-33185-6>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung: Petra Steinmüller

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Für Fiona

Vorwort

Digitalisierung ist, wie der Begriff heute im öffentlichen Diskurs verstanden wird, jede Art der Nutzung von Daten und Algorithmen, die Nutzung von Computern zur Speicherung von Daten und Algorithmen und zur Ausführung der Algorithmen. Daten als Repräsentationen von Informationen charakterisieren den Gegenstand der jeweiligen Digitalisierung und Algorithmen repräsentieren im jeweiligen Gegenstandsbereich die dort stattfindenden Aktionen, Aktivitäten, Abläufe, Flüsse und Verfahren.

Die Digitalisierung erfolgt in nahezu allen Bereichen des öffentlichen und privaten Lebens der Menschen, in nahezu allen Bereichen der Arbeitswelt der Menschen und in nahezu allen Bereichen der Technik. Den Menschen eröffnet sie neue Möglichkeiten der Partizipation, stellt ihnen das Leben erleichternde Produkte und Verfahren bereit und schafft Prosperität und Wohlstand für die Gesellschaft. In der industriellen Welt ermöglicht sie durch weitergehende Automatisierung höhere Qualität, höheren Nutzungskomfort und höhere Sicherheits- und Zuverlässigkeitsstandards für technische Produkte und Anlagen. Sie wird dort zum Einsatz gebracht, um den schonenden Umgang mit natürlichen Ressourcen sicherzustellen und nun auch zunehmend, um den Menschen auf ihre individuellen Bedürfnisse ausgerichtete Angebote machen zu können.

Neue industrielle Welten durch Digitalisierung 4.0

Die Diversität der industriellen digitalen Systeme und Infrastrukturen und die damit verbundenen Heterogenitäten und Inkompatibilitäten sind heute häufig die „road blocks“ für die Steigerung der industriellen Produktivität durch weitere Automatisierungen. Abhilfe wird durch eine neue Ganzheitlichkeit und Durchgängigkeit für die Digitalisierung des industriellen Handelns angestrebt. Für diese Aufgabe hat sich in der Zwischenzeit die Metapher „Digitalisierung 4.0“ eingebürgert. Neue „industrielle Welten“ mit hochgradig vernetzten Produkten und Prozessen als hochgradig vernetzte und hochgradig änderungsintensive, von Menschen konzipierte und vielleicht auch hergestellte Artefakte, haben hochgradig heterogene und damit hochgradig komplexe „Daten- und Informationswelten“ zur Folge.

Weil in den neuen industriellen Welten sowohl seit Langem vorgehaltene, aber auch ganz neue, verschiedene oder sogar extrem verschiedene, Informationen zusammengeführt werden müssen, sind neue Konzepte erforderlich, die es erlauben unterschiedliche Informationen zusammenzuführen und die zusammengeführten Informationen verfügbar zu machen. Das erfordert neue Konzepte diese Daten zu erfassen und digital bereitzustellen um sie mit Hilfe intelligenter Algorithmen auszuwerten und nutzen zu können, sie kontrolliert zu

modifizieren und die dabei entstehenden Folgewirkungen zu beherrschen, um sie als konsistente Daten- Und Informationswelten zu erhalten.

Es ist das Anliegen dieser Monographie einen Vorschlag für ein systematisches ganzheitliches und durchgängiges Daten und Informationsmanagement durch ein angemessenes Daten-und Information Engineering für industrielle Daten und Informationen, das diesen Herausforderungen gerecht wird, zu entwickeln.

Neue Daten/Informationswelten für die industrielle Digitalisierung 4.0

Die zunehmende Vernetzung schon existierender und neuer industrieller Anwendungen der Information-und Kommunikationstechnologien zu „digitalen Ökosystemen“ verlangt eine Vernetzung von Daten, die in den jeweiligen Anwendungen autonom für die Nutzung in genau den jeweiligen Anwendungen konzipiert worden sind. Deren Bereitstellung und Nutzung erfolgt bisher, wie heute oft gesagt wird, in „Silos“. Mit der autonomen Entwicklung und Nutzung der Daten dieser Silos sind häufig große Datenbestände geschaffen worden, die einerseits unverzichtbar sind, andererseits aber nicht kompatibel zueinander sind und für deren gemeinsame Nutzung zueinander kompatibel gemacht, das heißt integriert werden müssen.

Dabei soll auch verdeutlicht werden, dass sich im Hinblick auf die Art der relevanten Informationen und im Hinblick auf deren Integration die „industriellen Informationen“ von den bisher in der Informationsmodellierung vorwiegend betrachteten „kommerziellen Informationen“ unterscheiden und dass diese zum Teil sogar sehr verschieden voneinander sind. Das sind zum Beispiel industrielle, physikalisch definierte Informationen wie elektrische oder magnetische Felder oder mathematisch definierte Räume wie Vektorräume. Es sind aber auch möglicherweise geometrisch definierte Körper und Räume, deren Beschreibung dann zu deren Erzeugung mit additiven Fertigungsverfahren wie dem 3D-Druck dienen. Und Schließlich sind industrielle Informationen auch Repräsentationen von komplexen vernetzten Abläufen in technischen Anlagen sowie in kollaborativen vernetzten und grenzüberschreitenden Arbeitswelten.

Informationsmodellierung 4.0

Seit nunmehr fast 50 Jahren befassen sich Informatiker in der Wissenschaft und in der Praxis mit der Informationsmodellierung. In der Zwischenzeit sind nicht nur Theorien, Konzepte, Vorgehensweisen sondern auch Standards für die Informationsmodellierung verfügbar und in der Praxis zum Einsatz gebracht worden. Gibt es dann, so muss man sich fragen, überhaupt noch einen Anlass über Informationsmodellierung und Informationsmodelle neu nachzudenken. Mit dieser Monographie soll diese Frage positiv beantwortet werden. Anlass dafür ist, dass Daten als Repräsentanten von Informationen im Rahmen der industriellen Digitalisierung eine grundsätzlich neue und bedeutendere Rolle in den dortigen Anwendungen der Informations- und Kommunikationstechnologien zugeordnet wird.

Informationen und Daten erfassen und charakterisieren industrielle Gegenstandsbereiche der Digitalisierung und das Data Engineering entwickelt dazu Systematiken für die Handhabung von Daten: Für die Auswahl, Erfassung, Erzeugung, Speicherung, Aktualisierung und Nutzung von Daten. Data Engineering 4.0 entwickelt solche Systematiken für industrielle Digitalisierungen. Die Informationsmodellierung ist eine dieser Systematiken zur Handhabung von Daten als Repräsentationen von Informationen.

Vernetzung, Interoperation und Datenintegration

Die Integration der Daten aus interoperierenden, unabhängig voneinander entwickelten und betriebenen Anwendungen der Informations- und Kommunikationstechnologien, setzt die ganzheitliche Modellierung der durch sie genutzten Informationen voraus. Dabei wird gefragt, wie, wenn überhaupt, passen die Informationen aus einer Anwendung zu denen aus einer anderen Anwendung; Handelt es sich bei den verschiedenen Datenbeständen tatsächlich um Repräsentationen unterschiedlicher Informationen, treten Dopplungen auf, sind sie im Hinblick auf die integrierte Anwendung alle weiterhin nötig und repräsentieren sie alle für die integrierte Anwendung notwendigen Informationen.

Die Erfassung, Modellierung und Nutzung zu integrierender Daten erfordert möglicherweise auch die Integration unterschiedlicher Datenmodelle und Informationsmodelle, weil die Daten der zu integrierenden Daten und Informationen nach Vorgabe verschiedener Daten- und Informationsmodelle erfolgt ist. Die dazu nötigen Konzepte bereitzustellen und für unterschiedliche Anforderungen auch unterschiedliche Konzepte zur Anwendung zu bringen, ist das hier vertretene Anliegen. Dabei wird versucht solche Konzepte zu entwickeln, bei denen der Aufwand für die Integration unterschiedlicher, auch extrem heterogener Datenbestände, so gering wie möglich gehalten werden und die integrierten Datenbestände als eine „Kohabitation“ der einzelnen zu integrierenden Datenbestände gestaltet werden können.

Semantik und Kompositionalität von Daten- und Informationsmodellen

Die Erfassung und Modellierung der durch zu integrierende Daten repräsentierten Informationen setzt voraus, dass die Bedeutung und zulässige Deutung der Daten im Hinblick auf die Informationen, die sie repräsentieren, bekannt ist. Diese Aufgabe entspricht in der Terminologie der Informationsmodellierung der Erfassung der Semantik der Daten und der Erfassung der Semantik der durch sie repräsentierten Informationen. Die Semantik der Daten wird als eine invariante Eigenschaft der Daten betrachtet, die auch bei Änderungen der Wertebelegungen der Daten unverändert erhalten bleibt. Entsprechen alle Daten eines Datenbestandes dieser Anforderung, wird diese Eigenschaft „Konsistenz“ des Datenbestandes genannt.

Die Informationsmodellierung muss, um die Konsistenz der Daten zu jedem Zeitpunkt ihrer Existenz sicherstellen zu können, durch formalisierte Beschreibungen, die auch Überprüfungen zulassen, erfolgen. Diese formalisierten Beschreibungen werden durch die Nutzung von durch deren Syntax und Semantik definierte Modellierungssprachen ermöglicht. Der Aufgabe, der Erfassung und Modellierung der Semantik von Daten und Informationen und der dazu nötigen Konzepte, dient der größte Teil der Erläuterungen in dieser Monographie, weil eine nicht korrekte Integration und Verletzungen der Konsistenzforderung schwerwiegende Konsequenzen nach sich ziehen können

Kompositionalität bezeichnet eine Forderung für Daten und Informationen, die verlangt, dass in einem aus „Teilen“ gebildeten „Ganzen“ sich die Eigenschaften des „Ganzen“ auf eine beweisbare Art aus den Eigenschaften seiner Teile ableiten lassen. Kompositionalität ist damit die Voraussetzung dafür, in sich konsistente Daten und Informationsbestände aufzubauen und um nicht bei jeder neuen Nutzung von Teilen der Daten- und Informationsbestände überprüfen zu müssen, ob Inkonsistenzen und Inkompatibilitäten und sich daraus möglicherweise ergebende unübersehbare Folgen zu befürchten sind. Der Nachweis der Kompositionalität und damit der Nachweis von Eigenschaften der digitalen Systeme werden damit zur Basis für Zertifizierungen, die im Rahmen von Abnahmen und Zulassungen durch öffentliche Instanzen und sicher auch in gerichtlichen Haftungs-Auseinandersetzungen, eingefordert werden.

Mikro- und Makromodellierung

Die Erfassung und Beschreibung der Informationen auf dem „Granularitätsniveau“ ganzer industrieller Systeme und Anlagen stellt, im Gegensatz zur heute meist praktizierten Mikromodellierung von Informationen mit den tradierten Techniken, eine Makromodellierung dar. Die heute vorwiegend genutzten objektorientierten Modellierungstechniken sind aber für die Mikromodellierung entwickelt worden. Deshalb werden sie auch nicht Ausgangspunkt der Überlegungen zur Makromodellierung sein. Für die Makromodellierung wird daher in dieser Monographie die der objektorientierten Modellierung vorausgegangene Entity-Relationship-Modellierung der Ausgangspunkt sein.

Sowohl in der Mikromodellierung als auch in der Makromodellierung müssen Informationsmodelle festlegen in welcher Weise Änderungen an den die Information repräsentierenden Daten erfolgen dürfen, um die in der Realität entstehenden Änderungen in einem Datenbestand nachvollziehen zu können. Die dazu im Datenbestand an einem Datum erfolgenden Änderungen können „Folgeänderungen“ an anderen Daten des Bestandes nötig machen. Folgeänderungen können deshalb als „Seiteneffekte“ der initialen Änderungen aufgefasst werden.

Die Informationsmodellierung muss auch die Voraussetzungen dafür schaffen, dass die sich aus Änderungen der Realität ergebenden Anforderungen zur Änderung eines schon erstellten und genutzten Informationsmodells und die sich daraus ergebenden, „Impacts“ genannten Veränderungen eines Informationsmodells, korrekt und vollständig durchgeführt werden können.

Inhaltsübersicht

Um die Notwendigkeit der intensiveren Beschäftigung mit der Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen zu verdeutlichen, wird im Kapitel 1 eine Auflistung von Argumenten zusammengetragen, mit denen deutlich gemacht wird, dass industrielle Anwendungen Besonderheiten aufweisen, die bisher nicht im Zentrum der Überlegungen zur Informationsmodellierung standen.

In Kapitel 2 werden die besonderen Anforderungen an die Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen diskutiert. Dabei werden die verschiedenen in industriellen Anwendungen relevanten Informationen und der zu ihrer Darstellung nötigen Ausdrucksmittel erläutert. Es wird verdeutlicht, wie Beschreibung und Charakterisierung industrieller Artefakte unterschiedliche wissenschaftliche Bezugssysteme wie die der Mathematik oder die Physik nutzen muss, um Informationsmodelle zu erstellen und um deren intendierte Nutzung sicherzustellen.

Im Kapitel 3 werden dann anschließend konzeptionelle Grundlagen für die Informationsmodellierung dargestellt, um deutlich zu machen, dass die Begriffe „Wissen“, „Information und Daten“, „Syntax“, „Semantik“ und die Beziehungen zwischen ihnen für die Informationsmodellierung von zentraler Bedeutung sind. Gerade weil die Benutzung dieser Begriffe in unterschiedlichen Diskursen sehr unterschiedlich ist, müssen die Definitionen der Begriffe, der Abhängigkeiten und Beziehungen zwischen den Begriffen in dem jeweiligen Konzept für die Informationsmodellierung festgelegt sein, um die darauf aufbauenden Modellierungstechniken und Praktiken richtig einordnen zu können.

In Kapitel 4 werden kompositionale komponentenorientierte konstruierte Informationsmodelle eingeführt und damit werden die Grundlagen für systematische Kontextualisierungen und die damit möglich werdende uniforme Mikro- und Makromodellierung erläutert. Dazu wird deutlich gemacht, dass Wissen und Kenntnisse die Voraussetzung dafür sind Informationen und Daten realitätsgetreu zu erfassen und zu modellieren und um valide Abgrenzungen für einen Betrachtungsgegenstand zu erreichen. Sie sind damit nötig, um den „Überblick nicht zu verlieren“ und die in einem Modell zu berücksichtigenden Daten und Informationen so zu modellieren, dass die Komplexität der Modelle beherrschbar bleibt.

In Kapitel 5 werden dann zunächst komponentenorientierte „extensionale Konstruktionen“ als Konstruktionsmechanismen für Entities und Relationships als Bausteinhierarchien, und darauffolgend in Kapitel 6 komponentenorientierte „intensionale Konstruktionen“ für die kompositionale Modellierung von Entity-

Klassen und Relationship-Klassen eingeführt. Von besonderem Interesse sind die in diesen Kapiteln wiederum diskutierten dynamischen Eigenschaften von Informationsmodellen. Mit „Propagationspfaden“ werden die aus den Wirkungszusammenhängen resultierenden dynamischen Eigenschaft hierarchisch konstruierter Informationsmodelle spezifiziert, um die Änderungsdynamik, die zwischen Informations- und Datenbausteinen nachverfolgen zu können, und um festzulegen, welche Folgewirkungen eine Änderung an der Extension bzw. der Intension eines Informationsmodells an einer Stelle im Informationsmodell für den Rest des Modells hat.

Während bei extensionalen Konstruktionen Entities, Relationships und Entity-Relationships „gesammelt“ und „erfasst“ und solche mit gleichen Merkmalen „aufgezählt“ und zu Klassen zusammengefasst werden, werden bei der intensionalen Konstruktion aus Entity-Klassen/Entity-Typen, Relationship-Klassen/Relationship-Typen und Entity-Relationship-Klassen/Entity-Relationship-Typen durch die Anwendung intensionaler Konstruktions-Abstraktions-Beziehungen „kreativ“ konstruierte Entity-Klassen/Entity-Typen, Relationship-Klassen/Relationship-Typen und Entity-Relationship-Klassen/Entity-Relationship-Typen gebildet. Gegenstand der Betrachtung von intensionalen Konstruktionen sind also nicht mehr die die Extension bildenden einzelnen Daten, sondern die „Gesamtheit“ aller extensionalen Elemente bevor diese extensionalen Elemente überhaupt bereitstehen, also die Intension.

In Kapitel 7 wird das HERMES Komponenten Konstruktionsmodell für die Informationsmodellierung definiert und in kompakter Form vorgestellt. Dabei wird deutlich gemacht, dass mit den in den vorangegangenen Kapiteln eingeführten Konstruktionen ein uniformes „Objektmodell“ für die Informationsmodellierung entstanden ist. Es gestattet die Konstruktion mengenwertiger und nicht mengenwertiger Informationen, es gestattet die Konstruktion extensionaler und intensionaler Informationen und es gestattet die Konstruktion von Abläufen sowie die Dynamik von Abläufen abzubilden. Darüber hinaus wird die Sprache zur Beschreibung kompositionaler konstruierter Objekthierarchien eingeführt. Dazu wird deren Syntax und Semantik formal definiert und gezeigt, wie mit der Nutzung der Sprache die Darstellung von Syntax und Semantik von Informationsmodellen für industrielle Artefakte erfolgen kann.

Mit der Monographie ist nicht die Erstellung eines „Handbuches“, sondern eher die eines „Essays“ beabsichtigt, mit dem Interessierte zur Weiterarbeit am Thema eingeladen werden sollen. Wie später deutlich werden wird, ist die Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen durch eine Vielzahl von nicht notwendigerweise neuen, aber in komplexen Verflechtungen zusammenspielenden- Themen bestimmt. Um trotz dieser komplexen Zusammenhänge das Lesen und Verstehen der folgenden Texte zu erleichtern ist

neben der üblichen Dezimalnummerierung und der damit eingeführten Kapitelstruktur, in den Texten durch nicht nummerierte, fett gedruckte, Zwischenüberschriften versucht worden, auch das Wiederfinden spezieller Texte zu speziellen Themen zu erleichtern.

Die Konzepte der Informationsmodellierung werden im Text immer wieder durch graphische Darstellungen und einfache und damit stark simplifizierende Beispiele erläutert, um den Aufwand sie zu verstehen möglichst gering zu halten. Um ihre Tauglichkeit für die Modellierung auch großer spezieller Praxisbeispiele und für die Praxis selbst zu erproben, empfiehlt sich die Durchführung von Projektworkshops mit mehreren Beteiligten, bei denen die Dokumentation der Modellierungsergebnisse als Inzidenzmatrizen wie sie am Ende von Kapitel 7 vorgeschlagen werden zunächst mit einfachen Werkzeugen wie zum Beispiel Excel, durchzuführen.

Mit der Monographie wird, so ist zu hoffen, ein auch für die industrielle Praxis gangbarer Weg zum ingenieurtechnisch rigorosen „Data Engineering 4.0“ aufgezeigt. Sie zeigt deshalb „was sein sollte“ aber noch nicht, wie die Transformation dahin zustande zu bringen ist. Ein dafür entwickeltes Konzept zur Analyse und zum „profiling“ existierender Informations- und Kommunikationsinfrastrukturen ist eines der in einem von der Kommission der Europäischen Union geförderten Vorhabens erarbeiteten Ergebnisse und steht bei Interesse zur Verfügung.

