

Ein Beitrag zur wissensbasierten Unterstützung unternehmensübergreifender interkultureller Kooperationen auf der Grundlage eines generischen Baukastensystems

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN

von der Fakultät für Maschinenbau des
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Inform. Alexander Mahl

aus:	Ubstadt-Weiher
Tag der mündlichen Prüfung:	20. November 2009
Hauptreferent:	o. Prof. Dr. Dr.-Ing. Jivka Ovtcharova
Korreferent:	o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Sandor Vajna

Vorwort der Herausgeberin

Die zunehmende Globalisierung der Märkte und der damit verbundene Wettbewerb zwingen Unternehmen, sich auf ihre Kernkompetenzen zu konzentrieren und verstärkt internationale Kooperationen einzugehen. Dies stellt oft die einzige Möglichkeit dar, dem gestiegenen Kostendruck Stand zu halten und eine Verkürzung der Entwicklungszyklen zu realisieren. Neben den erwünschten Synergieeffekten birgt dies auch ein Potential kulturbedingter Probleme. Eine weitere Notwendigkeit für unternehmensübergreifende Zusammenarbeit ist in der Tatsache begründet, dass in heutigen Produkten der Anteil elektronischer Komponenten und Steuerungssoftware stetig zunimmt, was zu einem Anstieg der Komplexität und interdisziplinären Ausrichtung führt. Ingenieure verschiedener Disziplinen sind im zunehmenden Maße gezwungen, in Entwicklungsteams eng miteinander zu arbeiten.

Im vorliegenden Buch wird ein Baukastenansatz vorgestellt, um Kooperationen zwischen Unternehmen mit unterschiedlichem kulturellem Hintergrund effizient aufzubauen und erfolgreich durchzuführen. Die Grundlage für eine erfolgreiche Zusammenarbeit ist, dass alle beteiligten Personen (und IT-Systeme) „eine einheitliche Sprache sprechen“, d.h. ein einheitliches Verständnis des zu bearbeitenden Gegenstandsbereiches besitzen. Der Baukastenansatz beinhaltet ein Vorgehensmodell (Systembaumusterplan) zum Aufbau einer IT-basierten Kooperationslösung, das diese Problematik adressiert.

Im Rahmen der ersten Phasen des Systembaumusterplans werden Verfahren zur automatisierten Erstellung eines kooperationspezifischen semantischen Modells vorgestellt. Dieses Modell beschreibt das gemeinsame Verständnis der für die Kooperation relevanten Konzepte in der Begriffswelt der Anwender. Hieraus wird automatisiert das für die Implementierung optimierte semantische Modell abgeleitet. Dies erlaubt die rechnerunterstützte, semantisch kohärente Interpretation der Instanzdaten und Reduktion auf die kooperationsrelevanten Inhalte. Innerhalb einer kooperativen Produktentwicklung kommen verschiedene Softwaresysteme (z.B. PDM-Systeme) mit einem partnerspezifischen semantischen Modell zum Einsatz. Die nachfolgenden Phasen des Systembaumusterplans beinhalten Verfahren zur automatisierten Integration der Partnersysteme auf semantischer Ebene und Aufbau einer Kooperationslösung. Hierbei wird insbesondere ein Ansatz zur automatisierten Ableitung von Abbildungsvorschriften zwischen dem semantischen Modell der Kooperation und den Partnersystemen vorgestellt.

Das entwickelte Baukastensystem stellt einen neuartigen Ansatz zum effizienten Aufbau und Durchführung interkultureller, interdisziplinärer Kooperationen dar. Durch die automatisierte Bestimmung der kooperationsrelevanten Inhalte kann eine wesentliche Komplexitätsreduktion erreicht werden. Die Vermeidung von kulturbedingten Missverständnissen wird durch die semantisch einheitliche Beschreibung kooperationsrelevanter Aspekte sowie Formalisierung kulturabhängiger Unterschiede entscheidend verbessert.

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand neben meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI)¹ der Universität Fride-riciana Karlsruhe (TH).

Mein besonderer Dank gilt Frau o. Prof. Dr. Dr.-Ing. Jivka Ovtcharova für Übernahme des Hauptreferats nach dem Tod von Herrn Prof. em. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr. h.c. Hans Grabowski und die Weiterführung der wissenschaftlichen Betreuung dieser Arbeit.

Bei Herrn Prof. em. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr. h.c. Hans Grabowski möchte ich mich für das entgegengebrachte Vertrauen sowie die wissenschaftliche Betreuung bei der Entstehung der Arbeit bedanken, die er bis zum Beginn seiner schweren Erkrankung durchgeführt hat.

Mein Dank gilt weiterhin Herrn Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Sandor Vajna für das der Arbeit ein-gebrachte Interesse, die Übernahme des Korreferates sowie die konstruktive und hilfreiche Kritik.

Bei meinen ehemaligen Kollegen am IMI (bzw. RPK) bedanke ich mich für die intensive und lohnende Zusammenarbeit, die vielfältige Unterstützung und Hilfsbereitschaft. Insbesondere möchte ich die stets spannende und fordernde Teamarbeit mit meinen Kollegen Dr.-Ing. Oli-ver Hornberg, Dr.-Ing. Oliver Klaar und Dr.-Ing. Matthias Sander im DRAGON Projekt und mit Dr. Anatoli Semenenko, Milan Marinov und Robert Krikler in den Projekten KOBAS bzw. ImportNET hervorheben. Mit ihren nützlichen Hinweisen und Anregungen haben sie wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Weiterhin gilt mein Dank an Dr.-Ing. Alex Ehrler von PD Tec für die intensive Zusammenarbeit. Dank gebührt weiterhin meinen studen-tischen Hilfskräften Tobias Lang, Olga Dianova, Jian Yu, Moritz Wurth, Stefan Leppla und Katrin Vogelbacher, ohne deren Hilfe die Fertigstellung der Arbeit in dem Zeitraum nicht möglich gewesen wäre. Weiterhin bedanke ich mich bei Heike Jägel, Marcus Schmidt, Dr. Torsten Engel, Dr.-Ing. Matthias Sander und Dr.-Ing. Oliver Hornberg für die Durchsicht des Manuskriptes.

Besonderer dank gilt meinen Eltern, die durch ihre stetige Unterstützung für meine Ausbil-dung erst die Durchführung dieser Arbeit und somit das Erreichen meiner Ziele ermöglicht haben. Nicht zu vergessen ist mein Freundeskreis, der enorm wichtig war, den nötigen Ab-stand zu meinen wissenschaftlichen Gedankengängen zu finden und in schwierigen Zeiten mich tatkräftig unterstützt hat. Ich möchte diese Arbeit meinem Opa widmen, der sich lange auf die Doktor-Feier gefreut hat, aber leider zu früh verstorben ist.

Karlsruhe, im April 2010

Alexander Mahl

¹ Das IMI entstand durch Umbenennung des Instituts für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion (RPK).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Grundlagen und Begriffsdefinitionen	5
2.1	Begriffsdefinition: Baukastensystem	5
2.2	Begriffsdefinition: Integration	5
2.3	Wissensmanagement	5
2.3.1	Begriffsdefinition: Daten, Information und Wissen	5
2.3.2	Begriffsdefinition: Wissensmanagement	5
2.3.3	Wissensrepräsentation	5
2.3.4	Begriffssysteme	5
2.4	Kulturverständnis	5
2.4.1	Begriffsklärung: Kultur	5
2.4.2	Festlegung des kulturellen Systems	5
2.4.3	Vergleich von Kulturen	5
2.5	Unternehmensübergreifende Kooperationen	5
2.5.1	Formen unternehmensübergreifender Kooperationen	5
2.5.2	Komplexität unternehmensübergreifender, interkultureller Kooperationen	5
3	Stand der Technik und Bewertung bestehender Ansätze	5
3.1	Unternehmensinternes Informationsmanagement im Produktlebenszyklus	5
3.1.1	Produktdatenmanagement und Produktmodell	5
3.1.2	Softwaretechnische Unterstützung des Produktdatenmanagement	5
3.2	Generische Ansätze zur Unterstützung unternehmensübergreifender Kooperationen	5
3.2.1	Enterprise Application Integration (EAI)	5
3.2.2	Service Oriented Architecture (SOA)	5
3.2.3	Standards zur Beschreibung von Services	5
3.2.4	Semantische Beschreibung von Webservices	5
3.2.5	Standards zur Beschreibung von Prozessen (bzw. Workflows)	5
3.2.6	Ansätze zur Umsetzung des EAI- bzw. SOA-Paradigmas	5
3.3	Baukastenbasierte Ansätze im Bereich Softwareentwicklung	5

3.4	Ansätze zur Unterstützung des Collaborative Engineering	5
3.4.1	Standards zum Produktdatenaustausch	5
3.4.2	Entwicklung und Integration von Produktmodellen	5
3.4.3	Lösungsansätze auf Basis der SOA-Technologie	5
3.5	Ansätze zum automatisierten Mapping von semantischen Modellen (Ontologien, Datenmodelle)	5
3.5.1	Ansätze zur automatischen Bestimmung der Abbildungsregeln	5
3.5.2	Datenbank-Schema-Matching auf Basis von Ontologien.....	5
3.6	Lösungsansätze zur Unterstützung des Collaborative Engineering unter Berücksichtigung interkultureller Aspekte	5
3.6.1	Interkulturelle Produktentwicklung nach PAUWELS.....	5
3.6.2	Ansatz von Sander zur Bereitstellung von Wissen für interkulturelle Entwicklungspartnerschaften.....	5
3.7	Ansätze zur Bereitstellung von ontologiebasiertem Wissen im Bereich Produktentwicklung	5
3.7.1	Rechnerunterstützte Verarbeitung und Anwendung ontologiebasierten Wissens 5	
3.7.2	Forschungsschwerpunkt Informationslogistik (Infolog).....	5
3.7.3	Ontobroker von Ontoprise	5
3.8	Zusammenfassende Bewertung bestehender Ansätze	5
4	Anforderungen und grundlegendes Konzept	5
4.1	Anforderungen an das Konzept	5
4.1.1	Allgemeine Anforderungen	5
4.1.2	Anforderungen an ein Vorgehensmodell.....	5
4.2	Lösungsansatz.....	5
4.3	Die Systembausteine.....	5
4.3.1	Integrationsbausteine - Modularisierung bestehender EAI-Software.....	5
4.3.2	Wissensmanagement-Bausteine.....	5
4.3.3	Dienstbibliothek (Servicebibliothek).....	5
4.4	Grundlagen für den Systembaumusterplan.....	5
4.4.1	Aufbau und Struktur der Referenzontologie für den Systembaumusterplan	5
4.4.2	Quantifiziertes, parametrisches Kulturkonzept.....	5

4.4.3	Transitive Semantische Hülle und semantisches Abstandsmaß	5
5	Der Systembaumusterplan	5
5.1	Anwendungsbeispiel.....	5
5.2	Ausgangssituation für die Anwendung des Systembaumusterplans	5
5.3	Phase 0: Kulturelle Analyse.....	5
5.4	Phase 1: Bestimmung essentieller Konzepte der Kooperationsontologie (aus Referenzontologie)	5
5.4.1	Phase 1a: Initiale Bestimmung der Konzepte durch Erstellung einer groben Produktstruktur auf Basis von Bibliotheken (Teile-Hierarchie) und/oder Produkt-Templates (vordefinierten Produktstrukturen)	5
5.4.2	Phase 1b: Initiale Bestimmung der Konzepte auf Basis von Prozessdefinition.....	5
5.4.3	Phase 1c: Initiale Bestimmung der Konzepte auf Basis von Dokumenten.....	5
5.5	Phase 2: Ableitung des anwendungsorientierten Modells der Kooperation (Kooperationsontologie).....	5
5.5.1	Übersicht über das schematische Vorgehen	5
5.5.2	Algorithmische Vorgehensweise	5
5.5.3	Erläuterung der Phase 2 anhand des Anwendungsbeispiels	5
5.6	Phase 3a: Ableitung des implementierungsorientierten semantischen Modells (Kooperationsdatenmodell)	5
5.6.1	Ableitung des Kooperationsdatenmodells aus der Kooperationsontologie.....	5
5.6.2	Ableitung des Kooperationsdatenmodells unter Berücksichtigung existierender Referenzdatenmodelle.....	5
5.7	Phase 3b+c: Transformation in Standard-Geschäftsprozess- und Service-Repräsentation	5
5.8	Phase 4: Semantische Analyse der zu integrierenden externen Systeme und Ableitung von Transformationsregeln.....	5
5.8.1	Erläuterung der Phase 4 anhand des Anwendungsbeispiels	5
5.9	Phase 5a: Analyse möglicher Integrationsvarianten der externen Systeme	5
5.9.1	Varianten zur Integration von Systemen.....	5
5.9.2	Kennzahlen zur Auswahl der optimalen Integrationsvariante	5
5.9.3	Erläuterung der Phase 5a anhand des Anwendungsbeispiels	5
5.10	Phase 5b: Spezifikation der/des neuen Applikation/ Service	5

5.10.1	Erläuterung der Phase 5b anhand des Anwendungsbeispiels	5
5.11	Phase 6: Aufbau und Test der Kooperationslösung.....	5
5.11.1	Erstellung der Gesamtarchitektur	5
5.11.2	Erläuterung der Phase 6 anhand des Anwendungsbeispiels	5
6	Konzeptverifikation und Implementierung.....	5
6.1	Softwarewerkzeug zur Automatisierung des Systembaumusterplans	5
6.1.1	Architektur des Softwarewerkzeugs	5
6.1.2	Implementierung des Werkzeugs.....	5
6.1.3	Haupt-Menüleiste des Werkzeugs	5
6.1.4	Anpassung des Werkzeugs an Referenzontologie	5
6.2	Beschreibung der Funktionalität des Werkzeugs anhand des Anwendungsbeispiels	5
6.2.1	Kultur-Sichten-Konfiguration (Phase 0).....	5
6.2.2	Artefakt-Sichten-Konfiguration (Phase 1a).....	5
6.2.3	Prozess- und Service-Sichten-Konfiguration (Phase 1b).....	5
6.2.4	Setup-Sichten-Konfiguration (Phase 1d und 2)	5
6.2.5	Transformations-Sichten-Konfiguration (Phase 3).....	5
6.2.6	Integrations-Sichten-Konfiguration (Phase 4 + 5).....	5
6.2.7	Kooperation-Sichten-Konfiguration (Ausführungsphase).....	5
6.3	Ausführungsphase: Einsatzbeispiele des Systems zur Laufzeit	5
6.3.1	Unternehmensübergreifende Synchronisation von ECAD- und MCAD-Bibliotheken.....	5
6.3.2	Bereitstellung des ursprünglichen Board-Layouts durch den Maschinenbau-Ingenieur.....	5
6.3.3	Änderung des Board-Layouts durch den Maschinenbau-Ingenieur / Konstrukteur	5
6.3.4	Positionsänderung einer Komponente auf dem Board durch den Maschinenbau-Ingenieur / Konstrukteur	5
6.3.5	Änderung der PIN-Belegung	5
6.3.6	Erzeugung einer interdisziplinären Stückliste	5
6.4	Weitere Validierungsbeispiele.....	5
6.4.1	Anwendung im Bereich Simulationsdatenverwaltung: SimPDM	5
6.4.2	Anwendung im Bereich Produktion: KOBAS-Projekt.....	5

6.5	Betrachtung von Aufwand und Nutzen	5
6.5.1	Aufwandsabschätzung	5
6.5.2	Nutzenabschätzung	5
7	Zusammenfassung.....	5
Anhang A: Grundlagen	5
A.1	Überblick synonym verwendeter Begriffe im Kontext Baukastenansatz.....	5
A.2	Überblick über Arten von Baukästen	5
A.3	Grundlagen der Graphentheorie	5
A.4	Grundlagen des Konstruktionsprozesses	5
A.4.1	Grundlegender Ablauf des Konstruktionsprozesses	5
A.4.2	Funktionsmodellierung	5
A.4.3	Gestaltmodellierung.....	5
A.5	Kulturdimensionen nach Hofstede	5
Anhang B: Ergänzende Algorithmus Beschreibungen.....	5
B.1	Algorithmen zur Phase 2	5
B.2	Algorithmen zur Phase 3a	5
Anhang C: Verfahren zum semantischen Mapping.....	5
C.1	Schritt 0: Spezifikation semantischer Interpretationen externer Modellelemente	5
C.2	Schritt 1: Normalisierung der Datenquelle	5
C.3	Schritt 2: Startpunkte (Ankerpunkte) des Verfahrens bestimmen.....	5
C.4	Schritt 3: Zerlegung in paarweise semantisch ähnliche Teildatenmodelle.....	5
C.5	Schritt 4: Ableitung der Datenmodell-Transformationsregeln	5
C.6	Schritt 5: Manuelle Nachbearbeitung	5
Literatur.....	5

Abbildungsverzeichnis

Bild 1-1: Weltweite Marktentwicklung "Embedded Systems" (Quelle: Roland Berger, Gartner Group siehe [IKT-07])	5
Bild 1-2: Hauptgründe für den Aufbau verteilter Entwicklungspartnerschaften [Wagn-03]	5
Bild 1-3: Gründe für Systemintegration (Quelle: Aberdeen Group, 2002, siehe [Schn-03])	5
Bild 1-4: Weltweiter Markt für Service-orientierte Architekturen (SOA) (Quelle: Roland Berger, Gartner Group siehe [IKT-07])	5
Bild 2-1: Baukastensystem und Modularisierung nach [ZHWI-07]	5
Bild 2-2: Abgrenzung der Begriffe Daten, Information und Wissen	5
Bild 2-3: Werte der Hofstede Kulturdimensionen für China, Deutschland und USA [Hof-01]	5
Bild 3-1: Informationen im Rahmen der Produktentwicklung und Fertigung nach [Trip-99]	5
Bild 3-2: Integrationsebenen von EAI nach [Schm-03]	5
Bild 3-3: Grundstruktur eines Services nach [Bloo-03]	5
Bild 3-4: Schichtenarchitektur von SOA nach [RiHa-05]	5
Bild 3-5: BPEL-basierte Prozessinteraktion mit Partnern nach [RiHa-05]	5
Bild 3-6: Komponenten des SAP NetWeavers nach [Spal-03]	5
Bild 3-7: Architektur der ice.NET Plattform nach [PDTe-08]	5
Bild 3-8: Verbindung verschiedener Ebenen der Prozessbeschreibung nach [LiGB-05]	5
Bild 3-9: Vision des Collaborative Engineering nach [GLHE-03]	5
Bild 3-10: Integrationslösung OpenPDM der PROSTEP AG nach [Open-07]	5
Bild 3-11: Klassifizierung von Schema/Ontologie Matching Verfahren nach [DoMR-02]	5
Bild 3-12: Module des Cultural Repositories nach [Sand-05]	5
Bild 4-1: Kooperationsrelevanten Konzepte in einer domänenübergreifenden Kooperation	5
Bild 4-2: Modularisierung bestehender Technologie und Aufbau einer Kooperationslösung gemäß Systembaumusterplan	5
Bild 4-3: Zusammenspiel von Systembaumusterplan und Systembausteinen im Lösungskonzept	5
Bild 4-4: Klassifikation der Systembausteine und ihre Relation zu bestehenden Technologien	5
Bild 4-5: Beschreibung von Daten, Services und Prozessen mit einem semantischen Modell und Ableitung in Standardrepräsentation	5
Bild 4-6: Phasen des Systembaumusterplans zum Aufbau einer Kooperationslösung für interkulturelle Entwicklungsprojekte	5
Bild 4-7: Exemplarische Ableitung der Kooperationsontologie und Darstellung der Beziehung zu den Modellen der externen Systeme	5
Bild 4-8: Wesentliche Struktur des Lösungskonzeptes	5
Bild 4-9: Systembausteine des Baukasten-Ansatzes	5
Bild 4-10: Unterstützung der Transparenz des Metamodells durch EAI-Software	5
Bild 4-11: Transformationsregeln zwischen zwei Datenmodellen	5
Bild 4-12: Transparenz des Speicherortes	5

Bild 4-13: Semantische Interpretation von Daten und Instanzen	5
Bild 4-14: Beispiel für semantische Interpretation	5
Bild 4-15: Semantik-Analyse-Baustein	5
Bild 4-16: Semantische Hülle und semantische Abstandsmaße	5
Bild 4-17: Bildung semantischer Hüllen anhand eines Beispiels	5
Bild 4-18: Parametrische Skalierungsfunktion des Abstandsmaßes	5
Bild 4-19: Bestimmung des semantischen Abstands der Konzeptmengen A und B	5
Bild 4-20: Beispiel für Berechnung des semantischen Abstands zweier Konzeptmengen	5
Bild 5-1: Schematischer Ablauf des Systembaumusterplans mit Zuordnung zu den Abschnitten	5
Bild 5-2: Parametrisierung der Systembausteine durch Anwendung des Systembaumusterplans	5
Bild 5-3: Zulieferhierarchie für das Anwendungsbeispiel	5
Bild 5-4: Anwendungsbeispiel: Aufbau einer Lösung für eine interkulturelle, interdisziplinäre Kooperation	5
Bild 5-5: Drei Schritte zur Bestimmung der Kooperationsontologie (Phase 1 und 2 des Systembaumusterplans)	5
Bild 5-6: Möglichkeiten zur Bestimmung der essentiellen Konzepte	5
Bild 5-7: Markierung essentieller Konzepte bei Auswahl eines System-Teils	5
Bild 5-8: Bestimmung der Grobproduktstruktur	5
Bild 5-9: Markierung essentieller Konzepte durch Auswahl eines System-Elementes	5
Bild 5-10: Realisierung von atomaren Funktionen durch System-Elemente und Baugruppen	5
Bild 5-11: Ablauf des (rekursiven) Algorithmus zur Bestimmung der aggregierten Funktionen von Baugruppen	5
Bild 5-12: Algorithmus zur Bestimmung aggregierter Funktionen (Rekursionsschritt)	5
Bild 5-13: Aggregation von Funktionen entsprechend der Produktstruktur	5
Bild 5-14: Auswahl des System-Elements Input Transceiver für den Switch	5
Bild 5-15: Beschreibung von Prozessschritten sowie Input/Output Artefakte und Dienste auf Basis der Referenzontologie	5
Bild 5-16: Gesamtablauf der Phase 1b: Spezifikation der Prozesse und Identifikation der essentiellen Konzepten [MaSOB-07]	5
Bild 5-17: Änderungsreferenzprozess (ECR/ECO Prozess)	5
Bild 5-18: Identifizierung essentieller Konzepte auf der Basis einer Textanalyse	5
Bild 5-19: Ableitung der Kooperationsontologie	5
Bild 5-20: Erstellung domänenübergreifender Verbindungen	5
Bild 5-21: Bestimmung einer zusammenhängenden Kooperationsontologie (Beispiel)	5
Bild 5-22: Bedingte und unbedingte semantische Interpretationen	5
Bild 5-23: Direkte Ableitung eines zusammenhängenden Kooperationsdatenmodells aus der Kooperationsontologie	5

Bild 5-24: Beispielhafte Transformation einer Konzeptionshierarchie in eine Datenmodellhierarchie.	5
Bild 5-25: Anwendung des Verfahrens bei Mehrfachvererbung	5
Bild 5-26: Ableitung von Relationstypen	5
Bild 5-27: Ableitung des Kooperationsdatenmodells (exemplarisch)	5
Bild 5-28: Ableitung eines zusammenhängenden Kooperationsdatenmodell auf Basis von existierenden Referenzdatenmodellen	5
Bild 5-29: Ableitung der Teildatenmodelle aus dem Referenzdatenmodell (Schritt 1)	5
Bild 5-30: Verbindung der Teildatenmodelle unter Berücksichtigung von Referenzdatenmodellen und der Kooperationsontologie (Schritt 2)	5
Bild 5-31: Transformation zwischen Referenzontologie und BPEL	5
Bild 5-32: Analyse des externen Systems und Ableitung der Transformationsregeln	5
Bild 5-33: Systembausteine für Variante 1 (Offline-Integration)	5
Bild 5-34: Systemkomponenten zur Online-Integration eines IT-Systems (Variante 2)	5
Bild 5-35: Systemkomponenten zur gemischten Online/Offline-Integration eines IT-Systems (Variante 3)	5
Bild 5-36: Auswahl der Integrationsvariante nach der Kennzahl Gesamtkosten (unter Berücksichtigung der Änderungshäufigkeit) (qualitativ)	5
Bild 5-37: Auswahl der Integrationsvariante basierend auf der der Anzahl Zugriffe auf Konzepte innerhalb der kooperationsrelevanten Workflows (qualitativ)	5
Bild 5-38: Zusammenhang der Auswahlkriterien semantischer Überdeckungsgrad und Kooperationsdauer (links) sowie Sicherheit (rechts) (qualitativ)	5
Bild 5-39: Neuentwicklung von Services und Applikationen auf Basis des durch die Systembausteine realisierten transparenten Zugriffs auf die relevanten Informationen	5
Bild 5-40: Prinzipieller Aufbau einer "Gesamtarchitektur" eines hierarchischen Kooperationsprojektes	5
Bild 5-41: Gesamtarchitektur der Kooperationslösung zur Unterstützung der (mehrstufigen) Kooperation zur Entwicklung des mobilen Roboters mit Fokus auf die Kooperationen A und B	5
Bild 6-1: Input und Output des Softwarewerkzeugs OntoConnect	5
Bild 6-2: Architektur des Softwarewerkzeugs OntoConnect	5
Bild 6-3: Menü-Leiste des Softwarewerkzeugs OntoConnect	5
Bild 6-4: Screenshot der Kultur- Sichten-Konfiguration	5
Bild 6-5: Artefakt-Sichten-Konfiguration	5
Bild 6-6: Prozess- und Service-Sichten-Konfiguration	5
Bild 6-7: Service Sicht (links) und Dialoge zum Anlegen von Services (Mitte) und Auswahl der Konzepte als Input/Output der Services (rechts)	5
Bild 6-8: Setup-Sichten-Konfiguration	5
Bild 6-9: Visualisierung einer Ontologie mittels TouchGraph	5

