

Ontologische Evaluierung von Referenzmodellen auf Basis des Bunge-Wand-Weber-Modells – Methode und Anwendungen

Peter Fettke, Peter Loos

Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Information Systems & Management
Lehrstuhl Wirtschaftsinformatik und Betriebswirtschaftslehre
D-55099 Mainz, Germany
E-Mail: {fettke|loos}@isym.bwl.uni-mainz.de

Abstract: Das Bunge-Wand-Weber-Modell wurde in der Literatur bereits angewendet, um Modellierungssprachen wie das Entity-Relationship-Model oder die Unified Modeling Language zu evaluieren. In diesem Beitrag wird aufbauend auf dem Bunge-Wand-Weber-Modell eine Methode zur Evaluierung von Referenzmodellen eingeführt. Zentrales Konzept dieser Methode ist die ontologische Normalisierung eines Referenzmodells. Die vorgeschlagene Methode erlaubt die Explikation und Prüfung verschiedener inhaltlicher und formaler Modelleigenschaften. Weitere Anwendungsgebiete von ontologisch normalisierten Referenzmodellen sind die Repräsentation von Referenzmodellen in einer Modellbibliothek und die Auswahl von Referenzmodellen als Ausgangspunkt für die Konstruktion eines unternehmensspezifischen Informationsmodells.

1 Motivation

Informationsmodelle (kurz: Modelle) sind innerhalb der Wirtschaftsinformatik ein zentrales Instrument zur Gestaltung betrieblicher Informationssysteme und haben bereits seit Jahrzehnten Tradition [Be95; Be02; Fr99; Gr74; Sc02a; My98; WW02]. Um den Prozess der Konstruktion von unternehmensspezifischen Modellen (Anwendungsmodellen) zu verbessern, wird innerhalb der Literatur das Konzept der Referenzmodellierung vorgeschlagen [bspw. Ha94]. Ein Referenzmodell kann verstanden werden als ein Modell, das die Entwicklung eines individuellen Modells einer spezifischen Unternehmensklasse unterstützt [Be01; Sc99, S. 1].

Wichtige Fragestellungen im Bereich der Modellierung im Allgemeinen und der Referenzmodellierung im Besonderen ergeben sich bei der Beurteilung der Qualität von (Referenz-)Modellen (Evaluierung) [WW02]. Eine Evaluierung umfasst einerseits inhaltliche Modellierungsaspekte wie semantische Richtigkeit, Allgemeingültigkeit und Relevanz sowie andererseits modellierungstechnische Aspekte wie syntaktische Richtigkeit, Klarheit, systematischer Aufbau und Modularisierung des konstruierten Modells [Ra96, S. 30-34; Sc99, S. 175f.].

Obwohl in Wissenschaft und Praxis zahlreiche Referenzmodelle bekannt sind [FL02] und ihre Qualität von hoher theoretischer sowie praktischer Relevanz ist, werden Referenzmodelle – auch wenn einzelne Untersuchungen vorhanden sind – bisher nicht systematisch evaluiert. Dieser kritische Befund führt in Anlehnung an [Fr00, S. 350] zur Frage, wie der Referenzmodellbestand *in vergleichbarer Form aufbereitet, beschrieben und beurteilt* werden kann. Eine notwendige, wenn auch nicht *hinreichende* Voraussetzung zur Beantwortung der aufgeworfenen Frage ist die Auswahl bzw. Erarbeitung der *theoretischen Grundlage*, auf der eine Evaluierung durchzuführen ist. Die vorliegende Untersuchung leistet einen Beitrag zur dargestellten Problemstellung, indem der Vorschlag unterbreitet wird, die Evaluierung von Referenzmodellen mit Hilfe der Ontologie theoretisch zu fundieren.

Die philosophische Disziplin der Ontologie darf nicht mit dem Forschungsfeld der Ontologien im Umfeld der Künstlichen Intelligenz bzw. Wissensrepräsentation verwechselt werden, welches zur Zeit ein reges Interesse in Wissenschaft und Praxis erfährt [Er01; Fe01; He02; Gr95; GL02; Mä01; Ze01, S. 186]. In dieser Arbeit wird das Wort Ontologie nicht im Sinne der Forschung zur Künstlichen Intelligenz verwendet. Statt dessen wird hier der Auffassung gefolgt, dass die Ontologie eine Teildisziplin der Philosophie ist, die sich mit der Ganzheit der Wirklichkeit in einem weitest möglichen Sinne beschäftigt [Bu77, 5f.]. Sie untersucht “the most pervasive features of reality, such as real existence, change, time, causation, chance, life, mind, and society” [Bu03, p. 201]. So wie bspw. mit Hilfe der Automaten- oder Netzwerktheorie die Gegenstände „Automat“ und „Netzwerk“ untersucht werden können, behandelt die Ontologie Objekte der Realität und deren Verhalten exakt und wissenschaftlich. In dieser Auffassung trifft eine Ontologie Annahmen über Gegenstände der Realität und über deren Verhalten. Dieses Verständnis ermöglicht es, die Ontologie als eine theoretische Grundlage der Informationsmodellierung zu verstehen, wenn von der Annahme ausgegangen wird, dass fachkonzeptionelle Referenzmodelle die Wirklichkeit repräsentieren [WW95, S. 208; Wa95, S. 287; WW02, S. 2].

Bisher hat sich keine universelle und allgemein akzeptierte Ontologie herausgebildet. Die vorliegende Untersuchung greift auf eine von Bunge eingeführte Ontologie zurück [Bu77; Bu79], die von Wand und Weber für den Kontext der Modellierung adaptiert worden ist und in der Literatur als Bunge-Wand-Weber-Modell (BWW-Modell, vgl. Abschnitt 3) bezeichnet wird. Das BWW-Modell wurde aus drei Gründen ausgewählt. Erstens ist es formal auf Basis der Mengentheorie definiert. Zweitens wurde es bereits für verschiedene Untersuchungen im Kontext der Informationsmodellierung erfolgreich eingesetzt [bspw. EW01b; GR00; OH02; Gr96]. Drittens zeigt die vorliegende Untersuchung, dass die Anwendung des BWW-Modells bei der Evaluierung von Referenzmodellen zu gehaltvollen Aussagen führt. Einschränkend sei bereits einleitend darauf hingewiesen, dass eine ontologische Evaluierung nicht in der Lage ist, sämtliche Qualitätsaspekte von Referenzmodellen zu berücksichtigen, sondern nur aus der Sicht der Ontologie notwendige Aspekte. Insofern ist eine ontologische Evaluierung durch weitere Evaluierungsansätze zu ergänzen.

Mit diesem Beitrag werden zwei Ziele angestrebt:

- Es wird ein Vorschlag für die Evaluierung von Referenzmodellen auf Basis der Ontologie unterbreitet. Damit wird im Hinblick auf bestehende Ansätze zur Evaluierung von Referenzmodellen eine alternative theoretische Basis eingeführt.
- Bisherige Arbeiten verwenden das BWW-Modell als Grundlage zur Evaluierung von Modellierungssprachen [bspw. Wa99], als Fundierung der Modellierungstheorie [bspw. WW02] und als Evaluierung von Modellierungspraktiken [bspw. We03]. In dieser Arbeit wird als weiteres Anwendungsgebiet die Evaluierung von Referenzmodellen beschrieben.