Meine langjährige Lehr-, Forschungs- und Beratungstätigkeit hat wohl zu der Einsicht geführt, dass der Informationsmodellierung und dem Informationsmanagement für industrielle Anwendungen in der Vergangenheit zu wenig Beachtung geschenkt worden ist. Mit dieser Monographie wird der Versuch gestartet, eine intensivere Beschäftigung mit dem Thema anzuregen. Dem ist zuzuschreiben, dass dieser Monographie im Anhang auch ein Vorschlag für ein Curriculum zum „Data Engineering 4.0“ hinzugefügt worden ist.

Herbert Weber

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Inhaltsübersicht	XI
Inhaltsverzeichnis	XV
1.....Informationen und Informationsmodelle	1
1.1.... Informationsmodelle und Informationsmodellierung.....	2
1.2.... Daten und Informationen für industrielle Anwendungen	7
2.....Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen	15
2.1.... Organisatorische Vernetzung und grenzüberschreitende Kooperationen	16
2.2.... Technische Vernetzung und Integration	19
2.3.... Voraussetzungen für die Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen.....	24
2.3.1 . Kenntnisse und Bezugssysteme.....	24
2.3.1.1 Kenntnisse	24
2.3.1.2 Bezugssysteme	30
2.4.... Informationsmodelle für technische industrielle Anwendungen	36
2.5.... Big Data und Smart Data in industriellen Anwendungen	42
2.5.1. Big Data in industriellen Anwendungen.....	43
2.5.2 . Smart Data in industriellen Anwendungen	47
2.5.3 . Von Big Data zu Smart Data	51
2.5.4 . Die kognitiven Grenzen für die Informationsmodellierung.....	55
3.....Methoden der Informationsmodellierung	57
3.1.... Wissen, Informationen, Daten.....	58
3.1.1 . Bereitstellung von Wissen als Information	61
3.1.2 . Wissen, Informationen, Daten in industriellen Anwendungen ...	70

3.2.... Methoden der klassischen Informationsmodellierung	72
3.2.1 . Informationsmodelle der klassischen Informationsmodellierung ..	72
3.2.2 . Daten und Datenmodelle	74
3.2.3 . Kontextualisierungen und Semantik.....	75
3.3.... Syntax und Semantik von Informationsmodellen	77
3.3.1 . Formsemantik.....	78
3.3.2 . Domänensemantik	81
3.4.... Syntax und Semantik von Entity-Relationship-Modellen	84
3.4.1 . Entity-Relationship-Modelle	84
3.4.2 . Syntax von Entity-Relationship-Diagrammen	91
3.4.3 . Die Semantik von Entity-Relationship-Diagrammen	100
3.4.4 . Metamodelle für die Darstellung der Syntax und Semantik von ERD ..	104
3.4.5 . Intuitive Bedeutung von Entity-Relationship-Modellen	108
3.4.5.1 Domänensemantik von Entity-Relationship-Modellen.....	112
3.4.5.2 Formsemantik für Entity-Typen und Relationship-Typen .	117
3.5.... Die dynamischen Eigenschaften von Entity-Relationship-Modellen ..	130
3.5.1 . Wirkungszusammenhänge.....	134
3.5.2 . Wirkungszusammenhänge für die Änderungsoperationen „Einfügen“, „Löschen“, „Modifizieren“	136
3.5.3 . Darstellung von Wirkungszusammenhängen durch Propagationspfade.....	143
3.5.4 . Zustände und Zustandsübergänge	145
3.5.5 . Die Darstellung von Integritätsbedingungen	147
3.5.5.1 Kardinalität von Relationship-Typen	148
3.5.5.2 Spezielle Relationship-Typen.....	153
3.6.... Abstraktionen	158
3.6.1 . Abstraktionskonzepte der Informationsmodellierung	161
3.6.2 . Abstraktionskonzepte der Informationsmodellierung und des Software Engineering	170
3.6.3 . Beispiele zur graphischen Veranschaulichung von Abstraktionen	184

3.7.... Semantik-Konzepte der klassischen Informationsmodellierung: Synopse.....	196
4..... Kompositionale konstruierte Informationsmodelle	203
4.1.... Kompositionale konstruierte Wissens- und Informationsmodelle	210
4.1.1 . Struktur von Wissen und Wissensprofile.....	211
4.1.2 . Struktur von Information und Informationsprofile.....	217
4.2.... Kompositionale konstruierte Entity-Relationship-Modelle	229
4.2.1 . Komponenten in Entity-Relationship-Diagrammen.....	230
4.2.2 . Abstrakte Modelle, abstrakte Entities und abstrakte Relationships	235
4.2.3 . Konstruktion von Entity-Relationship-Modellen.....	243
4.2.4 . Metamodell für die Konstruktion von Modellen	248
4.3.... Relativitätsprinzip für die komponentenorientierte Informationsmodellierung.....	252
4.4.... Alternative graphische Darstellungen für Komponenten-Konstruktionen.....	255
4.4.1 . Graphen als Darstellungen von Komponenten-Konstruktionen.....	255
4.4.2 . Tabellarische Darstellung konstruierter abstrakter Entities/Entity-Typen	260
4.4.3 . Konstruktionen in der Informationsmodellierung: Synopse und Ausblick	268
5..... Extensionale Konstruktionen.....	273
5.1.... Klassen-Konstruktionen.....	278
5.1.1 . Klassen	281
5.1.2 . Klassen-Konstruktionen	282
5.1.2.1 Extensionale Konstruktion von Entity-Klassen und Entity-Relationship-Klassen durch Aufzählung	286
5.1.2.2 Durch Mengenoperationen definierte Aufzählungen kompositionaler extensionaler Klassen-Konstruktionen	291
5.1.3 . Modifikation konstruierter Klassen	296
5.1.4 . Darstellung von Wirkungszusammenhängen durch Änderungen in konstruierten Entity-Klassen.....	300

5.1.4.1	Wirkungszusammenhänge für partiell abhängige konstituierende Entity-Klassen.....	306
5.1.4.2	Wirkungszusammenhänge für total abhängige konstituierende Entity-Klassen.....	311
5.1.4.3	Wirkungszusammenhänge für schwach abhängige konstituierende Entity-Klassen.....	318
5.1.4.4	Wirkungszusammenhänge für Klassen-Konstruktionen in der Übersicht	325
5.2....	Gruppen-Konstruktionen.....	325
5.2.1 .	Die Konstruktions-Abstraktions-Beziehung „Gruppierung“	327
5.2.2 .	Existenzabhängigkeiten für die Konstruktions-Abstraktions-Beziehung „Gruppierung“	330
5.2.3 .	Wirkungszusammenhänge.....	331
6.....	Intensionale Konstruktionen.....	335
6.1....	Generalisierungs-Konstruktionen.....	337
6.1.1 .	Die Konstruktions-Abstraktions-Beziehung „Generalisierung“ 348	
6.1.2 .	Extensionale Existenzabhängigkeiten für die Generalisierungs-Konstruktion.....	351
6.1.3 .	Intensionale Wirkungszusammenhänge für Generalisierungs-Konstruktionen	354
6.2....	Aggregations-Konstruktionen.....	358
6.2.1 .	Metamodell für Aggregations-Konstruktionen	364
6.2.1.1	Klassen als konstituierende Komponenten in Aggregations-Konstruktionen für mengenwertige Informationen.....	366
6.2.1.2	Entity-Relationship-Netze als konstituierende Komponenten in Aggregations-Konstruktionen.	370
6.2.1.3	Wirkungszusammenhänge für die Aggregations-Konstruktion von Entity-Klassen	373
6.2.2 .	Form-Änderungen und intensionale Wirkungszusammenhänge für mengenwertige Informationen.....	380
6.3....	Aggregations-Konstruktion nicht-mengenwertiger Entity-Typen.....	392
6.3.1 .	Aggregations-Konstruktionen für materielle Artefakte	393
6.3.1.1	Modellierung von materiellen Aggregations-Konstruktionen.	393

6.3.1.2 Modellierung von Eigenschaften in materiellen Aggregations-Konstruktionen	409
6.3.2 . Aktivierbare industrielle Produkte und Produktionssysteme ..	418
6.3.2.1 Industrielle Abläufe	421
6.3.2.2 Plattformen in industriellen Anwendungen	428
6.3.3 . Aggregations-Konstruktionen für virtuelle Artefakte.....	437
6.3.3.1 Virtuelle Produktionssysteme als hybride Aggregations-Konstruktionen	445
6.3.3.2 Industrielle Abläufe in vernetzten virtuellen Produktionssystemen.....	467
6.3.3.3 Implementierung vernetzter industrieller Abläufen als vernetzte Produktionssystem-Hierarchien	476
6.3.3.4 Darstellungen von Aggregations-Hierarchien durch Graphen und Tabellen.....	481
7.....Das HERMES Komponentenmodell.....	489
7.1.... Objekte und Objekt-Konstruktionen.....	491
7.2.... Objektwerte und Objekt-Wertänderungen.....	496
7.3.... Objekt-Typen und Objekt-Typ-Spezifikationen	497
7.4.... Objekt-Typ-Hierarchien und Objekt-Hierarchien.....	509
7.5.... Spezifikation von Operationen durch Regeln.....	523
7.6.... Spezifikation von Konstruktoren durch Zustandsgleichungen	527
7.7.... Modularität des Objektmodell:Das HERMES Komponenten-Modell..	533
8.....Gesamt - Zusammenfassung	543
9.....ANHANG A	549
A-1 .. Textuelle Darstellung in HERMES	550
A1.1 . Grammatik zur Beschreibung von Regeln	550
A-1.1.1 Regeln zur Definition von Entity-Typen	551
A-1.1.2 Regeln zur Definition von Relationship-Typen.....	552
A-1.1.3 Regeln zur Beschreibung von Attributen	553
A-1.1.4 Die textuelle Darstellung der Aggregation	554
A-1.1.5 Die textuelle Darstellung der Generalisierung	557

A-1.1.6 Die textuelle Darstellung der Gruppierung	558
A-1.2 Kontextsensitive Eigenschaften.....	559
A-2 ..Operationale Semantik	560
A-2.1 Operationen zur Datenmanipulation.....	560
A-2.2 Beschreibung der statischen und dynamischen Integritätsbedingungen.....	562
A-2.3 Die operationale Semantik der Abstraktionskonzepte	565
A-3 ..Die Linearisierung in HERMES.....	575
A-3.1 Propagations-Elemente und EER-Netzwerke	575
A-3.2 Propagations-Pfade.....	577
A-3.3 Operationale Semantik von konzeptionellen Modellen im HERMES	582
Topic Map:.....	587

1. Informationen und Informationsmodelle

Zusammenfassung

Um die Notwendigkeit der intensiveren Beschäftigung mit der Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen zu verdeutlichen, wird im Kapitel 1 eine Auflistung von Argumenten zusammengetragen, mit denen deutlich gemacht wird, dass industrielle Anwendungen Besonderheiten aufweisen, die bisher nicht im Zentrum der Überlegungen zur Informationsmodellierung standen.

In der Wirtschaft, aber auch in anderen Organisationen sind Informationen und die sie repräsentierenden digitalisierten Daten als „Geschäftsinformationen“, als „technische Informationen“ oder als „Marktinformationen“ etc. seit langem bereitgehalten und für die Erledigung der jeweiligen Aufgaben verfügbar gehalten und genutzt. Sie werden dort allerdings noch immer und allzu häufig als etwas „ohnehin Verfügbares“ betrachtet, ohne dass ihr „Geschäftswert“ oder ihr „potenzieller Geschäftswert“ Gegenstand weiterer Überlegungen ist: Sie gelten als eine „Commodity“ und werden nicht immer -wie nötig- als strategisches Wirtschaftsgut angesehen.

In der Zwischenzeit setzt sich dazu mehr und mehr die Erkenntnis durch, dass Informationen und Daten nicht „Alles“ sind, dass aber alles ohne qualitativ hochwertige, geschützte Informationen „Nichts“ ist und dass das organisationsweite Informationsmanagement von strategischer Bedeutung ist. Unternehmen und Unternehmensleitungen bemühen sich, die Werte, die ihre Informationen darstellen, zu erhalten und vor dem illegalen Zugriff durch Unbefugte zu schützen, aber auch den Missbrauch und die unzulässige Nutzung durch Befugte zu verhindern.

Das ist auch Anlass genug für einen Paradigmenwechsel für die Nutzung von digital verfügbar gehaltenen Informationen und Daten. Während am Beginn der Digitalisierung Informationen und Daten –metaphorisch gesprochen– als digitalisierte Karteikarten betrachtet wurden, werden sie nun mehr und mehr als „corporate asset“ und „corporate ressource“ zur Entwicklung virtueller Abbilder von Unternehmen, Produkten und Produktionsverfahren, von Dienstleistungen sowie von Werkstücken und Werkzeugen verstanden. Es bedarf vor diesem Hintergrund keiner weiteren Erklärung, dass Informationen und Daten zu einem Herzstück aller Unternehmungen geworden sind.

Es ist in der Zwischenzeit auch offensichtlich, dass dafür Informationen und Daten, die zunächst unabhängig voneinander erhoben und elektronisch

gespeichert worden sind, so miteinander verknüpft werden müssen, dass mit ihnen auch „grenzüberschreitende“ Anwendungen entwickelt werden können. Dafür ist die „passgerechte“ Integration von Informationen und Daten bis zu dem Grad nötig, dass mit ihnen Gesamtheiten“ entstehen, in denen die „Komplementarität“ der verschiedenen Datenbestände sichergestellt wird und diese auch konsistent sind.

Neue integrierte Anwendungen, insbesondere integrierte technische industrielle Anwendungen, erzwingen auch einen veränderten Umgang mit Informationen und Daten: Während auf der einen Seite ihre konzeptionelle Integration nötig wird, ist in verteilten Organisationen auf der anderen Seite eine Tendenz zur Proliferation der Daten zu vielen Lokationen aus den unterschiedlichsten Gründen, wie zum Beispiel auch aus Effektivitätsgründen und Sicherheitsüberlegungen, nicht zu vermeiden. Integration und Verteilung von Daten und Informationen werden damit zu zentralen Anliegen in deren industriellen Nutzungen.

1.1 Informationsmodelle und Informationsmodellierung

Jedes Unternehmen nutzt Daten in der für das Unternehmen bestgeeigneten Weise, um seine Aufgaben zu erfüllen. Die Daten werden gespeichert, um sie wiederverwenden zu können, oder um sie als Archivdaten zur Dokumentation des Unternehmensgeschehens nutzen zu können. Daten dienen innerhalb der Unternehmensorganisation zum Informationsaustausch zwischen Akteuren und zum Informationsaustausch mit der Umwelt des Unternehmens.

Auch in industriellen Anwendungen sind Informationen solche, die eine langfristige Bedeutung haben und deshalb als persistente Informationen vorgehalten werden müssen und solche, die nur eine temporäre Bedeutung haben und als transiente Informationen betrachtet werden können. Transiente Informationen sind z.B. erforderlich um Aktionen anzustoßen oder zu beenden und dienen damit der Steuerung und Regelung der Aktivitäten der technischen Systeme. Nach ihrer Nutzung dienen sie eventuell noch der Protokollierung der durch sie gesteuerten und geregelten Ereignisse oder sie sind obsolet.

Diese Betrachtung der industriellen Nutzung von Informationen und Daten erfordert Informationsmodellierungen, die über klassische Konzepte hinausgehen, aber in vielfältiger Weise auf den dort gelegten Grundlagen aufbauen. Diese noch einmal darzustellen scheint nötig zu sein, um die neuen Herausforderungen erkennen zu können.

Datenbanken

Die Speicherung und das Wiederauffinden von Daten mit Hilfe einer Datenbank und einem Datenbankmanagementsystem zur wiederholten Nutzung der Daten in Anwendungen ist Stand der industriellen Praxis. Diese Nutzung der Daten ist dann erfolgreich, wenn mit der Bereitstellung der Daten in einer Datenbank und bei der späteren Nutzung sichergestellt ist, dass die Bedeutung und zulässige Deutung der Daten bekannt ist, ohne dass die Bedeutung der Daten explizit angegeben und in der Datenbank gespeichert worden ist, oder dass sichergestellt ist, dass die Bedeutung der Daten in jedem Fall aus der Benennung der Daten abgeleitet werden kann. Es wird also erwartet, dass Bereitsteller und Nutzer der Daten ein gemeinsames Verständnis von der Bedeutung und zulässigen Deutung sowie der Nutzung der Daten haben.

Die Entwicklung eines solchen gemeinsamen Verständnisses gelingt nur dann, wenn die „kognitive Distanz“ zwischen Bereitsteller und Nutzer nicht zu groß ist oder wird, und damit das gemeinsame Verständnis mindestens im Großen und Ganzen gegeben ist. Mit der wachsenden und umfassender werdenden Digitalisierung industrieller Anwendungen im Ablauf der vergangenen Dekaden und mit der wachsenden Menge von digital verfügbaren Daten entstand immer häufiger das Problem, dass Bereitsteller und Nutzer der gespeicherten Daten dieses gemeinsame Verständnis nicht mehr entwickeln konnten, ohne dass dieses gemeinsame Verständnis selbst dokumentiert worden ist. Dies hat die Notwendigkeit von einem Datenmanagement zu einem Informationsmanagement überzugehen bedingt, und dafür spielt die Informationsmodellierung die entscheidende Rolle.

Informationsmodellierung

Informationsmodellierung ist in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts mit der Diskussion um das richtige „Datenmodell“ für Datenbanksysteme als Disziplin in der Informatik begründet worden. Die davor schon im Wesentlichen in der „Artificial Intelligence“-Forschung begonnenen Arbeiten, sogenannte semantische Netze als Repräsentationen für die Semantik gesprochener Sprache zu entwickeln, haben die Informationsmodellierung von Anbeginn an stark beeinflusst. Nicht zuletzt deshalb sind zunächst Entity-Relationship-Modelle als pragmatische Ausprägungen semantischer Netze zu einem attraktiven Modellierungskonzept weiterentwickelt worden. Letztlich sind Einflüsse des Software Engineering auf die Weiterentwicklung der Informationsmodellierung hin zu objektorientierten Konzepten, wie sie dann zur „Unified Modeling Language“ geführt haben und dort auch standardisiert worden sind, aus der Praxis der Informationsmodellierung nicht mehr wegzudenken.

Die Informationsmodellierung ist eine der Aufgaben zur Planung der Bereitstellung von Informationen für deren anschließende Nutzung für einen bestimmten Zweck. Die entstehenden Informationsmodelle sind Darstellungen der

für die erwarteten oder bekannten Nutzungen notwendigen und zur Verfügung stehenden Informationen. Die Informationsmodellierung ist also getrieben durch einen erwarteten oder schon existierenden Informationsbedarf. Auch wenn die Informationsmodellierung in diesem umfassenden Sinn erst jetzt ihre Bedeutung gewinnt, waren Informationsmodelle früher schon von praktischer Bedeutung. Sie dienten als Kataloge, Register oder Datenbank-Schemata für die in Datenbanken gespeicherten Daten und waren deshalb für das Datenmanagement mit Datenbanken und für die Realisierung von Datenbanksystemen ein unverzichtbares Konzept.

Informationsmodelle

Informationsmodelle sind „Ordnungsschemata“ für Informationen in dem Sinne, dass sie Informationen und zwischen Informationen existierende Beziehungen und Abhängigkeiten darzustellen gestatten. Die Bedeutung der Informationsmodelle als Ordnungsschemata besteht im Wesentlichen darin, dass aus ihnen ablesbar wird, welche Deutungen den Informationen und den die Informationen repräsentierenden Daten zugeordnet werden dürfen oder auch müssen und welche ihnen nicht zugeordnet werden dürfen..