Bild 6-10: Sichten (4)-(6) zur kulturabhängigen Beschreibung der Konzepte System Element und released	5
Bild 6-11: Semantische Hüllen und deren semantischer Abstand	5
Bild 6-12: Transformations-Sichten-Konfiguration	5
Bild 6-13: Sicht zur Darstellung von Datenmodellelementen	5
Bild 6-14: Darstellung des abgeleiteten Kooperationsdatenmodells und Konsole-Ausgabe im Softwarewerkzeug OntoConnect	5
Bild 6-15: Integrations-Sichten-Konfiguration	5
Bild 6-16: Sicht zur Darstellung der Instanzdaten	5
Bild 6-17: Darstellung der Ergebnisse des Verfahrens zur Bestimmung der Mapping-Regeln durch OntoConnect	5
Bild 6-18: Zugriff auf verschiedene Instanz- und Modelldaten mittels OntoConnect	5
Bild 6-19: Kooperation-Sichten-Konfiguration zur Darstellung der Daten zur Laufzeit	5
Bild 6-20: Service-orientierte Architektur für die Kooperation B	5
Bild 6-21: Verschiebung elektronischer Komponenten im MCAD-System und Propagierung ins ECAD-System	5
Bild 6-22: Änderung der PIN-Belegung	5
Bild 6-23: SimPDM Datenmodell und Services nach [SIMP-08]	5
Bild 6-24: Abbildungsregeln zwischen ADAMS/Car- und SimPDM-Modell	5
Bild 6-25: Steuerung einer Maschine durch angepasste intelligente Software [KOBA-04]	5
Bild 6-26: Objektorientierter Ansatz zur Beschreibung von Regeln nach [OvMK-06]	5
Bild 6-27: Zusammenhang zwischen KOBAS-Anwendungen, der Regelbasis und externen Systemen beim Endkunden nach [MaKr-07]	5

Abkürzungsverzeichnis

AAM	Application Activity Model
AIM	Application Interpreted Model
API	Application Programming Interface
ARM	Application Reference Model
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASP	Application Service Providing
B2B	Business to Business
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BOM	Bill of Material (deutsch: Stückliste)
BPMN	Business Process Modelling Notation
BPEL	Business Process Execution Language
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAQ	Computer Aided Quality Assurance
CFD	Computational fluid dynamics (deutsch.: Numerische Strömungsanalyse)
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CRM	Customer Relationship Management
CSCW	Computer Supported Cooperative Work
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMU	Digital Mock-Up
DOLCE	Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering
EAI	Enterprise Applikation Integration
ebXML	Electronic Business using extensible Markup Language
EC	European Commission
ECAD	Elektronisches CAD-System
ECR	Engineering Change Request (deutsch: Design-Änderungs-Anforderung)
ECO	Engineering Change Order (deutsch: Design-Änderungs-Beauftragung)
EDI	Electronic Data Interchange
EDM	Engineering Data Management
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ERD	Entity Relationship Diagram
ERM	Enterprise Resource Management
ERP	Enterprise Resource Planning
EU	Europäische Union
FBS	Function/Behaviour/State model

FEM	Finite Elemente Methode
GUI	Graphical User Interface
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
IEC	International Electrotechnical Commission
IEC-61360	Referenzsammlung von Klassen für elektronische und elektromechanische Komponenten und Materialien, die in elektrotechnischen Produkten verwendet werden.
ISO	International Standardization Organization
IT	Informationstechnologie
JV	Joint Venture
KMU	Kleine und Mittelständische Unternehmen
MCAD	Mechanisches CAD-System
MKS	Mehrkörpersimulation
MRP	Material Resource Planning
MWK	Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst
OEM	Original Equipment Manufacturer
OMG	Object Management Group
ORB	Object Request Broker
P2P	Peer To Peer
PDM	Product Data Management
PDX	Product Definition Exchange
PECS	Physis, Emotion, Cognition, Social Characteristics
PLM	Product Lifecycle Management
PPM	Produkt- und Produktionsmodell
PPS	Produktionsplanung und –steuerung
RDF	Resource Description Framework
SBF	State Behaviour Function model
SCM	Supply Chain Management
SGML	Standard General Markup Language
SME	Small and Medium Enterprises (deutsch: kleine und mittelständische Unternehmen)
SOA	Service Oriented Architecture
SOAP	Simple Object Access Protocol
SQL	Structured Query Language
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data (ISO 10303)
UML	Unified Modelling Language
UNO	United Nations Organisation
UNSPC	The United Nations Standard Products and Services Code

VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verein Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer
VDA	Verein der Deutschen Automobilindustrie
W3C	World Wide Web Consortium
WM	Wissensmanagement
WSDL	Web Service Description Language
WTO	World Trade Organisation
XMI	XML Metadata Interchange
XML	Extensible Markup Language
XSLT	Extensible Stylesheet Language Transformation

1 Einleitung

Informations- und Kommunikationstechnologien durchdringen zunehmend eine Vielzahl von Wirtschaftsbereichen wie den Maschinen- und Automobilbau, die Automatisierungstechnik, das Bildungswesen und die Dienstleistungsbranche, die Medizintechnik, die Energietechnik und die Logistik. Laut [IKT-07] stützen sich über 80 Prozent aller Innovationen im Automobilbau auf Elektrotechnik und Elektronik. „Die computerrelevanten Anwendungen in der Automobilbranche steigen von Jahr zu Jahr. Ein Oberklassewagen besitzt heute bis zu 40 Prozent computergesteuerte Komponenten“, sagt der stellvertretende Direktor des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), Volker Wanduch [IKT-07]. Vor diesem Hintergrund gewinnt die mechatronische² bzw. interdisziplinäre³ Produktentwicklung immer mehr an Bedeutung. Dies veranschaulicht eine Studie des Marktforschungsunternehmens Gartner Group (siehe Bild 1-1), die ein jährliches Wachstum von 9 Prozent für Embedded Systems, also Systeme mit integrierter Steuerungssoftware, voraussagt. Da insbesondere kleine und mittelständische Firmen meist nur eine Ingenieursdisziplin abdecken können, sind sie verstärkt gezwungen, Kooperationen einzugehen.

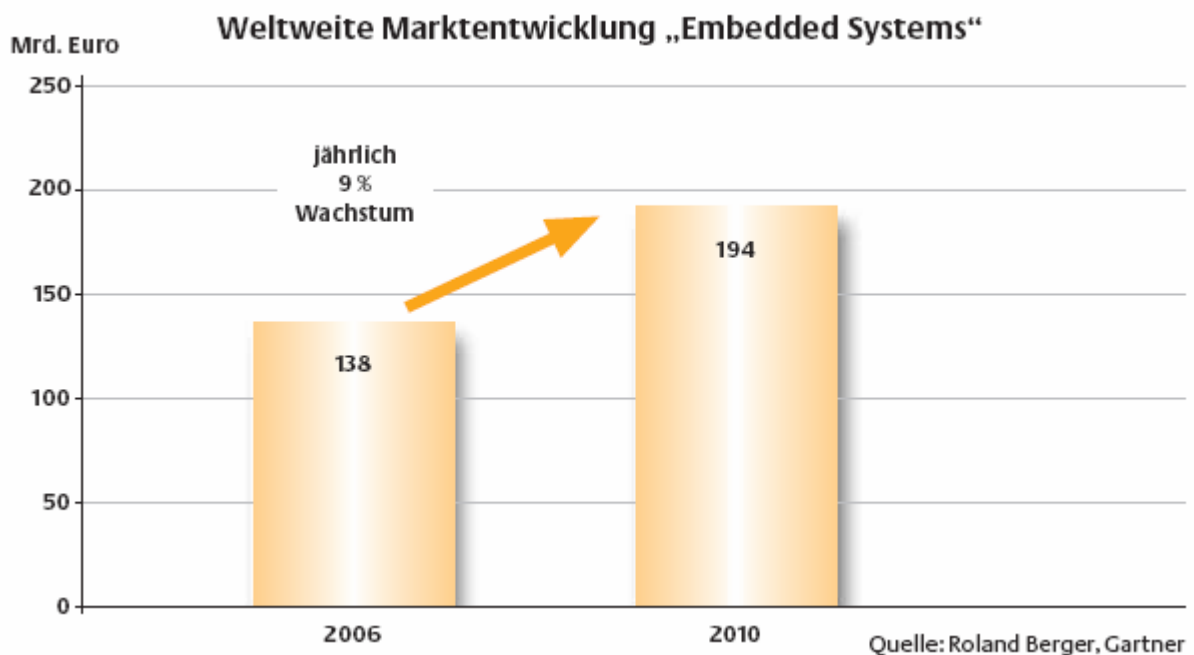


Bild 1-1: Weltweite Marktentwicklung "Embedded Systems" (Quelle: Roland Berger, Gartner Group siehe [IKT-07])

² Mechatronik: Mechatronik ist eine Ingenieurwissenschaft, die die Funktionalität eines technischen Systems durch eine enge Verknüpfung mechanischer, elektronischer und datenverarbeitender Komponenten erzielt [Bosc-99]

³ Im Rahmen interdisziplinärer Produktentwicklung sind mehr als eine Ingenieursdisziplin (bzw. Domäne) beteiligt. Dies ist nicht notwendiger Weise auf Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik festgelegt.

Die zunehmende Globalisierung der Märkte und der damit verbundene Wettbewerb zwingen die meisten Unternehmen ebenfalls stärker als bisher, sich auf ihre Kernkompetenzen zu konzentrieren [Abra-03] und führen zu einer wachsenden Bedeutung von Kooperationen (vgl. [VaZS-05], [Stat-04]). Längst umfasst die durch die Globalisierung ausgelöste Fusions- und Akquisitionswelle ein Transaktionsvolumen von mehr als zwei Billionen US-\$ im Jahr [TrWo-03].

Die Motivation zur Bildung globaler Wertschöpfungsnetzwerke beschränkt sich jedoch nicht nur auf die Möglichkeit, externe Ressourcen bzw. externes Know-how zu nutzen. Im Rahmen einer Umfrage [Wagn-03] wurden von den Unternehmen unterschiedlichen Ziele zur Gründung von Partnerschaften mit anderen Unternehmen genannt (siehe Bild 1-2).

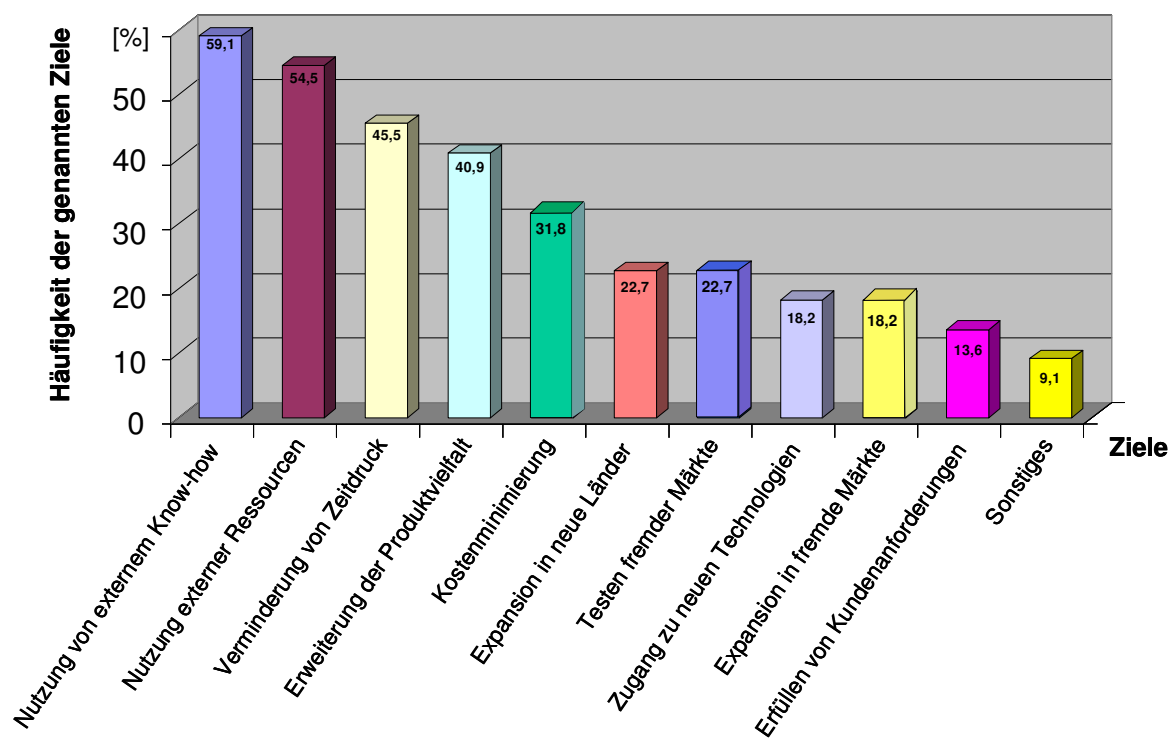


Bild 1-2: Hauptgründe für den Aufbau verteilter Entwicklungspartnerschaften [Wagn-03]

Durchschnittlich fertigen deutsche Unternehmen heute nur noch 35,7 Prozent selbst und geben den überwiegenden Teil des Arbeitsvolumens mit steigender Tendenz an Dienstleister ab [IKT-07]. Dementsprechend wird davon ausgegangen, dass unternehmensübergreifende Geschäftsprozesse als Bindeglied zwischen kooperierenden Unternehmen eine zentrale Bedeutung erhalten werden [SGHZ-02]. Als Konsequenz müssen Unternehmen moderne Informationstechnologie einsetzen, um Kooperationspartner, Kunden und Zulieferer in ihre Geschäftsprozesse zu integrieren [VaZS-05]. Diese Herausforderung wird von den Unternehmen verstärkt angegangen, indem Potentiale unternehmensübergreifender Integration von Informationssystemen ausgenutzt werden [Enge-06]. In einer Studie der Aberdeen Group (siehe [Schn-03]) gaben 38 Prozent der befragten Unternehmen an, dass der Grund für eine Systemintegra-

tion eine beschleunigte Implementierung neuer Anwendungen sei. 20 Prozent sehen bessere Informationen über Systemgrenzen hinweg als Kriterium an, während 18 Prozent die Verbesserung der Lieferanten- und Kundenbeziehungen sehen (siehe Bild 1-3). 14 Prozent gaben eine „Best of Breed“- Strategie und 10 Prozent Fusionen/Firmenzusammenschlüsse als Grund für Systemintegration an. Bereits im Jahre 2004 hat das Marktforschungsunternehmen Gartner Group geschätzt, dass 70 Prozent der großen und mittleren Unternehmen jeden vierten Euro ihres IT-Budgets für die Integration ihrer externen Partner aufwenden [Born-04].

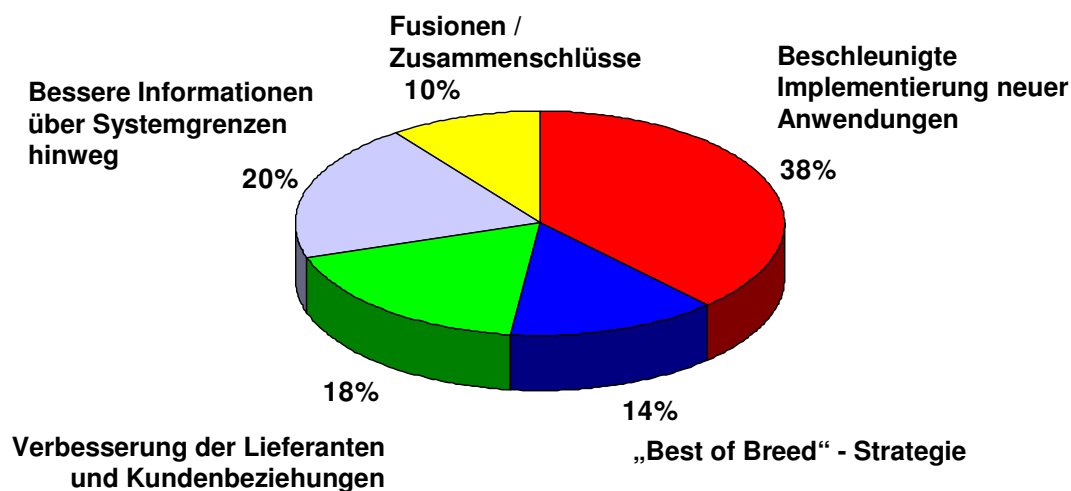


Bild 1-3: Gründe für Systemintegration (Quelle: Aberdeen Group, 2002, siehe [Schn-03])

In diesem Kontext bildet das Konzept der Service-orientierten Architekturen (SOA) ein breit angelegtes, konzeptionelles Rahmenwerk, in dem sich Softwaremodule erstellen, verwalten und kombinieren lassen [IKT-07]. Aufgrund des Bedarfs seitens der Industrie wird in den nächsten Jahren mit einer jährlichen Wachstumsrate im Bereich SOA um durchschnittlich 43 Prozent gerechnet (siehe Bild 1-4)[IKT-07].

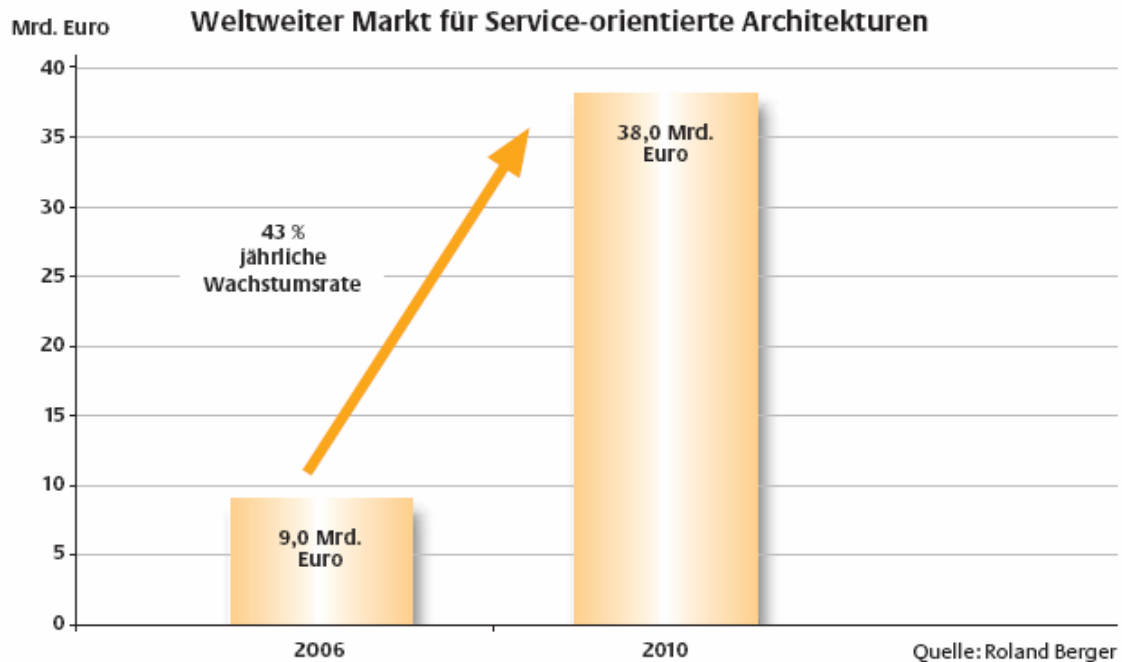


Bild 1-4: Weltweiter Markt für Service-orientierte Architekturen (SOA) (Quelle: Roland Berger, Gartner Group siehe [IKT-07])

In den letzten Jahren wurden dementsprechend einige EAI-Middleware-Lösungen zur Umsetzung des SOA-Paradigmas entwickelt, wie beispielsweise IBM WebSphere [Peis-06], Microsoft BizTalk [Wint-09], Oracle Fusion [ORAC-06] und SAP NetWeaver [Wint-07]. Eine von der Europäischen Union (EU) in Auftrag gegebene Meilensteinstudie kommt jedoch zum Schluss, dass die bestehenden Lösungen im Bereich Enterprise Interoperabilität zu monolithisch sind, um die meist durch Kurzfristigkeit und Dynamik gekennzeichneten Kooperationen in geeigneter Weise zu unterstützen (vgl. [EIRO-08]). Weiterhin fehlt ein geeignetes Vorgehensmodell zum Aufbau einer IT-gestützten Kooperationslösung (vgl. [EIRO-08]).

Durch die voranschreitende Globalisierung gewinnt der kulturelle Aspekt im Rahmen der organisatorischen Herausforderungen unternehmensübergreifender Kooperationen verstärkt an Bedeutung. Diese Unterschiede zwischen verschiedenen Kulturen treten insbesondere bei Fusionen hervor. „Das Scheitern von internationalen Fusionen aufgrund erfolgloser internationaler Zusammenarbeit ist schon lange kein Einzelfall mehr. Die Renault-American Motors-, Vodafone-Mannesmann- bis hin zur (mittlerweile gescheiterten) Daimler-Chrysler-Fusionen sind nur einige Beispiele, die die Problematik internationaler Firmenehen belegen“ (vgl. [Schw-05]). Nach [Adai-02] scheitern bis zu 30 Prozent aller Auslandseinsätze, -niederlassungen und -geschäfte und bis zu 80 Prozent verfehlen ihr Ziel.

Hierbei ist häufig nicht die Diversität der Interaktionspartner, sondern vor allem das mangelnde gemeinsame Verständnis Ursache für das Scheitern [Schw-05]. Beispielsweise bedeutet in Deutschland der Zustand „freigegeben“ (oder „released“) bei einer technischen Zeichnung, dass sich nichts mehr daran ändert (oder nur aufgrund eines formalen Änderungsprozesses). In China wird es im Allgemeinen so aufgefasst, dass nun grob die Randbedingungen festge-

legt sind. Während bei längerfristigen Kooperationen (z. B. Joint Venture) und Fusionen die Partner Zeit haben, ein gemeinsames Verständnis aufzubauen, wird diese Problematik bei kurz- und mittelfristigen Kooperationen aufgrund des Zeit- und Kostendrucks noch verstärkt.

Die Angst vor Knowhow-Verlust spielt gerade bei Kooperationen in lukrativen Märkten wie China⁴ und Indien eine nicht unbedeutende Rolle. Anlässlich einer vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer (VDMA) auf der Hannover Messe im März 2007 veröffentlichten Umfrage unter Mitgliedern, hat die Produktpiraterie im Gesamtjahr 2006 einen Schaden von rund 5 Milliarden Euro (Schätzung Vorjahr 4,5 Mrd. Euro) erreicht. Eine von der internationalen Handelskammer (ICC) durchgeführte Befragung⁵ von global agierenden Unternehmen kommt zu dem Ergebnis, dass vor allem in China und Indien der Schutz des geistigen Eigentums als sehr schlecht eingestuft wird. Nach VAJNA [Vajn-01] ist Wissensmanagement einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren eines Unternehmens. Die oben beschriebene Problematik behindert zusammen mit dem fehlenden gemeinsamen Verständnis ein effizientes unternehmensübergreifendes Wissensmanagement, das für die vollständige Ausnutzung potenzieller Synergieeffekte erforderlich wäre.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass zur Unterstützung unternehmensübergreifender Kooperationen die Berücksichtigung interkultureller Aspekte unabdingbar ist. Im Hinblick auf den Zeit- und Kostendruck ist gerade für kurzfristige, dynamische Kooperationen der schnelle und angepasste Aufbau einer IT-gestützten Kooperationslösung für den wirtschaftlichen Erfolg der Kooperation maßgeblich. Dies trifft insbesondere für Kooperationen zu, an denen kleine und mittelständische Unternehmen beteiligt sind. Die Idee eine Gesamtlösung (hier: Kooperationslösung) aus vordefinierten Bausteinen zusammenzustellen, ist ein Ansatz der in mehreren Anwendungsbereichen (z. B. Maschinenbau, Tourismus⁶) verwendet wird [Boro-61].

Zielsetzung der Arbeit ist die Entwicklung eines generischen Baukastensystems zum effizienten Aufbau einer rechnerunterstützten Kooperationslösung für interkulturelle Entwicklungsprojekte mit Fokus auf kurz- und mittelfristige Zusammenarbeiten. Die Realisierung des Konzepts reduziert den Aufwand beim Aufbau und bei der Durchführung von Kooperationen. Weiterhin wird bereits in der frühen Phase der Kooperation die Grundlage für ein gemeinsames Verständnis gelegt und damit auf die Vermeidung kulturbedingter Probleme hingewirkt.

Das Lösungskonzept umfasst zwei wesentliche Aspekte:

- Identifikation von (abstrahierten) Systembausteinen zum Aufbau einer unternehmensübergreifenden Kooperationslösung. Hierbei wird eine Modularisierung bestehender EAI-Lösungen vorgeschlagen und diese um weitere Bausteine ergänzt.

⁴ China ist mittlerweile der wichtigste Wirtschaftspartner Deutschlands in Asien und seit 2002 nach den USA der zweitgrößte deutsche Exportmarkt

⁵ BASCAP Global Survey on Counterfeiting and Piracy, Januar 2007

⁶ Touristik-Unternehmen bieten oft verschiedene „Reisebausteine“ für ein Land (oder Gegend) an, auf deren Basis sich die Kunden ihre individuell angepasste Reise nach eigenen Vorlieben zusammenstellen können.

- Entwicklung eines Vorgehensmodells (Systembaumusterplans) zum effizienten Aufbau einer EAI-basierten Kooperationslösung für interkulturelle Entwicklungsprojekte mit Fokus auf kurzer und mittlerer Laufzeit. Durch die Anwendung des Systembaumusterplans auf die definierten abstrahierten Bausteine wird hierbei von der verwendeten EAI-Technologie abstrahiert.

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der Entwicklung des Systembaumusterplans zum effizienten Aufbau einer SOA-konformen Kooperationslösung zur Unterstützung von kurz- und mittelfristigen interkulturellen Kooperationen im Bereich kooperativer Produktentwicklung. Die Zielstellung der Arbeit kann wie folgt detailliert werden:

- Aufbau einer Kooperationslösung (IT-Infrastruktur auf Basis von EAI-Technologie), welche das SOA-Paradigma erfüllt.
- Das zu entwickelnde Konzept soll die semantisch kohärente Beschreibung der kooperationsrelevanten Aspekte (z. B. Artefakte, Prozesse) ermöglichen, um ein gemeinsames Verständnis der Kooperationspartner zu ermöglichen. Hierzu muss das semantische Modell anwendungsorientiert sein und der Systembaumusterplan muss den Übergang in ein implementierungsorientiertes semantisches Modell unterstützen.
- Der Systembaumusterplan soll möglichst automatisiert durchgeführt werden können, so dass der Aufwand durch manuelle Schritte möglichst minimiert wird.
- Aufgrund der im Rahmen des Systembaumusterplans durchgeführten Aktivitäten sollte die Basis für ein unternehmensübergreifendes Wissensmanagement geschaffen werden. In diesem Kontext und zur Reduktion der Komplexität der bereitgestellten Daten sollte der Systembaumusterplan eine Methode zur automatisierten Identifikation relevanter Daten spezifizieren.
- Neben einer konzeptionellen Lösung ist ein Softwarewerkzeug zu entwickeln, das eine automatisierte Durchführung des Systembaumusterplans unterstützt.