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Nach diesem einleitenden Abschnitt werden im nächsten Abschnitt bekannte Ansätze zur Evaluierung von Referenzmodellen rekapituliert. Der dritte Abschnitt gibt einen knappen Überblick über das BWW-Modell. Die ontologische Methode zur Evaluierung von Referenzmodellen erläutert Abschnitt vier. Weitere Anwendungen der Methode werden in Abschnitt fünf aufgezeigt. Im abschließenden sechsten Abschnitt werden die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchung zusammengefasst sowie ein Ausblick auf weitere Fragestellungen gegeben. Metatheoretische Annahmen einer ontologischen Evaluierung finden sich in einem weiteren Beitrag von Fettke und Loos in diesem Band [FL03c] (siehe dort Abschnitt 2.1), der auch kritische Argumente gegen eine ontologische Evaluierung diskutiert (siehe dort Abschnitt 4).

2 Stand der Forschung

Obwohl zahlreiche Beiträge zur Evaluierung von Modellen im Allgemeinen vorliegen (siehe bspw. die Übersichten bei [Fr00; Pi01; Sc00]), sind den Autoren nur wenige Arbeiten bekannt, die explizit Ansätze zur Evaluierung von Referenzmodellen thematisieren.

Schütte entwickelt die „Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung II“ (GoM II), welche die GoM I speziell im Hinblick auf die Evaluierung von Referenzmodellen weiterentwickelt haben [Sc98, S. 111-175]. Indes sind den Autoren keine Arbeiten bekannt, die Referenzmodelle auf Grundlage der GoM II evaluieren, sodass die Anwendbarkeit und Praktikabilität des Ansatzes noch nicht nachgewiesen wurde.

Mišić und Zhao entwickeln in Anlehnung an die Semiotik einen Bezugsrahmen zur Evaluierung von Referenzmodellen [MZ00]. Die Autoren räumen ein, dass der entwickelte allgemeine Bezugsrahmen wenig operational ist und nehmen daher am Beispiel der Domäne E-Commerce eine Operationalisierung der Kriterien vor. Jedoch fehlen allgemeine Hinweise zur Operationalisierung.

Fettke und Loos stellen eine vergleichende Beurteilung von Referenzmodellen mit Hilfe einer Klassifikation vor [FL03a]. Die Autoren unterbreiten zwar verschiedene Vorschläge, anhand welcher Merkmale Referenzmodelle inhaltlich und modellierungstechnisch beurteilt werden können, jedoch fundieren sie ihre Ausführungen nicht theoretisch. Vielmehr beschränken sich die Autoren auf eine Aufzählung möglicher Kriterien zur Evaluierung.

Van Belle entwickelt einen Bezugsrahmen zur Analyse und Evaluierung von Referenzmodellen [VA03] (eine frühere Beschreibung des Bezugsrahmens findet sich in [VP00]). Charakteristikum dieser umfassenden und grundlegenden Arbeit ist die weitgehende Operationalisierung der eingeführten Bewertungskriterien und deren Anwendung auf vorhandene Referenzmodelle. Der Ansatz ist insofern kritisch zu beurteilen, dass einerseits ontologische und epistemologische Prämissen nicht offen gelegt werden. Andererseits bleibt die tatsächliche Bedeutung einer Vielzahl der gemessenen Referenzmodelleigenschaften sowie deren Interpretation unklar: Bspw. werden für die Referenzmodelle der Firmen SAP und Baan jeweils der Generizitätswert „16“ ermittelt.

3 Bunge-Wand-Weber-Modell

Das BWW-Modell soll an dieser Stelle nicht vollständig rekapituliert werden, hierfür sei auf die Literatur verwiesen [WW89a; WW95; We97a] (zur Verbesserung der Klarheit und Verbreitung des BWW-Modells haben Rosemann und Green ein Meta-Modell entwickelt [RG02]). Im Folgenden werden ausschließlich zentrale Begriffe des BWW-Modells eingeführt. Zur sprachlichen Hervorhebung werden sämtliche Vokabeln des BWW-Modells mit einem BWW-Präfix gekennzeichnet. Jede BWW-Vokabel bezeichnet ein Konstrukt der Ontologie.

Das elementare Konstrukt der Ontologie ist ein BWW-Gegenstand. Die Welt ist aus BWW-Gegenständen zusammengesetzt. Als BWW-Gegenstand werden grundsätzlich nur materielle Gegenstände (Person, Buch etc.) und keine konzeptionellen Gegenstände (Adresse, Zeit, Bestellung etc.) verstanden. Ein BWW-Gegenstand kann einfach oder zusammengesetzt sein. Ein zusammengesetzter BWW-Gegenstand besteht aus mehreren einfachen oder zusammengesetzten BWW-Gegenständen.

BWW-Gegenstände besitzen BWW-Eigenschaften. Eine BWW-Eigenschaft wird beschrieben durch eine Funktion, die einen BWW-Gegenstand auf einen BWW-Eigenschaftswert abbildet (BWW-Eigenschaftsfunktion). Jeder BWW-Gegenstand besitzt BWW-Eigenschaften. Ferner können BWW-Eigenschaften nur BWW-Gegenständen zugesprochen werden. Es wird unterschieden zwischen eigenen BWW-Eigenschaften, die einem spezifischen BWW-Gegenstand zugeschrieben werden, und gemeinsamen BWW-Eigenschaften, die zwei oder mehreren BWW-Gegenständen zugeschrieben werden. Das Fehlen einer BWW-Eigenschaft ist keine BWW-Eigenschaft. BWW-Eigenschaften selber können keine BWW-Eigenschaften tragen.

BWW-Gegenstände besitzen BWW-Eigenschaften unabhängig davon, ob diese dem Menschen bekannt oder bewusst sind. Die BWW-Eigenschaften von BWW-Gegenständen werden mit Hilfe von BWW-Attributen vom Menschen wahrgenommen. BWW-Attribute können als Namen für BWW-Eigenschaften verstanden werden. Der BWW-Zustand eines BWW-Gegenstandes wird definiert durch den Vektor der BWW-Eigenschaftswerte, die diesem BWW-Gegenstand durch alle seiner BWW-Eigenschaftsfunktionen zugeordnet werden. Ein BWW-Ereignis ist definiert als ein Wechsel des BWW-Zustandes eines BWW-Gegenstandes.

Eine BWW-Klasse ist eine Menge von BWW-Gegenständen, die eine bestimmte BWW-Eigenschaft besitzen. Eine BWW-Gattung ist eine Menge von BWW-Gegenständen, die nur über den Besitz von zwei oder mehreren BWW-Eigenschaften definiert werden können.

Bisher wurden die Begriffe Ontologie und Konstrukt der Ontologie eingeführt. Davon zu unterscheiden sind die Begriffe ontologisches Modell und Konstrukt eines ontologischen Modells. Ein ontologisches Modell ist eine Menge von Konstrukten der Ontologie, die einen gegebenen Ausschnitt der betrieblichen Realität repräsentieren. Der Begriff „Konstrukt des ontologischen Modells“ verweist auf ein bestimmtes Konstrukt der Ontologie in diesem ontologischen Modell.

4 Methode zur Evaluierung von Referenzmodellen

Das zentrale Konzept der vorgeschlagenen Evaluierungsmethode ist eine ontologische Normalisierung eines Referenzmodells, die als eine Transformation des Referenzmodells in ein ontologisches Modell verstanden werden kann. Eine ontologische Normalisierung ist vergleichbar mit einer Normalisierung eines Datenbankschemas: Beide Verfahren haben zum Ziel, durch Anwendung bestimmter Transformationsschritte eine einheitliche Darstellung repräsentierter Sachverhalte herbeizuführen. Unterschiede ergeben sich darin, dass die Normalisierung eines Datenbankschemas darauf abzielt, Probleme der Informationsrepräsentation und -verarbeitung in Datenbanksystemen zu beseitigen (bspw. Vermeidung von Daten-Redundanzen, Phantom-Problemen etc.). Dagegen bezweckt eine ontologische Normalisierung eine vereinheitlichte Repräsentation der in einem Referenzmodell dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf Strukturen der Realität.