Von Informationsmodellen wird auch erwartet, dass sie nicht nur Momentaufnahmen für eine bestimmte Situation sind, sondern auch darstellen, welche Veränderungen der die Informationen repräsentierenden Daten zur Aktualisierung der Momentaufnahmen zugelassen werden können oder auch müssen, um eine sich verändernde Situation durch eine Veränderung der Daten korrekt widerzuspiegeln. Mit dem Begriff „Situation“ wird deutlich gemacht, dass Informationsmodelle letztlich mehr oder weniger umfassende Abbilder einer „Realität“ oder von Teilen dieser Realität im Zeitablauf sind. Sie dienen damit dem Verstehen und Dokumentieren der Realität im Zeitablauf.

Die im Zeitablauf nötig werdenden Änderungen von Informationen und den sie repräsentierenden Daten eines Datenbestandes können, um invariante Eigenschaften der modellierten Realität als invariante Eigenschaften von Informationen eines Informationsmodells darzustellen. Verletzen Änderungen von Daten an einer Stelle, können sie zur Wiederherstellung der invarianten Eigenschaften des Informationsmodells Änderungen an anderen Daten erfordern. Solche „Seiteneffekte“ müssen in Informationsmodellen, quasi vorausschauend, dargestellt werden, um die Konsistenz der Informationsmodelle sicherstellen zu können

Die Dynamik der Veränderungen in der Realität ist allerdings nicht immer allein durch Veränderungen der Daten selbst möglich, sondern erfordert darüber hinausgehend auch die Veränderung schon existierender Informationsmodelle. Die Veränderung einer Information an einer „Stelle“ im Informationsmodell hingegen, kann eine Vielzahl von Veränderungen an anderen „Stellen“ des Informationsmodells nach sich ziehen. Änderungen eines Informationsmodells an einer „Stelle“ bedingen einen sogenannten „Impact“ auf andere „Stellen“ des Informationsmodells. Mit der Informationsmodellierung müssen deshalb auch die Voraussetzungen für ein systematisches Seiteneffekt- und Impactmanagement geschaffen werden.

Unternehmens-Informationsmodelle

Die heutige industrielle Praxis ist auch dadurch gekennzeichnet, dass in den vergangenen Dekaden schon eine Vielzahl von Datenbeständen entstanden ist, für die nicht immer Informationsmodelle existieren. Für deren erfolgreiche weitere Nutzung ist dann, wenn deren „Vernetzung“ unabdingbar ist, um weitergehende Ziele zu verfolgen, ein nicht zu unterschätzender Aufwand für die „Integration“ zu bewältigen. Integration ist aber gerade auch eine der Innovationen, von der die großen Effekte für ein ökonomisches Informationsmanagement erwartet werden.

Wird angestrebt, ein Informationsmodell für eine ganze Unternehmung bereit zu stellen, wird dies dann als „Enterprise Information Model“ bezeichnet. Die Gesamtheit der Informationen als Informationsmodell darzustellen, führt in der Regel dazu, dass voneinander unabhängig entwickelte Datenbestände zusammengeführt werden müssen. IT Unternehmen bieten dazu eine Vielzahl von Produkten an, mit denen der Datentransfer zwischen verschiedenen IT Systemen automatisch bewerkstelligt werden kann. Es gelingt mit diesen Angeboten zwar, den Zugriff auf Datenbestände unterschiedlicher Anwendungen und deren Transfers problemlos erscheinen zu lassen, sie liefern jedoch keine Lösungen im Hinblick auf die „richtige“ Zusammenführung der „richtigen“ Daten mit der „richtigen“ Bedeutung für die Integration der verschiedenen Anwendungen.

Dieser Anforderung wird im Weiteren besondere Aufmerksamkeit zukommen, um den heute in industriellen Anwendungen anzutreffenden Gegebenheiten gerecht zu werden. Dass diese Integration unterschiedlicher, voneinander unabhängig entwickelter Datenbestände auch die Integration der durch die Daten repräsentierten Informationen erfordert, versteht sich von selbst.

Informationsmodelle industrieller Artefakte

Wenn industrielle Anwendungen Gegenstand der Informationsmodellierung sind, sind nicht nur Informationen über unterschiedliche Artefakte wie Werkstücke, Werkzeuge aber auch Anlagen und Maschinen von Bedeutung. Für industrielle Anwendungen müssen nicht nur Informationen und Daten als Abbilder von „Dingen“ und „Sachverhalten“, sondern auch Informationen und Daten, die „Aufgaben“ und deren „Erledigung“ darzustellen gestatten, also von Abläufen

und Prozessen vorgehalten werden. Das heißt, dass anders als in der klassischen Informationsmodellierung, nicht nur persistente Daten, in der Praxis in Deutschland häufig „Stammdaten“ genannt, sondern auch transiente Daten, die zwischen Ereignissen, wie z.B. zwischen dem Ende der Erledigung einer Aufgabe und dem Beginn der Erledigung einer folgenden Aufgabe, von einer Aufgabe zur nächsten transferiert werden müssen, Gegenstand der Informationsmodellierung sein müssen.

Die Beziehungen zwischen Aufgaben sind dann auch „zeitbezogene“ Beziehungen wie z.B. „vorher“ und „nachher“. Mit Aufgaben und zeitbezogenen Beziehungen zwischen Aufgaben lassen sich dann nicht nur Aufgaben Folgen sondern z.B. auch Bearbeitungsabfolgen für Werkstücke, aber auch „Flüsse“ wie z.B. „Materialflüsse“ und „Informationsflüsse“ sowie „Abläufe“ wie z.B. „Geschäftsabläufe“ und „Fertigungsabläufe“ in Informationsmodellen darstellen.

Daten und Informationen und damit die Informationsmodelle für industrielle Anwendungen sind damit nicht nur Dokumentationen des „was ist“ sondern auch des „wie“. Damit ist gemeint, dass sie nicht nur Abbildungen von Werkstücken, Werkzeugen und industriellen Anlagen, sondern auch Abbildungen von während deren Produktion und Nutzung stattfindenden industriellen Abläufen und für deren Ausführungssteuerung sind. Sie müssen beides, die industriellen Produkte und die industrielle Produktion, nachbilden.

Werden für die Informationsmodellierung verschiedener zu integrierender Anwendungen, also auch mehrerer verschiedener Werkzeuge, Maschinen und Anlagen sowie unterschiedlicher industrieller Abläufe gefordert, lässt sich ermesen, welche Inkompatibilitäten existieren oder entstehen können und beherrscht werden müssen, um ein integriertes Informationsmanagement zu ermöglichen. Dabei werden dann nicht nur unterschiedliche Informationen, sondern auch unterschiedliche Nomenklaturen in unterschiedlichen Fachsprachen in der Modellierung verwendet werden müssen.

Dass dies eine Herausforderung von häufig unterschätzter Komplexität ist, die zu häufig unterschätzten Aufwänden für die Informationsmodellierung führt, wenn sie denn überhaupt bewältigt werden kann, bedingt, dass nicht immer die vollständige Integration der Informationen zu verlangen möglich ist, und stattdessen „föderale“ Konzepte für das Datenmanagement heterogener Datenbestände etabliert werden müssen.

Werthaltigkeit und Nutzung von Informationsmodellen

Informationsmodelle sind die Basis für die Organisation der die Informationen repräsentierenden Daten in einer Datenbank oder einem anderen Typ eines „Data Repository“. Sie stellen in diesem Sinne auch Kataloge dafür dar, für welche Informationen eine Datenbank Daten enthält. Über die Kataloge kann dann auch der Zugriff zu ihrer Nutzung unterstützt werden.

Der darüberhinausgehende Nutzen der Informationsmodellierung und von Informationsmodellen besteht darin, dass sie ein für alle Bereitsteller und Nutzer verbindliches Abbild der Realität sind. Damit wird erreicht, dass nur einmal ein Informationsmodell erstellt werden muss, um es anschließend beliebig oft und von beliebig Vielen nutzen zu können, ohne dass diese jeweils den dafür notwendigen Aufwand erneut auf sich nehmen müssen.

Auch wenn sich sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis die Bezeichnung von Informationsmodellen als Abbildungen der Realität eingebürgert hat, konnte dieser Anspruch immer nur soweit gelten, als dass sie in aller Regel kein umfassendes und vollständiges, sondern nur ein partielles Abbild der Realität waren. Das war für praktische Anwendungen aber auch hinreichend, solange die durch das Modell dargestellten Informationseinheiten und die zwischen ihnen dargestellten Abhängigkeiten/Beziehungen, für den jeweiligen Nutzungsbereich als ausreichend betrachtet worden sind. Es ist also aus den intendierten Nutzungen abzuleiten, ob die in einem Modell dargestellten Informationen notwendig und auch hinreichend sind oder nicht.

Mit der Erfassung und Bereitstellung von Daten und Informationen über industrielle Artefakte wie Werkzeuge und Anlagen und insbesondere mit der Erfassung auch von industriellen Abläufen entstehen neue Nutzenpotenziale für Informationsmodelle: Sie sind nicht mehr nur stationäre Abbilder sondern können mit simulierten Ausführungen der industrieller Abläufe der prospektiven Validierung industriellen Handelns während der Entwicklung der dafür nötigen industriellen Artefakte dienen. Als realitätsgetreue Abbilder können sie sogar Masterpläne für die spätere Betriebssteuerung nach der Fertigstellung der Artefakte sein und werden damit zur Basis „industrieller Betriebssysteme“.¹

1.2 Daten und Informationen für industrielle Anwendungen

Industrielle Anwendungen können sowohl „technische“ als auch „betriebliche“ Daten umfassen. „Technische“ Daten beziehen sich auf technische Produkte und technische Verfahren zur Herstellung von technischen Produkten. „Betriebliche“ Daten betreffen die Organisation und das Management von industriellen Organisationen. Die Zukunft der industriellen Anwendungen wird – so wird übereinstimmend angenommen – eine sehr viel stärkere informations- und kommunikationstechnische Integration „technischer“ und „betrieblicher“ Daten erfordern.

Während die Diskussionen der Erzeugung und Nutzung „betrieblicher“ und „technischer“ Daten und Informationen jeweils separat seit langem Gegenstand von Wissenschaft und Praxis waren, sind demzufolge jetzt integrative Konzepte gefragt. Die beiden Arten von Daten und Informationen in industriellen Anwendungen integrativ zu betrachten, wird deshalb zur Aufgabe für die Daten- und Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen. Für die integrierte

Modellierung von „betrieblichen“ und „technischen“ Sachverhalten und für deren Repräsentation durch Daten und Informationen benötigen wir deshalb ein gemeinsames Modellierungsparadigma. Damit wird das Ziel verfolgt, Informationen in voneinander abgrenzbaren Informationsbausteinen darzustellen. Dazu wird das Konzept der „kompositionalen Konstruktion“ eingeführt, mit dem es möglich werden soll, in einer konstruktiven Art umfassende technische und betriebliche Informationsmodelle als kompositionelle Informationsmodelle darzustellen. Kompositionale Konstruktion ist dann der „Gemeinsame Nenner“ für die Modellierung von „betrieblichen“ und „technischen“ Daten für industrielle Anwendungen.

Technische industrielle Anwendungen erfahren zurzeit eine geradezu revolutionäre Weiterentwicklung durch weitergehende Vernetzungen und durch die mit der Vernetzung nötig werdende Integration. Damit wächst die Digitalisierung über ihre Rolle als Basis für die Automatisierung von Teilen der industriellen Anwendungen durch „NC-Maschinen“, „Roboter“, „3D-Druckern“ etc. hinaus und ermöglicht das „grenzüberschreitende“ Zusammenspiel vieler dieser Systeme und ganzer Anlagen. Dazu werden virtuelle Abbilder dieser Systeme und Anlagen benötigt, die durch Informationen und letztlich durch Daten repräsentiert und als solche vorgehalten und genutzt werden können.

Informationsmodelle für Produkte/Produkttypen

Die Breite der industriellen Anwendungen lässt eine umfassende Darstellung der dort anfallenden Daten und Informationen in den dort jeweils zum Tragen kommenden Wissensbereichen nicht zu. Um dennoch einen Hinweis auf die dort häufig anzutreffenden Anforderungen an die Nutzung von Daten und Informationen zu geben, soll hier ein einfaches „Produktmodell“ als Metapher eingeführt werden: Das Informationsmodell eines Produktes ist nicht mehr nur eine beliebige Sammlung von Informationen, die das Produkt charakterisieren, sondern ein vollständiges Abbild des funktionstüchtigen Produktes.

Wie üblich werden Produkte aus mehreren Bausteinen wie zum Beispiel Systemen, Baugruppen, Bauteilen, Komponenten und Werkstücken aufgebaut. Die Unterscheidung zwischen mehreren Arten von Bausteinen dient dabei der Bezeichnung unterschiedlicher Grade der Zusammenführung von Bausteinen zu Zwischenprodukten und letztlich zum Produkt. Ein Produktmodell legt darüber hinaus die Darstellung der „Konstruktionsschritte“ und der Schrittfolgen bis zur Fertigstellung eines Bausteins oder eines Produktes fest, indem es den jeweiligen „Stand“ in der Konstruktion eines Bausteins oder Produktes und die nächsten möglichen und/oder zulässigen „Stand“ der Konstruktion festzulegen gestattet.

Das Produktmodell für die Informationsmodellierung in technischen Anwendungen umfasst dann die folgenden Festlegungen:

- Es gestattet die Darstellung von Informationen über Bausteine unterschiedlicher Art.
- Es gestattet die Darstellung der Zusammenfügung auch unterschiedlicher Bausteine in einer „Aufbaustruktur“.
- Es gestattet die Darstellung der Art der Zusammenfügung von Bausteinen unterschiedlicher Art.
- Es gestattet die Darstellung von Zuständen von Bausteinen unterschiedlicher Art im Zeitablauf.

Das Konstruktionskonzept ist demzufolge ein Selbstreferenzierungskonzept, und es kann als Hierarchie von Informationsbausteinen und/oder Informationsmodellen dargestellt werden, die das schrittweise Zusammenfügen von Bausteinen unterschiedlicher Art zu einem Produkt abbilden. Dies entspricht den in den Ingenieurtechniken verwandten „Stücklisten“ zur Darstellung des Aufbaus auch komplexer Bausteine aus hierarchisch untergeordneten einfacheren Bausteinen.

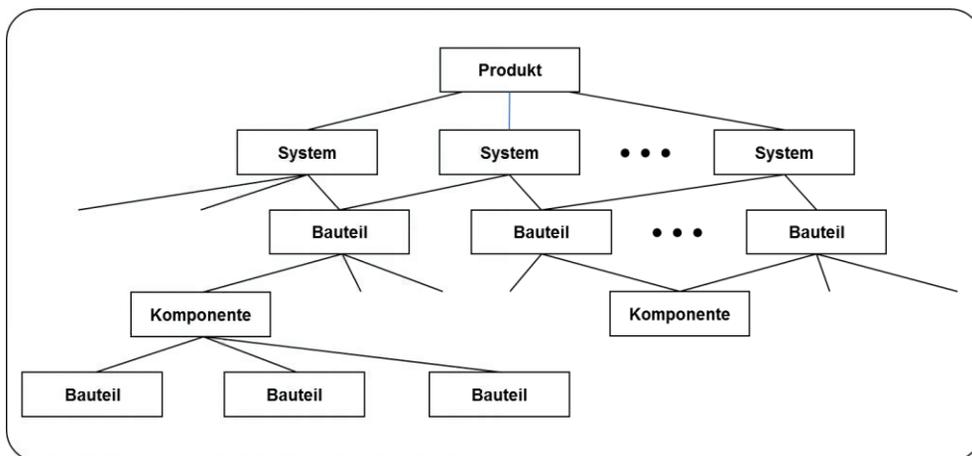


Abbildung 1-1: Produktmodell

Mit dem Konstruktionskonzept können dann beliebige Aufbaustrukturen für beliebige Bausteine in gleicher Weise modelliert werden und die Unterscheidung zwischen Werkstücken, Bauteilen, Baugruppen, Komponenten und Systemen, wie sie oben für unterschiedliche Bausteine eingeführt worden ist, ist für die Informationsmodellierung solcher Aufbaustrukturen irrelevant. Für die Informationsmodellierung ist allein wichtig, dass die Konstruktion immer das Zusammenfügen „passender“ Produkte und Bausteine vorsieht. „Passen“ oder

auch „Passgenauigkeit“ kann sich auf eine Vielzahl unterschiedlicher Charakteristika von Produkten und Bausteinen wie z.B. „Geometrie“, „Material“, „elektrische Leitfähigkeit“, „Wärmeleitfähigkeit“ etc. beziehen. Damit wird deutlich, dass die Informationsmodellierung für technische industrielle Anwendungen auch profunde Kenntnisse in der Physik und in den Ingenieurwissenschaften sowie in der Informatik erfordert.

Für ein Produktmodell, das auch die Unterscheidung zwischen der Art von Produkten sowie von Exemplaren des Produktes gestattet, stellt die Informationsmodellierung die Konzepte „Typ“ und „Instanz“ bereit. Die Einführung von beiden hat für industrielle Anwendungen eine besondere Bedeutung. Während in der Informationsmodellierung die Typkennzeichnung häufig dazu dient, festzulegen, wie viele und welche Menge von Exemplaren eines Typs zu irgendeinem Zeitpunkt existieren dürfen, gleichgültig, welche Exemplare das sind, ist in industriellen Anwendungen jedes Exemplar in einer Bausteinhierarchie auch individuell von Bedeutung. Das einzelne Exemplar ist ein Abbild eines real existierenden Bausteins eines bestimmten, individuell existierenden Produktes. Dies wird Gegenstand weiterer Erläuterungen im Abschnitt „Varianten und Versionen“ sein.

Die Herstellung des Produktes sieht dann die „passgerechte“ Verbindung aller Bausteine eines Produkts vor, sodass deren stufenweise und/oder parallele Fertigstellung in unterschiedlichen Arbeitsgängen mit gleichen oder unterschiedlichen Werkzeugen auf unterschiedlichen Maschinen und Anlagen erfolgen kann. Mit der angestrebten Flexibilisierung industrieller Fertigung, um eine weitergehende Individualisierung der Produkte für jeweils einzelne Kunden oder Kundengruppen erreichen zu können, müssen unterschiedliche Varianten der Bausteine eines Produkts mit passgerechten Varianten anderer Bausteine des Produktes mit den gleichen oder verschiedenen Werkzeugen, Maschinen und Anlagen zusammengefügt werden können.

Informationsmodelle für industrielle Abläufe/Ablauftypen

In gleicher Weise, wie Daten und Informationen zur Darstellung von Produkten dienen, können sie auch zur Darstellung von industriellen Abläufen genutzt werden. Industrielle Anwendungen erfordern jedoch zwei grundverschiedene Arten von Abläufen voneinander zu unterscheiden: Kontinuierliche und diskrete Abläufe. Kontinuierliche Abläufe finden z.B. in der chemischen Verfahrenstechnik oder in der Energieerzeugung statt, diskrete Abläufe charakterisieren z.B. die Fertigungsindustrie. Diskrete Abläufe sind Darstellungen von Abfolgen von Aktivitäten wie z.B. der Abfolge der Arbeitsschritte in der Bearbeitung eines Werkstücks oder der schrittweisen Zusammenfügung von Bausteinen und eventuell sogar die Abfolge von Zulieferungen in einer Lieferkette.