Der Systembaumusterplan fokussiert kurz- und mittelfristige interkulturelle Entwicklungspartnerschaften insbesondere im Bereich interdisziplinärer Produkte. Im Kontext der Arbeit wird unter Entwicklungspartnerschaften sowohl der Produktentwicklungs- als auch den Herstellungsprozess verstanden, wobei der Fokus auf der Entwicklung liegt. Die Zielstellung ist somit nicht, ein generelles Vorgehensmodell zum Aufbau einer SOA-konformen IT-Lösung zu entwickeln, sondern fokussiert auf den definierten Problembereich.

Das Lösungskonzept wird in Form der Implementierung eines Softwareprototyps realisiert. Der Einsatz der Software in einer dem zu entwickelnden Systembaumusterplan konformen Art und Weise verifiziert die Tragfähigkeit des Konzeptes und dessen Nutzenpotential. Dies wird anhand von Forschungs- und Industrieprojekten untersucht. Hierbei wurde das Konzept anhand von Anwendungsbeispielen im Bereich interdisziplinärer Produktentwicklung sowie Produktherstellung validiert.

Zur konkreten Einordnung der Arbeit in den Problemkontext findet zunächst eine Klärung der wesentlichen Begriffe statt (Kapitel 2). Anschließend erfolgt die Beschreibung und Bewertung bestehender Lösungsansätze im Kontext der dieser Arbeit zugrunde liegenden Zielsetzung (Kapitel 3). Basierend auf dieser Analyse werden die Anforderungen an das Konzept formuliert und das grundlegende Lösungskonzept vorgestellt (Kapitel 4). Darauf aufbauend wird der Systembaumusterplan dargestellt, wobei die erarbeitete Theorie anhand eines durchgängigen Anwendungsbeispiels illustriert wird (Kapitel 5). Anschließend erfolgt die Beschreibung der Konzeptverifizierung (Kapitel 7). Hierbei wird zur Validierung des Konzepts das entwickelte Softwarewerkzeug im Kontext des eingeführten Anwendungsbeispiels diskutiert. Abschließend werden weitere industrielle Validierungsbeispiele vorgestellt und eine abschließende Nutzenbetrachtung durchgeführt.

2 Grundlagen und Begriffsdefinitionen

In diesem Kapitel werden die für den Kontext der Arbeit relevanten Begriffe definiert. Hierbei werden insbesondere die Begriffe Baukasten, Wissensmanagement, unternehmensübergreifende Kooperationsformen und Kultur näher betrachtet.

2.1 Begriffsdefinition: Baukastensystem

Der Begriff Baukasten wird in der Literatur (z.B. [PaBe-07], [Jesc-97], [Roth-00], [Renn-07]) je nach Anwendungsbereich mit verschiedenen Betonungen verwendet. Aus diesem Grund existieren viele Begriffe und Definitionen sowie zahlreiche Synonyme, die gleiche oder ähnliche Sachverhalte wiedergeben. Neben dem Terminus Baukastensystem finden sich Bezeichnungen wie Baukastentechnik, Baukastenbauweise, Kombinationstechnik, Baukastenprinzip, Baukastenkonstruktion, Baukastenfertigung und Modulsystem [Renn-07]. Die modulare Bauweise technischer Systeme bietet Vorteile hinsichtlich Wiederverwendung und Arbeitsteilung in der Konstruktion sowie Losgrößenvorteile [Lang-05]. Die Grundidee des Baukastensystems ist, mit möglichst wenigen unterschiedlichen Elementen (Bausteine) möglichst viele verschiedene Gesamtsysteme entwickeln zu können. Im Gegensatz zur Baureihe können hierbei nicht nur unterschiedliche Größenstufen, sondern auch unterschiedliche Funktionen abgedeckt werden [PaBe-07].

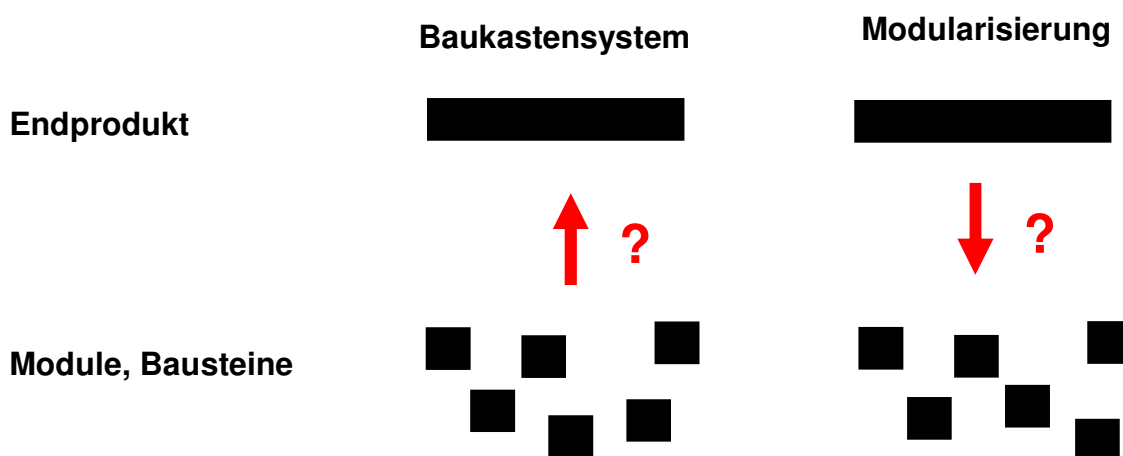


Bild 2-1: Baukastensystem und Modularisierung nach [ZHWI-07]

Bei einem Baukastensystem steht die Frage, wie die Bausteine sinnvoll kombiniert werden, im Vordergrund. Im Gegensatz hierzu ist bei der Modularisierung die Frage zu klären, wie ein Gesamtsystem in möglichst standardisierte Untersysteme zu gliedern ist (analytische Sicht). Eine Weiterentwicklung der Modularisierung ist die Plattformstrategie, die vorwiegend in der Automobilbranche eingesetzt wird. Hier werden einzelne Module (z.B. Chassis, Antriebsstränge, Achsen) über verschiedene Fahrzeugmarken hinweg einheitlich verwendet. Die Grundvoraussetzung für die modulare Bauweise sind definierte Schnittstellen (Flansch-, Pass-

oder Anschlussstellen) zwischen den Elementen [Koll-98]. Ein Baukastensystem wird im Kontext dieser Arbeit in Anlehnung an PAHL und BEITZ [PaBe-07] wie folgt definiert:

Definition (Baukastensystem): *Unter einem Baukastensystem versteht man Maschinen, Baugruppen oder Einzelteile, die als Bausteine mit oft unterschiedlichen Lösungen durch Kombination verschiedene Gesamtfunktionen erfüllen [PaBe-07]. Ein Baukastensystem beinhaltet einen Bauplan (oder Baumusterplan), welcher den Aufbau einer Lösung aus den Bausteinen beschreibt.*

Nach PAHL und BEITZ [PaBe-07] lassen sich die Bausteine eines Baukastensystems entsprechend ihrer Funktion wie folgt unterscheiden:

- Grundbausteine: Stellen Grundfunktionen bereit, die in jedem System benötigt werden.
- Hilfsbausteine: Realisieren verbindende und anschließende Funktionen.
- Sonderbaustein: Stellen ergänzende Funktionen für besondere Aufgaben bereit.
- Anpassbausteine: Dienen zur Anpassung zwischen unterschiedlichen Funktionen.

Hierbei klassifizieren PAHL und BEITZ Grundbausteine und Hilfsbausteine als Muss-Bausteine und die übrigen Bausteinarten als Kann-Bausteine. Ein Muss-Baustein stellt eine Basisfunktion zur Verfügung, die für die Gesamtfunktion obligatorisch ist. Deshalb kommt ein Muss-Baustein in jedem Baukastenerzeugnis vor [Renn-07]. Ein Kann-Baustein ist dagegen optional und verleiht dem Baukastenprodukt zusätzliche Eigenschaften oder Funktionen. In Anlehnung an BIEGERT [Bieg-71] und JESCHKE [Jesc-97] werden im Rahmen dieser Arbeit die Hilfsbausteine als Kann-Bausteine klassifiziert, da sie keine Grundfunktion bereitstellen, die in jedem System benötigt wird. Auftragsbausteine⁷ stellen auftragspezifische Funktionen bereit, die durch Bausteine des Baukastens nicht realisiert werden können.

2.2 Begriffsdefinition: Integration

In der Literatur findet sich eine Vielzahl an Definitionen des Begriffs Integration. An dieser Stelle soll nur die für die Arbeit relevante Definition vorgestellt werden.

Der Duden definiert: Integration ist die „[Wieder]herstellung einer Einheit [aus Differenzierten]“ bzw. „Einbeziehung, Eingliederung in ein größeres Ganzes“ (siehe [Dude-97]). In dieser Arbeit werden organisatorische und informationstechnische Aspekte zusammenhängend betrachtet, weshalb die Definition von SCHÜPPLER verwendet wird [Schü-98]:

Definition (Integration): *Integration meint die verschiedenen Formen der informatorischen Zusammenarbeit, die Auswirkungen auf überbetriebliche Strukturen und Verhalten haben (...). Integration wird (...) mit Bezug auf Ausgestaltung einer Kooperation als informatorische Kopplung oder informatorische Verschmelzung verstanden, die Auswirkungen auf die Informationsverarbeitung und Organisation beteiligter Partner hat.*

⁷ PAHL und BEITZ bezeichnen diese Bausteine als „Nichtbausteine“ [PaBe-07].

2.3 Wissensmanagement

In der Literatur finden sich zahlreiche Versuche, dem Begriff Wissen eine Definition zuzuordnen. Je nach Ansatzpunkt und Betrachtungsweise fällt sie von Fall zu Fall anders aus. Die Begriffe Daten, Information und Wissen werden oft gleichbedeutend verwendet. Deshalb ist es erforderlich, eine Abgrenzung dieser Begriffe vorzunehmen, ehe Wissensmanagement definiert werden kann.

2.3.1 Begriffsdefinition: Daten, Information und Wissen

Die Begriffe Daten, Information und Wissen werden im wissenschaftlichen Diskurs mit unterschiedlichen Schwerpunkten interpretiert und definiert, sodass sich keine präzise und übergreifende, anerkannte Definition findet. Als eine Art kleinster gemeinsamer Nenner lassen sich vier Aussagen formulieren (siehe [StMa-02]):

- Informationen liegen Daten zugrunde.
- Dem Wissen liegen Informationen zugrunde.
- Informationen müssen derart aufeinander bezogen sein, dass sie in sich stimmig sind (kohärent).
- Neben der inneren Übereinstimmung muss sich Wissen in Übereinstimmung mit den wahrnehmbaren Bedingungen einer Umwelt befinden.

Für die Beschreibung der Begriffe Daten, Information und Wissen in der **Semiotik**⁸ sind die drei Dimensionen Syntax, Semantik und Pragmatik des Semioseprozesses notwendig [Klim-03], [Goos-95]:

- **Syntax:**
Die Syntax beschreibt unabhängig von Bedeutung und Wirkung die Beziehung von Zeichen und deren Kombination.
- **Semantik:**
Die Semantik beschreibt die Bedeutung von Zeichen, d. h. sie stellt eine Relation zwischen den Zeichen und dem Objekt her, das die Zeichen repräsentierten.
- **Pragmatik:**
Die Pragmatik beschäftigt sich mit der Funktion und Wirkung zwischen Zeichen und Zeichenbenutzern.

Wissen ist die Vernetzung und Interpretation (verstehen) von Information. Information entsteht durch die Analyse von unstrukturierten, isolierten Daten unter Berücksichtigung deren

⁸ Semiotik (Zeichen, Signal): Lehre von den Zeichen und ihren Bedeutungen.

Kontextes. Dies soll anhand eines Beispiels erläutert werden: Daten besitzen lediglich eine syntaktische Dimension (z. B.: „42° C“, „KSC“, „M8“), während Informationen darüber hinaus eine semantische Ebene umfassen. Auf semantischer Ebene wird die Zeichenkette „42° C“ beispielsweise als Temperaturangabe, KSC als Fußballverein und M8 als Gewindedurchmesser interpretiert. Wissen beinhaltet im Gegensatz zu Daten und Informationen eine pragmatische Dimension und ist somit mit einem Ziel und Zweck verbunden. Der Anstieg der Körpertemperatur eines Menschen auf 42° C (= Information) kann zum Tod führen (= Wissen).

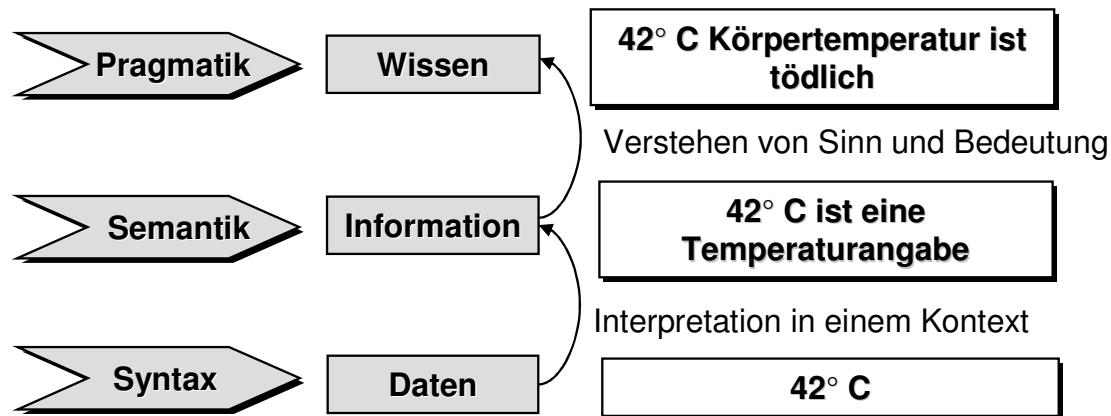


Bild 2-2: Abgrenzung der Begriffe Daten, Information und Wissen

In Anlehnung an die Definitionen „Information ist der Sinngehalt von Daten“ [FeSi-98] und „Information wird durch Interpretation von Daten auf Grundlage eines Bezugssystems gewonnen“ [BaGo-91] wird folgende Definition für Information verwendet:

Definition (Information): Information ist die Interpretation von Daten in einem Kontext.

Die Definition von Wissen erfolgt in Anlehnung an [StMa-02]:

Definition (Wissen): Wissen ist eine Information, deren Sinn und Bedeutung verstanden ist.

Eine der gängigsten Klassifikationen von Wissen ist die Einteilung in *implizites*⁹ (engl.: tacit knowledge) und *explizites* Wissen. Explizites Wissen existiert bereits in zugreifbarer Form, wie zum Beispiel in Textdokumenten, Datenbanken etc. Im Gegensatz hierzu ist das implizite Wissen nicht oder nur schwer systematisch zu verarbeiten. Diese Wissensklasse basiert beispielsweise auf individuellen Erfahrungen, Erinnerungen und kulturellen Aspekten wie Weltanschauung, Glauben, Idealen und Wertvorstellungen.

Der Prozess der Umwandlung von implizitem zu explizitem Wissen wird Externalisierung genannt. Erst in dieser Form kann das Wissen im Unternehmen kommuniziert und verteilt werden. Innerhalb dieser Arbeit soll vor allem die semantische Sichtweise der innerhalb der

⁹ Implizites Wissen (engl.: tacit knowledge) wird auch verborgenes oder stillschweigendes Wissen genannt

Kooperation verwendeten Daten unterstützt werden. Der Fokus liegt also nicht auf der gemeinsamen Nutzung und Speicherung von *Erfahrungswissen*. Der zu entwickelnde Baukastenansatz muss lediglich eine Infrastruktur bereitstellen, die eine gemeinsame Nutzung ermöglicht.

2.3.2 Begriffsdefinition: Wissensmanagement

Seit Mitte der 70er Jahre spricht man von einer Informations- und seit Beginn der 80er Jahre von einer Wissensgesellschaft. Es wurde erkannt, dass der Umgang mit der Ressource Wissen entscheidend für den Erfolg des Unternehmens, einer Branche und schließlich der gesamten Volkswirtschaft ist [Sand-05], [Klim-03]. Viele Unternehmen leben von ihrer Spezialisierung und von ihrem Produktwissen, so dass ihre Existenz von der Verfügbarkeit und Nutzung des vorhandenen Wissens abhängt. Wissen ist zu einem nachhaltigen Wettbewerbsfaktor geworden, der aufgrund seiner Flüchtigkeit systematisch verwaltet werden muss. Deshalb beschäftigt sich das Wissensmanagement mit Methoden, Wissen zu identifizieren, zu akquirieren, zu strukturieren, zu verteilen, auszutauschen und die Mitarbeiter in diesen dynamischen Prozess einzubinden [Klim-03].

Der Begriff Wissensmanagement wird in der Literatur nicht einheitlich verwendet. Eine relativ allgemeine Definition von Wissensmanagement (WiM) findet sich in [StMa-02]:

Definition (Wissensmanagement): *Wissensmanagement ist der bewusste Umgang mit der Ressource Wissen und ihr zielgerichteter Einsatz.*

Vielfach scheitern Projekte zur Einführung von Wissensmanagement an der Unternehmenskultur. Die Mitarbeiter müssen bereit sein, ihr (Erfahrungs-)Wissen zu teilen, was oft daran scheitert, dass sie Angst haben, dadurch ersetzbar zu werden, und sie damit ihre Existenz gefährdet sehen. Bei unternehmensübergreifenden Kooperationen gewinnt dieser Aspekt an Brisanz, da Unternehmen Angst von Knowhow-Verlust haben. Die Bereitschaft Wissen zu teilen ist jedoch nur ein erster Schritt in Richtung Wissensmanagement. Um Wissen innerhalb eines Unternehmens (oder einer Kooperation) verfügbar zu machen, muss es in einer rechnerverständlichen Form repräsentiert werden.

2.3.3 Wissensrepräsentation

Die *Wissensrepräsentation* beschäftigt sich damit, wie Wissen in einem Informationssystem (Wissensbasis) formal gespeichert werden kann, mit welchen Mechanismen man darauf zugreift und wie man das Wissen nutzen kann, um computergestützte Schlussfolgerungen (Inferenz) zu ziehen.

WAGNER definiert *Wissensrepräsentation* wie folgt [Wagn-06]:

Definition (Wissensrepräsentation): *Unter Wissensrepräsentation versteht man die symbolische Darstellung von Wissen über einen Gegenstandsbereich.*

Es existieren verschiedene Ansätze zur Wissensrepräsentation. In den nachfolgenden Abschnitten werden die wichtigsten Vertreter wie der regelbasierte, constraintbasierte und fallbasierte Ansatz sowie das semantische Netz kurz vorgestellt und anschließend in Hinblick auf die Verwendbarkeit innerhalb der Arbeit bewertet.

Regelbasierter Ansatz

Beim *regelbasierten Ansatz* wird das Wissen durch die *Regeln* repräsentiert. Regeln sind formalisierte Konditionalsätze [Klim-03] der Form

wenn (if) A dann (then) B

Hierbei wird der „dann“-Teil (hier: B, Konklusion bzw. Aktion) der Regel geschlossen, falls A wahr ist. Der „wenn“-Teil (hier: A) stellt somit die Vorbedingung oder Prämisse dar ($A \models B$). Sei beispielsweise die Vorbedingung $A :=$ „Objekt ist ein Hund“ und die Schlussfolgerung $B :=$ „Hund hat Schwanz“. Damit könnte für den Hund „Lassie“ geschlossen werden, dass Lassie einen Schwanz hat. Trifft die Prämisse nur zu einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu, so kann ein statistischer Ansatz verwendet werden. Hierbei werden die Vorbedingungen als Zufallsvariable beschrieben [Stah-02]. Die Fuzzy-Logik (deutsch: „verschwommene Logik“) [Trae-93] ermöglicht die Beschreibung von Unsicherheiten und Unschärfen wie „jung“, „ein wenig“, „schwer“ und stellt eine Verallgemeinerung der booleschen Logik dar. Die Fuzzy-Logik basiert auf den „unscharfen Mengen“ (Fuzzy-Menge) und sogenannten Zugehörigkeitsfunktionen. Die Zugehörigkeitsfunktion nimmt Werte zwischen 0 und 1 an und beschreibt zu welchem Anteil ein Objekt zu einer Menge gehört. Nimmt man beispielsweise an dass ein Mensch ab 2,00m definitiv (Zuordnungswert =1) zur Menge der „großen Menschen“ gehört und mit 1,60m definitiv nicht mehr (Zuordnungswert =0), so erhält man bei linearer Zuordnungsfunktion, dass ein 1,90m großer Mensch zum Anteil 0,75 zur Menge der „großen Menschen“ gehört. Umgangssprachlich ausgedrückt ist man mit 1,90m „ziemlich groß“ (0,75) und nur „ein bisschen klein“ (0,25). Über die Zuordnungsfunktion können auch logische Operatoren und Inferenz auf die Fuzzy-Mengen übertragen werden.

Constraintbasierter Ansatz

Die Idee des *constraintbasierten Ansatzes* ist es, den Lösungsraum durch Hinzufügen von Constraints (Beschränkungen, Zwänge oder Restriktionen) immer weiter einzuschränken. Constraints werden zwischen Objekten definiert und dienen der Repräsentation und Auswertung von Abhängigkeiten zwischen diesen Objekten. Durch Verbindung mehrerer Constraints über ihre Variablen entsteht ein Constraint-Netz. Das Ziel constraintbasierter Systeme ist das Finden einer geeigneten Lösung unter Beachtung aller Constraints [Klim-03]. Der constraintbasierte Ansatz wird vor allem für Planungs- und Simulationssysteme eingesetzt.

Fallbasierter Ansatz

Beim fallbasierten Ansatz wird Erfahrungswissen im Rechner abgebildet. Im Gegensatz zum regelbasierten Ansatz besteht die Wissensbasis nicht aus generischen Regeln, sondern aus einer Sammlung von *konkreten Beispielen* und *Situationen*. Die Lösung neuer Probleme erfolgt dadurch, dass ein ähnlicher oder relevanter Fall gefunden wird und dessen Lösung in geeigneter Form auf das aktuelle Problem übertragen wird. Im Wesentlichen beruht der Ansatz auf der Annahme, dass ähnliche Problemstellungen auch ähnliche Lösungen haben.

Das fallbasierte Schließen¹⁰ ist ein iterativer Prozess, der nach AMODT und PLAZA [AaPl-94] folgende vier Schritte umfasst:

- Selektierung (Retrieve) des ähnlichsten Falls,
- Wiederverwendung (Reuse) der gespeicherten Problemlösung innerhalb des aktuellen Falls,
- Überprüfung (Revise) der vorgeschlagenen Lösung und
- Aufnahme (Retain) des neuen Falls in die Fallbasis.

Beim fallbasierten Ansatz können Problemlösungen schnell repräsentiert werden und es kann auf Schwierigkeiten bei bestimmten Problemstellungen hingewiesen werden.

Semantisches Netz

Semantische Netze¹¹ wurden von QUILLIAN [Quil-68] vorgeschlagen und zur Modellierung von Wörtern in einem Lexikon verwendet. Semantische Netze sind Graphen (siehe Anhang A3)¹², deren Knoten die Begriffe (Konzepte¹³) und die Kanten die Beziehungen (Relationen) zwischen den Begriffen darstellen. Auf diese Weise kann das „semantische Gedächtnis“ in Form eines Netzes modelliert werden [Klim-03].

Die Knoten repräsentieren hierbei Begriffe des betrachteten Universums und können durch Attribute genauer beschrieben werden. Die durch Kanten repräsentierten Beziehungen zwischen Begriffen können gerichtet (asymmetrische Relation) oder ungerichtet (symmetrische Relation) sein. Gerichtete Kanten werden durch Linien mit Pfeilspitzen und ungerichtete ohne Pfeilspitzen dargestellt.

Die derzeit existierenden semantischen Netze besitzen entweder eine wissens- oder einen sprachbasierten Ansatz [Klim-03]. Während klassifizierende und deduktive semantische Netze

¹⁰ engl.: case-based reasoning

¹¹ auch konzeptionelle Graphen genannt

¹² Ein (ungerichteter) Graph ist gegeben durch $G=(V,E,\Phi)$ mit einer nichtleeren Knotenmenge V , einer Kantenmenge E und einer Abbildung $\Phi : E \rightarrow V \times V$

¹³ Nachfolgend werden die Terme „Begriff“ und „Konzept“ äquivalent verwendet.

ze einen wissensbasierten Ansatz verfolgen, liegt das Ziel bei referenziellen semantischen Netzen [Habe-86] darin, deklaratives Wissen¹⁴ aus natürlicher Sprache zu gewinnen. Diese Repräsentation dient der Nachzeichnung von Texten auf prädikatenlogischer Basis. Auf diese Weise können Texte vom Rechner verarbeitet werden, allerdings besitzt die graphische Darstellung wenig Aussagekraft.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der semantischen Repräsentation von Datenobjekten, weshalb die Analyse von natürlichsprachlichen Texten von untergeordneter Bedeutung ist. Aus diesem Grund werden im Folgenden nur wissensbasierte Ansätze für semantische Netze betrachtet.

Klassifizierende semantische Netze [Quil-68] erlauben die Modellierung von Begriffshierarchien (siehe Abschnitt 2.3.4) und die Beschreibung der Begriffe (d. h. Klassen oder Objekte) durch Attribute. Deduktive semantische Netze erlauben neben einer Klassifizierung (Taxonomie¹⁵) auch nicht-hierarchische Relationen zwischen Begriffen (siehe Abschnitt 2.3.4). Beide basieren auf der Äquivalenz zwischen semantischen Netzen und der Prädikatenlogik 1. Stufe und erlauben somit computerbasiertes automatisches Schließen (Inferenz) auf Basis der Prädikatenlogik unter Verwendung des modellierten Wissens.

Repräsentation von semantischen Netzen

Die Benennung der Kanten innerhalb eines semantischen Netzes ist prinzipiell beliebig. Zur Repräsentation von semantischen Netzen in der Prädikatenlogik sind deshalb einige Relationstypen (und damit deren Semantik) vorzudefinieren.