Die Evaluierungsmethode ist in vier Schritte gegliedert:

1. Konstruktion der Transformationsvorschrift (Abschnitt 4.1),
2. Identifikation von Modellierungsdefiziten (Abschnitt 4.2),
3. Transformation des Referenzmodells (Abschnitt 4.3) und
4. Beurteilung der Ergebnisse (Abschnitt 4.4).

4.1 Konstruktion der Transformationsvorschrift

Bisher hat sich keine einheitliche und allgemein akzeptierte Sprache zur Repräsentation von Referenzmodellen herausgebildet. Vielmehr werden zur Repräsentation von Referenzmodellen Modellierungssprachen wie das Entity-Relationship-Model (ERM), die Unified Modeling Language (UML) oder ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK) verwendet [Br02, S. 123-150]. Für die im Referenzmodell verwendete Modellierungssprache ist im ersten Schritt der Evaluierungsmethode eine Transformationsvorschrift zu konstruieren. Mit dieser ist es möglich, die Konstrukte der verwendeten Modellierungssprache in Konstrukte der Ontologie zu überführen. Unter Konstrukten der Modellierungssprache werden bspw. Relationship-Typen der Modellierungssprache ERM oder Classes der Mo-

Modellierungssprache UML verstanden. Der erste Schritt basiert auf der von Wand und Weber vorgeschlagenen Methode zur ontologischen Evaluierung von Modellierungssprachen [WW93].

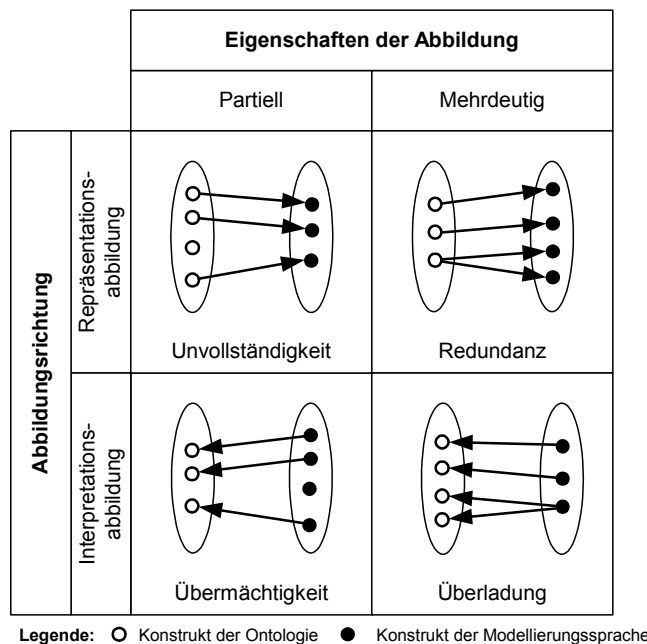


Abbildung 1: Mögliche ontologische Defizite einer Modellierungssprache

Die Transformationsvorschrift besteht aus zwei mathematischen Funktionen, die folgendermaßen zu konstruieren sind: Einerseits werden die Konstrukte der Ontologie auf die Konstrukte der Modellierungssprache abgebildet. Diese Abbildung wird Repräsentationsabbildung genannt. Andererseits werden mit der sogenannten Interpretationsabbildung die Konstrukte der Modellierungssprache auf die Konstrukte der Ontologie abgebildet. Grundsätzlich lassen sich auf Basis beider Abbildungen vier ontologische Defizite unterscheiden (Abbildung 1):

- Unvollständigkeit: Kann jedes Konstrukt der Ontologie durch ein Konstrukt der Modellierungssprache abgebildet werden? Eine Modellierungssprache ist unvollständig, wenn die Repräsentationsabbildung unvollständig definiert ist; andernfalls ist die Modellierungssprache vollständig.
- Redundanz: Wird ein Konstrukt der Ontologie durch genau ein oder durch mehrere Konstrukte der Modellierungssprache abgebildet? Eine Modellierungssprache ist redundant, wenn die Repräsentationsabbildung mehrdeutig ist.
- Übermächtigkeit: Kann jedes Konstrukt der Modellierungssprache durch ein Konstrukt der Ontologie abgebildet werden? Ein Konstrukt der Modellierungssprache ist übermächtig, wenn es nicht durch ein Konstrukt der Ontologie abgebildet werden kann. Eine Modellierungssprache ist übermächtig, wenn mindestens ein Konstrukt der Modellierungssprache übermächtig ist.

- Überladung: Wird ein Konstrukt der Modellierungssprache durch genau ein oder durch mehrere Konstrukte der Ontologie abgebildet? Ein Konstrukt der Modellierungssprache ist überladen, wenn es durch mehr als ein Konstrukt der Ontologie abgebildet werden kann. Eine Modellierungssprache ist überladen, wenn mindestens ein Konstrukt der Modellierungssprache überladen ist.

Eine Modellierungssprache heißt ontologisch klar, wenn keine ontologischen Defizite der Arten Unvollständigkeit und Redundanz vorliegen. Ein Konstrukt der Modellierungssprache heißt ontologisch adäquat, wenn es weder übermächtig noch überladen, also gemäß der Interpretationsabbildung eindeutig definiert ist. Eine Modellierungssprache heißt ontologisch adäquat, wenn alle Konstrukte der Modellierungssprache adäquat sind.

Der erste Evaluierungsschritt bezieht sich grundsätzlich nur auf die verwendete Modellierungssprache und ist daher prinzipiell unabhängig von dem zu evaluierenden Referenzmodell. Daher ist es möglich, derartige Untersuchungen für verschiedene Evaluierungen von Referenzmodellen im voraus durchzuführen und entsprechend wiederzuverwenden. Es ist nicht Gegenstand des vorliegenden Beitrages, für verschiedene Modellierungssprachen ontologische Transformationsvorschriften vorzuschlagen bzw. ontologische Defizite bekannter Sprachen zu identifizieren (eine konkrete Transformationsvorschrift findet sich in einem weiteren Beitrag von Fettke und Loos in diesem Band [FL03c], siehe auch die dort in Abschnitt 2.5 angegebene Literatur für weitere Beispiele).

Es sei darauf hingewiesen, dass die Fragestellung, ob eine Modellierungssprache ontologische Defizite aufweist, unabhängig davon ist, welche ontologischen Defizite im Referenzmodell bestehen. Mit anderen Worten: Im ersten Evaluierungsschritt werden ontologische Defizite der verwendeten Modellierungssprache im Allgemeinen bestimmt, die anschließend im Einzelfall zu überprüfen sind. Das Ermitteln der tatsächlichen ontologischen Defizite des Referenzmodells ist Aufgabe des zweiten Schrittes.

4.2 Identifikation von Modellierungsdefiziten

Um die ontologische Normalisierung des Referenzmodells vorzubereiten, sind sämtliche ontologischen Defizite des Referenzmodells zu identifizieren. Dies ist Gegenstand des zweiten Evaluierungsschrittes. Grundlage des zweiten Schrittes ist die zuvor konstruierte allgemeine Transformationsvorschrift.