Die Reihenfolgen, in denen das Herstellen von Bausteinen und das Zusammenfügen der Bausteine erfolgen können, sind durch einen Fertigungsplan

bestimmt und ergeben sich aus Bearbeitungsplänen und den Konstruktionsplänen der Bausteine. Diskrete Abläufe sind dann Reihenfolgen von Aktivitäten, in denen bestimmte Aufgaben erledigt werden. Das heißt, dass auch diskrete Abläufe, analog zu Produkten, als aus Bausteinen aufgebaut betrachtet werden können. Im Folgenden werden dann, wenn Abläufe betrachtet werden, nur diskrete Abläufe betrachtet werden (Abbildung 1-2).

Abläufe können, genau wie Produkte, als aus „Teilabläufen“ zusammengesetzt betrachtet werden und Teilabläufe können wieder eine Menge von Aktivitäten umfassen. Mit einer solchen hierarchischen Zerlegung von Abläufen entsteht dann, wie bei Produkten, die Möglichkeit sie nicht immer in Gänze betrachten zu müssen, sondern als aus „Komponenten“ aufgebaute Abläufe betrachten zu können. Der Vorteil dieser Betrachtungsweise besteht darin, dass bei Änderungen der Abläufe, die durch die Änderung möglicherweise entstehende Notwendigkeit „Folgeänderungen“ vorzusehen, um einen konsistenten Ablaufplan für den Gesamtprozess sicherzustellen, einfacher und systematischer bewerkstelligt werden können.

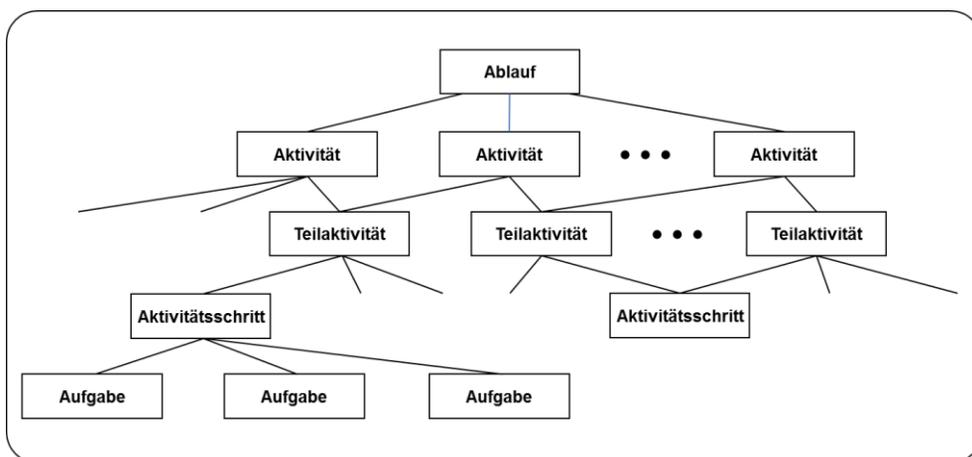


Abbildung 1-2: Ablaufmodell

Auch für Abläufe gilt, dass Abläufe und Aktivitäten in Abläufen von einem bestimmten Typ sein können, und dass zu einem Typ von Aktivitäten mehrere Ausprägungen dieser Aktivitäten existieren können. Die jeweiligen Ausprägungen sind als Varianten für Aktivitäten zu betrachten, mit denen die bei ihren unterschiedlichen Ausführungen sich mehr oder weniger voneinander abweichende Aufgaben erledigt werden können.

Im weiteren Verlauf der Erläuterungen in dieser Monografie wird zur Einführung von Prinzipien der Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen eine Differenzierung zwischen Daten und Informationen über „Produkte“ und

„Abläufe“ erst im Rahmen der Darstellung von industriellen Abläufen in später sogenannten Produktionssystemen vorgenommen, weil die durch das „Konstruktionsprinzip“ gekennzeichnete Informationsmodellierung für alle Bedeutungen von Daten und Informationen in gleicher Weise gelten sollen.

Das bedeutet allerdings nicht, dass mit der Festlegung eines Ablaufmodells industrielle Abläufe hinreichend und vollständig charakterisiert worden wären. Ablaufmodelle stellen nur ein „statisches“ Abbild von Abläufen und ihren Zerlegungen dar, es berücksichtigt nicht die während der Durchführung eines Ablaufs zu berücksichtigenden dynamischen Charakteristika eines Ablaufs wie z.B. Wiederholungen von Teilabläufen oder die Auswahl eines Teilablauf aus mehreren Optionen in einem Gesamtablauf.

Abläufe und Ressourcen

Noch weiter führende Überlegungen zur Modellierung von Abläufen gehen davon aus, dass diese durch eine „Kontrollinstanz“, wie z.B. durch eine Leitwarte, gestartet, überwacht und beendet werden, so dass Abläufe „dynamisch“ gesteuert werden, und dass die dynamische Steuerung dadurch erfolgt, dass Schritte in einem Ablauf immer dann gestartet werden, wenn alle zu Ihrer Ausführung benötigten Daten verfügbar sind. Diese datenflussorientierte Steuerung der Abläufe wird als ein Schritt zur „Selbstorganisation“ oder zur „Autonomie“ komplexer Systemen und als Möglichkeit zur Flexibilisierung von Abläufen betrachtet.

Ein dazu zu entwickelndes „Ablaufmodell“ muss berücksichtigen, dass zum Beispiel die Herstellung/Bearbeitung von Werkstücken jeweils mit Werkzeugen, Werkzeugketten, Maschinen, Anlagen etc. erfolgt. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese nur für ein Werkstück spezifische oder aber auch für mehrere Arten von Werkstücken Aktivitäten ausführen können, dass sie entweder nur eine festgelegte begrenzte Menge von Aktivitäten oder auch eine Vielzahl von Aktivitäten ausführen und eine Vielzahl von Aufgaben erledigen können. Darüber hinaus können Werkzeuge, Werkzeugkette, Maschinen und Anlagen dahingehend unterschieden werden, ob sie bei der Herstellung/Bearbeitung von Werkstücken Aktivitäten durchführen können, die Werkstücke verändern oder zusammenfügen können oder nur „Hilfsaktivitäten“ wie z.B. Transportaufgaben übernehmen können. Eine weitere Diskussion dieser Modellierung von Abläufen erfolgt in späteren Kapiteln.

Produktmodelle in den Ingenieurwissenschaften

In einer von der klassischen Informationsmodellierung nahezu völlig unabhängigen Entwicklung sind Modelle und Modellierungstechniken für physikalische Artefakte und Produkte in den klassischen Ingenieurdisziplinen entstanden. Sie stützen sich auf Ingenieurprinzipien von „Zerlegung“ und „Funktionsteilung“ ab und haben das Arbeiten mit „Stücklisten“ als allgemeingültiges Engineeringparadigma aus den klassischen Ingenieurwissenschaften übernommen. Für deren Informationsmodellierung sind heute hochentwickelte Modellierungstechniken des Computer Aided Design und Werkzeuge für die Unterstützung der Modellierungsaufgaben verfügbar.

Folge dieser beiden zunächst voneinander unabhängigen Entwicklungen in den beiden Bereichen industrieller Datennutzung sind häufig anzutreffende Sprach- und Verständigungsbarrieren zwischen Ingenieuren und Informatikern: Während für Ingenieure die Welt hierarchisch strukturiert ist und physikalische Objekte bezogen auf ein Produkt, in dem sie verwendet werden, von unterschiedlichem Granularitätsniveau sein können, sind für Informatiker Informationen zunächst gleichwertig „flach“, und „flache“ Strukturen entstehen durch Bezüge und Abhängigkeiten zwischen Informationen.

Für die Entwicklung von Modellierungstechniken für industrielle Anwendungen ist es auch unabdingbar, dass sie für die uniforme Modellierung hochkomplexer Strukturen und Abläufe für industrielle technische Artefakte und auch kommerzieller Artefakte in übersichtlicher, verständlicher nachvollziehbarer und reproduzierbarer Weise tauglich sind.

Das vordringliche Ziel, das mit der Bereitstellung von kompositionalen Modellen hier verfolgt wird, ist diese Sichten zusammenzuführen, um eine für Ingenieure und Informatiker gemeinsame Sprache und Verständigungsebene zu schaffen.

Über diese grundlegenden Anforderungen für die Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen hinaus sind eine Reihe weiterer technischer Anforderungen zu bewältigen, die im Folgenden, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, aufgeführt sind.

Modellierung „im Großen“ und Modellierung „im Kleinen“

Die obigen Beispiele für Veränderungen der industriellen Welt haben, so ist es zu hoffen, deutlich gemacht, dass in der Zukunft nicht nur eine „kleinteilige“, sondern eine zunehmend „großflächigere“ Bereitstellung und Nutzung von Informationen nötig sind und zur Entwicklung und zum Betrieb der dazu notwendigen Informations- und Kommunikationsinfrastrukturen neue Methoden für die „großflächige“ Informationsmodellierung unabdingbar sind. Gleichzeitig kann nicht übersehen werden, dass die Aufwände für die ganzheitliche Bereitstellung und Nutzung von Informationen nicht dazu führt, dass existierende „lokale“ Informationsbestände in ihrem jeweiligen Unternehmenskontext aufgegeben werden können, weil neue ganzheitliche Informationsmodelle und

Methoden für die Informationsmodellierung entwickelt und zum Einsatz gebracht werden. Informationsmodellierung für (neue) industrielle Anwendungen stellt also einen Balanceakt zwischen existierenden „Best Practices“ einerseits und „Herausforderungen“ andererseits dar.

Damit sind einige der wichtigsten Herausforderungen für die Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen einführend erklärt worden, die – so ist zu hoffen – durch die im Weiteren dargestellten Techniken für die Informationsmodellierung bewältigt werden können.

Pragmatik

Um Missverständnissen vorzubeugen, darf an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass die Integration heterogener Datenbestände in aller Regel nicht bis zu dem Punkt vorangetrieben werden kann, an dem alle Daten eines Unternehmens, einer Wertschöpfungskette oder eines Produktionsvorganges, so zu sagen, „aus einem Guss“ sind. Der intellektuelle und finanzielle Aufwand dafür ist in den meisten Fällen nicht zu bewältigen. In der Praxis wird das

Machbare getan, und das heißt, dass die Daten oder Datenbestände, die eine „grenzüberschreitende“ Bedeutung haben und „grenzüberschreitend“ genutzt werden, integriert werden. Die Daten und Datenbestände, die spezifisch für eine Nutzung sind, werden für die Nutzungen, für die sie relevant sind, abgeschottet vorgehalten. Das bedeutet dann auch, dass die ganzheitliche Konsistenz eines integrierten Informationsmodells nicht gewährleistet ist. Es entsteht dann für Informationsmodellierer die Herausforderung, sich mit der Nutzung oder den Nutzungen der Daten und Datenbestände soweit vertraut zu machen, dass sie Entscheidungen über die Abgrenzung zwischen zwingend notwendiger und nicht notwendiger Integration treffen können.

Die Anwendung dieses Prinzips der „partiellen Integration“ von Daten und Datenbeständen kann, das sollte immer auch beachtet werden, die Ursache folgenschwerer Fehler sein, schafft aber andererseits die Voraussetzungen für ein pragmatisches Vorgehen. Es kann immer dann besonders sinnvoll sein, wenn die „semantische Distanz“ zwischen den zu vernetzenden Daten und Datenbeständen nicht zu groß ist. Ohne dass dies hier detailliert erläutert werden kann, sind damit auch die Voraussetzungen dafür gegeben, um die vernetzten Daten und Datenbestände ohne große Softwareanpassungen in föderativen Anwendungssystemen zu nutzen.



2. Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen

Zusammenfassung

In Kapitel 2 werden die besonderen Anforderungen an die Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen diskutiert. Dabei werden die verschiedenen in industriellen Anwendungen relevanten Informationen und der zu ihrer Darstellung nötigen Ausdrucksmittel erläutert. Es wird verdeutlicht, wie Beschreibung und Charakterisierung industrieller Artefakte unterschiedliche wissenschaftliche Bezugssysteme wie die der Mathematik oder die Physik nutzen muss, um Informationsmodelle zu erstellen und um deren intendierte Nutzung sicherzustellen.

Die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien in der Breite der Wirtschaft begann in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts. Sie kam dabei zunächst insbesondere bei der Nutzung in datenintensiven, betrieblichen (verwaltungs- und managementbezogenen) Anwendungen zum Einsatz. Nahezu zwangsläufig folgte dazu die Separierung von Programmen und Daten, um die konsistente Nutzung der gleichen Daten durch mehrere Programme sicherstellen zu können. Dies wiederum führte zu einer stürmischen Entwicklung von Datenbanken und Datenbank(-management)systemen.

Die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien in industriellen Anwendungen erfolgt nun auch schon seit mehreren Dekaden, um Informationen über Werkstücke, Werkzeuge, Maschinen und Anlagen, aber auch über Abläufe und Prozesse und natürlich auch über Materialien, als umfangreiche Dokumentationen zur Verfügung zu haben. Dass solche Dokumentationen immer auch große Umfänge erreicht haben, hat dazu geführt, dass große Aufwände dafür entstanden sind, die Gesamtheit der vorgehaltenen Informationen konsistent und aktuell zu halten.

Industrielle Nutzungen der Informations- und Kommunikationstechnologien erfolgen sowohl in der Entwicklung von Produkten als auch in deren industriellen Produktion, natürlich auch in der Organisation und im Management des industriellen Handelns. Informationen und Daten für industrielle Anwendungen sind deshalb auch Modelle von Produkten für deren automatisierte Produktion und nicht nur Abbildungen invarianter oder stationärer industrieller („menschengemachter“) Artefakte, sondern auch solche zur Darstellung automatisierter oder sogar autonomer Abläufe in und zwischen diesen Artefakten.

Die in industriellen Anwendungen benötigten und erzeugten Informationen und Daten bilden aus ihrer Bedeutung und ihrer zulässigen Deutung abgeleitete komplexe Abhängigkeits- und Beziehungsgeflechte. Änderungen einzelner Informationen und Daten zur Erfassung der in den Anwendungen stattfindenden Veränderungen haben wegen dieser Beziehungen und Abhängigkeiten weitreichende „kollaterale“ Änderungen zur Folge. Diese Änderungsdynamik zu beherrschen ist eine der großen Herausforderungen in der Informationsmodellierung für diese Anwendungen. Die diese Änderungsdynamik in den Anwendungen verursachenden neuen Anforderungen zu erklären ist Gegenstand der folgenden Erörterungen in diesem Kapitel.

Auch wenn der Begriff „Industrielle Anwendungen“ suggerieren mag, dass er nur Anwendung in der industriellen Fertigung adressiert, soll hier betont werden, dass die dort im Hinblick auf die Informationsmodellierung zu bewältigenden Probleme sich möglicherweise im Großen und Ganzen in anderen Bereichen wie z.B. in der Energieversorgung, in der Logistik, in der Medizintechnik, in der Verkehrstechnik etc. in gleicher oder sehr ähnlicher Weise wiederfinden lassen. Damit soll allerdings nicht suggeriert werden, dass alle industriellen Anwendungen im Hinblick auf die Informationsmodellierung über einen Kamm geschoren werden können: Das wird im Folgenden auch dadurch verdeutlicht, dass die Nutzung der vorgeschlagenen Modellierungstechnik immer auch an Beispielen für diskrete industriellen Abläufe erläutert wird und die Probleme kontinuierlicher Abläufe, wie sie beispielsweise in der Verfahrenstechnik zu finden sind, nicht betrachtet werden.

Es kann wohl ohne großen Widerspruch zu herauszufordern behauptet werden, dass für die Entwicklung und Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien in industriellen Anwendungen einige Trends auch übergreifende Bedeutung erlangt haben. Ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben soll dies im Folgenden dargestellt werden.

2.1 Organisatorische Vernetzung und grenzüberschreitende Kooperationen

Der Anlass, über neue Herausforderungen für die Informationsmodellierung in industriellen Anwendungen neu nachzudenken, besteht darin, dass in den industriellen Anwendungen im Ablauf der vergangenen Dekaden signifikante Veränderungen stattgefunden haben und weitere, noch größere organisatorische und technische Veränderungen bevorstehen. Das kann an einigen Beispielen verdeutlicht werden.

Arbeitsteilung

Das Konzept der Konzentration auf ihre Kernkompetenzen hat bei vielen Unternehmen zu einem „Outsourcing“ von Teilen ihrer Leistungen an externe

Leistungserbringer geführt. Müssen die im Unternehmen weiterhin zu erbringenden Leistungen mit den Leistungen externer Leistungserbringer zusammengeführt werden, entstehen im Vorfeld für die gegenseitige Bereitstellung und Nutzung von Informationen Aufwände dadurch, dass auch nach dem Outsourcing ein kollektives Verständnis der Bedeutung der bereitgestellten und genutzten Informationen sichergestellt sein muss oder mit in der Regel großem Aufwand hergestellt werden muss.

Ein solches Phänomen lässt sich immer dann beobachten, wenn durch die Reduktion der Fertigungstiefe im Produktionsunternehmen durch die damit verbundene Zusammenarbeit mit Zulieferern zunächst ein kollektives Verständnis der Semantik der bereitgestellten und genutzten Informationen nicht vorausgesetzt werden kann. Die durch die Reduktion der Fertigungstiefe eigentlich zu erzielenden Produktivitätsgewinne werden zum Teil durch die notwendige Entwicklung eines kollektiven Verständnisses der Bedeutung und zulässigen Deutung der bereitgestellten und genutzten Informationen unproduktiv aufgebraucht.

Arbeitsteilung unter Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien findet darüber hinaus mehr und mehr in einer sogenannten „Multi-Sided-Economy“ statt, in der nicht nur Leistungen mehrerer Partner zusammengeführt werden, sondern auch ein für alle Partner gemeinsames Geschäftsmodell vereinbart ist und die Leistungen und Erträge der einzelnen Partner als Beiträge zu gemeinsamen Leistungen und Erträgen betrachtet werden, die intern zwischen den Partnern „verrechnet“ werden. Die dabei nötig werdende gemeinschaftliche Nutzung von Daten stellt möglicherweise sogar das gemeinsame Geschäftspotenzial dar und begründet damit das gemeinsame Geschäftsmodell.

Fusionen

Während die obigen Beispiele Arbeitsteilungen beschreiben und sie als Verursacher für den größeren Aufwand für die notwendige gemeinsame Bereitstellung und Nutzung von Informationen durch alle Beteiligten identifizieren, lassen sich ebenso Beispiele dafür finden, dass auch weitergehende Integrationen von Aktivitäten, Unternehmensabläufen und Unternehmen zu erhöhten Aufwendungen führen können.

An erster Stelle sind hierfür sicherlich Unternehmensfusionen zu benennen, von denen man weiß, dass sie nicht oder nicht immer erfolgreich sind, weil die unterschiedlichen "Kulturen" der an der Fusion beteiligten Unternehmen ein organisches Zusammenwachsen zu einem Gesamtunternehmen behindern. Genauso aufwändig wie die Angleichung der Kulturen kann die Angleichung von Fachsprachen und Terminologien und deren Nutzung in den Unternehmensinformationen bis hin zur Integration der Informations- und Kommunikationstechnologien der beteiligten Unternehmen sein.