Innerhalb von semantischen Netzen können prinzipiell vier verschiedene Kantentypen unterschieden werden:

- Taxonomische Relation zwischen Konzepten (meist „is_a“): Dient zur Beschreibung der Konzept-Taxonomie. Sind die Konzepte K1 und K2 über eine taxonomische Relation verbunden, so entspricht dies $K1 \subseteq K2$.
- Nicht-taxonomische Relationen zwischen Konzepten: Beschreibt nichthierarchische Relationen zwischen Konzepten
- Zuordnung von Attributen zu Konzepten (z. B.: „has-a“, „could have-a“): Ermöglicht die Definition von Attributen eines Konzepts

¹⁴ Inhalte werden als deklaratives Wissen bezeichnet, wenn sie sich auf Fakten beziehen. Deklaratives Wissen kann in semantisches Wissen und episodisches Wissen unterteilt werden. Semantisches Wissen ist abstraktes Weltwissen, während episodisches Wissen an die Erinnerung an eine bestimmte Situation gebunden. Ein Beispiel für semantisches Wissen wäre: „Wellington ist die Hauptstadt von Neuseeland“, während „Im Jahre 2001 war ich in Wellington im Urlaub.“ ein Beispiel für episodisches Wissen wäre.

¹⁵ Die Taxonomie ist die Einteilung von Dingen, insbesondere Organismen, in Taxa (Sing.: Taxon) (Gruppen). In der Linguistik beschäftigt sich die Taxonomie mit der Segmentierung und Klassifikation sprachlicher Einheiten (Quelle: <http://taxonomie.adlexikon.de/Taxonomie.shtml>).

- Zuordnung von Objekten zu einem Konzept (meist: „instance-of“): Spezifiziert, dass ein Objekt x zu einem Konzept K gehört, d. h. $x \in K$.

Während die Benennung der taxonomischen Relation vordefiniert werden muss (meist „is_a“), können die Relationsnamen R der anderen Relationstypen beliebig sein, wenn nicht zwischen Attribut-, Instanz- und Konzeptknoten unterschieden wird. Ansonsten sind die Relationsnamen zur Attributbeschreibung und Objekt-Konzept-Zuordnung ebenfalls vorzugeben bzw. es muss gekennzeichnet werden, um welchen Relationstyp es sich bei einer Kante handelt. In speziellen Anwendungsgebieten können auch weitere vordefinierte Kanten (und sogar vordefinierte Knoten) auftreten. Die Relationen können hierbei folgende Eigenschaften haben:

<u>reflexiv</u>	\Leftrightarrow	$\forall a \in K : (a, a) \in R$
<u>antisymmetrisch</u>	\Leftrightarrow	$\forall a, b \in K : (a, b) \in R \ \& \ (b, a) \in R \Rightarrow a = b$
<u>transitiv</u>	\Leftrightarrow	$\forall a, b, c \in K : (a, b) \in R \ \& \ (b, c) \in R \Rightarrow (a, c) \in R$
<u>symmetrisch</u>	\Leftrightarrow	$\forall a, b \in K : (a, b) \in R \Leftrightarrow (b, a) \in R$
<u>irreflexiv</u>	\Leftrightarrow	$\forall a \in K : (a, a) \notin R$
<u>total</u>	\Leftrightarrow	$\forall a, b \in K : a \neq b \Rightarrow (a, b) \in R \vee (b, a) \in R$

2.3.4 Begriffssysteme

Für den Austausch von Wissen innerhalb eines Unternehmens oder in der Wissenschaft ist eine einheitliche *Begriffswelt* bzw. ein einheitliches *Begriffssystem* erforderlich. VOSS [Voss-03] definiert Begriffssysteme (oder Konzeptsysteme) als „Systeme von unterscheidbaren Kontexten, die mittels Relationen in Beziehung zueinander gesetzt werden und in einer natürlichen und/oder formalen Sprache formuliert werden können“.

Alle Beteiligten müssen mit einem verwendeten Begriff dieselbe Semantik (Bedeutung) verbinden, ansonsten kann es zu Missverständnissen kommen. Jede Wissenschaft und jeder Fachbereich besitzt einen eigenen Konsens über Bedeutung von Teilen ihres speziellen Fachvokabulars.

Allerdings kann bereits der Sprachgebrauch innerhalb von Unternehmen derselben Branche unterschiedlich sein, da sich hier eigene (historisch bedingte) Begriffssysteme gebildet haben. Beispielsweise wird bei der Porsche AG das Produktdatenmanagement-System als „DMU“ bezeichnet, was ansonsten die Abkürzung für Digital Mock-Up ist. Gerade innerhalb von Kooperationen zwischen Unternehmen unterschiedlicher Landeskultur ist es erforderlich, ein einheitliches Begriffssystem festzulegen, um Effektivität und Erfolgsaussichten der Kooperation zu steigern. Die bekanntesten und derzeit verbreitetsten Vertreter sind Klassifikationssysteme (bzw. Taxonomie), Thesaurus und Ontologien. Ontologien können beliebige Relationstypen besitzen und stellen somit eine Verallgemeinerung von Klassifikationssystemen und Thesaurus dar. Letztere werden daher an dieser Stelle nicht beschrieben.

Begriffsdefinition: Ontologie

Der Begriff der *Ontologie* stammt aus der Philosophie und meint „die Lehre vom Sein, von den Ordnungs-, Begriffs-, und Wesensbestimmungen des Seienden“ [Dude-97]. In den folgenden Abschnitten wird zunächst der Ontologiebegriff aus dem Blickwinkel der künstlichen Intelligenz erläutert und anschließend werden die wichtigsten Ontologietypen vorgestellt.

Eine Ontologie ist ein Modell einer Wissensdomäne, das gemeinsam verwendete Konzepte, deren Bedeutungen untereinander und Regeln über diese Beziehungen festlegt [Dorn-97]. In der Literatur finden sich mehrere Definitionen für Ontologie, wobei sich in der Wissenschaft [Schm-02] die folgende Definition nach GRUBER etabliert hat [Grub-93]:

Definition: „An ontology is a formal, explicit specification of a shared conceptualisation“

Eine Ontologie soll ein gemeinsames Begriffs-Verständnis einer Domäne (Weltausschnitt) spezifizieren, welches maschinell verarbeitbar ist und von mehreren Personen oder Anwendungssystemen geteilt wird¹⁶.

In [StMa-02] findet sich eine etwas formaler Definition, welche die Elemente einer Ontologie festlegt:

Definition: „Eine Ontologie ist ein 4er Tupel $\Omega := (K, is_a, R, \psi)$, wobei K eine Menge von Konzepten, „ is_a “ die Generalisierungsrelation auf K , R eine Menge von Relationsnamen und $\psi : R \rightarrow \wp(K \times K)$ eine Funktion ist.“

Eine Ontologie erlaubt im Gegensatz zur Klassifikation und Thesaurus die Definition beliebiger Relationstypen. Insofern können Klassifikation und Thesaurus als Spezialfälle einer Ontologie gesehen werden.

Wissensmanagement erfordert Kommunikation, um Wissen und Information zwischen mehreren Parteien auszutauschen. Selbst wenn die Beteiligten über dasselbe Vokabular verfügen, ist noch nicht sichergestellt, dass sie dasselbe „Begriffsverständnis“ haben. Die Schwierigkeit der Kommunikation lässt sich anhand des semiotischen Dreiecks¹⁷ darstellen. Es illustriert, dass die Abbildung von Symbol bzw. Wort (Daten) auf Objekte der realen Welt meist nicht direkt, sondern über Begriffsbildung stattfindet. Beispielsweise referenziert das Wort „Bank“ innerhalb der Domäne „Finanzen“ das Geldinstitut und in der Domäne „Möbel“ die Sitzgelegenheit. Erst durch die genaue Konzeptionisierung innerhalb der Domäne wird die Bedeutung (Geldinstitut oder Sitzgelegenheit) festgelegt.

¹⁶ "Ontologies provide a shared and common understanding of a domain that can be communicated between people and application systems." [Fens-00]

¹⁷ wird auch als „Bedeutungsdreieck“ bezeichnet

Repräsentation von Ontologien

Eine wesentliche Bedingung an Begriffssysteme allgemein sowie Ontologien im Speziellen ist, dass sie im Rechner repräsentierbar sein müssen. Ontologien können als semantische Netze interpretiert werden. In manchen Stellen der Literatur werden semantische Netze und Ontologien gleichgesetzt, was in dieser Allgemeinheit nicht ganz korrekt ist, denn UML-Diagramme sind auch Beispiele für semantische Netze. Durch die Interpretation von Ontologien als semantisches Netz lässt sich eine für den Menschen anschauliche visuelle Interpretation (z. B. als hyperbolischer Graph) erreichen und das automatische Schließen mit Hilfe der Graphentheorie ermöglichen (siehe Abschnitt 2.3.3).

Zur formalen Beschreibung von Ontologien werden die Beschreibungssprachen RDF (Resource Description Framework) sowie die darauf aufbauende OWL¹⁸ (Web Ontology Language) eingesetzt. Die OWL besitzt Sprachkonstrukte, die es erlauben, Ausdrücke ähnlich der Prädikatenlogik zu definieren und ist somit ausdrucksmächtiger als RDF.

Vorgehensmodelle zur Erstellung von Ontologien

In der Literatur werden unterschiedliche Ansätze zum Entwurf von Ontologien diskutiert. Einen Überblick über eine Auswahl existierender Verfahren liefern z. B. [JoCV-98], [Lope-99], [CoLP-03]. An dieser Stelle werden die bekanntesten Verfahren kurz erläutert.

Entwicklungsprozess nach USCHOLD

Das von USCHOLD in [Usch-96] dargestellte Vorgehen zur Entwicklung von Ontologien ist eine Kombination von zwei bestehenden Methoden zu einem evolutionären Prozess. Der Prozess beginnt mit der Analyse des Anwendungsbereichs und des Einsatzzwecks der zu entwickelten Ontologie. Darauf aufbauend wird zunächst eine informelle Ontologie extrahiert, die anschließend in eine formale Ontologie transformiert wird. Diese Transformation erfolgt anhand diverser definierter Vorgehensweisen. Der Entwicklungsprozess wird durch einen Zyklus aus Evaluation und Verfeinerung abgeschlossen. USCHOLD sieht das beschriebene Vorgehensmodell nicht als Framework oder detaillierte Anleitung, sondern als grobe Hilfestellung.

Wissens-Metaprozess

Der Wissens-Metaprozess [Staa-02] bzw. dessen Weiterentwicklung Onto-Knowledge unterstützt die Definition von Ontologien für den konkreten Einsatz innerhalb einer Applikation. Der Ansatz ähnelt dem Entwicklungsprozess nach USCHOLD und besteht aus den Phasen Durchführbarkeitsstudie, Kickoff, Verfeinerung, Evaluation und Wartung. Die innerhalb der Durchführbarkeitsstudie verwendete Vorgehensweise basiert auf der CommonKADS Metho-

¹⁸ Web Ontology Language (kurz OWL) ist eine Spezifikation des W3C, um Ontologien anhand einer formalen Beschreibungssprache erstellen, publizieren und verteilen zu können. (siehe: <http://www.w3.org/TR/owl-features/>)

dologie¹⁹ [SAAH-02] und dient als Entscheidungsgrundlage dafür, ob das Vorhaben machbar ist. Die Kickoff-Phase dient der Festlegung des geplanten Einsatzes der Ontologie und grundlegender Konzepte sowie der Taxonomie der Ontologie. Angestrebter Output der sich anschließenden Verfeinerungsphase ist eine applikationsbezogene Ziel-Ontologie, die konform mit der Spezifikation aus der Kickoff-Phase ist. Innerhalb der Verfeinerungsphase lassen sich mehrere Teilschritte identifizieren, wie z. B. die Entwicklung einer Basis-Konzept-Hierarchie, Konzeptualisierung und Formalisierung sowie Erweiterung um Beziehungen und Regeln. Im Verlauf der Bewertungsphase wird die tatsächliche Anwendbarkeit validiert und werden ggf. Änderungen vorgenommen. Die Instandhaltungsphase dient der Pflege der Ontologie, also der Einarbeitung von sich im Laufe der Zeit ergebenden Änderungen. Die Durchführung dieses Prozesses kann theoretisch manuell oder rechnerunterstützt erfolgen, wobei er derzeit nur semi-automatisch unterstützt werden kann.

Methontology

Das Vorgehensmodell Methontology [WVSN-01] orientiert sich an den aus dem Software-Engineering bekannten Entwurfsphasen Spezifikation, Entwurf und Implementierung. Die Aktivitäten innerhalb der Spezifikations-Phase entsprechen der Kickoff-Phase im Wissens-Metaprozess. In der Entwurfs-Phase wird ein Glossar spezifiziert und Konzept-Klassifikationsbäume (KKB) werden extrahiert. Anschließend werden Relations-Diagramme zwischen KKB erstellt. Im letzten Schritt dieser Phase wird der konzeptionelle Entwurf einer Ontologie für jeden KKB durchgeführt. Die Implementierungsphase beinhaltet einen automatisierten Formulierungsprozess.

NOY und MCGUINNESS vertreten in [NoGu-06] die Ansicht, dass es kein „korrektes“ Vorgehen zur Entwicklung von Ontologien gibt. Stattdessen geben sie allgemeine Empfehlungen, z. B. dass mit der Erstellung einer Taxonomie begonnen werden sollte und diese anschließend konkretisiert wird. Generell lässt sich zusammenfassen, dass die Ontologieentwicklung wie die Softwareentwicklung und Produktentwicklung ein komplexer (und kreativer) Prozess ist und die methodische Unterstützung noch nicht ausgereift und Gegenstand der Forschung ist [WVSN-01].

2.4 Kulturverständnis

Die Arbeit fokussiert kurz- und mittelfristige interkulturelle Kooperationen. Der Begriff Kultur wird allerdings in verschiedenen Kontexten verwendet, sodass zunächst eine Begriffsklärung erfolgt. Anschließend wird das kulturelle System (z. B. Land, Unternehmen, Familie) festgelegt, das im Rahmen dieser Arbeit betrachtet wird. Abschließend werden Ansätze zum Vergleich verschiedener Kulturen vorgestellt.

¹⁹ CoomonKADS (KADS: Knowledge Acquisition Documentation and Structuring) Methodologie beinhaltet einen Ansatz zur Durchführung von Machbarkeitsstudien im Umfeld von Wissensmanagement-Lösungen.

2.4.1 Begriffsklärung: Kultur

Das Wort *Kultur*²⁰ wird in verschiedenen Kontexten verwendet. Die Bedeutungsvielfalt verdeutlicht die Begriffsklärung in der Enzyklopädie „Brockhaus“:

„Kultur ist

- die Gesamtheit aller Ausdrucksformen von Leben in der menschlichen Gesellschaft in Form von Sprache, Religion, Wissenschaft, Kunst etc.,
- die Bewirtschaftung von Boden, das Kultivieren und Aufziehen von nahrhaften Pflanzen,
- in der Forstwirtschaft: die künstliche Schöpfung von Wald,
- in der Medizin: Bakterien oder Zellen auf einem geeigneten Medium; auch die Zuchtmethode.“ [Broc-02]

Für diese Arbeit sind nur die Aspekte relevant, die das menschliche Wirken betreffen. Bezogen auf diesen Kontext existieren mehrere Definitionen, wobei die wohl umfassendste Kultur als alles vom Menschen geschaffene [Olev-07] versteht, was beispielsweise auch das Didgeridoo²¹ der Aborigines²² oder den Faustkeil des Steinzeitmenschen einschließt.

Innerhalb dieser Arbeit wird der Kulturbegriff bezogen auf Verhaltensweisen und Vorstellungen betrachtet:

Definition (Kultur): *Kultur umfasst „alle den Mitgliedern einer Gruppe gemeinsamen Vorstellungen und Verhaltensweisen, die über soziale Beziehungen weitergegeben werden, also nicht genetisch bestimmt sind“* [Olev-07].

Im Rahmen dieses Kulturverständnisses gibt es mehrere Ansätze, welche Kultur von unterschiedlichen Blickwinkeln beleuchten [Sand-05]:

- Kulturvergleichender Ansatz
- Interkultureller Ansatz
- Zeitlicher Charakter von Kultur
- Kommunikativer und kontextueller Charakter von Kultur

Kulturvergleichender Ansatz

Aus der Sichtweise des kulturvergleichenden Ansatzes (kulturvergleichende Psychologie) ist Kultur eine externe Variable [Sand-05], die das Verhalten eines Menschen beeinflusst. Nach

²⁰ Kultur: lat. *cultare* = Pflege (des Körpers und Geistes), Landbau, abgeleitet von *colere* = bebauen, (be)wohnen, pflegen

²¹ Didgeridoo: ausgehöhltes Holzrohr, das von den Ureinwohnern Australiens als Blasinstrument verwendet wird

²² Aborigines: lat.: *ab origo* = von Beginn an; Bezeichnung für die Ureinwohner Australiens.

HOFSTEDE [Hofs-01] ist Kultur „eine mentale Software“, also eine „kollektive Programmierung des Geistes“ [Sand-05], die allen Mitgliedern einer Gruppe gemein ist. Somit erlaubt Kultur das Verhalten von Menschen zu erklären und zu prognostizieren. Hierfür ist es erforderlich, Kultur mit messbaren Variablen zu beschreiben, die als Ursache für Unterschiede zwischen Gruppen angesehen werden [Jaho-96]. Ein möglicher Ansatz sind die von HOFSTEDE [Hofs-01] vorgestellten Kulturdimensionen (siehe 2.4.3).

Interkulturelle Ansatz

Der interkulturelle Ansatz (*interkulturelle Psychologie*) basiert auf der *Kulturpsychologie*, die Kultur nicht als externe Variable versteht, sondern von der Prämisse ausgeht, dass sich „*Kultur und Geist des Menschen gegenseitig durchdringen*“ [Sand-05]. Nach [Thom-96] ist die Kultur ein für eine Gruppe typisches Orientierungssystem, das die Wahrnehmung, das Denken und das Handeln beeinflusst [Thom-96].

Der Begriff *interkulturell* bezeichnet in diesem Kontext eine Auseinandersetzung zwischen den aufeinandertreffenden Kulturen. Die aus dem Lateinischen stammende Silbe „inter“ bedeutet „zwischen“. Damit bedeutet interkulturell zwischen den Kulturen und ist somit weitergehend als der Begriff „multikulturell“. Denn multikulturell besagt nur, dass es viele verschiedene Kulturen gibt, während interkulturell die Kulturen miteinander in Verbindung setzt [Sand-05]

Interkulturelle Probleme und Schwierigkeiten, z. B. innerhalb von interkulturellen Kooperationen, lassen sich somit mit dem Zusammentreffen von Individuen mit unterschiedlichen Orientierungssystemen erklären. Die interkulturelle Psychologie beschäftigt sich damit, kulturelle Differenzen zu erfassen, erklärbar und kommunizierbar zu machen [Sand-05].

Zeitlicher Charakter von Kultur

SCHEIN [Sche-97] sieht Kultur als ein Muster grundsätzlicher Annahmen, die Ergebnis eines Lernprozesses sind. Innerhalb des Lernprozesses werden entweder neue Erfahrungen auf vorhandene Muster (Assimilation oder externe Anpassung) oder die Muster basierend auf den Erfahrungen angepasst (Akkomodation oder interne Integration). Hat sich ein Muster grundsätzlicher Annahmen als erfolgreich erwiesen, so wird dies neuen Mitgliedern der Gruppierung als korrekte Art des Wahrnehmens, Denkens und Betrachtens vermittelt [Sand-05]. Auf diese Weise erfolgt nach [Sche-97] die Vermittlung kultureller Werte von einer Generation zur nächsten.

Kommunikativer und kontextueller Charakter

HALL beschreibt in [Hall-87] die Analogie von Kommunikation und Kultur. In dieser Betrachtungsweise dient Kultur als System zum Erzeugen, Senden, Aufbewahren und Verarbeiten von Informationen. Dieser Aspekt spielt vor allem in der interkulturellen Kommunikation zwischen Kooperationspartnern eine Rolle. Durch abweichende Interpretation einer Situation oder unterschiedliches verbales und nicht-verbales Verhalten der Kommunikationspartner können Probleme auftreten. Ursache für die uneinheitliche Interpretation kann die unter-

schiedliche Bedeutung von Informationen (z. B. Begriffe und Symbole) innerhalb der verschiedenen Kulturen sein.

Kulturverständnis innerhalb dieser Arbeit

Basierend auf den vorgestellten Ansätzen zur Betrachtung von Kultur, werden unter Anlehnung an SANDER (siehe [Sand-05]) die für die Arbeit relevanten Merkmale von Kultur definiert:

- *Zuordnungsmerkmal:* Kultur definiert die Zugehörigkeit von Personen zu einer Gruppe und unterscheidet sie gleichzeitig.
- *Verhaltensmerkmal:* Kultur ist ein Orientierungssystem, das zwar nicht das Verhalten eines Menschen vorgibt, aber Wahrnehmung, Denken und Handeln beeinflusst.
- *Zeitmerkmal:* Kultur verändert sich im Laufe der Zeit, wobei sich die „visuellen“ Elemente wie Verhalten, Sprache etc. schneller verändern als tiefer verankerte Elemente wie Werte, Normen oder grundlegende Annahmen.
- *Kommunikationsmerkmal:* Kultur legt die Bedeutung (also die Semantik) von Informationen (z. B. Begriffe und Symbole) für eine Gruppe von Menschen fest.

Eine essentielle Prämisse ist, dass Kultur als Orientierungssystem angesehen werden kann und somit zu einem gewissen Maße das Verhalten von Personen bestimmt. In interkulturellen Situationen treten die kulturellen Modelle in Wechselwirkung und sind somit dynamisch. Allerdings werden grundsätzliche Annahmen einer Kultur als *statisch* betrachtet.

2.4.2 Festlegung des kulturellen Systems

Die vorgestellte Definition von Kultur gilt für beliebige gesellschaftliche Gruppen (*kulturelle Systeme*). Innerhalb eines kulturellen Systems (z. B. Land) können beliebige Subkulturen auftreten, die ihre übergeordnete Einheit beliebig beeinflussen können. Bei der Untersuchung einer länderübergreifenden Kooperation arbeiten Mitarbeiter verschiedener Länder in virtuellen Teams zusammen. Es stoßen in diesem Fall verschiedene Landeskulturen aufeinander, die als Subkultur die Unternehmenskultur, Teamkultur und funktionale Kultur besitzen.

Die Grenzen eines Landes sind teilweise beliebig gezogen (z. B. gerade in Afrika oder Südamerika) und berücksichtigen nicht unbedingt ethnische Gruppierungen. Ein Land kann mehrere ethnische Subkulturen beinhalten, die aber auch über die Landesgrenzen hinausgehen können. Beispielsweise erstreckt sich das Gebiet der Kurden über die Länder Türkei und Irak, wobei im Irak neben den Kurden auch Schiiten und Sunniten leben. Die Zugehörigkeit einer Person zu einer ethnischen Gruppe ist schwerer festzustellen als deren Nationalität. Deshalb werden zur praktikablen Durchführung der Untersuchungen in dieser Arbeit die Grenzen eines Landes als Systemgrenzen für eine Landeskultur angenommen. In der Literatur gibt es verbreitet Rückendeckung für die Prämisse (siehe [Dahl-04], [Sand-05]), dass Personen, die

aus dem gleichen Land stammen, im wesentlichen durch gleiche Werte und Normen wie ihre Landsleute geprägt sind.

Nach HOFSTEDÉ [Hof-01] kann eine Unternehmenskultur im Vergleich zur Landeskultur vernachlässigt werden. Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Arbeit unter *interkulturellen* Kooperationen die Zusammenarbeit von Unternehmen aus unterschiedlichen Ländern verstanden, wobei Kultur entsprechend den in Abschnitt 2.4.1 spezifizierten Merkmalen verstanden wird.

2.4.3 Vergleich von Kulturen

Aus dem Bereich der kulturvergleichenden Psychologie sind mehrere Ansätze bekannt, um eine Kultur mit messbaren Attributen zu beschreiben, die als ursächlich für offensichtliche Unterschiede zwischen Gruppen betrachtet werden [Sand-05]. HOFSTEDÉ [Hofs-01], TROMPENHAAS [TrWo-03] und HALL [Hall-87] führen verschiedene Dimensionen (z. B. Individualismus) ein, um eine Kultur zu beschreiben. Kulturelle Dimensionen beschreiben Attribute einer Kultur anhand einer bestimmten Anzahl von Kriterien, die auf alle Kulturen angewendet werden. Eine Dimension beinhaltet zwei entgegengesetzte Extreme (E_1 , E_2) bzgl. der Ausprägung der Attribute einer Kultur. Einer Kultur werden dann diskrete Werte für jede Dimension auf einer entsprechenden Skala zugeordnet. Die Enden der Skalen bezeichnen die Extreme der Dimension. Merkmale einer Kultur werden somit durch die Menge der Dimensionswerte D_K und ihre Größe (d. h. die Nähe zu einem Ende einer Skala) beschrieben [San-04]. Im Rahmen dieser Arbeit findet nur der Ansatz von HOFSTEDÉ Anwendung, weshalb auf eine Beschreibung der anderen Ansätze an dieser Stelle verzichtet und der interessierte Leser auf die Literatur verwiesen wird (z. B. [Sand-05], [Hofs-01], [TrWo-03], [Hall-87], [Schw-05]).

HOFSTEDÉ führte in den Jahren 1968 und 1972 im Auftrag der Firma IBM eine Studie über nationale Unterschiede in der Arbeitswelt in über 40 Ländern durch. Die Ergebnisse der Analyse bildeten die Grundlage einer Faktorenanalyse, die als Resultat Kulturdimensionen und deren numerische Werte für die verschiedenen Landeskulturen lieferte. Hierbei wurden folgende Dimensionen identifiziert [Hof-01], [Pete-02], [Sand-05]:

- Machtdistanz (PDI, engl.: Power Distance Index): Das Ausmaß, bis zu dem in einer Gesellschaft Mitglieder einer Organisation oder Institution eine ungleiche Machtverteilung akzeptieren und erwarten.
- Individualismus vs. Kollektivismus (IDV, engl.: Individualism): Das Ausmaß, wie stark in einer Gesellschaft Individuen in eine Gruppe integriert sind.
- Maskulinität vs. Feminität (MAS, engl.: Masculinity): Das Ausmaß der Rollenverteilung der Geschlechter in einer Gesellschaft.
- Unsicherheitsvermeidung (UAI, engl.: Uncertainty Avoidance Index): Das Ausmaß, wie weit eine Gesellschaft Unsicherheiten und Ungewissheit toleriert.