Für die Identifikation von ontologischen Defiziten des Referenzmodells sind alle Konstrukte des Referenzmodells zu überprüfen. Für jedes Konstrukt des Referenzmodells ist zu untersuchen, ob das Konstrukt gemäß der Interpretationsabbildung verwendet wurde. Bei der Prüfung sind drei Fälle zu unterscheiden:

- Adäquanz: Das entsprechende Konstrukt der Modellierungssprache ist ontologisch adäquat. Nichtsdestotrotz kann ein ontologisches Defizit bei der Anwendung des Konstruktes im Referenzmodell entstanden sein. Daher ist zu überprüfen, ob das betrachtete Konstrukt des Referenzmodells im Sinne der Interpretationsabbildung verwendet wird. Ist dies der Fall, liegt kein Modellierungsdefizit vor. Andernfalls ist das Konstrukt des Referenzmodells als nicht

- adäquat zu kennzeichnen. Bspw. liegt dieser Fall bei Verwendung des ERM vor, wenn eine BWV-Eigenschaft wie Farbe als Entity-Typ im ERM modelliert wird.
- Übermächtigkeit: Ein übermächtiges Sprachkonstrukt bedarf bei der Transformation einer besonderen Behandlung. Das Konstrukt im Referenzmodell ist als übermächtig zu kennzeichnen. Übermächtigkeit liegt bspw. dann vor, wenn implementierungstechnische Aspekte im Referenzmodell abgebildet werden, für die keine ontologische Repräsentation angegeben werden kann. Dies ist bspw. der Fall für implementierungstechnische Konzepte des Nachrichtenaustausches oder des Polymorphismus, die nicht durch Konstrukte der Ontologie repräsentiert werden können.
- Überladung: Ein überladenes Sprachkonstrukt bedarf bei der Transformation einer besonderen Behandlung. Das Konstrukt im Referenzmodell ist als überladen zu kennzeichnen. Bspw. kann in einem UML-Modell ein UML-Objekt einen BWV-Gegenstand (UML-Objekt Maier der UML-Klasse Kunde) oder eine BWV-Klasse (UML-Objekt A-Kunden der UML-Klasse Kundenkategorie) repräsentieren. Daher ist das Konstrukt UML-Objekt ontologisch überladen.

Die zuvor vorgenommene Identifikation von Modellierungsdefiziten beruht auf der Interpretationsabbildung. Zusätzlich leistet ebenso die Repräsentationsabbildung eine zwar nicht unmittelbare, aber doch mittelbare Hilfestellung bei der Identifikation von Modellierungsdefiziten. Gemäß der Repräsentationsabbildung kann entschieden werden, ob die verwendete Modellierungssprache unvollständig oder redundant ist. Eine unvollständige Modellierungssprache führt tendenziell dazu, dass bestimmte Sachverhalte der Realität im Modell nicht ontologisch adäquat repräsentiert werden können. Dieses Defizit äußert sich bei der Modellkonstruktion auf diese Weise, dass der Modellkonstrukteur dazu neigt, ontologisch nicht adäquat repräsentierbare Sachverhalte durch Modellierungskonstrukte der Modellierungssprache zu beschreiben, die nicht der ontologischen Interpretationsabbildung gehorchen. Dieses Problem soll am Beispiel des ERM verdeutlicht werden [WW93, S. 227]: Im ERM können keine BWV-Ereignisse modelliert werden, so dass Modellkonstrukteure dazu neigen, BWV-Ereignisse durch Entity-Typen zu repräsentieren. Dies führt dazu, dass Entity-Typen ontologisch nicht adäquat verwendet werden.

4.3 Transformation des Referenzmodells

Im dritten Schritt wird die Transformation des Referenzmodells in ein ontologisches Modell vorgenommen. Das Ergebnis der Transformation ist ein ontologisch normalisiertes Referenzmodell. Formal kann ein ontologisch normalisiertes Referenzmodell als eine Abbildung der Konstrukte des Referenzmodells auf Konstrukte des ontologischen Modells verstanden werden.

Für alle Konstrukte des Referenzmodells ist eine entsprechende Transformation durchzuführen. Im Einzelnen sind hier vier Fälle zu unterscheiden:

- Adäquanz: Für das Konstrukt des Referenzmodells ist kein Transformationsproblem identifiziert worden. Es ist möglich, das Konstrukt des Referenzmodells gemäß der im ersten Schritt definierten Interpretationsabbildung auf ein Konstrukt im ontologischen Modell abzubilden.

- Inadäquanz: Das Konstrukt des Referenzmodells wurde ontologisch nicht adäquat verwendet. Es ist notwendig, den durch das Konstrukt ausgedrückten Sachverhalt zu interpretieren und entsprechend im ontologischen Modell abzubilden.
- Übermächtigkeit: Das Konstrukt des Referenzmodells kann gemäß der Interpretationsabbildung durch kein Konstrukt des ontologischen Modells repräsentiert werden. Es ist im Einzelfall zu überprüfen, ob das Konstrukt durch ein anderes Konstrukt im ontologischen Modell abgebildet werden kann. Wenn eine solche Repräsentation nicht möglich ist, kann das Konstrukt nicht weiter behandelt werden.
- Überladung: Das Konstrukt des Referenzmodells kann auf verschiedene Konstrukte des ontologischen Modells abgebildet werden. Es ist im Einzelfall zu überprüfen, welche ontologische Repräsentation vorzuziehen ist. Anschließend ist das Konstrukt gemäß der vorgenommenen Interpretation in ein Konstrukt des ontologischen Modells zu transformieren.

Das Ergebnis der Transformation ist ein Modell, das die Inhalte des Referenzmodells ontologisch normalisiert repräsentiert. Das ontologisch normalisierte Referenzmodell kann im nächsten Schritt einer näheren Beurteilung zugeführt werden.

4.4 Beurteilung der Ergebnisse

Das betrachtete Referenzmodell kann im letzten Schritt hinsichtlich der in den ersten drei Schritten hervorgebrachten Ergebnisse beurteilt werden:

1. Beurteilung der Transformationsvorschrift im Allgemeinen,
2. Beurteilung der ontologischen Defizite im Einzelfall und
3. Beurteilung des ontologisch normalisierten Referenzmodells.

Erstens kann die Transformationsvorschrift im Allgemeinen beurteilt werden. Auf Grundlage der konstruierten Repräsentations- und Interpretationsabbildung kann die ontologische Klarheit und Adäquanz der verwendeten Modellierungssprache bestimmt werden. Auf diese Weise ist abschätzbar, ob die verwendete Modellierungssprache im Hinblick auf die intendierte Anwendung geeignet ist, die für die Anwendung relevanten Phänomene zu erfassen.

Zweitens können die ontologischen Defizite im Einzelfall beurteilt werden. Während Probleme der Übermächtigkeit und Überladung auf die Definition der Konstrukte der verwendeten Modellierungssprache zurückzuführen sind, liegen die Ursachen für die Probleme der inadäquaten Modellierung in der Anwendung dieser Konstrukte seitens des Modellkonstruktors. Es ist zu beachten, dass eine adäquate Modellierung nicht mit einer korrekten Modellierung (im syntaktischen Sinne) gleichzusetzen ist. Stattdessen kann eine häufige Verwendung nicht adäquater Konstrukte als ein Indiz gewertet werden, dass in dem betrachteten Referenzmodell bereits eine Vielzahl implementierungstechnischer Aspekte berücksichtigt werden, die nicht ontologisch repräsentiert werden können. Darüber hinaus ist ebenso über die Angemessenheit der bei der Transformation des Referenzmodells explizierten Prämissen zu urteilen, wodurch Rückschlüsse auf die inhaltliche Qualität des Referenzmodells gezogen werden können.