Industrielle Ökosysteme

Es ist schon verdeutlicht worden, dass zukünftige Anwendungen die Integration sehr unterschiedlicher Anwendungen und letztlich auch sehr unterschiedlicher Datenbestände notwendig machen. Die besonderen Herausforderungen bestehen nun darin, nicht nur den Austausch der Daten, die die Informationen repräsentieren, zu ermöglichen, sondern auch darin, verschiedene Informationsbestände zu einem „Gesamtbild“ zusammenzuführen, in dem „syntaktische und semantische Heterogenitäten“ überbrückt werden, um einen insgesamt konsistenten integrierten Informationsbestand zu erhalten.

Die dazu hier noch zu erwähnende Herausforderung besteht darin, dass das „Informationsaufkommen“ für integrierte Anwendungen in den in der Zwischenzeit sogenannten Ecosystemen enorm wächst und damit Methoden erforderlich werden, die zu entscheiden gestatten, welche Informationen wofür relevant sind und welche nicht, um die „Spreu vom Weizen“ zu trennen. Die persistent zu haltenden Informationsbestände bestimmen dann den Bedarf an Suchtechnologien, mit denen alle relevanten Informationen mit akzeptablem Aufwand gefunden werden können. Dass dies der Suche nach der „Stecknadel im Heuhaufen“ entspricht, darf erwartet werden.

Die Integration mehrerer, zunächst unabhängiger, Anwendungen entspricht der Formulierung von „Unternehmens-Informationsmodelle“ über die dann auch das gewünschte Zusammenwirken aller im Unternehmen eingesetzter Programme und Softwaresysteme sichergestellt wird.

Industrielle Kooperationen

Für zukünftige industrielle Anwendungen wie sie in der Bundesrepublik mit dem Start des Innovationsprogramms „Industrie 4.0“ entwickelt werden sollen und mit dem das „Internet der Dienste“ und das „Internet der Dinge“ für die weitergehende Integration industrieller Prozesse nutzbar gemacht werden sollen, stellen im Hinblick auf die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses der Bedeutung und zulässigen Deutung von bereitgestellten und genutzten Informationen eine Herausforderung bisher unbekannter Größenordnung dar.

Nicht nur, dass hier schon existierende große „Informationsbestände“ in verschiedenen Unternehmensbereichen, die häufig als „Informationssilos“ bezeichnet werden, zusammengeführt werden müssen, sondern dass auch deren Zusammenführung mit extern im Internet vorgehaltenen Informationen wie etwa öffentlich zugänglichen Geoinformationen oder solchen Daten, die von externen Dienstleistern bereitgestellt oder genutzt müssen, lässt erwarten, dass dafür erhebliche Aufwände in Kauf genommen werden müssen.

Von ähnlichen – und vielleicht noch weiter reichenden – Herausforderungen ist zum Beispiel auch die Energiewende in Deutschland begleitet, mit der die heutige Energieversorgung und Energienutzung weitgehend dezentralisiert werden soll

und dabei eine Vielzahl dezentraler Erzeuger und Verbraucher in einem Gesamtsystem zusammengeführt werden sollen.

Heterogenitäten und Inkompatibilitäten

Mit den beschriebenen Veränderungen in der Zusammenarbeit von industriellen Unternehmen sind auch neue weitere, aber nicht weniger wichtige Anforderungen verbunden: Industrielle Wertschöpfungen sind in einer arbeitsteilig organisierten Wirtschaft das Ergebnis einer Vielzahl autonom agierender Unternehmen. Die Nutzung existierender Datenbestände, die voneinander unabhängig aufgebaut worden sind unterscheiden sich möglicherweise sowohl syntaktisch aber natürlich auch semantisch signifikant voneinander. Dies ist die Ursache für eine Vielzahl von Heterogenitäten und Inkompatibilitäten in den jeweils verwandten Informations- und Kommunikationstechnologien sowie beim Verstehen und beim Beschreiben der entsprechenden, durch die Daten charakterisierten Sachverhalte. Selbst die Darstellung auch technischer Gegebenheiten und physikalischer Konzepte durch Informationen und Daten führt nicht selten zu Fehlinterpretationen, Missverständnissen und letztlich zu Fehlfunktionen der technischen Anwendungen.

2.2 Technische Vernetzung und Integration

Mit der bevorstehenden weiterführenden Vernetzung von einzelnen Aufgaben in industriellen Anwendungen und mit dem dabei verfolgten Ziel, eine höhere Flexibilität für die Anpassung und Änderung dieser Anwendungen zu deren Individualisierung zur Herstellung individualisierter Produkte entsprechend unterschiedlicher Kundenanforderungen zu erreichen, ist vor allen Dingen auch eine weitergehende Integration der in diesen und für diese Anwendungen benötigten Informationen nötig. Diese ist dann die Voraussetzung für eine weiterführende „bruchlos durchgängige“ Automatisierung industrieller Abläufe.

Individualisierung der Produkte und dazu notwendige Flexibilisierung der Produktion

In einer weltweiten Debatte wird nun die Weiterentwicklung der Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien mit den Begriffen „Digitalisierung“ und „digitale Transformation“ und – für die Weiterentwicklung der industriellen Anwendungen – mit dem Begriff „Industrie 4.0“ charakterisiert. Als Anforderungen an eine Industrie 4.0 werden insbesondere die „Individualisierung“ und die „Flexibilisierung“ der industriellen Wertschöpfung betrachtet, mit denen einerseits die Voraussetzungen geschaffen werden sollen, kundenspezifische Ausprägungen von Massenprodukten herstellen zu können, ohne zusätzliche Aufwände und Kosten zu verursachen und mit denen andererseits die dafür notwendigen flexiblen Herstellungsverfahren ermöglicht werden sollen.

Diese Anforderungen für Herstellungsverfahren werden häufig mit der Metapher „Losgröße 1“ als Ziel der Individualisierung und Flexibilisierung öffentlichkeitswirksam kommuniziert. Dabei wird allerdings nicht immer darauf hingewiesen, dass beide, Individualisierung und Flexibilisierung, schon immer Ziele für die Weiterentwicklung industrieller Herstellungsverfahren waren, und dass dafür auch schon in der Vergangenheit – z.B. in der Automobilindustrie mit der sogenannten Plattformstrategie – große Erfolge erzielt werden konnten. So werden dort mit in mehreren Modellen wiederverwendeten baugleichen Plattformen und entsprechenden Individualisierungen anderer Bauteile und von Ausprägungen dieser Bauteile erhebliche Kostenvorteile ermöglicht.

Ohne dass es bisher besonders betont worden ist, verursachen Individualisierungen und Flexibilisierungen auch Aufwände und Kosten, die durch anderweitige Einsparpotenziale kompensiert werden müssen. Aus diesem Grund wird auch in Zukunft der Grundsatz gelten „So viel Individualisierung wie nötig und so viel Standardisierung für Produkte und Bausteine wie möglich“. Die richtige Aufbaustruktur für Produkte und Bausteine, mit der diesem Grundsatz Rechnung getragen wird, zu entwickeln, ist eine der großen Herausforderungen für Ingenieure und Informatiker. Informationsmodelle werden dabei für sie zum Werkzeug werden, mit dessen Hilfe „virtuelle Experimente“ durchgeführt werden können, um festzustellen, welche Aufbaustrukturen für Produkte und Bausteine die größtmöglichen Flexibilisierungen für deren Herstellung und die größten Rationalisierungspotenziale eröffnen.

Integration, Komposition und Dekomposition, Semantik von Daten und Informationen

Im Folgenden wird deshalb der Integration von Informationen, die unterschiedlichen Artefakten wie zum Beispiel verschiedenen Maschinen, verschiedenen Organisationen und Organisationseinheiten oder verschiedenen Abläufen zuzuordnen sind, besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die kann nur gelingen, wenn allen zu betrachtenden Informationen und Daten eine eindeutig Bedeutung und zulässige Deutung zugeordnet ist. Dies entspricht der Aufgabe, die Semantik von Daten und Informationen zu erfassen und in Informationsmodellen zu repräsentieren.

Die Erfassung der Semantik von Daten und Informationen ist nicht nur eine Aufgabe zur Sicherung der Kompatibilität von Daten- und Informationsbeständen, sondern auch für die Beherrschung der Komplexität der Informationsmodelle für die durch die Daten und Informationen charakterisierten Artefakte. Dazu werden in den im Folgenden vorgeschlagenen Modellierungskonzepten klassische Ingenieurtechniken in die Informationsmodellierung übernommen, mit denen „Zerlegungen“ von Artefakten in ihre voneinander abgrenzbaren „Bestandteile“ eingeführt, die die Anwendung des „Teile und beherrsche-Prinzips“ ermöglichen. Artefakte werden dann auch durch ihre Zerlegungsstruktur und durch Informationen, die diese Zerlegungsstruktur repräsentieren, charakterisiert.

Für in dieser Art strukturierte Informationsmodelle ist es dann unabdingbar, dass die Bedeutung (Semantik) der Daten aller Granularitätsniveaus des Informationsmodells und das Informationsmodell selbst als „kompositionale“ Semantik ergibt, und dass sich dafür die Semantik granular übergeordneter Daten aus der Semantik der granular untergeordneten Daten ableiten lässt. Die Semantik der granular übergeordneten Daten darf dann nicht nur additiv aus der Semantik der granular untergeordneten Daten abgeleitet werden, sondern aus dieser und auch aus der Semantik der „Konstruktion“, die das konkrete Konzept der Zusammenführung der granular untergeordneten Daten zu granular übergeordneten Daten charakterisiert.

Dieses Konzept für die Informationsmodellierung ist ein stark „konstruktiv“ und „semantisch“ geprägtes Konzept und erfordert demzufolge eine intensive Beschäftigung mit der Semantik von Daten. Aus diesem Grund wird der Erfassung und Darstellung der Semantik von Informationsmodellen im Folgenden breiter Raum gegeben.

Dies soll – so die Hoffnung – zur Formulierung eines für beide, für Ingenieure und Informatiker, akzeptablen Paradigmas für die Informationsmodellierung führen: Alle für industrielle Anwendungen relevanten Artefakte lassen sich, wie die Artefakte selbst, in Informationsmodellen stets als Konstruktionshierarchien von Informationsmodellen – oder genauer gesagt als gerichtete zyklenfreie Graphen – darstellen, mit denen deutlich gemacht wird, wie sich ein „Ganzes“ aus seinen „Teilen“ zusammensetzt.

Die Erfassung und Darstellung der Semantik von Daten und Informationen ist nicht nur zur Beherrschung von Komplexität und Heterogenität zwingend erforderlich, sondern auch, um mögliche „Sichten“ auf die durch die Daten und Informationen charakterisierten Artefakte zu ermöglichen. Sichten sind Teilmodelle, in denen bestimmte „Ausblendungen“ solcher Daten und Informationen, die für den jeweiligen Nutzer irrelevant sind, stattfinden. Sie dienen dem Komfort des jeweiligen Nutzers, indem sie seine Überflutung mit Informationen zu vermeiden gestatten.

Daraus folgt, dass in Informationsmodellen für einen komplexen Sachverhalt verschiedene reale oder virtuelle „Dinge“ unterschiedlichen Sichten zugeordnet sein können. Anschaulich formuliert heißt das auch, dass es auch für Informationsmodelle möglich sein muss, ein „Automobil aus der Sicht des Fahrers und aus der Sicht eines Monteurs“ darzustellen.

Agilität der Anwendungen, Änderungsdynamik von Informationen und Daten

Wenn industrielle Anwendung vor allen Dingen durch die Vernetzung und Integration von Anwendungen neue Wertschöpfungen ermöglichen sollen, müssen die dafür notwendigen Aufwendungen wesentlich kleiner als der zu erzielende Nutzen sein. Damit kommt der Frage, welches die Nutzenpotenziale sind, die durch Vernetzung und Integration entstehen und welche Aufwände

entstehen und durch möglicherweise verbesserte Techniken für die Informationsmodellierung vermieden werden können.

Ein für diese Überlegungen in dieser Monographie hier maßgebendes Argument, neue Modellierungstechniken bereitzustellen, ist die hohe Änderungsdynamik von Informationen und Daten für industrielle, heute häufig agil genannte, Anwendungen. Darunter ist zu verstehen, dass Änderungen von Informationen und Daten gerade wegen ihres hohen „Vernetzungs- und Integrationsgrades“, nicht nur einzelne Informations- und Datenelemente betreffen, sondern möglicherweise auch die mit den elementaren Informations- und Datenelementen vernetzten Informationen und Daten.

Seiteneffekte und Impacts und deren Propagation

Um die Konsistenz des gesamten Informations- und Datenbestandes zu erhalten, bedeutet das, dass in aller Regel Änderungen an den einzelnen Elementen zugeordneter Werte ganze Kaskaden von weiteren Änderungen an anderen Elementen zugeordneten Werten nach sich ziehen können: Initiale Änderungen ziehen Änderungen an den mit diesen vernetzten Elementen nach sich, und diese wiederum ziehen Änderungen an den mit diesen vernetzten Elementen nach sich usw. und erzeugen damit „Fernwirkungen“, die möglicherweise große Teile des gesamten Informations- und Datenbestandes betreffen können.

Die Notwendigkeit der Propagation von Änderungsanforderungen zur Sicherung der Konsistenz der Informationen und Daten lässt sich schon an ganz einfachen Beispielen, wie zum Beispiel an der Änderung der Geometrie für ein zu bearbeitendes Werkstück, veranschaulichen, weil eine Änderung möglicherweise die Änderung der Geometrie vieler anderer Werkstücke erfordert. Die durch ein elektronisches Informations- und Datenmanagement, das solche Änderungspropagationen automatisch durchführt, zu erzielenden Wertschöpfungen sind durch den dadurch möglich werdenden Verzicht auf sonst nötig werdende „manuelle“ Propagation zurückzuführen.

In gleicher Weise können Änderungen an der Struktur von Produkten und Prozessen und damit an daran der Menge der Elemente und den zwischen diesen existierenden Abhängigkeiten Implikationen (engl. Impacts) bewirken, die signifikante Änderungen an den Produkten und Prozessen selbst zur Folge haben

Einsparungen durch die automatische Erfüllung von Propagationsanforderungen für Seiteneffekte und Impacts werden für so signifikant gehalten, dass sich die Vorschläge zur Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen darauf konzentrieren, entsprechende Konzepte zum Propagationsmanagement in Informationsmodelle zu integrieren.

Informations- und kommunikationstechnische Plattformen und Infrastrukturen

Schon in den letzten Dekaden sind dafür, z. B. mit dem Anspruch „Computer-Integrated Manufacturing“ zu ermöglichen, sehr weitgehende Automatisierungserfolge erzielt worden. Die jetzt neu entstandenen breiten Diskussionen über das Thema sind vor allen Dingen der Tatsache geschuldet, dass Informations- und Kommunikationstechnologien jetzt Leistungsstandards erreicht haben, mit deren Hilfe früher nicht mögliche Vernetzungen und die Integration industrieller Abläufe nunmehr als erfolgsversprechend gelten können. Dafür allerdings ist die Verfügbarkeit einer integrierten konsistenten Informationsbasis eine unverzichtbare Voraussetzung. Dies zu ermöglichen, ist der Anlass, neu über Informationsmodellierung nachzudenken, mit der die „horizontale“ Integration (von betrieblichen und technischen Abläufen und den darin genutzten Informationen) und die „vertikale“ Integration (einer Vielzahl von betrieblichen oder technischen Aktivitäten und industriellen Abläufen) dargestellt werden können.

Die Übertragung dieser Gedanken in die Informations- und Kommunikationstechnologien wird nunmehr mit Konzepten wie z.B. der „Plattformökonomie“ angestrebt. Plattformen sind danach die von mehreren oder vielen Nutzern in gleicher Weise genutzten Teile einer Anwendung. Dies erfordert allerdings die durchgängig bruchlose Vernetzung und Integration aller in vielen Fällen unabhängig voneinander entwickelten und betriebenen – und damit häufig heterogenen, häufig sogar inkompatiblen – informations- und kommunikationstechnischen Anwendungen in den jeweiligen industriellen Herstellungsprozessen, um deren ganzheitliche Steuerung und Überwachung zu ermöglichen. Dies erfordert dann die Entwicklung auch „grenzüberschreitender“ industrieller Abläufe und damit „grenzüberschreitender“ industrieller Ökosysteme.

Die Beherrschung all dieser Herausforderungen ist die Voraussetzung für die fehlerfreie, bruchlos durchgängige Vernetzung und Integration technischer Anwendungen. Dafür ist es nötig, ein jeweils gemeinsames ganzheitliches Verständnis von der Bedeutung und der zulässigen Deutung von Informationen und den sie repräsentierenden Daten, mithin von deren Semantik zu entwickeln. Diesem Anliegen, der Entwicklung von Konzepten zur Erfassung und Darstellung der Semantik von Informationen und Daten, kommt deshalb in den folgenden Abhandlungen eine überragende Bedeutung zu.

Neue Nutzungen von Informations- und Kommunikationstechnologien

Es ist offensichtlich, dass technologische Entwicklungen auch weiterhin neue Nutzungsmöglichkeiten und Nutzungserfordernisse nach sich ziehen werden. Vorhersagen darüber sind nicht Gegenstand der weiteren Diskussionen zur Informationsmodellierung. Es sollen deshalb hier nur zwei technologische

Entwicklungen erwähnt werden, von denen schon jetzt neue und weitergehende Anforderungen an die Informationsmodellierung abgeleitet werden können.

Eine, die „Industrie 4.0“ bestimmende technologische Entwicklung, resultiert aus der Verfügbarkeit kommunikationsfähiger Sensoren und Aktoren, mit denen „Cyber-Physical-Systems“ und „Cyber-Physical-Infrastructures“ aufgebaut werden können. Um für die Steuerung, Regelung und Überwachung industrieller Prozesse und für die Überwachung von Maschinen und Anlagen die nötigen Informationen bereitstellen zu können, um diese über ihren gesamten Lebensprozess hinweg verfügbar und aktuell zu halten, sind neue Konzepte für das Informations/Daten –Management unabdingbar. Die dabei entstehenden auch großen Datenmengen sind dann auch ein Anlass, über „Big Data“ und „Smart Data“ in industriellen Anwendungen und über die dort existierenden Gegebenheiten erneut nachzudenken.

Eine weitere technologische Entwicklung zur Nutzung des 3D-Drucks in der industriellen Fertigung ist zwar noch in ihren Anfängen, verspricht aber schon jetzt signifikanten Einfluss auf die zukünftige Fertigungstechnologie zu haben. Die Informations/Datenmodellierung ganzer, durch 3D Druck zu erzeugender Produkte, stellt sich dabei schon jetzt als eine neue Herausforderung dar.

2.3 Voraussetzungen für die Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen

Um die für industrielle Anwendungen relevanten Informationen auch nur annähernd umfassend erfassen und in Informationsmodellen darstellen zu können, müssen zunächst einige Konzepte eingeführt werden, mit denen verdeutlicht wird, welche Fähigkeiten von Modellierern verlangt werden müssen.