- Kurzfristige vs. langfristige Orientierung (LTO, engl.: Long time Orientation): Das Ausmaß, in dem eine Gesellschaft eine pragmatisch-zukunftsorientierte Grundhaltung gegenüber einer dogmatisch-gegenwartsbezogenen Perspektive aufweist.

Bild 2-3 visualisiert die Werte der Kulturdimensionen und verdeutlicht hierdurch die kulturellen Unterschiede zwischen Deutschland und China. Während in der chinesischen Kultur sehr viel Wert auf Harmonie und das Kollektiv gelegt wird, steht in Deutschland vor allem das Individuum im Vordergrund, was sich in den Werten der Dimension des IDV niederschlägt. Die Werte für die Dimension „Langfristige Orientierung“ (LTO) zeigen, dass für die chinesische Kultur langfristige Perspektiven wichtig sind, während in Deutschland eher der kurzfristige Nutzen im Vordergrund steht. Eine detaillierte Beschreibung der Dimensionen sowie deren Auswirkung auf die Arbeitswelt finden sich in [Pete-02] und [Sand-05].

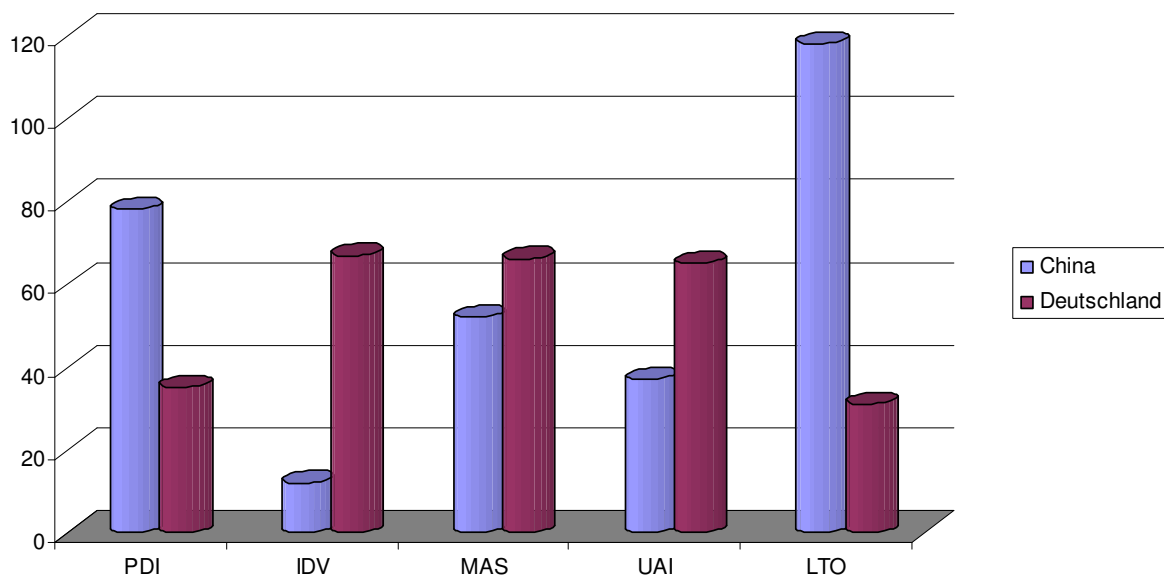


Bild 2-3: Werte der Hofstede Kulturdimensionen für China, Deutschland und USA [Hof-01]

2.5 Unternehmensübergreifende Kooperationen

Die Entwicklung bzw. Forschung im Bereich neuer Verfahren, Produkte oder Materialien geschieht heutzutage unter enormem Zeit- und Kostendruck [Sand-05]. Durch den steigenden Konkurrenzdruck infolge der Globalisierung und sich immer schneller verändernden Marktbedingungen sind Unternehmen verstärkt gezwungen, sich auf ihre Kernkompetenzen zu konzentrieren und Entwicklungs- und Forschungsaktivitäten innerhalb von Kooperationen mit anderen Firmen durchzuführen. Diese Partnerschaften werden als *kooperative Entwicklungspartnerschaften* bezeichnet [Sand-05]. Gründe für unternehmensübergreifende Kooperationen sind nach [HoHG-00]:

- Ressourcenintegration
- Fixkostenminimierung

- Flexibilität/Kundenorientierung
- Innovation/Markterschließung

In diesem Abschnitt werden zunächst die Formen unternehmensübergreifender Kooperationen vorgestellt. Anschließend wird die hiermit verbundene Komplexität diskutiert.

2.5.1 Formen unternehmensübergreifender Kooperationen

Unternehmensübergreifende Kooperationen können kurz-, mittel- oder langfristig angelegt sein und eine lose bzw. enge Zusammenarbeit vorsehen. Dementsprechend entstanden mehrere Kooperationsformen, die in Tabelle 1 zusammengefasst werden. In der Literatur [BrZh-99] wird manchmal die *virtuelle Organisation* als Oberbegriff von *virtuellem Unternehmen* und *erweitertem Unternehmen* verwendet. Nach BROWNE und ZHANG [BrZh-99] fokussiert das erweiterte Unternehmen langfristige Unternehmensbeziehungen entlang der Wertschöpfungskette, während das virtuelle Unternehmen eine dynamischer Umgebung nahe legt, in der individuelle Unternehmen für eine relativ kurze Zeit zusammenarbeiten. Im Hinblick auf die innerhalb der Arbeit betrachteten kurz- und mittelfristigen Kooperationen, sind das *Konsortium* und das virtuelle Unternehmen die Kooperationsformen mit der größten Relevanz.

Kooperationsform	Ziele und Merkmale
Strategische Allianz	<ul style="list-style-type: none"> • Bündelung von Kapazitäten (z. B. gemeinsame Produktentwicklung) • Nutzung von Synergieeffekten • Langfristige Zusammenarbeit
Franchising	<ul style="list-style-type: none"> • Kooperation zwischen Hersteller und selbständigem Unternehmen • Vertrieb von Waren unter gemeinsamem Marketingkonzept • Langfristige Zusammenarbeit
Joint Venture	<ul style="list-style-type: none"> • Von zwei oder mehr Unternehmen gegründete und strategisch geführte Unternehmung • Meist gleiche Kapitalbeteiligung • Langfristige, enge Zusammenarbeit
Konsortium	<ul style="list-style-type: none"> • Unternehmensverbindung auf vertraglicher Basis zur Abwicklung von genau abgegrenzten Projekten • Häufig zur Realisierung von Großprojekten • Kurzfristige, teilw. enge Zusammenarbeit
Virtuelles Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> • Temporäre und dynamische Zusammenarbeit rechtlich unabhängiger Unternehmungen und/oder auch Einzelpersonen • Auftritt gegenüber Dritten bzw. Auftraggebern als ein einheitliches

	<p>Unternehmen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausnutzung zeitlich begrenzter Marktpotentiale durch die Kooperation • Verteilung der Teilprozesse auf die Kooperationspartner je nach Kernkompetenz • Keine zentralen Managementfunktionen des virtuellen Unternehmens (im Gegensatz zum Joint-Venture)
<p>Erweitertes Unternehmen (engl.: extended enterprise)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Langfristige, auf Vertrauen basierende Organisation von Unternehmen entlang der gesamten Produktwertschöpfungskette. • Konzept von produzierenden Geschäftsaktivitäten, das alle Beteiligten in der Produktion eines Produkts berücksichtigt. • Durch die intensive Vernetzung vergrößert sich im Vergleich zu herkömmlichen Unterauftragsbeziehungen der Umfang des Informationsflusses. Dies erleichtert die Straffung von Herstellungsentwurf und Produktion.

Tabelle 1: Formen der organisatorischen Zusammenarbeit nach [GoSc-01] und [BrZh-99]

2.5.2 Komplexität unternehmensübergreifender, interkultureller Kooperationen

Der Begriff *Komplexität*²³ wird je nach Wissenschaftsgebiet unterschiedlich definiert. Eine relativ allgemeine Definition von HÄRTEL beschreibt Komplexität als „Die Eigenschaft eines Systems oder Modells, die die Beschreibungen seines Gesamtverhaltens in einer beliebigen Sprache erschwert, selbst wenn man vollständige Informationen über seine Einzelkomponenten und ihre Wechselwirkungen besitzt. Das Gegenteil von Komplexität ist Einfachheit“ [Härt-07]

Im Bereich der Produktentwicklung beschreibt Komplexität nach [Trip-02] und [KaFV-99] neben der Produktkomplexität vor allem die dadurch verbundene Komplexität in Bezug auf Methoden, Abläufe, Arbeitsstrukturen und die beteiligten Systeme. Innerhalb von Kooperationen zur gemeinsamen Entwicklung technischer Produkte (*kooperative Produktentwicklung*) wird die Komplexität als Merkmal für die Überschaubarkeit, Handhabbarkeit, Anzahl der Elemente und deren Vernetzungsgrad in einem System gesehen [Patz-89]. HORNBERG [Horn-04] unterscheidet bei den innerhalb des Entwicklungsprozesses zum Einsatz kommenden Systemen zwischen *informationserzeugenden* und *integrationsorientierten* Systemen. Informationserzeugende Systeme dienen der Erzeugung und Verarbeitung von Informationen innerhalb einer spezifischen Problemstellung (z. B. CAD-Systeme). Der Fokus integrationsorientierter Systeme liegt in der Verwaltung und Integration der im Laufe des Entwicklungsprozesses von informationserzeugenden Systemen bereitgestellten Informationen (z. B. PDM-Systeme).

²³ Komplexität: von . lat.: complere = (an)füllen; PPP (Partizip Perfekt Passiv): complexum

Der Begriff „interkulturell“ bezeichnet die Auseinandersetzung zwischen den aufeinandertreffenden Kulturen (siehe Abschnitt 2.4.1). Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Landeskultur als kulturelles System (siehe Abschnitt 2.4.2) festgelegt. Damit bezeichnet eine *interkulturelle, unternehmensübergreifende Kooperation*, die Zusammenarbeit von mehreren Unternehmen aus unterschiedlichen Ländern.

Die Komplexität bei unternehmensübergreifenden, interkulturellen Kooperationen wird im Wesentlichen durch drei Faktoren beeinflusst [Sand-05], [Horn-04]:

- (Landes-)Kultur der Partner
- Organisationsformen der Partner (Unternehmensaufbauorganisation kann beispielsweise Matrix- oder Prozess-Form besitzen)
- Vielfalt und Art der beteiligten Systeme (z. B. CAD-Systeme, PDM-Systeme etc.)

Zur effektiven Durchführung der Kooperation müssen auf organisatorischer und technischer Ebene Schnittstellen definiert werden. Auf der organisatorischen Ebene sind gemeinsame Prozesse und Abläufe zu spezifizieren und Verantwortlichkeiten festzulegen. Die kulturellen Unterschiede der beteiligten Partner (z. B. kein einheitliches Verständnis von Begriffen und Vorgehen) sind hierbei zu berücksichtigen, was zu einer weiteren Erhöhung der Komplexität führt. Der kulturelle Faktor ist besonders dann wichtig, wenn es sich um länderübergreifende Kooperationen handelt (siehe Abschnitt 2.4.2). Bisher wird der interkulturelle Aspekt allerdings meist nicht berücksichtigt, was zu ernsthaften Problemen führen kann (siehe [Sand-05]).

Auf der darunterliegenden technischen Ebene werden die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Systemen festgelegt, die gemäß den definierten Geschäftsprozessen innerhalb der Kooperation eingesetzt werden sollen. Im Vergleich zu einer kurzfristigen Kooperation verbessert sich bei einer langfristig angelegten Kooperation das Aufwand-Nutzen-Verhältnis, da die Schnittstellen in der Regel länger genutzt werden.

Bei längerfristigen Kooperationen (z. B. Joint Venture) haben die Partner Zeit, die kulturellen Eigenarten der Partner kennen zu lernen und so mit der Zeit interkulturelle Herausforderungen zu überwinden. Trotz mehrjähriger Zusammenarbeit sind kulturbedingte Schwierigkeiten jedoch nie auszuschließen. Ursache hierfür kann beispielsweise sein, dass die kulturellen Unterschiede zu groß sind.

3 Stand der Technik und Bewertung bestehender Ansätze

In diesem Kapitel sollen die für die Problemstellung dieser Arbeit relevanten, bekannten Lösungsansätze vorgestellt werden. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Unterstützung kurz- und mittelfristiger interkultureller Entwicklungspartnerschaften. Die Partner besitzen unterschiedliche kulturelle Hintergründe, die zu einem spezifischen Verständnis (semantisches Modell) der (kooperationsrelevanten) Prozesse und Artefakte²⁴ führen. Jedes Unternehmen setzt bestehende Software-Lösungen zur Unterstützung ihrer (internen) Prozesse ein. Jede Anwendung und an der Kooperation beteiligter Partner hat ein eigenes Verständnis (semantisches Modell). Das übergeordnete Ziel der Arbeit ist der effiziente Aufbau einer Kooperationslösung, die bestehende Anwendungen der Partner unter einer gemeinsamen Semantik verbindet und dadurch unternehmensübergreifende Prozesse unterstützt.

Dementsprechend werden in Abschnitt 3.1 bestehende Ansätze zum unternehmensinternen Informationsmanagement im Bereich Produktlebenszyklus vorgestellt. Im Abschnitt 3.2 werden generische Ansätze zur Unterstützung unternehmensübergreifender Kooperation vorgestellt. Basierend auf diesen Ansätzen wurden spezielle Lösungen für den Bereich kooperative Produktentwicklung (Collaborative Engineering) entwickelt, die im Abschnitt 3.4 beschrieben werden. Für die semantische Integration von existierenden Anwendungen der beteiligten Partnerfirmen sind deren semantische Modelle (Datenmodell, Ontologie) auf ein gemeinsames semantisches Modell abzubilden (engl.: mapping). Existierende Ansätze zur Automatisierung dieses Schrittes werden in Abschnitt 3.5 vorgestellt. Ansätze zur Einbeziehung interkultureller Aspekte in diesem Umfeld werden in Abschnitt 3.6 beschrieben. Abschließend werden Ansätze zum Wissensmanagement im Produktlebenszyklus betrachtet (siehe Abschnitt 3.7). Die jeweiligen Stärken und Schwächen der Ansätze werden herausgearbeitet.

3.1 Unternehmensinternes Informationsmanagement im Produktlebenszyklus

In diesem Abschnitt werden zunächst die softwaretechnischen und methodischen Ansätze zur Unterstützung des Informationsmanagements innerhalb des Produktlebenszyklus mit Fokus auf die Produktentwicklung untersucht. Während innerhalb dieses Abschnitts die unternehmensinterne Produktentwicklung im Vordergrund steht, werden im Abschnitt 3.2 existierende Lösungen für den Fall einer *unternehmensübergreifenden* Kooperation untersucht. Beide Abschnitte beschränken sich auf die für die vorliegende Arbeit relevanten Themen. Ausführliche Beschreibungen finden sich z.B. in [EiSt-01] und [GaLR-00].

3.1.1 Produktdatenmanagement und Produktmodell

Durch den Begriff *Produktentwicklung* wird eine Phase im Lebenszyklus eines Produktes beschrieben. Die Produktentwicklung beschreibt den Weg von der Idee bis zum marktfähigen

²⁴ Artefakte sind vom Menschen geschaffene Gebilde, die unsere Welt in zunehmendem Maß neben den natürlichen Systemen bestimmen.

Produkt und beinhaltet nach [AnTr-00] und [Horn-04] die Produktplanung, die Produktkonstruktion sowie die Produktionsvorbereitung bzw. Produkterprobung. Somit repräsentiert die Produktentwicklung den planerischen, gestalterischen und organisatorischen Anteil der Produktentstehung ([Horn-04], [SpKr-97]). Hierbei wird die Produktgestaltung durch vielfältige Anforderungen aus den einzelnen Produktlebensphasen beeinflusst.

Infolge komplexer werdender Produkte nimmt auch die Menge an Informationen stetig zu, die während des gesamten Produktlebenszyklus (z. B. in den Bereichen Konstruktion, Fertigung und Vertrieb) erzeugt und verwaltet werden muss. Im Bild 3-1 sind exemplarisch die Informationen dargestellt, die im Rahmen der Produktentwicklung und -fertigung erzeugt und weiterverarbeitet werden müssen.

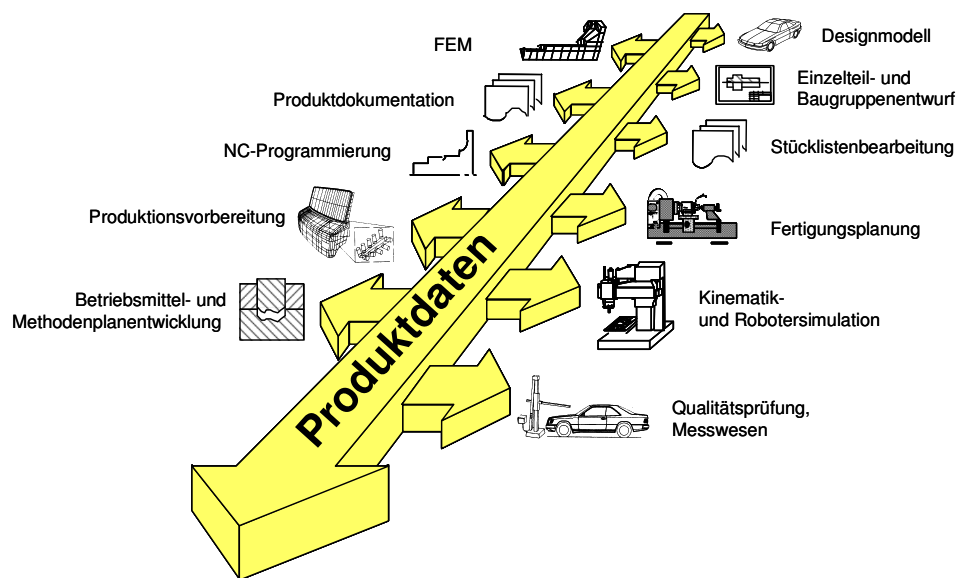


Bild 3-1: Informationen im Rahmen der Produktentwicklung und Fertigung nach [Trip-99]

Allgemein wird die Technologie, die sich mit der Bereitstellung und Verarbeitung von Informationen beschäftigt, als *Informationstechnologie* (IT) bezeichnet [Horn-04]. Im Kontext des Informationsmanagement im Produktlebenszyklus wird oft der Begriff *Produktdatentechnologie* verwendet. Die Produktdatentechnologie stellt informationstechnische Konzepte und Lösungen für die (zentrale) Verwaltung von Produktdaten, das sogenannte *Produktdatenmanagement* (PDM), zur Verfügung [Zimm-93]. Nach [BuHM-96] ist Produktdatenmanagement wie folgt definiert:

Definition (Produktdatenmanagement): *Produktdatenmanagement umfasst die ganzheitliche, strukturierte und konsistente Verwaltung aller Daten, die bei der Entwicklung neuer oder der Modifizierung bestehender Produkte über den gesamten Produktlebenszyklus generiert, verarbeitet und weitergeleitet werden müssen.*

Grundlegendes Ziel des Produktdatenmanagement ist eine durchgängige Verfügbarkeit und Verarbeitungsmöglichkeit von Produktinformationen [Horn-04]. Weiterhin unterstützt das

Produktdatenmanagement die Steuerung der Produktinformationsflüsse sowohl innerhalb der Organisation als auch – über Schnittstellen – mit externen Partnern [Ehrl-04].

Aus der oben genannten Definition können die wesentlichen Schwerpunkte des Produktdatenmanagements abgeleitet werden:

- Strukturierte Speicherung von Informationen
- Bereitstellung von Verarbeitungsfunktionen auf diesen Informationen
- Kommunikationsfunktionalität

Die Gesamtheit der Daten, die während des gesamten Produktlebenszyklus anfallen, wird auch als *Produktmodell* bezeichnet. Das Produktmodell ist im Gegensatz zu einem Informationsmodell oder Produktdatenmodell kein Schema, sondern eine Instantiierung von Modellschemata [Ehrl-04]. Der Entwurf eines Produktmodells zur vollständigen Beschreibung eines Produkts wird im Allgemeinen als *Produktdatenmodellierung* bezeichnet.

3.1.2 Softwaretechnische Unterstützung des Produktdatenmanagement

Die softwaretechnische Realisierung der erforderlichen Funktionalität innerhalb eines Unternehmens erfolgt durch die sogenannten PDM-Systeme. Ein PDM-System ist gemäß VDI-Richtlinie 2219 [VDI-99] wie folgt definiert:

Definition (PDM-System): *Produktdatenmanagement-Systeme sind technische Datenbank- und Kommunikationssysteme, die dazu dienen, Informationen über Produkte und deren Entstehungsprozesse bzw. Lebenszyklen konsistent zu speichern, zu verwalten und transparent für alle Bereiche eines Unternehmens bereitzustellen.*

Primäre Aufgabe eines PDM-Systems ist die Integration aller organisatorischen Produkt- und Dokumentdaten sowie eine durchgängige Unterstützung der technisch orientierten Produktentwicklungsprozesse.

Mit einem PDM-System können prinzipiell alle in elektronischer Form vorliegenden Daten verwaltet werden, unabhängig davon, mit welchen IT-Systemen sie erstellt wurden und in welchem Datenformat sie vorliegen. In ihrem grundlegenden Aufbau unterscheiden sich die diversen PDM-Systeme nur wenig.

In der Literatur (z. B. [BuHM-96], [VDI-99], [EiSt-01], [Horn-04], [ADEK-05]) finden sich ausführliche Beschreibungen der Funktionen von PDM-Systemen, sodass an dieser Stelle hierauf verzichtet wird.

3.2 Generische Ansätze zur Unterstützung unternehmensübergreifender Kooperationen

Im Rahmen einer Kooperation sind sowohl Prozesse als auch bestehende IT-Systeme der Partner zu integrieren. In diesem Kontext wurde die sogenannte Enterprise Application Integration-Software entwickelt, welche die technische Möglichkeit hierfür bereitstellt. Als abstraktes Architekturkonzept hat sich heutzutage das SOA-Paradigma etabliert, das durch EAI-Software realisiert werden kann. In diesem Abschnitt werden zunächst die relevanten Begriffe eingeführt und bestehende Ansätze vorgestellt.

3.2.1 Enterprise Application Integration (EAI)

Die IT-Infrastruktur eines heutigen Unternehmens ist im Allgemeinen sehr inhomogen und komplex. Monolithische Lösungen sind heute ebenso anzutreffen wie Client-Server-Lösungen oder Multi-Tier-Anwendungen. Ebenso gibt es unterschiedlichste Programmiersprachen sowie verschiedene Datenbanktypen (relational, hierarchisch oder objektorientiert). Heute gibt es eine Vielzahl von so genannten „Standardlösungen“, die Supply Chain Management (SCM), Content Management (CM), Customer Relationship Management (CRM), Procurement, e-Commerce oder Enterprise Resource Management (ERP) umfassen. Diese Standardlösungen decken ihre jeweiligen Aufgabenbereiche weitgehend ab [Sail-01]). Die Geschäftsprozesse eines Unternehmens erstrecken sich allerdings oft über mehrere Systeme. Die Fragmentierung heutiger Informationssysteme erschwert die Integrationsbemühungen.

Das grundlegende Ziel der Enterprise Application Integration (EAI) ist deshalb die Verknüpfung von existierenden Anwendungen, um diese als „eine Anwendung“ erscheinen zu lassen [Schm-03].

In der Literatur findet sich keine einheitliche Definition des Begriffs Enterprise Application Integration [WoWe-03]. Zunächst fokussierte EAI unternehmensinterne Anwendungen (siehe z. B. [Kell-02]), während dies mittlerweile von einigen Autoren auf eine unternehmensübergreifende Sichtweise erweitert wurde (siehe z. B. [AdHZ-04]). STRAUBE [Stra-04] reduziert EAI auf die Integration von Informationsflüssen und Diensten, während z. B. ADAM [AdHZ-04] oder MYERSON [Myer-02] die Integration von Prozessen einschließen. Einige Autoren bezeichnen EAI gar als einen „Trend“, hinter dem keine neuen Inhalte stehen (siehe z. B. [ScGa-03]).

Im Rahmen dieser Arbeit wird unter EAI ein Konzept verstanden, das isolierte Anwendungen integriert, sodass ein kontinuierlicher Informationsfluss zwischen (isolierten) Anwendungen und damit die ganzheitliche Unterstützung von Geschäftsprozessen ermöglicht wird.

Im Rahmen dieser Arbeit wird folgende Definition verwendet:

Definition (Enterprise Application Integration): EAI bezeichnet den Prozess zur Integration heterogener Anwendungen, Funktionen und Daten, um die gemeinsame Nutzung von Daten und die Integration von Geschäftsprozessen durch alle Anwendungen hinweg zu ermöglichen

(vgl. [JBLN-01], S. 4, [Kell-02], S. 5 und [Kaib-02]). EAI ist hierbei nicht auf Unternehmensgrenzen beschränkt.

In Bezug auf EAI können drei Integrationsformen auftreten: Application-to-Application (A2A), Business-to-Business (B2B) und Business-to-Consumer Integration (B2C). Bei A2A-Integrationen sind Anwendungen innerhalb eines Unternehmens zu integrieren. Im Bereich der B2B-Integration geht es um die Integration von Anwendungen unterschiedlicher Unternehmen, während es bei der B2C-Integration darum geht, den Endkunden mit zu integrieren.

Im Kontext von Enterprise Application Integration können hinsichtlich der Integrationstiefe drei Ebenen (siehe Bild 3-2) unterschieden werden [ScGa-03]:

- Daten
- Funktionen / Objekte
- Prozesse

Die Integration auf der Datenebene bezeichnet die Nutzung gemeinsamer Daten durch die beteiligten Anwendungen. Hierbei greifen die Systeme jedoch weiterhin auf ihre proprietäre Datenquelle zu. Die Integration erfolgt durch Datenaustausch auf Basis von Austauschformaten und Dateitransferprotokollen (vgl. [Gor-01]). Dies stellt gleichzeitig die niedrigste Integrationsebene dar.