Drittens kann das ontologisch normalisierte Referenzmodell Grundlage der Beurteilung des Referenzmodells sein. In diesem Fall können verschiedene Bewertungsaspekte berücksichtigt werden:

- a) Vollständigkeit: Es kann überprüft werden, ob das ontologisch normalisierte Referenzmodell ein BWW-System definiert bzw. ob bestimmte Konstrukte eines BWW-Systems nicht abgedeckt werden. Diese Eigenschaft wird als BWW-Vollständigkeit verstanden. Diese Überprüfung erlaubt Aussagen hinsichtlich der *ontologischen* Vollständigkeit eines Referenzmodells. Bspw. ist es möglich, dass BWW-Ereignisse nur unvollständig definiert sind, oder dass es unklar ist, ob die Ereignisse innerhalb oder außerhalb des BWW-Systems auftreten. Es sei explizit auf zwei Aspekte hingewiesen. Erstens: Die Eigenschaft der BWW-Vollständigkeit umfasst formale und keine inhaltlichen Aspekte. Zweitens: Ein unvollständiges ontologisches Modell ist kein Defizit des Referenzmodells, da Referenzmodelle per definitionem im Rahmen eines weiteren Konstruktionsprozesses an unternehmensspezifische Anforderungen anzupassen sind. Eine solche Anpassung kann ebenso eine Ergänzung bzw. eine Konkretisierung umfassen. Folglich kann eine ontologische Evaluierung bspw. Aufschlüsse darüber geben, welche Modellierungsaspekte bei der Anwendung des Referenzmodells zu ergänzen sind.
- b) Metriken: Es können verschiedene Metriken zur Evaluierung des ontologischen Modells verwendet werden. Hierbei können Metriken unterschieden werden, die Einzelaspekte abbilden, und Metriken, die verschiedene Einzelaspekte in Beziehung setzen. Aus Platzgründen sollen hier nur zwei Beispiele genannt werden. 1. Beispiel: Die Anzahl der BWW-Gegenstände kann als ein Maß zur Beurteilung der Modellgröße verwendet werden (einfache Kennzahl). 2. Beispiel: Die Ereigniskomplexität eines Referenzmodells kann definiert werden als die Anzahl der BWW-Ereignisse im Verhältnis zur Anzahl theoretisch möglicher BWW-Ereignisse im betrachteten Modell, die sich aus dem Quadrat der Anzahl der BWW-Zustände ergibt (Verhältniskennzahl). Formal ausgedrückt:

$$\text{Ereigniskomplexität} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\text{Anzahl der BWW - Ereignisse}}{(\text{Anzahl der BWW - Zustände})^2}$$

- c) Vergleichende Beurteilung: Wird davon ausgegangen, dass ein weiteres ontologisches Modell der betrachteten Anwendungsdomäne vorliegt, können vergleichende Untersuchungen durchgeführt werden. Auf diese Weise ist es möglich, das betrachtete Referenzmodell im Hinblick auf seine *inhaltliche* Vollständigkeit zu untersuchen. Eine solche Evaluierung ist stets im Vergleich zu einem gegebenen ontologischen Modell durchzuführen. Es stellt sich die Frage, wie die Gleichheit oder Identität zweier ontologischer Modelle zu überprüfen ist. Ein mögliches Verfahren besteht in der Art, dass versucht wird, sämtliche Konstrukte des einen ontologischen Modells auf die Konstrukte des anderen ontologischen Modells abzubilden. Kann eine solche Abbildungsvorschrift für sämtliche Konstrukte der beiden ontologischen Modelle eindeutig konstruiert werden, handelt es sich um gleiche Modelle. Abgestufte Vollständigkeitsmaße können eingeführt werden, indem jeweils nur für eine Teilmenge bestimmter Konstrukte eine Ab-

bildungsvorschrift gefunden wird. Die Anwendungsmöglichkeit einer vergleichenden ontologischen Beurteilung von Referenzmodellen wird in Abschnitt 5.1 wieder aufgegriffen.

5 Weitere Anwendungen

Die zuvor eingeführte Methode der ontologischen Evaluierung kann primär zur Beurteilung der Qualität von Referenzmodellen verwendet werden. Darüber hinaus sind noch weitere Anwendungen der Methode denkbar, die im Folgenden vorgestellt werden:

1. Vergleich von Referenzmodellen (Abschnitt 5.1),
2. Repräsentation von Referenzmodellen in einer Modellbibliothek (Abschnitt 5.2) und
3. Auswahl von Referenzmodellen (Abschnitt 5.3).

Es sei darauf hingewiesen, dass die folgenden Anwendungsszenarien davon ausgehen, dass bei der Konstruktion von Referenzmodellen keine sprachlichen Defizite wie Homonyme und (Teil-)Synonyme entstehen bzw. diese durch geeignete Maßnahmen behoben worden sind [Pr95, S. 174-178; Ro95, S. 187-201].

5.1 Vergleich von Referenzmodellen

Ein Referenzmodell kann als ein System (Modellsystem) verstanden werden, das ein anderes betriebliches System (Objektsystem) repräsentiert [Si01]. Damit können beim Vergleich zweier Referenzmodelle A und B, vier Fälle unterschieden werden (Abbildung 2):

- Identität: Sowohl die Modellsysteme als auch die Objektsysteme sind jeweils gleich. Die Referenzmodelle A und B werden als identisch bezeichnet.
- Inkommensurabilität: Sowohl die Modellsysteme als auch die Objektsysteme sind jeweils verschieden. Es besteht keine Vergleichsbasis zwischen den Referenzmodellen. Daher werden die Referenzmodelle A und B als inkommensurabel bezeichnet.
- Konkurrenz: Einerseits sind die Objektsysteme gleich, andererseits sind die Modellsysteme verschieden. In diesem Fall wurden für ein Objektsystem zwei verschiedene Modellsysteme konstruiert. Zwischen den Referenzmodellen A und B besteht eine Konkurrenzbeziehung.
- Generizität: Einerseits sind die Objektsysteme verschieden, andererseits sind die Modellsysteme gleich. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, für verschiedene Objektsysteme dasselbe Modellsystem zu verwenden. Die Referenzmodelle werden als generisch bezeichnet.

		Modellsysteme	
		Gleich	Verschieden
Objektsysteme	Gleich	Identität	Konkurrenz
	Verschieden	Generizität	Inkommensurabilität

Abbildung 2: Vergleich von Referenzmodellen

Der Fall der Modellkonkurrenz kann mit Hilfe einer ontologischen Evaluierung näher präzisiert werden. Um eine präzisere Aussage des Grades des Konkurrenzverhältnisses zu formulieren, ist eine ontologische Normalisierung der beiden Referenzmodelle gemäß der oben eingeführten Methode durchzuführen. Beim Vergleich der beiden ontologischen Modelle können vier Fälle unterschieden werden:

- Äquivalenz: Die beiden ontologischen Modelle sind gleich. In diesem Falle können die Referenzmodelle A und B als ontologisch äquivalent bezeichnet werden.
- Inklusion: Zwischen den beiden ontologischen Modellen besteht eine Inklusionsbeziehung in der Art, dass das ontologisch normalisierte Referenzmodell A eine echte Teilmenge des ontologisch normalisierten Referenzmodells B ist. Aus diesem Grunde kann Referenzmodell B umfangreicher als Modell A bezeichnet werden.
- Komplementation: Die Schnittmenge der beiden ontologisch normalisierten Referenzmodelle ist gleich der leeren Menge. Die beiden Referenzmodelle betrachten voneinander unabhängige Aspekte des Objektsystems und werden daher als komplementär bezeichnet.
- Konflikt: Die Schnittmenge der beiden ontologisch normalisierten Referenzmodelle ist ungleich der leeren Menge und es liegt keine Inklusionsbeziehung zwischen den Modellen vor. In diesem Fall repräsentieren die betrachteten Referenzmodelle teilweise denselben Modellierungsgegenstand und werden daher als konfliktär bezeichnet.