2.3.1 Kenntnisse und Bezugssysteme

Der Erfassung und Bereitstellung von Informationen gehen in der Regel die Erledigung einer Vielzahl von Aufgaben voraus, bevor letztendlich Übereinstimmung darüber erzielt werden kann, welche Informationen als relevant bzw. erforderlich bezeichnet werden können. Das erfordert zunächst die Identifizierung der (Vor-)Kenntnisse, die verfügbar sein müssen, um industrielle Anwendungen und die dort verwendeten Informationen in einem Modell zu beschreiben. Dies wiederum erfordert die Definition des Begriffs „Kenntnisse“.

2.3.1.1 Kenntnisse

Eine erste noch sehr oberflächliche Definition soll dadurch erreicht werden, dass Kenntnisse klassifiziert werden. Die dazu im Folgenden eingeführte Aufzählung von möglicherweise für eine Modellierungsaufgabe benötigten Kenntnisse bzw. Kenntnisbereichen soll eine erste Abgrenzung zwischen verschiedenen Kenntnissen und damit eine Klassifikation der benötigten Kenntnisse ermöglichen.

Mit dieser Abgrenzung soll erreicht werden, dass nicht immer über die Gesamtheit von geforderten Kenntnissen gesprochen werden muss, um Spezialisierungen der an der Modellierung Beteiligten zu nutzen sowie Arbeitsteilungen zwischen Spezialisten zu ermöglichen. Mit der Abgrenzung von Kenntnisbereichen wird

auch die später noch ausführlich diskutierte Kontextualisierung von Informationen in Informationsmodellen ermöglicht.

Auch wenn mit einer intuitiven Festlegung relevanter Kenntnisbereiche ein wichtiger erster Schritt zur Bewältigung einer Modellierungsaufgabe erfolgt, verbleibt zu einer Verbesserung der Abgrenzung der Kenntnisbereiche die Aufgabe, die jeweiligen Kenntnisse und Kenntnisbereiche auch „technisch“ zu charakterisieren. Um diese technische Charakterisierung zu ermöglichen, führen wir den Begriff der „Bezugssysteme“ ein. Bezugssysteme erlauben die Differenzierung zwischen verschiedenen Kenntnisbereichen z.B. „mathematischen“, „physikalischen“, „chemischen“, „biologischen“ Kenntnissen, aber auch solche, die die Klassifikation von Informationen der relevanten wirtschaftswissenschaftlichen Disziplinen wie z.B. „Finanzwirtschaft“, „Warenwirtschaft“ etc. reflektieren. Bezugssysteme erlauben. Es ist dabei auch beabsichtigt, zwischen „Unterbereichen“ von Kenntnisbereichen wie z.B. „Geometriekenntnissen“ und „Analysiskenntnissen“ in der Mathematik weitergehend zu unterscheiden und damit ein hierarchisches Klassifikationssystem für relevante und nötige Kenntnisse zu entwickeln.

Für die Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen beziehen sich die dort als relevant zu bezeichnenden Informationen häufig sowohl auf „materielle“ als auch auf „virtuelle“, von Menschen mit Hilfsmitteln erzeugte oder zu erzeugende, Artefakte. Zur Erfassung aller relevanten Informationen über diese Artefakte ist in der Regel auch zu beachten, dass Informationsmodelle für diese Artefakte nicht nur durch Kenntnisse eines Kenntnisbereichs sondern durch Kenntnisse mehrerer Kenntnisbereiche charakterisiert werden müssen. So ist z.B. ein Werkstück nicht nur ein Bauteil einer Maschine mit einer bestimmten Funktion in der Maschine sondern auch ein geometrischer Körper, der durch verschiedene Sichten beschrieben werden kann.

Für eine Festlegung der Gesamtheit der für die Bewältigung einer Modellierungsaufgabe für industrielle Anwendungen nötigen Kenntnisse wird im Folgenden ein Vorschlag für die Klassifikation der Kenntnisse vorgeschlagen.

Gegenstandsbezogene Kenntnisse für industrielle Anwendungen

Industrielle Anwendungen erfordern Kenntnisse sehr unterschiedlicher Art über sehr unterschiedliche Dinge:

- Über die „Umwelt“, in der die industriellen Anwendungen erfolgen mit Kenntnissen über das am jeweiligen Ort herrschende Klima und die

daraus folgenden Wetterbedingungen, über die Verfügbarkeit von Wasser, über geologische, biologische und chemische Verhältnisse am Standort, an dem die jeweiligen Anwendungen stattfinden etc.

- Über die „Infrastruktureinrichtungen“ am jeweiligen Standort, an dem die Anwendungen stattfinden, über die Wasserversorgung und Entsorgung, die Energieversorgung durch Elektrizität, Gas oder andere fossile Energieträger, aber auch über die verfügbare Telekommunikationsinfrastruktur und über das Wegenetz und andere Mobilitätsinfrastrukturen etc.
- Über die „baulichen Gegebenheiten im Sinne von Gebäuden für unterschiedliche Zwecke wie z.B. zur Unterbringung von Produktionsanlagen und die dafür sicherzustellenden Eigenschaften wie z.B. „Tragfähigkeit“, zur Unterbringung von Menschen mit Verwaltungsaufgaben oder von Menschen in Laboreinrichtungen etc.
- Über die Artefakte wie z.B. Geräte, Maschinen und Anlagen, die zur Nutzung in den jeweiligen Anwendungen unverzichtbar sind, über die „Kopplung“ dieser Geräte, Maschinen und Anlagen in integrierten Produktionsvorgängen, über Materialflüsse zwischen Geräten, Maschinen und Anlagen sowie zur „Interaktion“ von Menschen mit diesen Geräten, Maschinen und Anlagen und natürlich auch über die informations- und kommunikationstechnische Kopplung zwischen den oben erwähnten Artefakten und den Menschen.

Sozioökonomische Kenntnisse für industrielle Anwendungen

Neben den oben aufgezählten Kenntnisbereichen, die eher der uns umgebenden „naturwissenschaftlich-technischen“ Welt zuzuordnen sind, sind in industriellen Anwendungen gleichbedeutend auch Kenntnisse über die uns umgebende „sozioökonomische“ Welt unverzichtbar. Das sind Kenntnisse über „Organisation“ und „Organisationen“, über deren Aufbau und Arbeitsweisen, über deren Aufgaben und der Arbeitsteilung bei der Erledigung der Aufgaben, aber auch über individuelle Fähigkeiten und Defizite. Das sind darüber hinaus auch Kenntnisse über „Werte“ und „Wertmaßstäbe“ für „Aufwand“, „Ertrag“ und „Leistung“ etc., die in aller Regel durch deren finanzielle Bewertung beschreibbar werden, und dann letztlich durch betriebs- oder volkswirtschaftliche Regelwerke wie z.B. „Bilanzen“, „Buchhaltungsvorschriften“ und „Bilanzierungsvorschriften“ sowie durch „Bewertungsvorschriften“ allgemeinverbindlich werden und damit Vergleiche und Optimierungen ermöglichen.

Kognitionsbezogene Kenntnisse für industrielle Anwendungen

Die obige Aufzählung hat deutlich gemacht, dass sowohl Kenntnisse über natürliche Ressourcen der Umwelt, aber insbesondere auch Artefakte wie „Infrastruktureinrichtungen“ und „Geräte, Maschinen und Anlagen“ nötig sind, um Anwendungen zu entwickeln und zu betreiben. Alle diese Kenntnisse sind

Kenntnisse über die reale uns umgebende physikalische Welt. Sie allein reichen allerdings nicht aus, um industrielle Anwendungen zu entwickeln und zu betreiben. Sie müssen ergänzt werden durch Kenntnisse, die der Welt der „Kognitionen“ zugeordnet werden müssen. Das sind wiederum Kenntnisse sehr unterschiedlicher Art über sehr unterschiedliche „virtuelle“ Dinge: Ideen, Konzepte, Visionen Theorien etc.

- Das sind vor allen Dingen „Beschreibungen“, Beschreibungen der natürlichen Ressourcen und der Artefakte wie Infrastrukturen, Geräte, Maschinen und Anlagen sowie der zwischen ihnen existierenden Kopplungen. Das sind für natürliche Ressourcen vor allen Dingen auf Beobachtungen basierende Darstellungen von Eigenschaften der natürlichen Ressourcen und von Phänomenen und Gesetzmäßigkeiten über diese Phänomene, die aus der Beobachtung ableitbar sind. Dies sind aus Empirie gewonnene Kenntnisse.
- Denen stehen die Beschreibungen gegenüber, die über Jahrhunderte in kognitiven Prozessen Dank Phantasie, Inspiration, Intuition und auf der Basis von empirisch gewonnenen Erkenntnissen abgeleitet worden sind, die in der Zwischenzeit den Charakter von Theorien, Modellen, Konzepten haben, und die heute summarisch zum Beispiel als naturwissenschaftliche Gesetze charakterisiert werden.
- Es sind aber auch all die Beschreibungen, die unter Anwendung der Naturgesetze bei der Entwicklung von Artefakten angefertigt werden. Sie sind konstruktiv entwickelte Kenntnisse in Form von Entwürfen, Berechnungen, Beweisführungen und experimentellen Überprüfungen etc.

Transdisziplinäre Kenntnisse

Wie bereits angedeutet erfordert die Informationsmodellierung industrieller Artefakte die Verfügbarkeit mehrerer zueinander komplementärer Kenntnisse. Insbesondere für die Modellierung technischer industrieller Artefakte, sowohl materielle als auch virtuelle Artefakte umfassende cyber-physikalische Systeme, erfordern offensichtlich komplementäre Kenntnisse in der Physik und Informatik.

- Werden cyberphysikalische Artefakte zu „Verbänden“ zusammengefügt, in denen unterschiedliche Teilaufgaben einer Gesamtaufgabe von unterschiedlichen cyberphysikalischen Artefakten übernommen werden, werden durch diese „Integration“ durchgängige Abläufe über mehrere Aufgaben, mehrere Organisationseinheiten, mehrere wirtschaftliche Einheiten hinweg ermöglicht; Es entstehen „grenzüberschreitende Ökosysteme“. Deren Beschreibungen dienen dazu, die integrierten Abläufe zu planen, zu entwerfen, zu installieren und letztlich korrekt auszuführen. Auf Basis dieser Beschreibungen können dann die Abläufe gesteuert, geregelt und letztlich auch überwacht werden.

- In modernen industriellen Anwendungen wird das Zusammenwirken von cyberphysikalischen Artefakten mit Menschen störungsfrei organisiert, indem nicht mehr der Mensch die Steuerung, Regelung und Überwachung der cyberphysikalischen Artefakte und der Ökosysteme übernimmt, sondern die Ökosysteme selbst diese Aufgabe übertragen bekommen und dabei „autonom“ agieren. Dazu müssen cyberphysikalische Artefakte ihre „Umgebung“, in der auch Menschen eine Aufgabe zu erledigen haben, kontinuierliche beobachten und überwachen, um „Kollisionen“ zwischen beiden zu verhindern. Dazu muss das cyberphysikalische Ökosystem auch Kenntnisse über die Menschen in ihrer Umgebung haben bzw. zeitnah erwerben, um den dynamisch agierenden Menschen, seinen jeweiligen Standort, seine Bewegungen und vielleicht sogar seine Gestik und Mimik vor Kollisionen zu schützen und zu gewährleisten, selbst die richtigen Aktionen auszuführen. Dazu müssen dann Beschreibungen über Menschen und deren Aufgaben in den jeweiligen industriellen Anwendungen für die cyberphysikalischen Ökosysteme verfügbar sein. In diesen Beschreibungen werden dann virtuelle Artefakte wie Daten, Algorithmen, Programme vorgehalten, mit denen reale Artefakte wie Computer, die mit realen Artefakten wie z.B. Robotern, Maschinen Anlagen gekoppelt sind, die Signale erzeugen, über die die realen elektronischen Artefakte gesteuert, geregelt und überwacht werden.
- Ökosysteme einschließlich der in diesen Ökosystemen tätig werdenden Menschen müssen auch beschrieben werden, um deren wirtschaftlichen Betrieb sicherzustellen. Dazu werden in den Beschreibungen der Ökosysteme für die jeweiligen Schritte in den integrierten Abläufen auch Kosten und Erträge aufgeführt oder zeitnah ermittelt, um die betriebliche Planung, Durchführung und Überwachung durch das Management zu ermöglichen. Die dazu entwickelten ERP-Systeme sind in diesem Sinne Abbildungen der cyberphysikalischen Ökosysteme aus einer betriebswirtschaftlichen Perspektive, die letztendlich auch die betriebswirtschaftliche Steuerung der Ökosysteme erlaubt.

-

Zusammenfassung und Übersicht: Kenntnisse

Mit dem folgenden Diagramm werden die oben aufgelisteten Kenntnisbereiche und deren geforderte Komplementarität dargestellt (Abbildung 2-1).

In der Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen werden Kenntnisse über Gegenstände aus der „physikalischen“ Welt und aus der „kognitiven“ Welt benötigt. Kenntnisse über die „physikalische“ Welt sind solche über die für industrielle Anwendungen nötigen natürlichen Ressourcen und die zu betrachtenden materiellen Artefakte und Kenntnisse über die „kognitive“ Welt sind solche über virtuelle Ressourcen und die zu betrachtenden virtuellen

Artefakte. Kenntnisse über „virtuelle“ und „natürliche“ Ressourcen sind die Voraussetzung zur Entwicklung und Bereitstellung von „Artefakten“ durch Nutzung der Kenntnisse über virtuelle und physikalische Ressourcen. Artefakte können dann entweder „virtuelle“ oder „physikalische“ Artefakte sein, und falls diese kombiniert werden können, können sie die Entwicklung, Bereitstellung und Nutzung „cyberphysikalischer“ Artefakte ermöglichen.

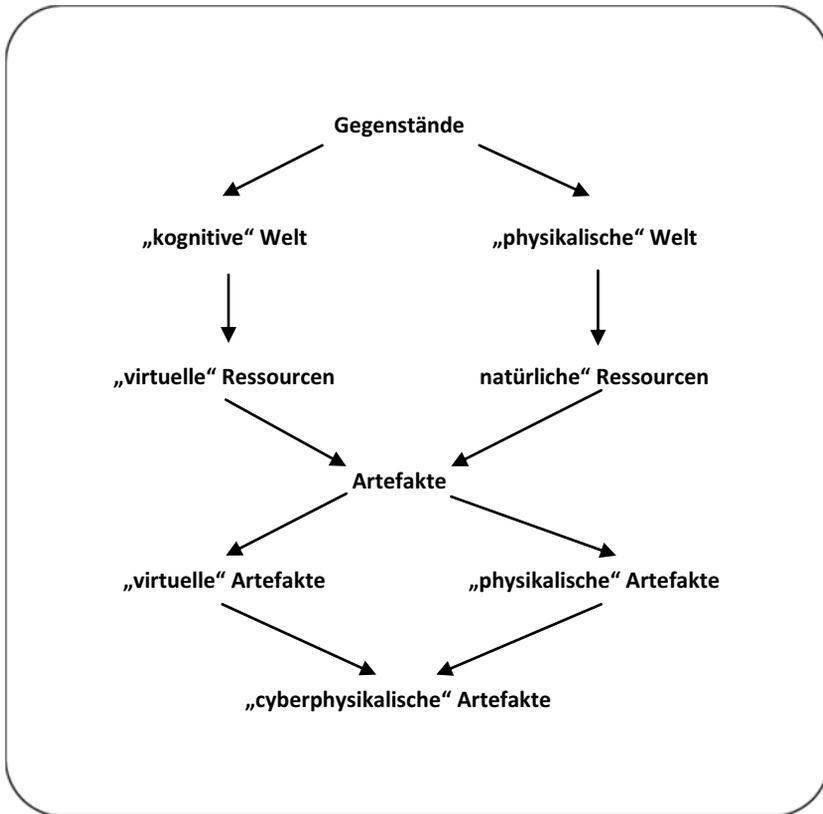


Abbildung 2-1: Geforderte Kenntnisse über industrielle Anwendungen

Die obige Aufzählung von Kenntnissen und Kenntnisbereichen ist eine „gegenstandsbezogene“ Klassifikation von Kenntnissen, obwohl sie die zur Charakterisierung unterschiedlicher Gegenstände wie „natürliche“ Ressourcen oder „virtuelle“ Ressourcen sowie „materielle“ und „virtuelle“ Artefakte voneinander zu unterscheiden erlaubt. In der weiteren Diskussion der Methoden der Informationsmodellierung in Kapitel 3 wird die dort für Gegenstände übliche bessere Bezeichnung „Universe of Discourse“ verwendet werden um deutlich zu machen, dass Gegenstände nicht notwendigerweise Gegenstände der physikalischen Welt sind.

2.3.1.2 Bezugssysteme

Kenntnisse in möglicherweise mehreren Kenntnisbereichen sind die Voraussetzung für die Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen. Sie dienen der ersten Abgrenzung zwischen den für eine Modellierungsaufgabe relevanten und den dafür nicht relevanten Informationen. Bezugssysteme werden genutzt um konsolidiertes Wissen über einen Gegenstandsbereich zu entwickeln.

Das gelingt durch das Zusammenführen von Erkenntnissen aller an der Modellierung Beteiligten auf der Basis unterschiedlicher Kenntnisse über den Gegenstandsbereich. So wie unterschiedliche Kenntnisse unterschiedliche Charakteristika für einen Gegenstandsbereich zusammenführen, können bestimmte Kenntnissen über einen Gegenstandsbereich mehreren unterschiedlichen Bezugssystemen zugeordnet sein. So können Kenntnisse über „Motoren“ die Bezugssysteme „Mechanik“ und –wenn es sich um „Verbrennungskraftmaschinen handelt– „Thermodynamik“ zugeordnet sein. Bezugssysteme eröffnen Möglichkeiten zur Vervollständigung und Präzisierung von Kenntnissen um zu zwischen den an der Modellierung Beteiligten abgestimmtem konsolidiertem Wissen zu gelangen.

Das entwickelte konsolidierte Wissen über den Gegenstandsbereich wird durch Informationen in Informationsmodellen beschrieben, die dann das von den an der Modellierung Beteiligten als adäquate Darstellung des erworbenen Wissens betrachtet wird. Ein Modell, das die dafür weiterführenden Erklärungen liefert wird in Kapitel 3 vorgestellt werden.

Gegenstandsbezogene komplementäre Bezugssysteme

Gegenstände existieren in der industriellen Welt nicht unabhängig von den Gegenständen in der sozioökonomischen Welt, in der sie existieren, und damit entsteht die Notwendigkeit, Kenntnisse über ihre naturwissenschaftlich-technische „Existenz“ in Bezug zu ihrer sozioökonomischen „Existenz“ in Bezug zu setzen. Es ist deshalb unvermeidbar, Bezugssysteme bereitzustellen, in denen Kenntnisse über beide Welten integriert werden können, um deren systematische Darstellung als Informationen und Daten zu ermöglichen.

Die Gegenstände sind Artefakte und Zerlegungen von Artefakten, in denen sich die jeweiligen, aus der Zerlegung resultierenden Artefakte, im Hinblick auf die für ihre Entwicklung und ihren Betrieb notwendigen Kenntnisse und die ihnen zugrundeliegenden Bezugssysteme signifikant voneinander unterscheiden dürfen. So dürfen aus der Zerlegung resultierende Artefakte z.B. physikalische Kenntnisse über elektromechanische Eigenschaften und gleichzeitig Kenntnisse über die wirtschaftliche Bewertung durch Kosten für ihre Herstellung und für ihren Nutzen im Betrieb umfassen.