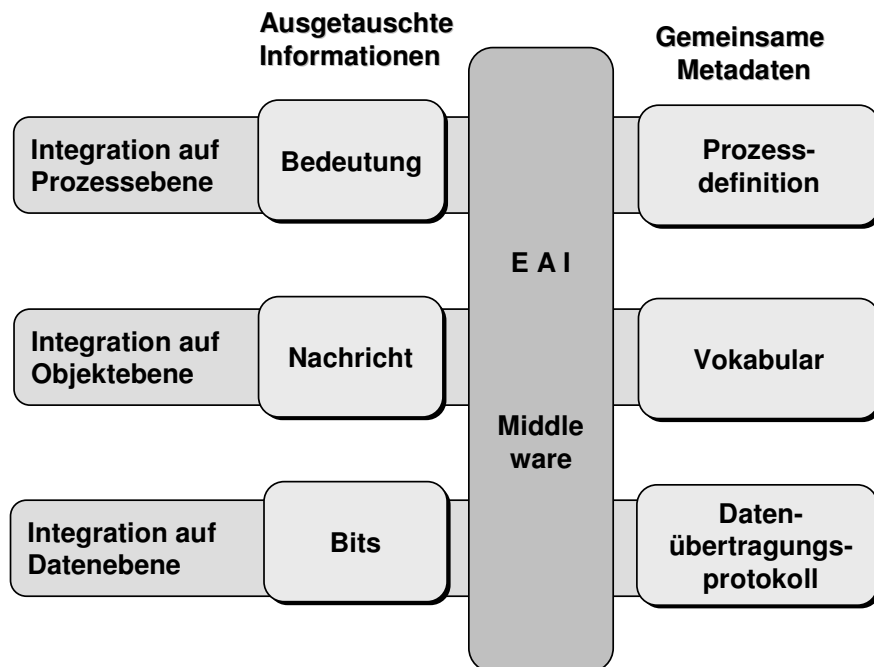


Bild 3-2: Integrationsebenen von EAI nach [Schm-03]

Bei der Integration auf Funktions- bzw. Objekt-Ebene kommunizieren die Anwendungen nachrichtenbasiert und nicht mehr dateibasiert. In dieser Ebene erfolgt die Umwandlung der

Daten in ein allgemeinverständliches Format (Vokabular). Mit Hilfe von Funktionsaufrufen (Nachrichten) auf Objekten in den Fremdsystemen ist der Austausch von Daten zwischen Applikationen möglich. Hierzu müssen die Anwendungen eine API (Application Programming Interface) zur Verfügung stellen (vgl. [BoGa-00]).

Die Integration von Prozessen, auch Business Process Integration (BPI) genannt, stellt die oberste Integrationsebene dar. Hier werden die Funktionen der einzelnen Anwendungen gemäß dem definierten Workflow gesteuert und aufgerufen. Der Begriff Workflow meint in diesem Kontext die computerunterstützte Ausführung von Prozessen. Dabei steht die durchgängige Unterstützung von Teilaufgaben eines Gesamtprozesses im Vordergrund.

Zu den wichtigsten Komponenten der EAI zählen Adapter bzw. Konnektoren, die Middleware, das Transformationsmodul sowie das Prozessmanagement (Workflow-Engine) (vgl. [WiRW-01]). Die Adapter bilden die Schnittstelle zwischen der EAI-Software und den zu integrierenden externen Systemen. Das Routine und der Datenaustausch werden von der Middleware realisiert. Das Transformationsmodul ermöglicht die Integration auf der Objektebene durch das semantische Mapping zwischen den Modellen der externen Anwendungen und dem Modell der EAI-Software. Das Prozessmanagement-Modul (Workflow-Engine) steuert den Ablauf von Geschäftsprozessen unter Einbindung der notwendigen Anwendungen. Die EAI-Software umfasst alle Komponenten der EAI außer den Konnektoren.

3.2.2 Service Oriented Architecture (SOA)

Für den Begriff serviceorientierte Architektur (engl.: Service Oriented Architecture (SOA)) existieren in der Literatur unterschiedliche Interpretationen. Serviceorientierte Architektur definiert zum heutigen Zeitpunkt noch keine normierte Architektur, sondern ein abstraktes Architekturkonzept. Je nach Quelle werden die verschiedenen Aspekte einer SOA unterschiedlich stark gewichtet [Datz-04], [RiHa-05].

Einige Autoren sehen SOA als konsequente Weiterentwicklung bestehender Ansätze (speziell EAI), wobei die Kopplung der Anwendungen über sogenannte Services (deutsch: Dienste) erfolgt. Bevor eine Begriffsklärung von SOA im Rahmen der Arbeit erfolgen kann, ist der Begriff Service zu definieren. Die Definition von Service erfolgt in Anlehnung an [RiHa-05]:

Definition (Service): *Ein Service beschreibt eine wohl definierte, in sich abgeschlossene fachliche Funktion, unabhängig vom Kontext oder Zustand anderer Services.*

Services werden über einen einheitlichen Mechanismus aufgerufen, der die Anwendungssysteme plattformunabhängig miteinander verbindet und alle technischen Details der Kommunikation verbirgt. Der Service-Nutzer adressiert bei seinem Aufruf den Service, d. h. eine anonyme Schnittstelle. Der Aufrufmechanismus beinhaltet das Auffinden eines geeigneten, konkreten Service-Anbieters, der diese Schnittstelle implementiert [Bloo-03]. Hierzu muss der Service zunächst der Service-Registration bekannt gemacht werden (siehe Bild 3-3). Der Begriff Bindung bedeutet hierbei, dass ein Service-Nutzer tatsächlich einen von einem Service-Provider angebotenen Dienst nutzt.

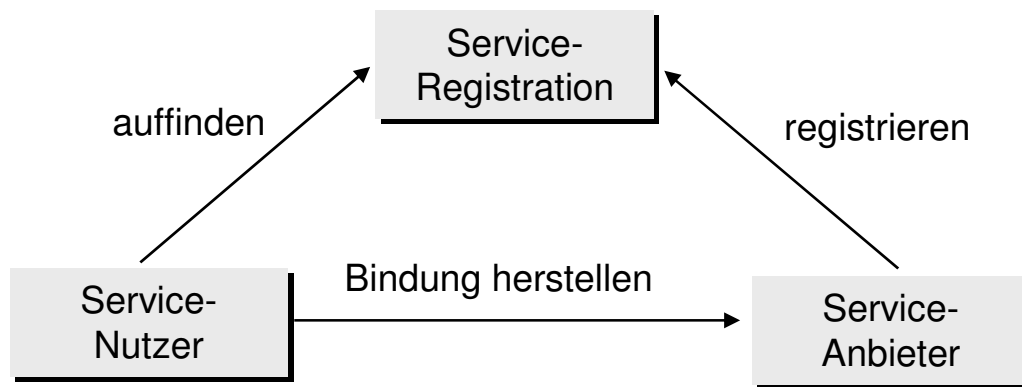


Bild 3-3: Grundstruktur eines Services nach [Bloo-03]

In der nachfolgenden Definition wird der wesentliche Aspekt einer SOA zusammengefasst:

Definition (Serviceorientierte Architektur): Serviceorientierte Architektur (SOA) ist ein Architekturkonzept, in dem alle Funktionen als unabhängige Services mit wohl definierten, aufrufbaren Schnittstellen vorliegen.

Die elementaren Grundgedanken der SOA sind die Trennung der Zuständigkeiten nach fachlichen Gesichtspunkten sowie die Kapselung technischer Details. In der EAI kann im Gegensatz zur SOA die Interaktion auch über Dateiaustausch bzw. Funktions-Aufrufen erfolgen, d. h. sie ist nicht explizit auf serviceorientierte Kommunikation festgelegt.

Man unterscheidet zwei verschiedene Kopplungsmechanismen zwischen Services, *Choreographie* und *Orchestrierung*. Von einer Choreographie spricht man, wenn die Koordination einzelner unabhängiger Services durch einen Nachrichtenaustausch realisiert ist [ReSt-04]. Von einer Orchestrierung spricht man, wenn eine kontrollierende Instanz existiert, welche die einzelnen Services steuert [ReSt-04].

Bild 3-4 zeigt eine typische Schichtenarchitektur zur Realisierung einer SOA auf Basis von EAI-Software (Integrationstechnologie). Der Anwender kann die bereitgestellten Services über in einem Portal-Server integrierte Benutzeroberflächen nutzen. Der Gesamtprozess wird über eine Workflow-Engine gesteuert, welche die entsprechenden Services aufruft, dem Anwender Ergebnisse präsentiert oder auf dessen Benutzereingaben wartet.

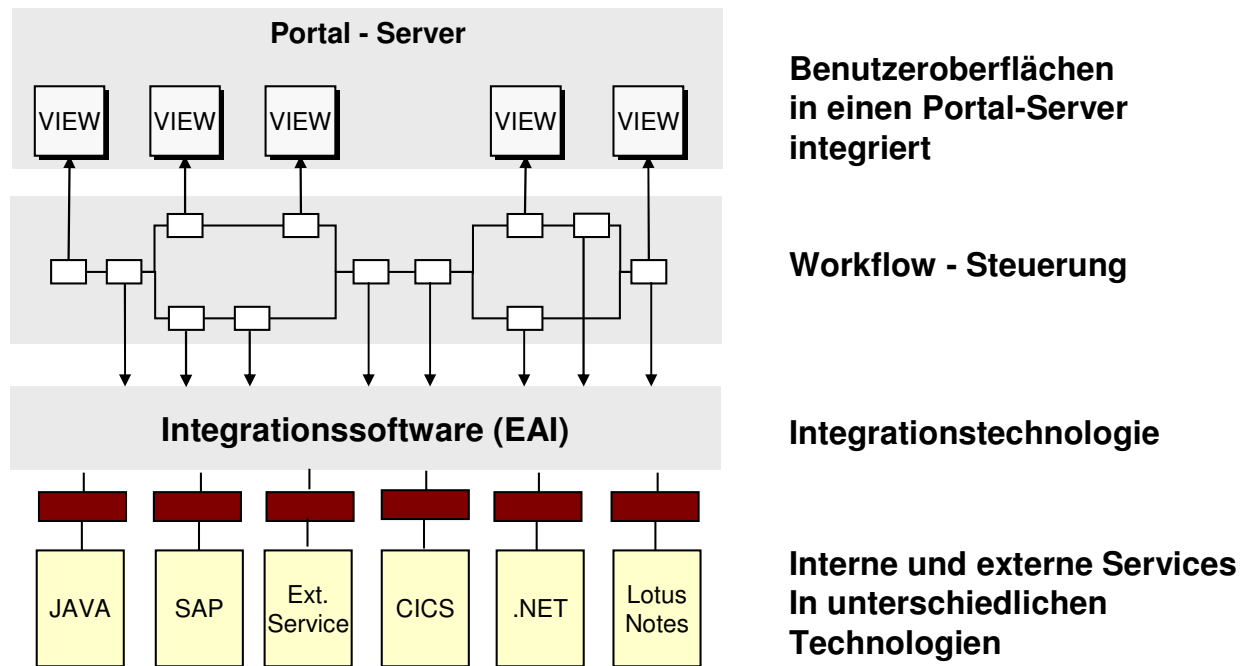


Bild 3-4: Schichtenarchitektur von SOA nach [RiHa-05]

3.2.3 Standards zur Beschreibung von Services

Streng genommen stellen auf DCOM (Distributed Component Object Model) bzw. CORBA (Common Object Request Broker Architecture) basierende Anwendungen die ersten SOA-Architekturen dar. Heutzutage gewinnen jedoch Webservices [W3C-07] immer stärker an Bedeutung. Ein Webservice ist eine über ein Netzwerk zugängliche Schnittstelle zu Informationssystemfunktionen, die mit Hilfe von Standardtechniken des Internets realisiert wird [SnTk-02]. Im Rahmen von Business-Anwendungen wird als Transportprotokoll meist SOAP (Simple Object Access Protocol) [SOAP-07] eingesetzt. SOAP ist ein auf XML basierender Standard zur Codierung von Parametern und Aufrufen. Die Beschreibung der Webservices sowie deren Parameter erfolgt mittels der Webservice Description Language (WSDL) [WSDL-01].

3.2.4 Semantische Beschreibung von Webservices

Das *Semantic Web* (deutsch: semantisches Netz) ist eine Erweiterung des World Wide Web (WWW) um maschinenlesbare Daten, welche die Semantik der Inhalte formal festlegen [BeHL-01]. Die Beschreibung der Semantik basiert auf Ontologien, mit deren Hilfe *Agenten* und (semantische) Suchmaschinen selbständig Informationen sammeln und auswerten können. Auf diese Weise ist es möglich, nicht nur mit Volltextsuche, sondern mit „intelligenten Anfragen“ gezielt nach Informationen zu suchen.

Die logische Weiterentwicklung von Webservices innerhalb des Semantic Web sind die *Semantic Webservices* [McSZ-01], d. h. die Funktionalität sowie die Ein- und Ausgabeparameter der Webmethoden werden mit Hilfe von Ontologien beschrieben.

Grundsätzliches Problem beim Semantic Web ist allerdings, dass es zurzeit keine einheitliche „Welt-Ontologie“ gibt, was Voraussetzung für einen universellen Einsatz wäre. Als erster Schritt zur Vereinheitlichung wurde DOLCE²⁵ [Maso-02] als Top-Level-Ontologie (siehe 2.3.4) für das Semantic Web vorgeschlagen. DOLCE verwendet im Wesentlichen die Konzepte (Entitäten) der von [Guar-97] und [GuWe-00] vorgestellten Ontologie, ordnet diese aber anders an.

3.2.5 Standards zur Beschreibung von Prozessen (bzw. Workflows)

Es existiert eine Vielzahl von Notationen und Software-Tools zur Beschreibung von Prozessen. Die bekanntesten Vertreter sind hierbei sicherlich die ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK) [Schü-98], welche vor allem von der ARIS²⁶-Plattform [ARIS-07] unterstützt werden. Weiterhin bietet UML die Möglichkeit, neben statischen auch dynamische Aspekte zu modellieren. Zur Beschreibung von Prozessen können Aktivitätsdiagramme eingesetzt werden.

Im Kontext von SOA und EAI ist vor allem die rechnerunterstützte Ausführung von Prozessen (sog. Workflows) im Fokus. Hierbei sind zurzeit vor allem die Standards *Electronic Business using extensible Markup Language* (ebXML) [ebXML-06], *Business Process Modeling Notation* (BPMN)[BPMI-05] und *Business Process Execution Language* (BPEL) [BPEL-07] von Interesse, wobei BPEL zurzeit von den meisten Workflow-Engines unterstützt wird.

BPMN ist eine Standardnotation zur Beschreibung von Prozessen, während BPEL die Ausführungssprache darstellt. Der Standard definiert, wie BPMN in BPEL transformiert wird. Es existieren bereits Software-Werkzeuge, die dies realisieren. Die in WSDL (siehe Abschnitt 3.2.3) spezifizierte WS-BPEL legt die im Rahmen des Workflows aufzurufenden Services (siehe Bild 3-5) fest.

²⁵ DOLCE : Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering wurde im Rahmen des Wonderweb-Projektes entwickelt (siehe <http://wonderweb.semanticweb.org/deliverables/D17.shtml>). Das Ziel des Wonderweb Projektes war es, mehrere Ontologien zur Auswertung natürlicher Sprachen im Semantic Web zusammen zu bringen.

²⁶ ARIS: Die Architektur integrierter Informationssysteme ist ein Konzept zur Modellierung von Prozessen unter Daten-, Funktions-, Organisation-, Leistungs- und Steuerungssicht. Jede Sicht repräsentiert das Modell eines Geschäftsprozesses unter einem anderen Aspekt. ARIS wurde ursprünglich von Prof. August Wilhelm Scheer am Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität des Saarlandes entwickelt und wird mittlerweile von der Firma IDS Scheer mit entsprechenden Software-Werkzeugen vertrieben (siehe: http://www.ids-scheer.de/de/ARIS_ARIS_Platform).

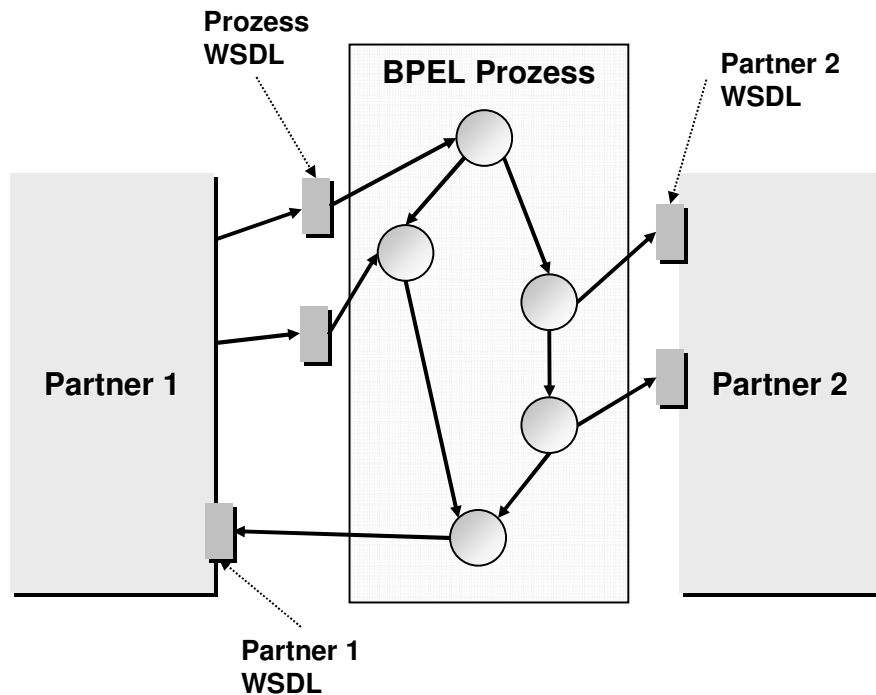


Bild 3-5: BPEL-basierte Prozessinteraktion mit Partnern nach [RiHa-05]

Es gibt bereits mehrere Ansätze, um aus der (für den Menschen verständlichen) Spezifikation von Geschäftsprozessen (z. B. ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK)) automatisiert in eine auf einem Rechner ausführbare Prozessspezifikation (z. B.: BPEL) zu transformieren ([Klue-07], [Früh-08]). Das ARIS-Toolkit (ARIS Implementation Platform) beinhaltet beispielsweise ein Modul zur Transformation von in ereignisgesteuerten Prozessketten modellierten Prozessen in BPMN und BPEL. Da ereignisgesteuerte Prozessketten mächtiger sind als BPMN bzw. BPEL, ist dies natürlich nur für den semantisch äquivalenten Bereich möglich [Früh-08]. Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes ATHENA (siehe Abschnitt 3.2.6) wurden Transformationsregeln für verschiedene weitere Prozessbeschreibungen (UML, ebXML etc.) definiert.

3.2.6 Ansätze zur Umsetzung des EAI- bzw. SOA-Paradigmas

Im diesem Abschnitt werden bestehende Ansätze aus der Industrie und Forschung im Bereich EAI vorgestellt. Hierbei werden sowohl Technologien als auch konzeptionelle Ansätze diskutiert.

WebSphere

Die WebSphere Software Plattform der Firma IBM stellt ein Lösungsportfolio für Anwendungsintegration und Geschäftsprozessintegration dar. Durch das Lösungsportfolio sieht IBM folgende fünf Kernfunktionalitäten abgedeckt [Enge-06]:

- Grafische Modellierung von Geschäftsprozessen und deren Simulation nach individuell einstellbaren Parametern.

- Geschäftsprozesse und Anwendungen auf Unternehmensebene integrieren.
- Unternehmensübergreifende Integration von Kooperationspartnern, Zulieferern und Kunden.
- Überwachung der Ausführung von Geschäftsprozessen.
- Dynamische Analyse der ablaufenden Prozesse und Anpassung bei Änderungen der Rahmenbedingungen.

Das umfangreiche Portfolio der WebSphere Plattform unterstützt die Spezifikation (Modellierung) und das Management von Prozessabläufen [IBM-09]. Die Modellierung der Prozesse erfolgt beispielsweise im *IBM WebSphere Business Modeler*, während das Prozess-Management im *IBM WebSphere Process Server* in Kombination mit dem *WebSphere Integration Developer* erfolgt [Peis-06]. Die Integration von Informationssystemen erfolgt über Adapter. Der Datenaustausch zwischen den Systemen über ein zentrales System, dem Broker. Die Realisierung von Adaptern (Syntaxebene) eines nicht von IBM unterstützten Systems ist nicht mit der Prozessmodellierung (Pragmatikebene) verbunden [Enge-06].

SAP NetWeaver

Der *SAP NetWeaver* ist eine dienstbasierte Integrations- und Applikationsplattform, auf die vorhandene und zukünftige Lösungen der Firma SAP aufsetzen können [HeRa-03]. Der SAP Netweaver ist der Beitrag von SAP zur Bereitstellung einer technologischen Grundlage für die Realisierung einer SOA²⁷. [Basl-03]. Die Zielsetzung des NetWeavers ist die Integration von Personen, Informationen und Prozessen [Wint-07].

Das technologische Integrationskonzept soll den auf ihr laufenden (E-)Business-Applikationen folgende Punkte gewährleisten [HeRa-03], [Enge-06]:

- Sicherheit, Skalierbarkeit, Zuverlässigkeit und Internationalisierung als Fundament dieser Architektur
- Offenheit in der Verwendung von Plattformen
- Unterstützung offener und standardisierter Internettechnologien
- Bündelung von Informationen, Anwendungen und Prozessen unter einer gemeinsamen Benutzeroberfläche
- Vollständige Integration zur Realisierung unternehmensinterner und -übergreifender Zusammenarbeit von Geschäftsapplikationen

Hierzu werden verschiedene Komponenten (z. B. Integration Broker) bereitgestellt, die fachlichen Bereichen zugeordnet werden können [Spal-03]. Die Aufteilung der fachlichen Bereiche entspricht der Zielsetzung des NetWeavers (siehe Bild 3-6).

²⁷ Im Sprachgebrauch der SAP wird SOA als ESA (Enterprise Services Architecture) bezeichnet.

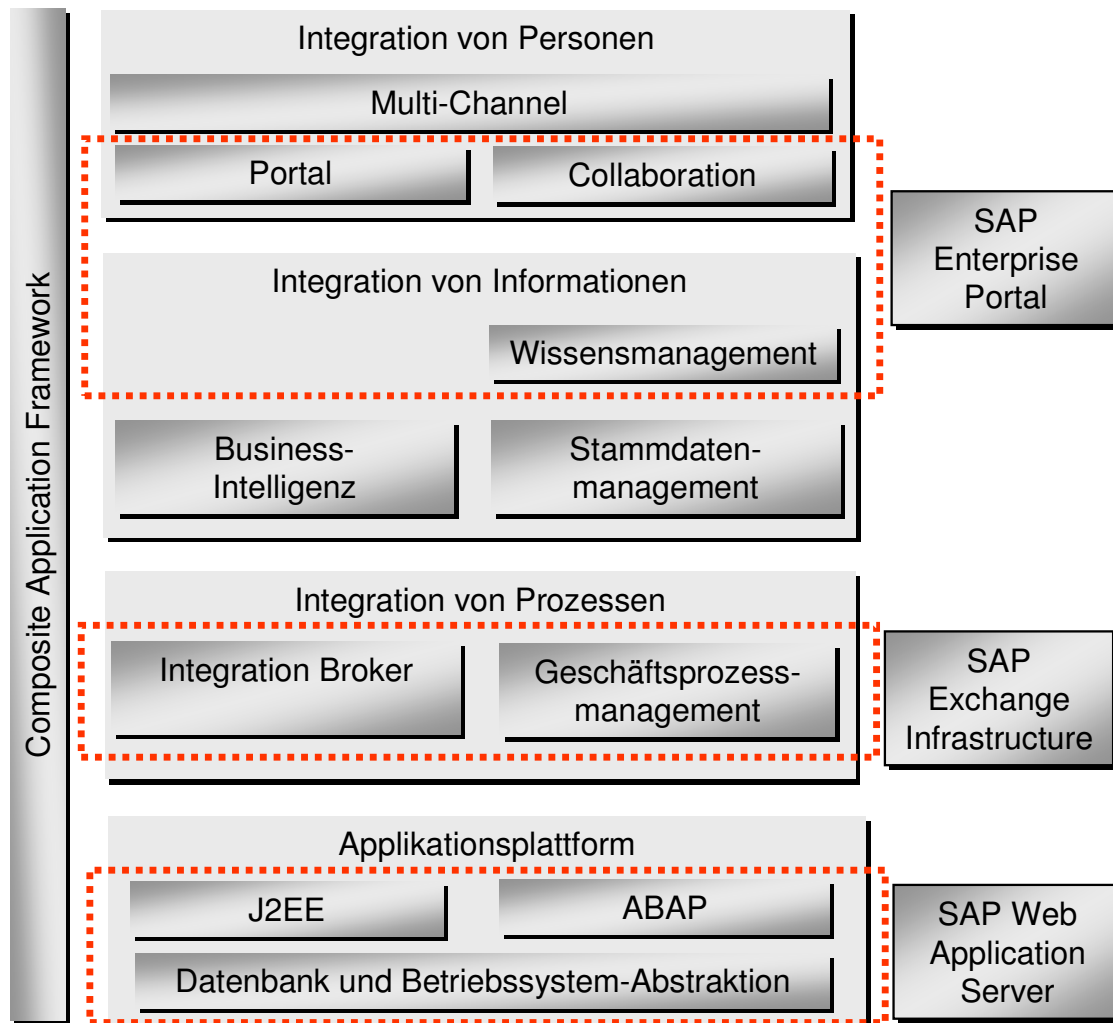


Bild 3-6: Komponenten des SAP NetWeavers nach [Spal-03]

Die dem Bereich „Integration von Personen“ zugeordnete *Multi-Channel-Komponente* ermöglicht es zusammen mit einer auf dem Client installierten *SAP Mobile Engine* sowohl Remote als auch offline zu arbeiten. Das SAP Enterprise Portal (auch SAP Netweaver Portal genannt) umfasst die Komponenten Portal, Collaboration und Wissensmanagement. Es stellt den zentralen Einstiegspunkt für den Zugriff auf die relevanten Informationen dar. Die Wissensmanagement-Komponente ermöglicht unter anderem die Klassifikation des Datenbestandes über einen Klassifikationsschlüssel, der manuell vergeben werden muss [Spal-03].

Die Komponente *Business Intelligenz* ermöglicht die Erstellung von Analysen bzgl. unterschiedlicher betriebswirtschaftlicher Betrachtungsweisen. Die *SAP Exchange Infrastructure* fasst die Komponenten *Integration Broker* und *Geschäftsprozessmanagement* zusammen. Der Integration Broker dient der Anbindung externer Komponenten, während die Geschäftsprozessmanagement-Komponente den Kommunikationsprozess dieser Komponenten regelt. Der *SAP Web Application Server* unterstützt die Entwicklung und den Betrieb NetWeaver-basierter Anwendungen. Hierbei wird sowohl J2EE als auch ABAP als Programmiersprachen

unterstützt. Zur Entwicklung wird das *SAP NetWeaver Developer Studio* bereitgestellt, das auf Eclipse²⁸ basiert.