5.2 Repräsentation von Referenzmodellen in einer Modellbibliothek

Referenzmodellbibliotheken sind spezielle Softwarebibliotheken [Mi98], die eine Menge von Referenzmodellen speichern, um diese für eine Wiederverwendung vorzuhalten [Ha94]. Grundlage der Recherche und der Navigation in einem solchen Modell ist stets

eine Repräsentation des Referenzmodells. Hierzu werden in heutigen Werkzeugen wie bspw. dem ARIS-Toolset unmittelbar die Konstrukte der Modellierungssprache (Entity-Typen, Funktionen, Ereignisse etc.) verwendet [Da00]. Darüber hinaus können z. T. auch benutzerdefinierte Schlüsselwörter oder Klassifikationssysteme eingeführt werden, um eine Wiederauffindung der Referenzmodelle zu erleichtern.

Ein ontologisch normalisiertes Referenzmodell kann als Grundlage zur Repräsentation von Referenzmodellen in einer Modellbibliothek verwendet werden. Hierzu ist jedes Referenzmodell, das in der Bibliothek erfasst werden soll, ontologisch zu normalisieren. Damit wird es möglich, Referenzmodelle verschiedener Modellierungssprachen einheitlich zu repräsentieren.

Bei einer Recherche in einer Referenzmodellbibliothek sind eine spezifizierende und eine navigierende Suche zu unterscheiden [Ha94, S. 143]. Beide Arten werden von einer ontologischen Repräsentation unterstützt. Bei einer spezifizierenden Suche werden die gewünschten Eigenschaften auf Basis eines ontologischen Modells formuliert. Bspw. kann der Rechercheur Modelle suchen, die eine Modellierung eines betrieblichen Lagers behandeln. Die spezifizierende Suche kann in diesem Fall durch den Ausdruck „BWW-Klasse = Lager“ realisiert werden. Als Ergebnismenge werden sämtliche Referenzmodelle bestimmt, deren ontologisch normalisiertes Modell die angegebene Bedingung erfüllen.

Ebenso ist eine navigierende Suche möglich. Als Grundlage der Navigation im Referenzmodellbestand dient eine Hierarchie der im BWW-Modell verwendeten Modellierungskonstrukte. Die oberste Hierarchieebene wird definiert durch alle Konstrukte der Ontologie (BWW-Gegenstand, BWW-Zustand, BWW-Klasse etc.) Auf der zweiten Hierarchieebene werden jeweils alle Ausprägungen der Konstrukte angeordnet, die in sämtlichen ontologisch normalisierten Referenzmodellen vorhanden sind. So finden sich bspw. unterhalb des Konstrukts BWW-Klasse sämtliche BWW-Klassen, die in allen ontologisch normalisierten Modellen der archivierten Referenzmodelle auftreten. Falls in mehreren Modellen dasselbe ontologische Konstrukt mehrfach vorliegt, wird es auf dieser Ebene nur einmal eingefügt. Auf der dritten Hierarchieebene werden die Referenzmodelle angeordnet, in denen das entsprechende Konstrukt vorhanden ist. Die vierte Hierarchieebene kann für zusätzliche Informationen über die Referenzmodelle genutzt werden: Teilweise bestehen zwischen den Konstrukten der Ontologie Beziehungen. Beispielsweise besitzt ein BWW-Gegenstand verschiedene BWW-Eigenschaften. Derartige Zusammenhänge können genutzt werden, um die vierte Hierarchieebene zu definieren. Diese ermöglicht es bspw., unterhalb eines BWW-Gegenstandes in einem ontologisch normalisierten Referenzmodell die BWW-Eigenschaften anzuordnen, die diesen BWW-Gegenstand beschreiben.

5.3 Auswahl von Referenzmodellen

Bisher existieren in der Literatur nur wenige Beiträge, welche die Auswahl von Referenzmodellen methodisch unterstützen [Sc99, S. 177]. Eine ontologische Evaluierung von Referenzmodellen kann einen Beitrag zur Auswahl von Referenzmodellen leisten.

Die Auswahl von Referenzmodellen erfordert drei Schritte:

1. Spezifikation von Kernanforderungen,
2. Selektion geeigneter Referenzmodelle und
3. Auswahl (im engeren Sinne) des Referenzmodells.

Im ersten Schritt spezifiziert der Konstrukteur des Anwendungsmodells Anforderungen an das Referenzmodell. Hierbei ist es nicht notwendig, sämtliche Anforderungen zu spezifizieren, vielmehr ist eine Definition der Kernanforderungen ausreichend. Die zu beachtenden Kernanforderungen können von dem Modellkonstrukteur mit Hilfe der Ontologie formuliert werden. In dem ontologischen Modell wird festgelegt, welche Merkmale ein Referenzmodell zwingend aufweisen muss. Derartige Kernanforderungen umfassen bspw. das Vorhandensein bestimmter BWV-Gegenstände oder BWV-Ereignisse etc. So kann der Konstrukteur des Anwendungsmodells festlegen, dass in dem zu suchenden Referenzmodell zwingend das BWV-Ereignis „Rahmenvertrag für Beschaffungen ist zu bestimmen“ enthalten sein muss. Es sei explizit darauf hingewiesen, dass im ersten Schritt nicht sämtliche Anforderungen an ein Referenzmodell zu spezifizieren sind, sondern nur wesentliche Anforderungen. Wird dagegen bereits im ersten Schritt eine vollständige Spezifikation der Anforderungen vorgenommen, ist tendenziell nur von einem geringen Nutzen der Verwendung eines Referenzmodells zur Konstruktion eines Anwendungsmodells auszugehen, da in diesem Fall bereits eine vollständige Explikation der Anforderungen im ontologischen Modell erfolgt ist.

Im zweiten Schritt können die Referenzmodelle ermittelt werden, die den zuvor spezifizierten Kernanforderungen genügen. Dazu ist es notwendig, die ontologisch normalisierten Referenzmodelle mit demjenigen ontologischen Modell zu vergleichen, welches die Anforderungen des Konstrukteurs des Anwendungsmodells repräsentiert. Diejenigen ontologisch normalisierten Referenzmodelle, die den geforderten Kriterien entsprechen, sind in die engere Auswahl einzubeziehen. Es ist prinzipiell denkbar, dass dieser Schritt automatisiert durchgeführt werden kann.

Im dritten Schritt werden aus den zuvor selektierten Referenzmodellen unter Berücksichtigung weiterer Aspekte ein geeignetes Referenzmodell ausgewählt. Falls bei der Auswahl geeigneter Referenzmodelle die Entscheidung getroffen wird, verschiedene Modellierungssprachen einzusetzen, ist aus theoretischer Sicht auf eine maximale ontologische Vollständigkeit und minimale ontologische Überlappung der verwendeten Modellierungssprachen zu achten. Unter den genannten Zielwerten ontologische Vollständigkeit und Überlappung ist folgendes zu verstehen [aufbauend auf GR00, S. 77]: Einerseits sollten die in den auszuwählenden Referenzmodellen verwendeten Modellierungssprachen möglichst sämtliche ontologische Konstrukte abdecken (maximale ontologische Vollständigkeit). Andererseits sollten sich die verschiedenen Modellierungssprachen nicht zu sehr im Hinblick auf ihre ontologische Interpretation überlappen (minimale ontologische Überlappung), um Konsistenzprobleme in unterschiedlichen Modellen zu vermeiden. Beide Ziele stehen konfliktär zu einander.

Neben der durch die Vorauswahl sichergestellten inhaltlichen Passgenauigkeit der selektierten Referenzmodelle sind weitere Auswahlkriterien zu berücksichtigen. Diese umfassen bspw. die in Abschnitt 2 genannten Bewertungskriterien anderer Evaluierungsansätze.