Damit wird zum Ausdruck gebracht, dass das gegenstandsbezogene Bezugssystem die Einordnung von Kenntnissen über Artefakte als „selbstreferenzierendes“

Konzept ermöglicht, und das heißt, dass Artefakte aus Artefakten aufgebaut werden, die wiederum aus Artefakten aufgebaut werden, bis sie letztendlich aus „atomaren“, nicht weiter zerlegbaren, Artefakten aufgebaut werden. Damit wird auch zum Ausdruck gebracht, dass jedes Artefakt und alle aus der Zerlegung folgenden Artefakte sowohl durch Nutzung naturwissenschaftlich-technischer Kenntnisse als auch durch Nutzung sozioökonomischer Kenntnisse oder auch durch Nutzung noch anderer Kenntnisse, entwickelt und betrieben werden kann.

Mit der Einführung von Bezugssystemen für eine weitergehende Vervollständigung und Präzisierung von Kenntnissen über Gegenstände der naturwissenschaftlich-technische Welt und Gegenstände über die sozioökonomische Welt ist schon angedeutet worden, dass diese sich im Hinblick auf das über sie erlangte Wissen und dessen Darstellung durch Informationen und Daten voneinander unterscheiden. Durch mathematische Bezugssysteme bestimmtes Wissen unterscheidet sich z.B. signifikant von dem durch linguistische Bezugssysteme bestimmten Wissen.

Die für die Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen für besonders wichtig gehaltenen Bezugssysteme werden in der folgenden Übersicht zusammengestellt.

Mathematische Bezugssysteme

- Skalen und Metriken

Skalen dienen der Darstellung von geordneten Skalenwerten. Der „Austausch“ zwischen den Skalenwerten auf einer Skala wird in einer Metrik festgelegt. Skalen und Metriken erlauben beispielsweise die Darstellung von Maßeinheiten von Messgeräten und von Experimentergebnissen und sind für die Empirie ein unverzichtbares Bezugssystem.

- Kartesische Koordinaten

Kartesische Koordinaten leiten die Beschreibung der Position von geometrischen Objekten im dreidimensionalen Raum und sind damit unverzichtbar für die Beschreibung von Bauteilen, Komponenten etc. und deren passgerechter Zusammenfügung.

- Graphen

Graphen erlauben die Beschreibung von Strukturen, und als gerichtete Graphen – insbesondere von Bäumen – erlauben sie die Darstellung von Zerlegungsstrukturen für sowohl physikalische als auch virtuelle Artefakte.

- Tabellen

Tabellen erlauben die einheitliche Beschreibung einer Menge beliebiger physikalischer und virtueller Objekte durch zwei allen Elementen der Menge gemeinsame Merkmale.

Naturwissenschaftlich-technische Bezugssysteme

Von gleich großer Bedeutung wie mathematische Bezugssysteme sind für industrielle Anwendungen physikalische Bezugssysteme. Entsprechend der Breite und Tiefe der Kenntnisse über die physikalische Welt, die in den vergangenen Jahrhunderten erworben worden sind, und in den physikalischen Ingenieurtechniken zu einer historisch einmaligen Entwicklung der Nutzung physikalischer Kenntnisse geführt haben, sind auch eine Vielzahl physikalischer Bezugssysteme entstanden, die in der Regel auch auf Bezugssysteme der Mathematik aufbauen. Das sind z.B. Bezugssysteme der

- physikalischen Statik und Dynamik von Festkörpern
- physikalischen Fluidmechanik und Gasdynamik
- physikalischen Elektrotechnik und des Elektromagnetismus
- physikalischen Thermodynamik etc.

sowie einer Vielzahl weiterer, die die Beschreibung der physikalischen Welt ermöglichen. Diese Bezugssysteme sind in aller Regel das Ergebnis der Modellierung physikalischer Phänomene und der Verifikation oder Falsifikation der Modelle in einer Vielzahl von Experimenten bis dahin, dass aus physikalische „Naturgesetze“ und eine Vielzahl von Theorien abgeleitet werden konnten.

Mit diesen Bezugssystemen werden physikalische Abhängigkeiten und Beziehungen zwischen den die physikalischen Phänomene charakterisierenden Parameter beschreibbar und dokumentierbar. Abhängigkeiten z.B. zwischen „Belastungen“ und „Verformungen“ jeder Körper, Abhängigkeiten zwischen „Druck“, „Volumen“ und „Temperatur“ in „geschlossenen“ thermodynamischen Systemen, zwischen „Spannung“, „Strom“ und „Widerstand“ in der Elektrotechnik etc.

Diese Abhängigkeiten stellen dann auch Vorgaben für die Bereitstellung und Änderung von Informationen für die Beschreibung der physikalischen Welten dar.

Naturwissenschaftlich-technische Bezugssysteme zur Klassifikation von Kenntnissen existieren nicht nur in der Physik, sondern auch in allen anderen Naturwissenschaften wie der Chemie oder der Biologie. Sie alle sind in modernen industriellen Anwendungen relevant, um die nötigen Kenntnisse in unterschiedlichen industriellen Bereichen – wie der Fertigungsindustrie, der chemischen und pharmazeutischen Industrie, der Versorgungs – und Entsorgungsindustrie und in der Entwicklung und Nutzung von industriellen Infrastrukturen - zu ordnen, zu klassifizieren und zu vermitteln, um die entsprechenden Kenntnisse anwendungsspezifisch verfügbar machen zu können.

Darüber hinaus existieren Bezugssysteme nicht nur in der naturwissenschaftlich-technischen Welt. So werden sowohl in der Betriebswirtschaft als auch in der Volkswirtschaft Bezugssysteme verwandt, um die Kenntnisse über das „Finanzwesen“, aber auch über „Warenflüsse“, „Verkehrsflüsse“ dadurch zugänglich zu machen, dass sie mit Hilfe der dort jeweils bereitgestellten Bezugssysteme eingeordnet und zueinander in Beziehung gesetzt werden können.

Sozioökonomische Bezugssysteme

Auch in der sozioökonomischen Welt sind die dort verwendeten Bezugssysteme mathematische Bezugssysteme, vorwiegend der Arithmetik und Statistik. Insbesondere für die betriebswirtschaftliche Dokumentation des betrieblichen Geschehens, z.B. in einer Buchhaltung, werden Summen und Differenzen gebildet, werden Prozentsätze festgelegt und ermittelt und diese jeweils betriebs- oder volkswirtschaftlichen Parametern zugeordnet. Insbesondere in der empirischen Überprüfung von Annahmen, Modellen, Parametern in Modellen, kommen dann jeweils retrospektiv statistische Auswertungen zum Einsatz. Wie später noch ausführlicher dargestellt, kommen Verfahren der mathematischen Statistik zunehmend bei der Auswertung großer Datenmengen zum Einsatz, um auch „prospektiv“ Aussagen – ähnlich wie in der naturwissenschaftlich-technischen Welt – machen zu können.

Wie auch in der naturwissenschaftlich-technischen Welt werden Kenntnisse über Modelle und die die Modelle charakterisierenden Parameter empirisch verifiziert oder falsifiziert. Anders als in der naturwissenschaftlich-technischen Welt erfolgt diese aber nicht im Experiment, sondern in der Praxis. Damit eignen sich diese Bezugssysteme für die Einordnung von Kenntnissen immer nur so lange, bis sie in der Praxis als untauglich oder nur begrenzt tauglich erkannt werden. Sie eignen sich – im Gegensatz zu den Bezugssystemen der naturwissenschaftlich-technischen Welt – nur begrenzt für Vorhersagezwecke.

Für die Darstellung von Kenntnissen durch Informationen unterscheiden sich die Bezugssysteme der naturwissenschaftlich-technischen Welt von denen der sozioökonomischen Welt fundamental. Die Beziehungen zwischen den in den Modellen relevanten Parameter sind in der naturwissenschaftlich-technischen Welt „statisch“, sie sind durch Naturgesetze festgelegt und ändern sich nicht im Zeitverlauf, wohingegen sich die Menge der Parameter und der Beziehungen zwischen den jeweiligen sozioökonomischen Parametern im Zeitablauf ändern können; sie sind nur vorübergehend „stationär“. Darüber hinaus gilt für die Modelle der sozioökonomischen Welt, dass die Menge der für ein Modell relevanten Parameter möglicherweise auch umfänglichen Veränderungen unterworfen ist. Sozioökonomische Bezugssysteme sind mithin auch „dynamisch“. Beispiele dafür stellen die Besteuerungssysteme des Staates dar, die durch Steuerreformen auch Änderungen der Besteuerungsmodelle umfassen können.

Linguistische Bezugssysteme

Für die Darstellung von Kenntnissen durch Informationen entstehen damit auch Herausforderungen für die integrative Darstellung von Informationen und Daten dieser oben charakterisierten Welten. Für die Darstellung von Informationen über diese beiden Welten müssen dann auch „informationstechnische“ oder „linguistische“ Bezugssysteme zur Verfügung stehen. In diesen werden Informationen – oder besser Informationsbausteine – erfasst, in Schemata eingeordnet, um kenntlich zu machen, wie sich Informationsbausteine zueinander in Beziehung setzen lassen, um mit Informationsbausteinen und Beziehungen zwischen diesen Informationsbausteinen Kenntnisse über „Sachverhalte“ der sozioökonomischen und der naturwissenschaftlich-technischen Welt integriert darzustellen. Die dazu benötigten informationstechnischen Bezugssysteme müssen dabei die über „statische“ Bezugssysteme einzuordnenden Kenntnisse und die über „stationäre und dynamische“ Bezugssysteme einzuordnenden Kenntnisse darzustellen erlauben.

Linguistische Bezugssysteme dienen also der Identifikation von Kenntnissen, zur Beschreibung von Kenntnissen in Bezugssystemen und zu deren Einordnung entsprechend der naturwissenschaftlichen und sozioökonomischen Bezugssysteme. Ein Beispiel für ein linguistisches Bezugssystem sind „Alphabete“, in denen die Gesamtheit aller Symbole und Signale, die in „Beschreibungssprachen“ verwendet werden dürfen, und die Regeln für die Zusammensetzung von Symbolen und Signalen in „Worten“ (das sind Grammatiken“) festgelegt werden. Ein weiteres Beispiel sind „Vokabulare“, in denen alle in Beschreibungen zulässigen Worte sowie Regeln für die Zusammenführung von Worten zu „Termen“ („Sätzen“, „Absätzen“, „Kapiteln“ etc.) festgelegt werden. Für die folgende Einführung in die Informationsmodellierung wird davon ausgegangen, dass Alphabete und Grammatiken einerseits und Vokabulare und Regeln für die Zusammenführung von „Vokabeln“ vor der Informationsmodellierung bestimmt worden sind und in der Informationsmodellierung nicht weiter betrachtet werden müssen.

Für die Beschreibung von Gegenständen und damit für die Beschreibung von sozioökonomischen und naturwissenschaftlich-technischen Kenntnissen und ihrer jeweiligen gegenstandsbezogenen Bezugssysteme beschränken wir uns auf die Entwicklung eines linguistischen Bezugssystems, in das die Kenntnisse über die „Konstruktion“ von Artefakten eingeordnet werden können.

Zusammenfassung und Übersicht

Zusammenfassend lassen sich die oben eingeführten Bezugssysteme zur Einordnung von Kenntnissen für die Entwicklung und den Betrieb von industriellen Anwendungen durch folgende Graphik darstellen: M (mathematische), S (sozioökonomische), N (naturwissenschaftlich-technische) und L (linguistische) Bezugssysteme.

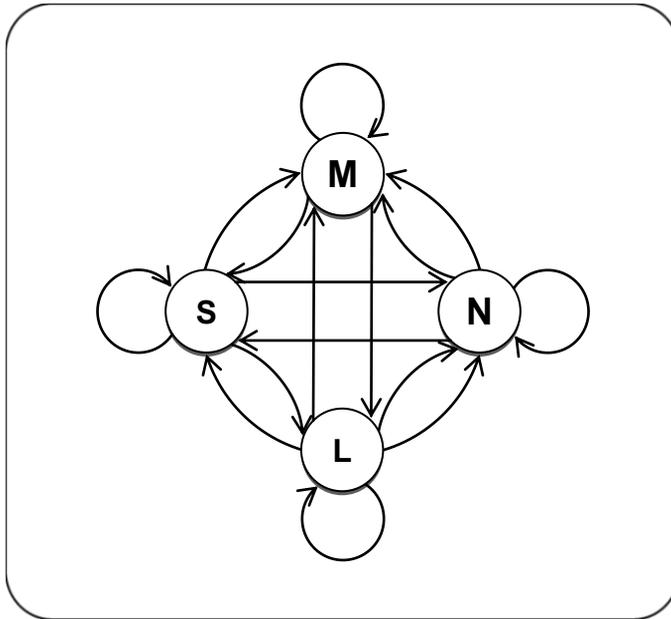


Abbildung 2-2: Beziehungen zwischen Bezugssystemen

Das Bild verdeutlicht die Abhängigkeiten zwischen den für die Informationsmodellierung industrieller Anwendungen relevanten Bezugssystemen. Die Mathematik ist Ausdrucksmittel zur Beschreibung sozioökonomischer, naturwissenschaftlich-technischer und linguistischer Sachverhalte. Gleichzeitig können weder Beschreibungen mathematischer Sachverhalte, noch die Beschreibung sozioökonomischer und naturwissenschaftlich-technischer Sachverhalte auf linguistische Ausdrucksmittel verzichten. Auch die Beschreibung sozioökonomischer und naturwissenschaftlich-technischer Sachverhalte benutzen die Ausdrucksmittel des jeweils anderen.

Die zur Entwicklung und zum Betrieb von industriellen Anwendungen benötigten Kenntnisse und die ihnen zugeordneten Bezugssysteme sind die Voraussetzung dafür, konsolidiertes Wissen über den jeweiligen Gegenstand zu entwickeln. Das auf der Basis von (Vor-)Kenntnissen im Rahmen der Informationsmodellierung entwickelte konsolidierte Wissen über Gegenstände wird durch die Klassifikation für Kenntnisse vorgeprägt und wird, wie in Kapitel 4 gezeigt wird, entsprechend dieser Klassifikation strukturiert.

In den späteren Diskussionen zur Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen wird eine Beschränkung auf solche für die Beschreibung von „Produkten“ und „Produktionsabläufen“ bei der Herstellung von Produkten eingeführt.

2.4 Informationsmodelle für technische industrielle Anwendungen

Von der Informationsmodellierung für industrielle Anwendungen wird erwartet, dass sie für die dort spezifischen Anforderungen auch spezifische Modellierungskonzepte bereitstellt. Die die dort zu berücksichtigenden spezifischen Anforderungen werden im Folgenden erläutert.

Änderungsdynamik industrieller Anwendungen

Industrielle (technische) Anwendungen unterliegen in einem weit größeren Ausmaß als andere (betriebliche) industrielle Anwendungen einer hohen „Änderungsdynamik“: So werden z. B. für Produkte fortlaufend Weiterentwicklungen und Anpassungen nötig, die dann auch in den entsprechenden Modellen reflektiert werden müssen. Die Änderungen von Bausteinen ziehen „Folgewirkungen“ nach sich, die andere Bausteine des Produkts betreffen. So wird z. B. die Änderung der „Geometrie“ einer Komponente Auswirkungen auf die Geometrie anderer Komponenten nach sich ziehen. Solche Folgewirkungen (oder Impacts) zu beherrschen, gelingt nur, wenn in den entsprechenden Modellen die Impacts erkannt und die entsprechenden Einflüsse überall dort, wo nötig, nachvollzogen werden können. Dies entspricht einem systematischen Varianten- und Versionsmanagement wie es im folgenden Abschnitt ausführlicher erläutert wird.

Die betrieblichen industriellen Anwendungen, die in den letzten Dekaden in der Informationsmodellierung im Vordergrund standen, haben im Wesentlichen die Erfassung und Nutzung persistenter (langfristig bereitgehaltener) Daten und damit auch deren Modellierung betrachtet. Deren relativ geringe „Änderungsdynamik“ betrachtet die Änderung von „Werten“ oder „Ausprägungen“, die diese Daten annehmen können, und nur sehr selten, wenn überhaupt, die Änderung der „Datenart“, d.h. ihrer Bedeutung. Die zu dieser Unterscheidung eingeführten Begriffe „Intension“ und „Extension“ sind die Basis für das dort verwandte Modellierungskonzept.

Neben diesen persistenten Daten, deren Nutzung auch für industrielle (technische) Anwendungen unabdingbar ist, werden in industriellen Anwendungen auch Daten genutzt, die nur kurzfristig von Bedeutung sind. Dies betrifft insbesondere Daten, mit deren Hilfe industrielle Abläufe in diesen Anwendungen charakterisiert werden. Viele dieser Daten haben eine möglicherweise nur kurze „Lebenszeit“ und sind nach kurzer Zeit obsolet. Diese transienten Daten können aber auch zwischen industriellen Abläufen ausgetauschte persistente Daten sein und müssen deshalb auch Gegenstand der Informationsmodellierung für technische Anwendungen sein.

Darüber hinaus sind transiente Daten in technischen industriellen Anwendungen auch für die Steuerung industrieller Abläufe von großer praktischer Bedeutung.

Die Modellierung transienter Daten für diesen Zweck erfordert die Verknüpfung von Informations- und Vorgangsmodellierung für industrielle Abläufe.

Individualisierte Produkte, Varianten und Versionen

Zur Erfüllung der Forderung dass Individualisierungen von Produkten und damit auch die Flexibilisierung der industriellen Abläufe zu deren Herstellung möglich sein sollen, müssen für deren Darstellung in Informationsmodellen entsprechende Darstellungskonzepte verfügbar gemacht werden. Dazu wird davon ausgegangen, dass Individualisierungen zu „Varianten“ von Produkten und Bausteinen führen. Dabei kann deutlich werden, dass Varianten sich kaum oder aber auch signifikant voneinander unterscheiden können, und demzufolge ihre „Gemeinsamkeiten“ groß oder aber auch klein sein können. Im Rahmen der Informationsmodellierung führt das zur Unterscheidung von „generischen“ und „spezialisierten“ Bausteinen. Varianten können dadurch entstehen, dass die Ausprägung, z.B. die Farbe einzelner Exemplare unterschiedlich sein kann, oder dass sich Produkte oder Bausteine in ihrem Aufbau aus (untergeordneten) Bausteinen voneinander unterscheiden können. Als Folge davon ist es dann angebracht, von „Produktvarianten“ und „Produkttypvarianten“ zu sprechen. Um dies modellieren zu können, werden die folgenden Unterscheidungen nötig:

Industriell hergestellte Produkte werden trotz Individualisierungen immer auch in großen Stückzahlen hergestellt. Dies führt zur Unterscheidung zwischen („virtuellen“) Produkttypen und („realen“) Exemplaren des Produkttyps. Zur Darstellung dieses Sachverhaltes in Informationsmodellen stellt die klassische Informationsmodellierung das Konzept der „Klassenabstraktion“ und die Konzepte „Entity“ und „Entity Typ“ bereit.