Über den BPEL-Standard können beispielsweise auch Applikationen integriert werden, die auf Basis anderer EAI-Technologien wie Microsoft .NET und IBM WebSphere entwickelt wurden [Wint-07].

ice.NET Plattform (Integriertes Framework nach EHLER)

Die von der PD Tec AG²⁹ entwickelte Integrations- und Kooperations-Plattform ice.NET (siehe Bild 3-7) basiert auf dem Microsoft .NET Framework (aktuelle Version: 3.4) und entstand im Rahmen des EU-Forschungsprojektes DRAGON³⁰ und wurde von EHLER konzipiert [Ehrl-04]. Um die dynamische Änderung des Datenmodells zu ermöglichen, erfolgt die Verwaltung der Informationsobjekte innerhalb der ice.NET Plattform auf Basis eines generischen Metadatenmodells. Die Datenspeicherung erfolgt in einer relationalen Datenbank, wobei die Daten nach außen in objektorientierter Form repräsentiert werden.

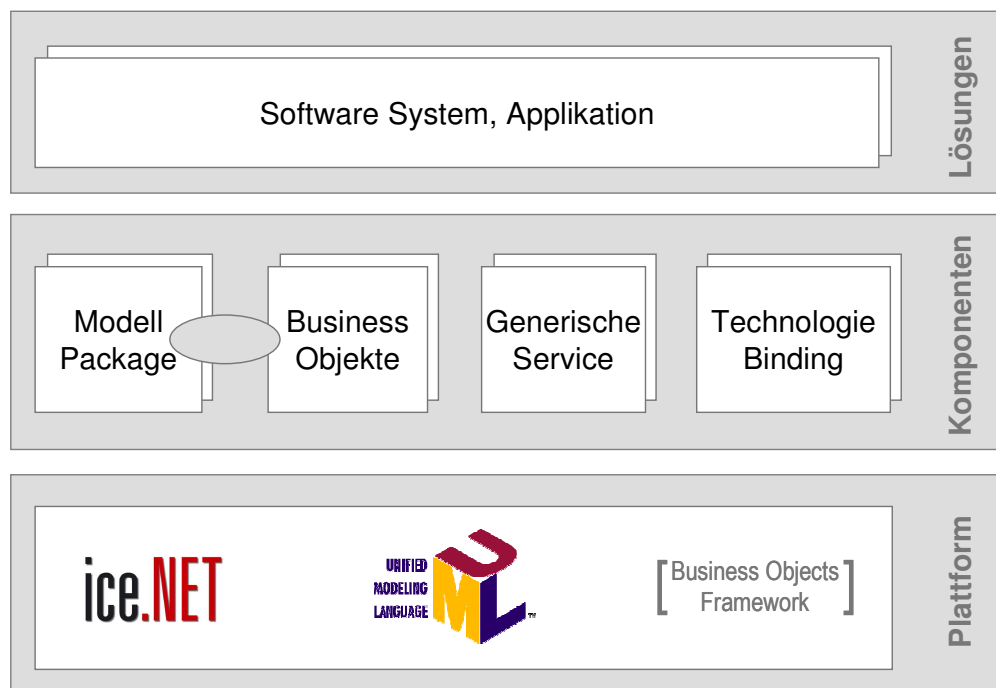


Bild 3-7: Architektur der ice.NET Plattform nach [PDTe-08]

²⁸ Eclipse (siehe <http://www.eclipse.org>) ist eine opensource Entwicklungsumgebung, die auf der Java-Technologie basiert. Neben Java können auch beispielsweise C++ Anwendungen entwickelt werden. Durch den bereitgestellten Plugin-Mechanismus ist Eclipse einfach erweiterbar sodass Eclipse inzwischen die Grundlage einiger kommerzieller Anwendungen wie z.B. das von Borland vertriebene Together (siehe <http://www.borland.com/us/products/together/>).

²⁹ Siehe: <http://www.pdtec.de>

³⁰ DRAGON: Development of an interactive Engineering Portal for Open Networks <http://www.dragon.uni-karlsruhe.de/>

Kern der ice.NET Plattform bildet das Business Objects Framework, auf dessen Grundlage die komponentenorientierte Architektur aufgebaut ist. Basiskomponenten und ergänzende Applikationskomponenten bieten Funktionalitäten und Services, die für ein effizientes Informationsmanagement im Product-Lifecycle-Prozess erforderlich sind.

Zur Offline- und Online- Kommunikation mit externen Systemen stehen Schnittstellen auf Basis von XML und SOAP-Webservices zur Verfügung. Die gewählte Architektur unterstützt damit den SOA-Ansatz.

ATHENA

Das EU-Forschungsprojekt ATHENA (Advanced Technologies for Interoperability of heterogeneous Enterprise Networks and their Applications) war das größte Forschungsvorhaben im Bereich Interopabilität von Unternehmen im 6. Rahmenprogramm [CORD-07]. Dementsprechend umfangreich waren die Ziele des Projektes:

- Entwicklung einer (EAI-)Referenzarchitektur und Infrastruktur für unternehmensübergreifende Kooperationsprojekte.
- Bereitstellung einer Plattform zur kooperativen Unternehmensmodellierung
- Entwicklung einer Sprache (und eines Werkzeugs) zur Beschreibung von semantischen Abbildungsvorschriften zwischen Ontologien

Die im Rahmen des Projektes erarbeiteten Ergebnisse stellen eine Basis für weitergehende Forschung im Bereich Interopabilität zwischen Unternehmen dar. Beispielsweise wurde eine Methode entwickelt, um die einzelnen Ebenen der Prozessbeschreibung über entsprechende Transformationsregeln zu verbinden (siehe Bild 3-8).

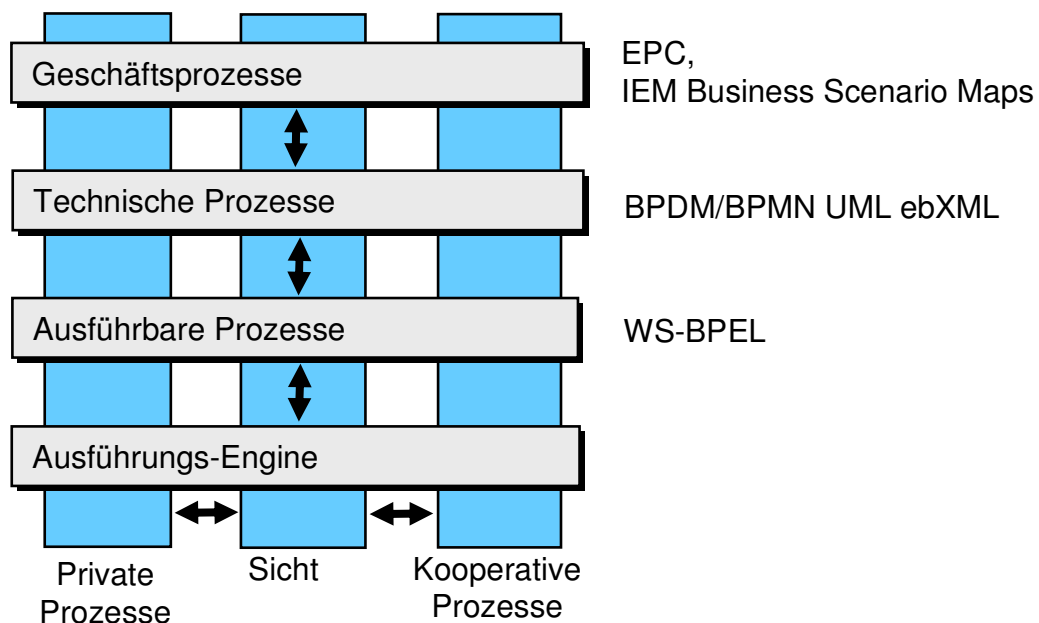


Bild 3-8: Verbindung verschiedener Ebenen der Prozessbeschreibung nach [LiGB-05]

Ein weniger generisches Konzept wurde im Forschungsprojekt OpenExchange realisiert. Hierbei wurde ebXML ausschließlich als Ausführungssprache verwendet und „höheren“ Prozessspezifikationen entsprechend hierauf abgebildet. ATHENA unterscheidet zwischen privaten (unternehmensinternen) Prozessen und kooperativen (unternehmensübergreifenden) Prozessen. ATHENA definiert eine Vorgehensweise zum Aufbau kooperativer Prozesse und deren Verlinkung mit privaten Prozessen der Unternehmen.

Ein wesentlicher Aspekt bei der Integration von Anwendungen ist die Abbildung der semantischen Modelle (Ontologie, Datenmodell) dieser Systeme. Hierzu wurde eine Sprache definiert, die eine Spezifikation semantischer Abbildungsregeln erlaubt. Durch die Transformation des dem jeweiligen semantischen Modell zugrunde liegenden Metamodells (z. B. EXPRESS³¹) in das von der OMG (Object Management Group) spezifizierte neutrale MOF (Meta Object Facility Core Specification [MOF2-07]) kann diese Spezifikation auch über die verschiedenen Modell-Typen (z. B. UML, RDF, EXPRESS) hinweg erfolgen. Es kann beispielsweise ein in EXPRESS spezifiziertes Modell auf ein in UML spezifiziertes Modell abgebildet werden.

ATHENA stellt einen generischen Lösungsansatz für unternehmensübergreifende Kooperationen bereit. Hierbei wurden interkulturelle Aspekte jedoch nicht explizit berücksichtigt, wodurch die Anwendung auf Kooperationen mit kulturellen Unterschieden offen bleibt. Die entwickelte Sprache (und Werkzeuge) erlaubt die Definition von Abbildungsregeln, wobei diese immer noch manuell zu erzeugen sind (siehe Abschnitt 3.5). Trotz der Bestrebungen innerhalb von ATHENA (und anderen ähnlichen Projekten wie DIP [DIP-05] und SUPER [HHKK-07]) fehlt eine skalierbare EAI-Software sowie ein geeignetes Vorgehensmodell zum Aufbau einer Kooperationslösung [EIRO-08]. Das Problem des (effizienten) Aufbaus eines einheitlichen semantischen Modells für kurz- und mittelfristige Kooperationen bleibt weiterhin bestehen.

Ansatz nach Engel: Unternehmensübergreifende Integration von Softwaresystemen

ADAMITZ stellte in [Adam-02] einen Ansatz zur Adaption von Standardsoftware vor, den ENGEL aufgreift und hinsichtlich unternehmensübergreifender Kooperationen erweitert [Enge-06]. Hierzu wird ein Integrationsraum definiert, der die zu integrierenden Prozesse und Systeme sowie die drei Integrationsebenen Syntax, Semantik und Pragmatik umfasst. Zur Durchführung des Integrationsprojektes wird ein Vorgehensmodell sowie ein CAEI-Werkzeug (Computer Aided Enterprise Integration) zur Verfügung gestellt. Die wesentliche Idee des Konzepts ist die Wiederverwendung von Wissen aus vorhergehenden Integrationsprojekten. Das Integrationsprojekt wird aus der Sicht eines Unternehmens betrachtet. Das bedeutet, jeder Kooperationspartner baut sich einen Lösungsspeicher auf, der für nachfolgende Integrationsprojekte wiederverwendet wird. Der zentrale Anwendungsaspekt der entwickelten Methode lag auf der halbautomatischen Generierung von Abbildungsvorschriften zwischen Datenmo-

³¹ EXPRESS ist die formale Modellierungssprache, die zur Beschreibung der integrierten Ressourcen und der Anwendungsprotokolle entwickelt wurde. EXPRESS wurde 1994 als Part 11 von STEP genormt.

dellen (vgl. [Enge-06], S.185), die von kooperierenden Partnern verwendet werden. Hierzu wird eine geeignete Ähnlichkeitsmetrik definiert, die neben der Spezifikation der Daten (Attribute etc.) den Verwendungskontext in Form von Geschäftsprozessen berücksichtigt.

Der Ansatz von ENGEL (und ADAMITZ) berücksichtigt keine kulturellen Aspekte. Insofern bleibt offen, ob er auf interkulturelle Kooperation anwendbar ist. Er stellt ein Vorgehensmodell bereit, um ein Unternehmen (und dessen Prozesse und Anwendungen) in das Kooperationsprojekt zu integrieren. Der Aufbau eines gemeinsamen semantischen Modells (Datenmodell, Ontologie) und damit eines gemeinsamen Verständnisses der Kooperationspartner wird nicht betrachtet. Die Generierung von Abbildungsvorschriften erfolgt halbautomatisch durch Wiederverwendung von Wissen über vorangegangene Integrationsprojekte. Hierbei wird die Möglichkeit, Daten (Artefakte) mit Hilfe von Ontologien semantisch zu beschreiben, nicht betrachtet (vgl. [Enge-06], S. 181).

Bewertung der EAI-Ansätze

Es gibt derzeit noch keine etablierte Methodik, wie Anwendungslandschaften fachlich modelliert werden können, um zu sinnvoll definierten Services zu gelangen [RiHa-05]. Neue Ansätze einer serviceorientierten Modellierung, wie sie beispielsweise in [Arsa-05] vorgeschlagen werden, sind viel versprechend, aber noch nicht ausreichend detailliert, um ein konkretes Vorgehen zu bestimmen. Verfahren des Domain Engineering [CzEi-00] zur systematischen Entwicklung wieder verwendbarer Komponenten für Softwareproduktfamilien sind in ihrer etablierten Form zu schwergewichtig. Die Umsetzung einer SOA verlangt daher viel Erfahrung bei der Gestaltung großer IT-Systeme sowie methodische Kreativität.

SOA erfordert eine stark vorausschauende Vorgehensweise sowohl bei der IT-Organisation als auch bei den Fachbereichen. Individuelle, abgegrenzte Softwareprojekte müssen neben ihren eigenen Anforderungen auch mögliche zukünftige Anforderungen sowie Anforderungen anderer, unbeteiligter Fachabteilungen bei Planung und Design berücksichtigen.

Lose Kopplung, Auslegung von Services auf Wiederverwendbarkeit und die Verwendung standardisierter Protokolle konkurrieren aus technischen Gründen häufig mit Performanceanforderungen. Individuelle Punkt-zu-Punkt-Systemkopplungen können wesentlich stärker auf höhere Durchsätze optimiert werden als Kommunikationsmechanismen in einer SOA-Infrastruktur [RiHa-05].

3.3 Baukastenbasierte Ansätze im Bereich Softwareentwicklung

Eine Gesamtlösung aus vordefinierten Bausteinen zusammenzubauen ist ein Ansatz, der in mehreren Disziplinen verwendet wird. Nach BOROWSKI [Boro-61] sind die wohl ältesten Baukästen der Welt die Zahlen und Hieroglyphen, die um 3200 v. Chr. entstanden. In diesem Abschnitt werden baukastenbasierte Ansätze im Bereich Softwareentwicklung diskutiert.

Im Bereich Konstruktionstheorie geben BOROWSKI [Boro-61] und PAHL und BEITZ [PaBe-07] eine Anleitung zum Aufbau eines Baukastens für technische Systeme. RENNER stellt in

[Renn-07] eine Methode zur funktionsorientierten Baukastenentwicklung am Beispiel der Automobilindustrie vor. Im Bereich Softwareentwicklung gibt es schon lange ähnliche Bestrebungen. Bereits auf der Software-Engineering-Konferenz in Garmisch im Jahre 1968 wurden die Wünsche nach ingenieurgemäßen Konstruktionsprinzipien für komponentenbasierte, industriell gefertigte Softwaresysteme formuliert [Baue-09]. Allerdings hat sich dieser Wunsch noch immer nicht erfüllt [Lang-05]. Im Rahmen dieser Arbeit wird das aus dem Maschinenbau stammende Prinzip des Baukastens auf die Softwareentwicklung angewendet, um ein generisches Baukastensystem zur Unterstützung unternehmensübergreifender Kooperationen zur Verfügung zu stellen.

Nach LANG [Lang-05] stellt die Objektorientierung einen der ersten Ansätze zur Übertragung maschinenbaulicher Konstruktionsprinzipien auf die Softwaretechnik dar. Das Konzept der Objektorientierung vereinigt die funktionalen und datenzentrierten Aspekte der Systemarchitektur in einem Modell. Die Vererbung erlaubt eine Wiederverwendung von Teil- oder Unterfunktionen. Ein Objekt benötigt zur Bereitstellung der Funktion meist mehrere Objekte, was zu einer komplexen Abhängigkeitsvernetzung führt. Auf diese Weise können die einzelnen Objekte selten in einem anderen Kontext wiederverwendet werden [Lang-05]. Dadurch sind Objekte nicht als Bausteine für einen Baukastensystem geeignet. Die Komponentenorientierung setzt die Modularisierung des Gesamtsystems konsequenter um. Eine Komponente ist ein Software-Element mit definierter Schnittstelle, das eine Funktion eigenständig erfüllen kann. Eine Software-Komponente kann dadurch in verschiedenen Kontexten eingesetzt werden. Damit erfüllt die Softwarekomponente die in [PaBe-08] formulierten Anforderungen an einen Baustein eines Baukastensystems. Zur Unterstützung unternehmensübergreifender Kooperationen hat sich heutzutage das SOA-Paradigma etabliert, das durch EAI-Software realisiert werden kann (siehe Abschnitt 3.3). Es stellt die Übertragung des komponentenbasierten Ansatzes auf die Internettechnologie dar. Services und Software-Komponenten können somit als Bausteine eines Baukastensystems eingesetzt werden. Der Einsatz der entsprechenden Technologie garantiert jedoch nicht, dass die Software-Einheiten (Services, Komponenten) losgelöst voneinander in verschiedenen Kontexten und unabhängig einsetzbar sind. Deshalb wurden in den letzten Jahren verschiedene Methoden zur Entwicklung komponentenbasierter bzw. serviceorientierter Software entwickelt.

Die bekanntesten Vertreter sind Catalysis [SoWi-98], [CATA-08], SOA Modelling Framework [Bell-08] und Rational Unified Process [KrKr-03].

Eine Menge wiederverwendbarer Einheiten (Bausteine) stellt noch keinen Baukasten im Sinne dieser Arbeit dar. Es muss zusätzlich ein Baumusterplan angegeben werden, der die Verwendung dieser Bausteine unterstützt. Weiterhin müssen die so entwickelten Bausteine durch Kombination eine Vielzahl von Funktionen erfüllen. Insofern unterstützen die genannten Methoden den Aufbau eines Software-Baukastens nur unvollständig. Weiterhin wird dadurch deutlich, dass eine auf dem SOA-Paradigma basierende Software nicht automatisch ein Baukastensystem darstellt. LANG beschreibt in [Lang-05] eine Methode zur Konstruktion betriebswirtschaftlicher Standard-Anwendungssysteme aus Anwendungselementen. Hierzu überträgt er Konstruktionsprinzipien auf die Softwareentwicklung. Der vorgestellte Ansatz bietet allerdings ebenfalls keine direkte methodische Unterstützung bei der Erstellung des

Musterbauplans. Weiterhin ist der Ansatz auf Standardsoftware beschränkt und ist somit nur bedingt für die Erstellung einer an den Randbedingungen einer (interkulturellen) Kooperation angepassten Softwarelösung einsetzbar.

Bewertung der baukastenbasierten Ansätze im Bereich Softwareentwicklung

Die existierenden Methoden der Softwaretechnik unterstützten die Entwicklung modularer Einheiten, die unabhängig voneinander in verschiedenem Kontext eingesetzt werden können. Eine direkte Unterstützung beim Aufbau eines Bauskastensystems in Form eines Baumusterplans ist nicht bzw. nicht hinreichend vorhanden. Die von LANG [Lang-05] beschriebene Methode ist auf die Realisierung von Standard-Anwendungssystemen beschränkt. Bestehende Softwarelösungen erfüllen meist nicht die Anforderungen an ein Bauskastensystem (im Sinne der Arbeit) bzw. stellen keine (hinreichende) Funktionalität zur Unterstützung interkultureller, unternehmensübergreifender Kooperationen bereit.

3.4 Ansätze zur Unterstützung des Collaborative Engineering

Neben der Innovationsfähigkeit und Flexibilität ist die Fähigkeit, auf individuelle Kundenanforderungen reagieren zu können, einer der wichtigsten Faktoren zur Festigung der Konkurrenzfähigkeit eines Unternehmens im globalen Wettbewerb. Die Optimierung der Zusammenarbeit innerhalb der Wertschöpfungskette (engl.: supply chain) ist ein bedeutender Faktor zur Verkürzung der Produktionszeiten (und damit Flexibilität) sowie zur Steigerung der Innovationsfähigkeit [Muth-03]. Der Begriff Collaborative Engineering (CE) vereinigt die meisten Ansätze zur Unterstützung bzw. Optimierung (weltweit) verteilter Kooperationen im Ingenieursbereich. Die wesentliche Idee des Collaborative Engineering wird in Bild 3-9 dargestellt.

Wesentliche Ansatzpunkte des CE sind die Beschleunigung und Optimierung von Prozessen und Entscheidungen sowie die Verbesserung der Kommunikation zwischen verteilten Standorten (Entwicklungspartner, Zulieferer). Aus diesen Bestrebungen erhofft man sich eine Reduktion von Entwicklungskosten und -zeiten.

Als direkte Auswirkungen auf den Entwicklungsprozess können u. a. folgende Aspekte identifiziert werden [Muth-03]:

- Verbesserung der Interaktion zwischen verteilten Produktentwicklungsteams
- Semantisch kohärente Bereitstellung und Wiederverwendung von Informationen
- Simultanes Arbeiten auf Basis aktueller, synchronisierter Informationen
- Online-Bearbeitung von Änderungen in einer gemeinsamen Entwicklungsumgebung
- Unterstützung bei der Entscheidungsfindung
- Schnelle und effektive Fehlererkennung und -beseitigung im Team
- Integration von Fachleuten unterschiedlicher Bereiche in den Engineering-Prozess
- Etablierung einer gemeinsamen Arbeitskultur, geprägt durch Knowledge-Sharing, Gemeinschaftsgefühl sowie Teamwork

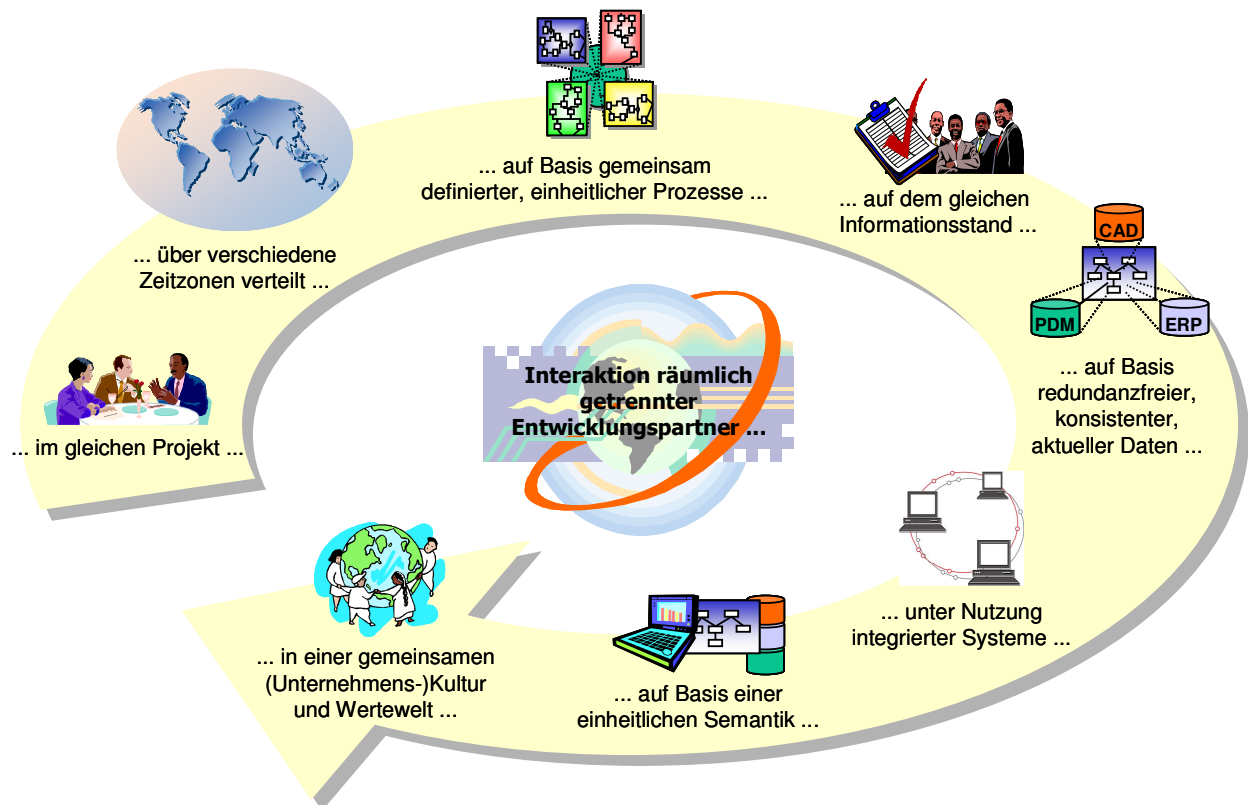


Bild 3-9: Vision des Collaborative Engineering nach [GLHE-03]

Entsprechend der in [GLHE-03] formulierten Vision des Collaborative Engineering und der oben genannten Auflistung, ist ein wesentlicher Aspekt der Zugriff auf die relevanten Informationen durch Nutzung integrierter Systeme. Hierzu sollten die in Abschnitt 3.2 vorgestellten generischen Lösungen als Grundlage verwendet werden.

Die Integration zwischen IT-Systemen kann hierbei auf synchrone (online) und asynchrone (offline) Weise erfolgen. Zur Überbrückung der vorhandenen Heterogenität der innerhalb der Produktentwicklung eingesetzten Anwendungen (z. B. Teamdaten-, PDM-Systeme) wurden entsprechende Produktdatenaustauschstandards entwickelt (siehe Abschnitt 3.4.1).