Zusätzlich sind pragmatische Aspekte wie Vertrautheit mit der verwendeten Modellierungssprache, Verfügbarkeit von Softwaretools und andere vom Einzelfall abhängende Kriterien zu beachten.

6 Resümee und Ausblick

In diesem Beitrag wurde eine Methode zur ontologischen Evaluierung von Referenzmodellen eingeführt. Das zentrale Konzept der vorgeschlagenen Methode ist die ontologische Normalisierung eines Referenzmodells. Mit Hilfe der Evaluierungsmethode ist es zum einen möglich, die inhaltliche Qualität eines Referenzmodells zu untersuchen. Zum anderen kann mit Hilfe der Methode auch der Vergleich und die Auswahl von Referenzmodellen unterstützt und die einheitliche Repräsentation von Referenzmodellen in einer Modellbibliothek realisiert werden.

Künftige Arbeiten betreffen u. a. folgende Aspekte:

1. Zweck der vorgeschlagenen Methode ist die Evaluierung von Referenzmodellen. Erste Ergebnisse einer ontologischen Evaluierung des Y-CIM-Modells von Scheer [Sc97] werden in [FL03b] beschrieben. Ebenso können Gemeinsamkeiten und Unterschiede bekannter Referenzmodelle durch Anwendung der Methode herausgearbeitet werden.
2. In der Literatur werden andere ontologische Ansätze beschrieben, die ebenso als Fundierung der Informationsmodellierung verwendet werden können, aber nicht auf dem BWV-Modell aufbauen. Beispielsweise wird die Untersuchung von Milton auf Basis der Chisholm-Ontologie durchgeführt [Mi00]. Dies führt zur Frage, welchen Einfluss konkurrierende ontologische Ansätze auf die Ergebnisse einer ontologischen Evaluierung ausüben.
3. Prinzipiell ist die vorgestellte Methode nicht nur zur Evaluierung von Referenzmodellen anwendbar, sondern auch zur Evaluierung von Anwendungsmodellen. Indes ist zu berücksichtigen, dass Anwendungsmodelle weniger allgemeingültig und daher von geringerer theoretischer Relevanz sind. Da eine ontologische Evaluierung von Modellen aufwendig ist, stellt sich bei einer Evaluierung von Anwendungsmodellen im Speziellen die Frage nach der Verhältnismäßigkeit der eingesetzten Mittel zum gewonnenen Nutzen.
4. Es ist zu untersuchen, welche weiteren Anwendungsgebiete eine ontologische Normalisierung besitzt. Bspw. ist es denkbar, dass die ontologische Normalisierung dazu verwendet wird, die Integration mehrerer Referenzmodelle vorzubereiten, um so Referenzmodelle verschiedener Wirtschaftszweige in einem wirtschaftszweigübergreifenden Referenzmodell zu vereinigen. Ebenso könnten bspw. ontologisch normalisierte Referenzmodelle ein Ausgangspunkt für die Identifikation von Strukturanalogien in Referenzmodellen sein. Ferner ist es denkbar, basierend auf ontologisch normalisierten Referenzmodellen Distanzmaße zur Beschreibung der Ähnlichkeit von Modellen zu definieren.
5. Grundsätzlich nimmt die vorgeschlagene Evaluierungsmethode eine theoretische Prüfung von Referenzmodellen vor. Darüber hinaus ist anzustreben, Referenzmodelle praktischen Prüfungen in der Realität zu unterziehen [Br02, S. 177f.].

Diese sind so auszugestalten, dass im Rahmen von Laborexperimenten sowie Fall- und Feldstudien empirische Untersuchungen zur Evaluierung von Referenzmodellen durchgeführt werden. Grundlage zur Einordnung und Positionierung der in solchen Untersuchungen verwendeten Referenzmodelle können die Ergebnisse einer ontologischen Evaluierung dieser Modelle sein.

Zusammenfassend leisten die durchgeführten und anstehenden Arbeiten einen Beitrag zu der von Frank geforderten Modellierungslehre der Wirtschaftsinformatik:

Es ist „erstrebenswert, [...] die Ergebnisse [der Forschung, gemeint sind u. a. Referenzmodelle, die Autoren] in vergleichbarer Form aufzubereiten und zu beschreiben [...]. Es muß nicht betont werden, daß eine solche Aufbereitung einer Disziplin, zu deren Untersuchungsgegenständen das Informationsmanagement gehört, gut zu Gesicht steht. Auf diese Weise könnte ein Verzeichnis von beispielhaften Modellen und deren Beurteilung aus verschiedenen Sichten entstehen und damit eine Grundlage für eine zukünftige Modellierungslehre.“ [Fr00, S. 350]

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den anonymen Gutachtern für ihre nützlichen und konstruktiven Kommentare.

Literaturverzeichnis

- [Be01] Becker, J.: Referenzmodell. In: P. Mertens; A. Back; J. Becker; W. König; H. Krallmann; B. Rieger; A.-W. Scheer; D. Seibt; P. Stahlknecht; H. Strunz; R. Thome; H. Wedekind (Hrsg.): Lexikon der Wirtschaftsinformatik. 4. Aufl., Berlin et al. 2001, S. 399-400.
- [Be02] Becker, J.; Algermissen, L.; Delfmann, P.; Knackstedt, R.: Referenzmodellierung. In: WISU 31 (2002) 11, S. 1392-1395.
- [Be95] Becker, J.: Strukturanalogien in Informationsmodellen - Ihre Definition, ihr Nutzen und ihr Einfluß auf die Bildung der Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (GoM). In: W. König (Hrsg.): Wirtschaftsinformatik '95 - Wettbewerbsfähigkeit, Innovation, Wirtschaftlichkeit. Heidelberg 1995, S. 133-150.
- [Br02] Brocke vom, J.: Referenzmodellierung - Gestaltung und Verteilung von Konstruktionsprozessen. Diss., Universität Münster, Münster 2002.
- [Bu03] Bunge, M.: Philosophical Dictionary. 2. Aufl., Amherst, New York 2003.
- [Bu77] Bunge, M.: Ontology I: The Furniture of the World. Dordrecht, Holland 1977.
- [Bu79] Bunge, M.: Ontology II: A World of Systems. Dordrecht, Holland 1979.
- [Da00] Davis, R.: Business Process Modelling With ARIS: A Practical Guide. 2000.
- [Er01] Erdmann, M.: Ontologien zur konzeptuellen Modellierung der Semantik von XML. Koblenz 2001.