Individualisierte Produkte oder Bausteine stimmen in ihrer Aufbaustruktur in einer Vielzahl von Bausteinen überein und in einigen Bausteinen ihrer Aufbaustruktur nicht überein. Die allen Exemplaren eines Produkttyps/ eines Bausteintyps gemeinsamen Bausteine werden generische Bausteine aller Exemplare eines Produkttyps/Bausteintyps genannt. Die von Exemplar zu Exemplar verschiedenen Bausteine in der Aufbaustruktur eines Produkttyps/Bausteintyps werden spezialisierte Bausteine genannt. Auch schon die klassische Informationsmodellierung stellt für deren Modellierung mit dem Konzept der „Aggregationsabstraktion“ einen ersten Ansatz bereit, um eine Aufbaustruktur eines Produkttyps/Bausteintyps darzustellen. Die Aggregationsabstraktion modelliert damit auch eine „Variante“ eines bestimmten Produkttyps/Bausteintyps, und alle Varianten eines Produkttyps/Bausteintyps werden durch eine Aggregationsabstraktion für jede Variante im Informationsmodell dargestellt.

Individualisierte Produkte oder Bausteine stimmen in ihrer Aufbaustruktur und in der Ausprägung einer Vielzahl ihrer Eigenschaften überein und in einigen Ausprägungen ihrer Eigenschaften nicht überein. Die allen Exemplaren

gemeinsamen Ausprägungen von Eigenschaften werden generische Eigenschaften aller Exemplare eines Produkttyps respektive eines Bausteintyps genannt. Die von Exemplar zu Exemplar verschiedenen Ausprägungen von Eigenschaften werden spezialisierte Ausprägungen von Eigenschaften von Exemplaren eines Produkttyps/ Bausteintyps genannt. Die klassische Informationsmodellierung sieht für deren Modellierung das Konzept einer „Generalisierungsabstraktion“ vor, um die generischen Eigenschaften aller Exemplare eines

Produkttyps/Bausteintyps und die Menge aller Exemplare mit den gleichen spezialisierten Eigenschaften in einer Generalisierungsabstraktion darzustellen. Die Generalisierungsabstraktion modelliert damit eine „Variante“ eines bestimmten Produktes/Bausteins, und alle Varianten eines Produkttyps/Bausteintyps werden durch eine Generalisierungsabstraktion für jede Variante im Informationsmodell dargestellt. Generalisierungsabstraktionen modellieren demzufolge Individualisierungen auf der Ebene der Exemplare.

Kontinuierliche Weiterentwicklung von Produkten

Informationsmodelle sollen des Weiteren auch dazu dienen, Weiterentwicklungen von Produkten und Bausteinen während ihres Einsatzes und ihrer Nutzung zu erfassen und darzustellen, weil industrielle Produkte häufig von der Art sind, dass ihre Weiterentwicklung und Änderung unvermeidlich ist. Das gilt insbesondere für langlebige Produkte und solche, die eine erhebliche Investition darstellen. Die Notwendigkeit für die Weiterentwicklung kann dadurch entstehen, dass damit Fehler und Fehlfunktionen ausgemerzt werden sollen. Um zum Beispiel den eingetretenen Verschleiß eines Bauteils, das nicht durch ein exakt identischen Baustein ersetzt werden kann, weil dieser als Ersatzteil nach längerer Zeit nicht mehr verfügbar ist, oder weil Bausteine als verbesserte, veränderte Bausteine verfügbar gemacht worden sind, erfordert eine entsprechende Weiterentwicklung. Alle diese Veränderungen führen zu neuen, veränderten „Versionen“ von Produkten und Bausteinen. Informationsmodelle dienen damit der Dokumentation, um im Ablauf des Lebenszyklus von Produkten und Bausteinen stets eine aktuelle Beschreibung für z.B. die Wartung und Reparatur zur Verfügung stellen zu können.

Besondere Aufmerksamkeit erfordert bei der Entwicklung von Versionen von Produkten und Bausteinen die „Passgerechtigkeit“ der veränderten Bausteine in einem Produkt oder Baustein gegenüber den mit diesem Produkt oder Baustein in Beziehung stehenden Bausteinen. In der klassischen Informationsmodellierung werden dazu die Konzepte „Relationship“ und „Relationship-Typ“ zur Darstellung von Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen Produkten und Bausteinen sowie von entsprechenden Kompatibilitätsbedingungen bereitgestellt. Die Informationsmodellierung sieht dafür Möglichkeiten, diese Kompatibilitätsbedingungen als Integritäts- oder Konsistenzbedingungen darzustellen, mit denen die zulässigen Veränderungen an Produkten und

Bausteinen dargestellt werden und damit von den unzulässigen Veränderungen abgegrenzt werden können.

Uniforme Mikromodelle und Makromodelle

Informationsmodelle für industrielle Anwendungen müssen darüber hinaus sehr unterschiedliche Detailliertheitsgrade für Informationen darstellen: Informationen für die Maschinensteuerung, für die Bearbeitung von Werkstücken unterschiedlicher Geometrien, stellen einen sehr hohen Detailliertheitsgrad dar; abstrakte Darstellungen einer ganzen Fertigungsstrecke, in der eine Vielzahl programmierbarer Maschinensteuerungen zur Anwendung kommen, werden dagegen in der Regel in einem niedrigeren Detailliertheitsgrad dargestellt. Das „Gesamtbild“ für alle Informationen für die Fertigungsstrecke muss aber dennoch sicherstellen, dass die „Mikromodelle“ für die das Werkstück charakterisierenden Informationen und das „Makromodell“ für die die Fertigungsstrecke charakterisierenden Informationen zu einem semantisch kohärenten Gesamtmodell zusammengefügt werden können.

Hier gilt natürlich, dass existierende „Mikromodelle“ für deren Integration in „Makromodellen“ sinnvollerweise nicht, mit einer möglicherweise neuen Modellierungstechnik, neu „erfunden“ werden sollten, sondern als „Komponenten“ eines Gesamtmodells erhalten bleiben. Dies wird in den folgenden Entwicklungen semantischer Informationsmodelle für industrielle Anwendungen durch die Zuordnung von „Kontextinformationen“ als Metainformationen zu den existierenden Modellen erreicht. „Kontextualisierungen“ von Modellen wird damit zu einer Methodik, mit der existierende Modelle charakterisiert werden können, ein streng strukturiertes Gesamtbild entwickelt werden kann, das leicht zu analysieren und zu verstehen ist, und das die Auswirkungen der Änderungen an Teilmodellen zu beherrschen in der Lage ist.

Es ist offensichtlich, dass die Verfügbarkeit aller Informationen für eine industrielle Anwendung die Voraussetzung dafür ist, dass „virtuelle Leitwarten“ für die Steuerung und Regelung ihre Aufgabe erfüllen können. Die Tatsache, dass die „virtuellen Leitwarten“ dazu die Steuerung und Regelung auch einzelner Systeme und Anlagen ermöglichen müssen, spricht für eine auch informations- und kommunikationstechnisch weitgehende Integration der für den Betrieb der „virtuellen Leitwarten“ notwendigen informations- und kommunikationstechnischen Infrastrukturen. Damit bekommen sie für die verteilte und vernetzte Realität eine zentrale Aufgabe, die - so ist zu erwarten - durch die Virtualisierung der dazu genutzten Informations- und Kommunikationstechnologien in einer Cloud bestmöglich erledigt werden kann.

Damit wird nach der „Virtualisierung erster Ordnung“ für die industrielle Anwendungen zur Darstellung von materiellen und virtuellen Gegenständen und mit der „Virtualisierung zweiter Ordnung“ für die in der industriellen

Anwendung genutzten Informations- und Kommunikationstechnologien dem Anspruch, Flexibilität und Integration zu ermöglichen, bestmöglich Rechnung getragen.

Daten- und Informationslebenszyklen

Mit der digitalen Darstellung von Daten sind neue Möglichkeiten für deren Handhabung entstanden. Die durch die Entwicklung in den vergangenen Dekaden geprägte „Kultur“ des Umgangs mit Daten ist gekennzeichnet durch Begriffe wie „Datenbanken“, „Stammdaten“, „Data Dictionaries“, „Datenmodelle“, „Datenbankmanagementsysteme“ etc. und in neuerer Zeit durch Begriffe wie „Webpages“, „Suchmaschinen“, „Wikis“ etc. Sie alle verweisen auf eine permanente Verfügbarkeit einmal erzeugter und gespeicherter Daten und damit auf deren Persistenz.

Daten für industrielle Anwendungen unterliegen, wie die meisten industriellen Artefakte, einem Lebenszyklus: Manche von ihnen sind nur für kurze Zeit von Interesse und Wert, wie z. B. Messwerte für sich kontinuierlich ändernde physikalische Größen (Temperatur, Druck etc.). Andere haben einen Wert und sind valide Daten, solange ein industrielles Artefakt, mit dem die Daten assoziiert sind, wie z. B. die „Wartungsgeschichte“, überhaupt existiert. Wiederum andere haben einen archivarischen Wert, wie z. B. die Konstruktionsdaten für ein industrielles Artefakt, und verlieren – wenn überhaupt – nur nach langer Zeit ihren Wert oder ihre Bedeutung. Der Aufwand für die Aufrechterhaltung ihrer kontinuierlichen Verfügbarkeit könnte durch deren zeitgerechte Aussonderung begrenzt werden. Dies wird häufig wegen der massiv gesunkenen Kosten für digitale Speicher nicht für nötig gehalten. Dabei wird übersehen, dass die unbefristete Verfügbarkeit auch möglicherweise invalider Daten Kosten verursacht. Diese entstehen dadurch, dass die Suche in großen Datenbeständen dann auch höhere Kosten verursacht, dass die Aktualisierung und der Erhalt der Konsistenz der noch validen Daten mit möglicherweise größeren Aufwänden verbunden sind, und dass schließlich unübersehbare „Datenfriedhöfe“ entstehen.

Es entspricht auch der Tradition, über Veränderungen von Daten und Datenbeständen im Ablauf ihrer Existenz zu sprechen. Die Aufgabe von Daten und Datenbeständen am Ende ihres Lebenszyklus, wenn deren Werthaltigkeit nicht mehr offensichtlich ist, ist hingegen hier kein zentrales Anliegen. Daten werden sogar häufig als möglicherweise für immer für potenziell werthaltig betrachtet um sicherzustellen, dass mit ihrer Aufgabe kein Fehler begangen wird. Nicht zuletzt die Weiterentwicklung der Speichertechnologien hat diesen Trend verstärkt. Der Stand der Technik hat jetzt dazu geführt, dass beliebige Daten, gleichgültig ob sie mit Sicherheit valide sind oder nicht, und weil auch für beliebig große Datenvolumina kein wirtschaftlicher Zwang zu deren Aufgabe besteht, undefiniert lange verfügbar gehalten.

Nicht nur für industrielle Anwendungen, aber besonders für sie, scheint eine Änderung dieser Haltung notwendig zu sein, denn hier kann nicht mehr allein die potenzielle Werthaltigkeit der Daten zum Maßstab des Handelns gemacht werden. Es muss auch sichergestellt sein, dass die Daten, gemessen an einer Menge von Charakteristika der Daten, als (noch) valide gelten können.

Suchen und Finden

Seit den frühen Phasen der Etablierung und Nutzung von Datenbanken haben unterschiedliche Paradigmen die Suche in den dort gespeicherten Datenbeständen bestimmt. Zunächst ist die Suche als „Navigation“ in den Datenbeständen hin zu den Zieldaten über Suchpfade hinweg organisiert worden. Die Navigation war ein auf der Intuition der Suchenden basiertes Konzept und verlangte die Durchführung der Navigation durch sie selbst.

Insbesondere die Relationalen Datenmodelle haben den Weg zu einer Entwicklung geebnet, mit der die Suche durch die Formulierung einer algebraischen, sehr viel abstrakteren und nutzerfreundlicheren Suchanfrage ermöglicht worden ist. Die neueren Entwicklungen haben auch die Suche in unstrukturierten Datenmengen durch die Bereitstellung von Suchmaschinen ermöglicht.

Ohne dass hier die Suche von Informationen in Informationsbeständen besonders betrachtet wird, soll hier nur angemerkt werden, dass für viele Anwendungen im industriellen Umfeld die navigatorische Suche nicht nur hilfreich, sondern dass diese für die Erzielung möglichst präziser Suchergebnisse, sogar unabdingbar sein kann. Navigatorische Suche über Verweise ist dann, wenn diese Verweise auch eine spezielle Semantik tragen hilfreich, um die Semantik der gesuchten Information bestmöglich zu erfassen.

In der folgenden Diskussion werden insbesondere „Kontexte“, „Kontextverfeinerungen“ und „Kontexterweiterungen“ wesentlicher Bestandteil der Informationsmodellierung sein. Wenn diesen Kontextverfeinerungen und Kontexterweiterungen jeweils spezielle unterschiedliche Konstruktionen unterliegen, können in der navigatorischen Suche diese zum Finden der „richtigen“ Information führen und eine Vielzahl von Vorteilen für die korrekte Interpretation der Bedeutung und Deutung der Informationen entstehen.

In den zu erwartenden neuen industriellen Anwendungen, wie sie durch die Metapher „Industrie 4.0“ gekennzeichnet werden, ist eine weitergehende Suche und weitergehendes Finden zu konzipieren: Die dort angestrebte weitere Vernetzung und Integration von Anwendungen und die Flexibilisierung industrieller Abläufe in grenzüberschreitenden industriellen Ökosystemen erfordert nicht nur die klassische „Mikrosuche“ von Daten in integrierten Datenbeständen, sondern auch die „Makrosuche“ um unterschiedliche Datenbestände in heute autonomen Anwendungen aufzufinden, um sie in einen Daten-Ökosystem zusammenzuführen. Das soll insbesondere mit Hilfe der oben

schon erwähnten Kontextualisierungen in der Informationsmodellierung und mit der navigatorischen Suche gelingen.

Insbesondere dann, wenn Kontexte hierarchisch strukturiert sind und in dieser Struktur übergeordnete und untergeordnete Kontexte dargestellt werden können, kann das Suchen und Finden schrittweise stattfinden. Mit jedem Schritt wird dann ein Erkenntnisgewinn durch eine Kontexteingrenzung d.h. eine semantische Präzisierung der Suchanfrage erzielt. Die Navigation der Kontexthierarchie definiert dann Kontextpfade oder auch Kontextgraphen, und mit der Navigation von übergeordneten zum untergeordneten Kontext erfolgt eine (semantische) Präzisierung der Suchanfrage. Bei einer Navigation von einem untergeordneten zu einem übergeordneten Kontext erfolgt hingegen eine (semantische) Verallgemeinerung.

2.5 Big Data und Smart Data in industriellen Anwendungen

Als „Big Data“ sind ursprünglich nur solche Daten bezeichnet worden, die – wie im „data engineering“ definiert – unstrukturiert sind. Das sind Daten, die zum Beispiel Texte repräsentieren, die in einer gesprochenen Sprache abgefasst sind. Diese Einschränkung ist im Laufe der letzten Jahre weitgehend aufgegeben worden. Deshalb wird heute von „Big Data“ in der Regel dann gesprochen, wenn mehr oder weniger voluntaristisch von großen Gruppen Interessierter große Mengen von Daten erzeugt und bereitgestellt werden, die daran anschließend analysiert werden, um auf ihre möglicherweise nicht sofort erkennbare oder auch versteckte Bedeutungen schließen zu können. Dabei werden mit der „Data Analytics“ in aller Regel syntaktische Merkmale zur Feststellung von Korrelationen und zur Entwicklung von Prognosen unterschiedlichster Art genutzt. Für die „Data Analytics“ sind eine Vielzahl intelligenter Verfahren entwickelt worden, sodass „Big Data“ und „Data Analytics“ Grundlage einer Vielzahl von Geschäftsmodellen und Geschäftserfolgen sind.

Die Verfügbarkeit und Nutzung sehr großer Datenmengen hat sich, wegen der früher immer auch begrenzten Möglichkeiten, ausreichend Speicherplatz und Verarbeitungskapazität bereitzustellen, als eine der großen Herausforderungen in einer Reihe von Anwendungen erwiesen. Die wohl ersten Anwendungen, in denen „Big Data“ erzeugt und genutzt wurden, waren die Erzeugung und Nutzung physikalischer Messwerte z.B. in der Meteorologie für Wetter- und Klimadaten, in der Überwachung physikalischer Vorgänge in wissenschaftlichen Experimente, in der Weltraumforschung, in der Bildanalyse etc. Die dabei gewonnenen Erfahrungen haben auch dazu beigetragen, Lösungen für andere „Big Data“ für andere Anwendungen zu entwickeln.

Besonders profitiert von diesen Erfahrungen haben zunächst Anwendungen zum Erhalt des nationalen und internationalen Kulturerbes und nunmehr auch Anwendungen der operativen Wirtschaft, der Verwaltung und natürlich auch der

Politik zur Archivierung langlebig werthaltiger großer Datenbestände. Für all diese Anwendungen und für viele weitere Anwendungen haben die in den vergangenen Dekaden erfolgten technologischen Entwicklungen zur kostengünstigen Speicherung und Bearbeitung von „Big Data“ neue Möglichkeiten eröffnet. Mit dem entstehenden Internet der Dinge werden nun auch die Voraussetzungen geschaffen, die Datenverfügbarkeit für industrielle Anwendungen drastisch zu erhöhen und für die Nutzung zur Verfügung zu stellen.

Die technischen Voraussetzungen, auch sehr große Datenvolumina zu erfassen, zu speichern und zu analysieren, hat zu der Vermutung geführt, dass sich jedes Datum – irgendwann – nutzbringend verwenden lässt und folglich dauerhaft verfügbar gehalten werden muss. Die Folge davon ist, dass auch große Anstrengungen unternommen werden, um möglichst viele Daten zu erzeugen. Diese Ansicht – so wird hier postuliert – sollte für Daten für industrielle Anwendungen nicht aufrechterhalten werden. Dies wird aus folgenden Überlegungen abgeleitet: Die Bereitstellung von Daten verursacht auch Kosten. Dabei sind weniger die Kosten für die Bereitstellung der zur Verwaltung der Daten notwendigen Informations- und Kommunikationstechnologien, als vielmehr die „Pflege“ der Daten, um deren Aktualität zu gewährleisten, der kostentreibende Faktor. Nicht genutzte, „auf Vorrat“ vorgehaltene Daten, können Störfaktoren sein und unbeabsichtigte Effekte auslösen.

2.5.1 Big Data in industriellen Anwendungen

Es gibt keinen Zweifel: Eine der großen Herausforderungen in der Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien in der Zukunft ist die Beherrschung der auch in industriellen Anwendungen kontinuierlich wachsenden Menge von Daten, die erzeugt und gespeichert, eventuell nutzbringend verwendet und/oder nutzbringend ausgewertet werden kann. In dieser Monografie steht die nutzbringende Verwendung von strukturierten Daten im (technischen) industriellen Umfeld im Fokus der Überlegungen. Die nutzbringende (statistische) Auswertung der Daten zum Gewinnen „versteckter“ nutzbringender Informationen durch Algorithmen der Datenanalyse wird nicht betrachtet. Dies scheint auf den ersten Blick angesichts des „Big Data“-Trends etwas außerhalb des „main stream“ zu sein, ist aber vor dem Hintergrund, dass das „Big-Data“-Problem nach der hier vertretenen Auffassung nicht das wichtigste Thema für die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien in der nächsten Generation der industriellen (technischen) Anwendungen sein wird, begründet.

Big Data in betrieblichen industriellen Anwendungen

Die Fokussierung auf industrielle Anwendungen und auf die in diesen Anwendungen erzeugten und genutzten Daten erfordert allerdings die Lösung einiger Probleme, die in der bevorzugt betrachteten Datenanalyse für betriebliche industrielle Daten nicht behandelt werden. Für industrielle Anwendungen steht