- [EW01b] Evermann, J.; Wand, Y.: An Ontological Examination of Object Interaction in Conceptual Modeling. Proceedings of the 11th Workshop on Information Technologies and Systems (WITS 2001). New Orleans, Louisiana 2001
- [Fe01] Fensel, D.: Ontologies - A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce. Berlin et al. 2001.
- [FL02] Fettke, P.; Loos, P.: Der Referenzmodellkatalog als Instrument des Wissensmanagements - Methodik und Anwendung. In: J. Becker; R. Knackstedt (Hrsg.): Wissensmanagement mit Referenzmodellen. Konzepte für die Anwendungssystem- und Organisationsgestaltung. Berlin et al. 2002, S. 3-24.
- [FL03a] Fettke, P.; Loos, P.: Classification of reference models - a methodology and its application. In: Information Systems and e-Business Management 1 (2003) 1, S. 35-53.
- [FL03b] Fettke, P.; Loos, P.: Ontological evaluation of reference models using the Bunge-Wand-Weber Model. Ninth Americas Conference on Information Systems 2003. Tampa, FL, USA 2003, S. 2944-2955.
- [FL03c] Fettke, P.; Loos, P.: Ontologische Evaluierung des Semantischen Objektmodells. 11. Fachtagung Modellierung betrieblicher Informationssysteme (MobIS 2003). Bamberg 2003
- [Fr00] Frank, U.: Modelle als Evaluationsobjekt - Einführung und Grundlegung. In: L. J. Heinrich; I. Häntschel (Hrsg.): Evaluation und Evaluationsforschung in der Wirtschaftsinformatik - Handbuch für Praxis, Lehre und Forschung. München, Wien 2000, S. 339-352.
- [Fr99] Frank, U.: Conceptual Modelling as the Core of the Information Systems Discipline - Perspectives and Epistemological Challenges. In: W. D. Haseman; D. L. Nazareth (Hrsg.): Proceedings of the Fifth Americas Conference on Information Systems (AMCIS 1999), August 13-15, 1999. Milwaukee, Wisconsin 1999, S. 695-697.
- [GL02] Gruninger, M.; Lee, J.: Ontology Applications and Design. In: Communications of the ACM 45 (2002) 2, S. 39-41.
- [GR00] Green, P.; Rosemann, M.: Integrated Process Modeling: An Ontological Evaluation. In: Information Systems 25 (2000) 2, S. 73-87.
- [Gr74] Grochla, E.: Modelle und betriebliche Informationssysteme. In: E. Grochla (Hrsg.): Integrierte Gesamtmodelle der Datenverarbeitung - Entwicklung und Anwendung des Kölner Integrationsmodells (KIM). München, Wien 1974, S. 19-33.
- [Gr95] Gruber, T. R.: Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. In: International Journal of Human-Computer Studies 43 (1995), S. 907-928.
- [Gr96] Green, P.: An Ontological Analysis of Information Systems Analysis and Design (ISAD) Grammars in Upper Case Tools. PhD Thesis, University of Queensland., 1996.
- [Ha94] Hars, A.: Referenzdatenmodelle - Grundlagen effizienter Datenmodellierung. Wiesbaden 1994.
- [He02] Hesse, W.: Ontologie(n). In: Informatik-Spektrum 16 (2002), S. 477-480.
- [Mä01] Mädche, A.; Staab, S.; Studer, R.: Ontologien. In: Wirtschaftsinformatik 43 (2001) 4, S. 393-396.
- [Mi00] Milton, S.: An Ontological Comparison and Evaluation of Data Modelling Frameworks. PhD Thesis, University of Tasmania, 2000.

- [Mi98] Mili, A.; Mili, R.; Mittermeier, R. T.: A survey of software reuse libraries. In: Annals of Software Engineering 5 (1998), S. 349-414.
- [My98] Mylopoulos, J.: Information Modeling in the Time of the Revolution. In: Information Systems 23 (1998) 3/4, S. 127-155.
- [MZ00] Mišić, V. B.; Zhao, J. L.: Evaluating the Quality of Reference Models. In: A. H. F. Laender; S. W. Liddle; V. C. Storey (Hrsg.): Conceptual Modeling - ER 2000 - 19th International Conference on Conceptual Modeling, Salt Lake City, Utah, USA, October 9-12, 2000 Proceedings. Berlin et al. 2000, S. 484-498.
- [OH02] Opdahl, A. L.; Henderson-Sellers, B.: Ontological Evaluation of the UML Using the Bunge-Wand-Weber Model. In: Software and Systems Modeling 1 (2002) 1, S. 43-67.
- [Pi01] Piattini, M.; Genero, M.; Calero, C.; Polo, M.; Ruiz, F.: Metrics for Managing Quality in Information Modeling. In: M. Rossi; K. Siau (Hrsg.): Information Modeling in the New Millennium. Hershey et al. 2001, S. 324-344.
- [Pr95] Priemer, J.: Entscheidungen über die Einsetzbarkeit von Software anhand formaler Modelle. Sinzheim 1995.
- [Ra96] Raue, H.: Wiederverwendbare betriebliche Anwendungssysteme - Grundlagen und Methoden ihrer objektorientierten Entwicklung. Wiesbaden 1996.
- [RG02] Rosemann, M.; Green, P.: Developing a meta model for the Bunge-Wand-Weber ontological constructs. In: Information Systems 27 (2002) 2, S. 75-91.
- [Ro95] Rosemann, M.: Komplexitätsmanagement in Prozeßmodellen - Methodenspezifische Gestaltungsempfehlungen für die Informationsmodellierung. Wiesbaden 1995.
- [Sc00] Schütte, R.: Evaluation von Informationsmodellen. In: L. J. Heinrich; I. Häntschel (Hrsg.): Evaluation und Evaluationsforschung in der Wirtschaftsinformatik - Handbuch für Praxis, Lehre und Forschung. München, Wien 2000, S. 307-382.
- [Sc02a] Scheer, A.-W.; Seel, C.; Georg, W.: Entwicklungsstand in der Referenzmodellierung. In: Industrie Management 18 (2002) 1, S. 9-12.
- [Sc97] Scheer, A.-W.: Wirtschaftsinformatik - Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse. 7. Aufl., Berlin et al. 1997.
- [Sc98] Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung - Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Wiesbaden 1998.
- [Sc99] Schwegmann, A.: Objektorientierte Referenzmodellierung - Theoretische Grundlagen und praktische Anwendung. Wiesbaden 1999.
- [Si01] Sinz, E. J.: Modell. In: P. Mertens; et al. (Hrsg.): Lexikon der Wirtschaftsinformatik. 4. Aufl., Berlin et al. 2001, S. 311-312.
- [VA03] Van Belle, J.-P. W. G. D.: A Framework for the Analysis and Evaluation of Enterprise Models. Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy, University of Cape Town, Cape Town, South Africa 2003.
- [VP00] Van Belle, J.-P.; Price, B.: A Proposed Framework for Evaluating Generic Enterprise Models. In: South African Computer Journal 26 (2000), S. 69-76.

- [Wa95] Wand, Y.; Monarchi, D. E.; Parsons, J.; Woo, C. C.: Theoretical foundations for conceptual modelling in information systems development. In: *Decision Support Systems* 15 (1995), S. 285-304.
- [Wa99] Wand, Y.; Storey, V. C.; Weber, R.: An Ontological Analysis of the Relationship Construct in Conceptual Modeling. In: *ACM Transactions on Database Systems* 24 (1999) 4, S. 494-528.
- [We03] Weber, R.: Conceptual Modelling and Ontology: Possibilities and Pitfalls. <http://er2002.cs.uta.fi/info/weberspeech.rtf>, Abruf am 2003-2003-01-27.
- [We97a] Weber, R.: *Ontological Foundations of Information Systems*. Melbourne 1997.
- [WW02] Wand, Y.; Weber, R.: Research Commentary: Information Systems and Conceptual Modelling - A Research Agenda. In: *Information Systems Research* 13 (2002), S. 363-377.
- [WW89a] Wand, Y.; Weber, R.: An Ontological Evaluation of Systems Analysis and Design Methods. In: E. D. Falkenberg; P. Lindgreen (Hrsg.): *Information Systems Concepts: An In-Depth Analysis*. North-Holland 1989, S. 79-107.
- [WW93] Wand, Y.; Weber, R.: On the ontological expressiveness of information systems analysis and design grammars. In: *Journal of Information Systems* 3 (1993) 4, S. 217-237.
- [WW95] Wand, Y.; Weber, R.: On the deep structure of information systems. In: *Information Systems Journal* 5 (1995), S. 203-223.
- [Ze01] Zelewski, S.; Schütte, R.; Siedentopf, J.: Ontologien zur Repräsentation von Domänen. In: G. Schreyögg (Hrsg.): *Wissen in Unternehmen - Konzepte, Maßnahmen, Methoden*. Berlin 2001, S. 183-221.