Zur Realisierung der kohärenten Informationsbereitstellung innerhalb einer kooperativen Produktentwicklung (siehe Bild 3-9) ist der Aufbau eines gemeinsamen semantischen Modells und die semantische Integration der bestehenden Systeme erforderlich. Für den Aufbau eines semantischen Modells für das zu entwickelnde Produkt wurden einige Vorgehensmodelle entwickelt (siehe Abschnitt 3.4.2). Für die konzeptionelle und softwaretechnische Unterstützung kooperativer Entwicklungsprojekte gibt es einige Ansätze, die auf generischer EAI-Technologie (siehe Abschnitt 3.2) basieren und abschließend diskutiert werden (siehe Abschnitt 3.4.3).

Bei der (semantischen) Integration externer Systeme ist deren semantisches Modell auf das gemeinsame semantische Modell abzubilden. Da dies eine der größten Herausforderungen ist,

wurden entsprechend viele Ansätze entwickelt, welche in einem separaten Abschnitt vorgestellt werden (siehe Abschnitt 3.5).

Anhand der oben genannten Auflistung wird weiterhin die maßgebliche Rolle des Menschen innerhalb verteilter Produktentwicklungsprozesse deutlich. Somit wird auch die Relevanz kultureller Problemstellungen unterstrichen, die i. A. mit der Produktentwicklung in verteilten Entwicklungspartnerschaften verbunden sind. Gegenseitiges Vertrauen wird zumeist als Maß für die Qualität einer Zusammenarbeit angesehen. Dieser Aspekt besitzt insbesondere bei der Betrachtung interkultureller Entwicklungspartnerschaften (siehe Abschnitt 3.6) eine entscheidende Rolle [Sand-05].

Zur Unterstützung des Knowledge-Sharing wurden einige Wissensmanagement-Lösungen im Bereich PLM entwickelt, die jedoch bisher meist auf unternehmensinterne bzw. langjährige Kooperationen beschränkt sind (siehe Abschnitt 3.7).

3.4.1 Standards zum Produktdatenaustausch

Ein Ansatz zur Integration unterschiedlicher PDM-Systeme ist der Einsatz standardisierter Produktmodelle. Der wichtigste Vertreter hierfür ist STEP, der für viele relevante Anwendungsbereiche und Branchen (Automobilbau, Elektrotechnik, Anlagenbau) umfangreiche Produktdatenschemata zur Verfügung stellt.

Im Folgenden wird nur STEP weiter betrachtet, da sich die zurzeit verwendeten Standards entweder mehr oder weniger direkt aus einem der STEP-Applikationsmodelle ableiten (Beispiel: PDMEenablers [OMG-00], PDTnetSchema [PDTn-03]) oder nur einen kleinen Ausschnitt aus dem Bereich der Produktinformation beinhalten (Beispiele: PDX [PDX-01]).

Der praktische Einsatz von STEP zeigt allerdings, dass ein standardisiertes Schema allein noch keinen funktionierenden Datenaustausch gewährleistet. Standards wie STEP bieten viele Interpretationsmöglichkeiten. Die Definition von Eigenschaften von Produktinformationsobjekten ist ein typisches Beispiel hierfür. Die Semantik der im Standardformat repräsentierten Objekte erschließt sich erst durch Interpretation unter Zuhilfenahme zusätzlicher, meist firmenspezifischer Informationen über die korrekte Ausprägung des STEP-Standards. In [EhKM-99] wird diese Problematik detailliert analysiert. Darüber hinaus werden Vorgehensweisen sowie Werkzeuge zur Lösung des Problems beschrieben, deren Einsatz jedoch Beratungs- und Implementierungsprojekte erfordern, die aufgrund des Aufwands nur innerhalb langfristiger OEM-Zulieferer-Entwicklungspartnerschaften sinnvoll eingesetzt werden können. Für flexible, dynamische Partnerschaften, die oft nur für ein Entwicklungsprojekt etabliert werden, ist dieser Ansatz nicht praktikabel, da hier die Effizienz eines der Hauptkriterien für eine erfolgreiche IT-Unterstützung ist.

Als Vertreter der Komitee-Standards unterliegt die STEP-Norm definierten Regularien für Freigabe- und Änderungswesen. Einer realistischen Schätzung aus STEP-Insiderkreisen zufolge benötigt ein Korrekturzyklus ohne inhaltliche Abstimmung ca. 5 Jahre. Gerade innerhalb von virtuellen Unternehmen, bei denen eine schnelle Anpassung an sich verändernde

Marktsituationen erforderlich ist, muss eine unproblematische Erweiterbarkeit um neue Informationsinhalte möglich sein. Diese Anforderung ist im Hinblick auf die Umsetzungsdauer von Änderungen innerhalb von STEP nicht gegeben.

Die Antwort von STEP auf die beschriebene Starrheit sind Applikationsprotokolle (AP), die einen riesigen, oftmals bis ins kleinste Detail aufgelösten Anwendungsbereich beschreiben. Dies resultiert in extrem komplexen Modellen, wie anhand des in der Automobil-Industrie verbreiteten AP 214 [ISO-98] deutlich wird.

3.4.2 Entwicklung und Integration von Produktmodellen

POLLY [Poll-96] und STAUB [Stau-99] beschreiben in ihren Arbeiten Vorgehensmodelle zur Entwicklung und Integration von Produktmodellen. Während POLLY einen integrativen Modellansatz basierend auf einem Kernmodell propagiert, schlägt STAUB eine modulare komponentenorientierte Methodik vor.

Integrativer, kernmodellbasierter Produktmodellansatz nach POLLY

Ergebnis des Vorgehensmodells nach POLLY [Poll-96] ist ein umfassendes, alle Aspekte der Anwendungsdomäne abdeckendes, integriertes Gesamtmodell. Der Integrationsprozess erfolgt hierbei in fünf Phasen, wobei in den ersten Phasen zunächst Partialmodelle entwickelt (Vorintegration) und anschließend Inkonsistenzen und Redundanzen identifiziert werden (semantische Analyse). In der nächsten Phase entsteht durch die systematische Elimination der Inkonsistenzen und Redundanzen (Restrukturierung der Partialmodelle) ein homogenes, redundanzfreies Modell. Dieses Modell wird im nächsten Schritt in das Kernmodell eingebettet, wobei die Modellelemente der verschiedenen Partialmodelle miteinander verknüpft werden (Aufbau übergreifender Assoziationen). Abschließend findet eine Überprüfung (Validierung) der Vollständigkeit und Korrektheit der Integration statt. Die Methodik führt zu einem komplexen, allumfassenden Produktmodell, das für dynamische und kurzfristige Kooperationen nicht anwendbar ist.

Komponentenbasierter Produktmodellansatz nach STAUB

STAUB [Stau-99] greift die Problematik des Vorgehens nach POLLY auf und schlägt stattdessen einen komponentenbasierten Ansatz vor, der zu einer Komplexitätsreduzierung des Produktmodells führt. Das Konzept beruht auf dem Prinzip der wieder verwendbaren Modellkomponenten, welche dem Modellentwickler in einer Bibliothek zur Verfügung gestellt werden. Es werden sowohl eine Methodik als auch Werkzeuge zur Modellbildung zur Verfügung gestellt.

Der Ansatz berücksichtigt Aspekte der Komplexitätsreduktion, der leichten und schnellen Implementierbarkeit und Wiederverwendbarkeit von Modellkomponenten und ist somit auch für verteilte Produktentwicklung interessant. Auf die Problematik der verteilten Nutzung von Produktmodellen zur Unterstützung des unternehmensübergreifenden Informationsmanage-

ments und die hiermit verbundenen organisatorischen Problemstellungen wird hierbei nicht explizit eingegangen.

Ansatz von HORNBERG zum Informationsmanagement von flexiblen, dynamischen Entwicklungspartnerschaften

HORNBERG [Horn-04] beschreibt eine methodische, phasenorientierte Vorgehensweise für das Informationsmanagement in flexiblen, dynamischen Entwicklungspartnerschaften. Im Rahmen der Vorgehensweise erfolgt die (manuelle) Entwicklung eines zentralen Datenmodells, welches die Grundlage des Informationsaustauschs in der Entwicklungspartnerschaft darstellt. Hierbei erweitert HORNBERG den komponentenbasierten Produktmodellansatz von STAUB auf unternehmensübergreifende Kooperationen. Weiterhin sieht HORNBERG eine Methode vor, nicht alle zu nutzenden Informationen im zentralen Datenmodell abzubilden.

Die Vorgehensweise setzt sich aus den folgenden vier Phasen zusammen:

- Prozessanalyse: Klärung von Ausgangssituation, Zielsetzung sowie Spezifikation der unternehmensübergreifenden Prozesse auf Basis von vordefinierten Referenzprozessen.
- Komplexitätsreduzierung: Spezifikation der notwendigen Informationsinhalte sowie des internen und externen Vernetzungsgrades.
- Modellbildung: Aufbau eines zentralen Datenmodells (Integrationsdatenmodell) auf Basis von (komponentenbasierten) Referenzdatenmodellen
- Implementierungsphase: Spezifikation und Implementierung von externen Systemadapter sowie Evaluierung des Integrationsdatenmodells

Die Auswahl der nicht relevanten Objekte erfolgt manuell (siehe [Horn-04], S. 110). Weiterhin ist die Frage zu klären, ob die „Filterung“ der relevanten Objekte über den Objekttyp hinreichend ist. Beispielsweise werden in den meisten PDM-Systemen (und Produktmodellen) Bauteile/Baugruppen durch einen Objekttyp (z. B. „Item“ oder „Part“) repräsentiert. Somit ist eine Filterung nach Bauteil-Klassen (z. B. „keine Verbundelemente“) nicht möglich. Zwar wird durch die Methodik zur Bestimmung der notwendigen Informationsmengen im Integrationsdatenmodell sichergestellt, dass nur die notwendigen Datenmodellabbildungen programmiert werden müssen. Es ist allerdings keine Werkzeugunterstützung für diese manuelle, aufwändige Tätigkeit vorgesehen. Die Entwicklung des zentralen Datenmodells erfolgt ebenfalls manuell und ohne Werkzeugunterstützung.

3.4.3 Lösungsansätze auf Basis der SOA-Technologie

BMBF-Leitprojekt iViP (1998-2002)

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Leitprojekt Innovative Technologien und Systeme für die integrierte, virtuelle Produktentstehung (iViP: 1998 – 2002 [iViP-01]) stellte eine Architektur bereit mit dem Ziel, den Produktentstehungs-

prozess durchgehend zu digitalisieren. Ein gemeinsames Produktdatenmodell als Grundlage für die Kommunikation der beteiligten Anwendungen wurde auf Basis von STEP (siehe Abschnitt 3.4.1) entwickelt. Zentrale Komponente der Plattformarchitektur ist ein Integrationsbus auf CORBA-Basis, an dem sich die einzelnen Entwicklungswerkzeuge anmelden können. Die Schnittstellen basieren auf dem vom OMG entwickelten Standard PDMEenablers (Product Data Management Enablers Specification³²). Diese enthalten CORBA-Schnittstellenbeschreibungen, die in Funktionseinheiten gegliedert sind. Über so genannte Wrapper-Komponenten, die PDMEenabler-Aufrufe auf die proprietäre Schnittstelle eines anzuschließenden PDM-Systems abbilden, können auch vorhandene Systeme integriert werden.

Die Implementierung der CORBA-Schnittstellen für die Integration von Komponenten zeigte sich allerdings als zeit- und kostenintensiv. Dieser hohe Initialaufwand stellt einen großen Nachteil dar und ist für dynamische und kurzfristige Entwicklungspartnerschaften nicht geeignet. Weiterhin ist bei iViP sowie bei dessen Nachfolgerprojekt PDTnet der Einsatz für das klassische Produktdatenmanagement vorgesehen und kulturelle und weiterführende Aspekte bei der Produktherstellung werden nicht betrachtet. Das statische, auf STEP basierende Datenmodell bietet dabei zu wenig Flexibilität, um Anforderungen an dynamische, kurzfristige Kooperationen gerecht zu werden.

OpenPDM von ProSTEP AG

Die von PROSTEP AG entwickelte, STEP-basierte Integrationslösung OpenPDM (siehe Bild 3-10) ist eine der verbreitetsten Lösungen zur unternehmensübergreifenden Integration von PDM-Systemen. OpenPDM ist eine Softwarebibliothek, die aus einer zentralen Mapping-Engine und Konnektoren (Adaptoren) zu gängigen PDM- und ERP-Systemen besteht. Die Architektur von OpenPDM basiert auf einem Application Server (z. B. IBM WebSphere, JBoss, BEA WebLogic u. a.) und ermöglicht mit Hilfe eines Webinterface den Zugriff auf die relevanten Daten.

Der Zugriff auf die Daten erfolgt über einen im Hintergrund ablaufenden Mapping-Dienst, der die Daten zwischen den Systemen austauscht. OpenPDM basiert auf dem STEP- bzw. PDM-Enabler-Standard und hat somit dieselben Komplexitätsprobleme. Auch bei der Verwendung desselben PDM-Systems sind aufgrund der unterschiedlichen Prozesse und firmenspezifischer PDM-Modelle immer Anpassungen an die Konnektoren erforderlich. Weiterhin treten die grundlegenden Probleme auf, die bereits in Verbindung mit STEP bzw. PDM-Enablers beschrieben wurden (siehe Abschnitt 3.4.1).

³² <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/2000-11-11>

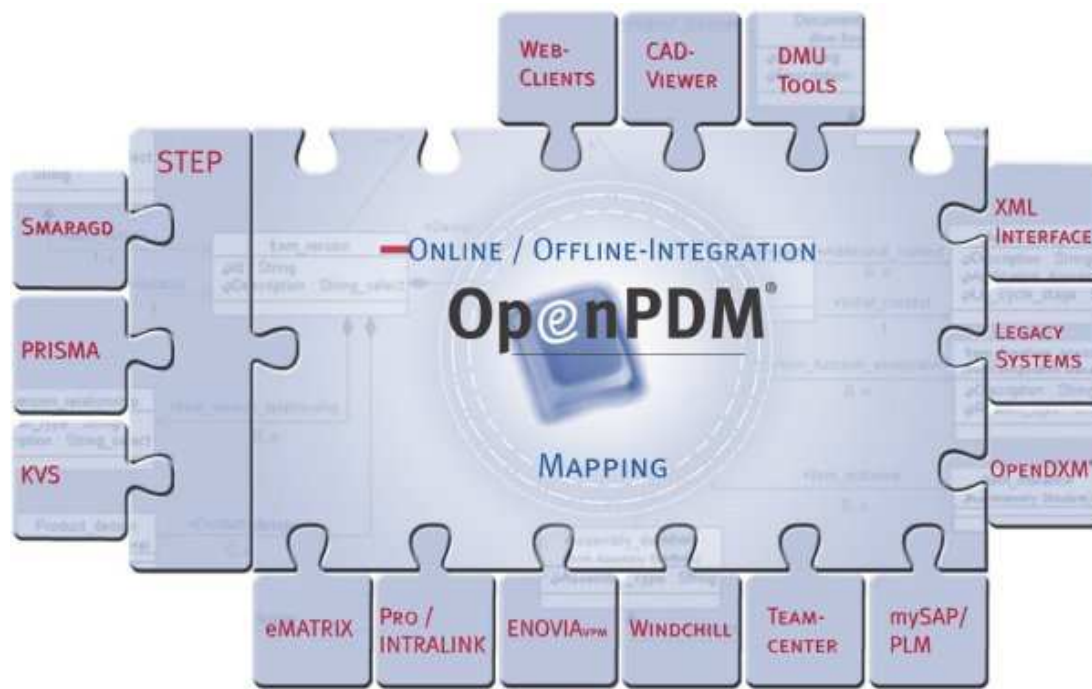


Bild 3-10: Integrationslösung OpenPDM der PROSTEP AG nach [Open-07]

ImportNET

Das im Rahmen dieser Dissertation vorgestellte Konzept bildete die Grundlage der Antragsstellung für das von der EU geförderte Forschungsprojekt ImportNET³³ [MaSOa-07]. Dementsprechend erfolgte auch dessen Validierung größtenteils innerhalb dieses Projektes. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Unterstützung interkultureller, interdisziplinärer Entwicklungsprojekte, wobei auf die Domänen Maschinenbau, Elektrotechnik und Software fokussiert wird. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde eine Referenzontologie entwickelt, die diese Domänen betrachtet. ImportNET unterscheidet zwischen einer Setup-Phase, in der die Kooperationslösung aufgebaut wird, und einer Ausführungsphase, in der die Produktentwicklungsprozesse unterstützt werden. ImportNET betrachtet nicht die Produktherstellung, sondern beschränkt sich auf die Entwicklungsphase.

3.5 Ansätze zum automatisierten Mapping von semantischen Modellen (Ontologien, Datenmodelle)

Aufgrund der existierenden heterogenen Systemlandschaft ist die effiziente Anbindung externer Systeme ein wesentlicher Aspekt zur Durchführung kooperativer Entwicklungsprojekte. Nach ENGEL [Enge-06] und RAHM [MaBR-01] ist hierbei die Erstellung von Abbildungsvorschriften zwischen den Datenmodellen der zu integrierenden Systeme bzw. dem in der Kooperation verwendeten gemeinsamen Datenmodell eine zentrale Aufgabe. In diesem Abschnitt werden zunächst Ansätze zur automatischen Ableitung von Abbildungsregeln zwi-

³³ ImportNET: Intelligent modular open source Platform for intercultural and cross-domain SME Networks, Projekt-Homepage: <http://www.importnet-project.org>

schen Datenmodellen vorgestellt und anschließend ein auf Ontologien basierender Ansatz beschrieben.

3.5.1 Ansätze zur automatischen Bestimmung der Abbildungsregeln

Die Spezifikation von Abbildungsvorschriften zwischen Datenmodell-Schemata („schema matching“³⁴) bzw. Ontologien-Spezifikationen („ontology matching“) ist ein kritisches Problem in vielen Anwendungsdomänen, wie Semantic Web (siehe Abschnitt 3.2.4), Anwendungs-Integration, E-Commerce etc. [ShEu-05]. Konsequenterweise wurden in der Vergangenheit eine Reihe von Ansätzen zur Lösung des Problems entwickelt (z. B. ARTEMIS [CaAV-01], COMA [AuMR-05], [MaDH-03], CUPID [MaBR-01], GLUE [DMDH-03], OLA [EuVa-04], MAFRA [MMSV-02], S-MATCH [BeCV-04], SEMINT [LiCl-00] und der Ansatz nach ENGEL [Enge-06]).

Die Repräsentation von Daten erfolgt heutzutage auf unterschiedliche Weise. Die gängigsten Vertreter sind XML-Schema, relationales Datenbank-Schema, UML-Diagramm etc. Die oben genannten Verfahren können oft nur für einen bestimmten Repräsentationstyp eingesetzt werden.

Datenbank-Schema vs. Ontologie

Ontologien und Datenbank-Schemata stellen ein Vokabular von Termen bereit, welche die jeweilige Domäne beschreiben. Beide Ansätze legen die Bedeutung der verwendeten Terme fest [Guar-04] [UsGr-04]. Im Gegensatz zu Ontologien beinhalten Datenmodell-Schemata jedoch keine explizite Semantik für ihre Daten [ShEu-05]. Die Semantik wird oft während der Designphase spezifiziert und ist dadurch nicht Teil der Datenbank-Spezifikation und somit nicht (explizit) verfügbar [NoKI-02]. Ontologien sind logische Systeme, die selbst einer formalen Semantik folgen: Ontologie-Definitionen können als Folge logischer Axiome interpretiert werden und erlauben computergestützte Schlussfolgerungen (Inferenz) zu ziehen (siehe Abschnitt 2.3 und 3.7). Weiterhin sind Datenmodelle hinsichtlich der Implementierung optimiert, weshalb soweit als möglich von nicht implementierungsrelevanten Details abstrahiert wird, indem beispielsweise Terme in abstraktere Oberbegriffe (Oberklassen) zusammengefasst werden.

Diese Betrachtung zeigt, dass die Grenze zwischen Ontologie und Datenbank-Schema fließend ist. So wie die Verwendung einer objektorientierten Programmiersprache letztendlich nicht garantiert, dass die entwickelte Software dem Paradigma der Objektorientierung folgt, kann auch nicht garantiert werden, dass eine Ontologie „semantisch angereicherter“ ist als ein Datenbank-Schema. Auch wenn dies letztendlich nicht garantiert werden kann, wird im weiteren Verlauf diese Grundannahme getroffen. Die Rechtfertigung erfolgt analog zu den Programmiersprachen: Eine in einer objektorientierten Sprache (z. B. Java) entwickelte Software wird eher dem objektorientierten Paradigma gerecht werden, als eine in einer prozeduralen

³⁴ In der englischsprachigen Literatur wird die Abbildung zwischen Datenmodellen meist als Schema Matching bezeichnet.

Sprache (z. B. C) implementierte Software. Entsprechend wird eine Ontologie eher „semantisch angereicherter“ sein als ein Datenbank-Schema.

Klassifikation der bestehenden Ansätze

In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze zur Klassifikation der bestehenden Verfahren zur automatisierten Bestimmung von Abbildungsregeln zwischen Datenbank-Schemata/Ontologien (z. B. [DoMR-02], [ShEu-05]).

Die im Jahre 2002 veröffentlichte Klassifikation nach DO, MELNIK und RAHM unterscheidet zunächst zwischen individuellen und kombinierten Verfahren (siehe [DoMR-02]). SHVAIKO und EUZENAT stellen in [ShEu-05] eine Klassifikation vor, welche auf der Arbeit von DO, MELNIK und RAHM basiert, diese Unterscheidung allerdings nicht durchführt. Die Autoren führen zwei abstrakte Ebenen ein, sodass der entstehende Klassifikationsbaum besser ausbalanciert ist. Allerdings ist diese Klassifikation weniger intuitiv, weshalb in der Arbeit der Ansatz nach DO, MELNIK und RAHM verwendet wird (siehe Bild 3-11).

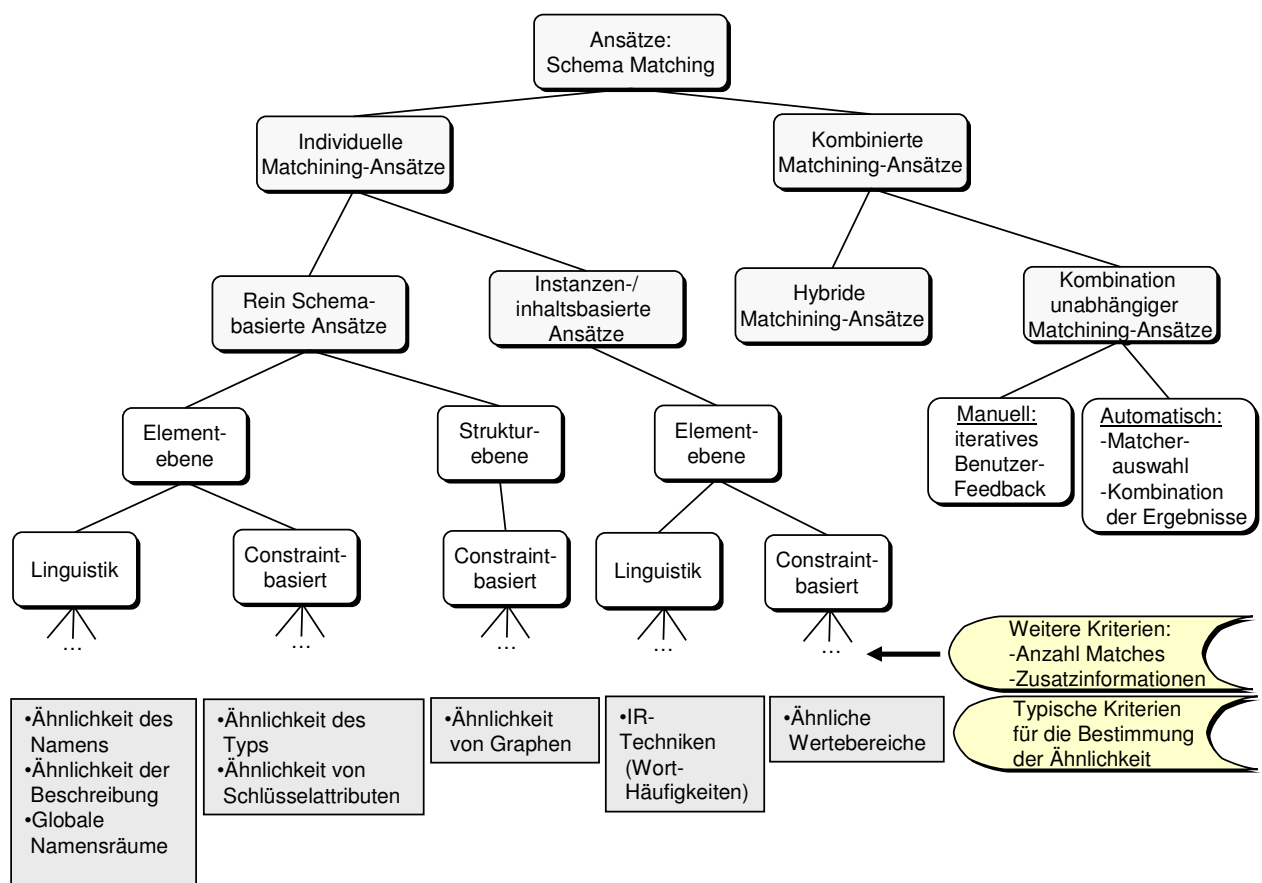


Bild 3-11: Klassifizierung von Schema/Ontologie Matching Verfahren nach [DoMR-02]

Prinzipiell wird bei individuellen Ansätzen zwischen Verfahren unterschieden, die nur das Schema oder Instanzdaten analysieren. Die zu vergleichenden Schemata können hinsichtlich

der Elemente (Objekttypen, Konzepte) oder der Struktur verglichen werden. Auf Elementebene kann beispielsweise die Ähnlichkeit der Namen oder Beschreibungen analysiert werden. Das CUPID-Verfahren ist beispielsweise ein schemabasierter hybrider Ansatz, der sowohl Elemente als auch Struktur vergleicht. SEMINT ist ein hybrides Verfahren, das sowohl schemabasiert als auch instanzbasiert arbeitet. Hierbei werden die Attributwerte der Instanzen auf einen Vektor (Signatur) in einem 20-dimensionalen Raum abgebildet. Diese Abbildung erfolgt gemäß 15 strukturbasierten und 5 inhaltbasierten Kriterien auf ein [0,1]-Intervall. Die Signaturen werden anschließend verwendet, um zunächst ähnliche Attribute des ersten Schemas zu klassieren (engl.: *clustern*) und dann wird versucht ähnliche Cluster bzgl. des zweiten Schemas zu finden. Der Klassierungs-Prozess erfolgt hierbei unter Verwendung von neuronalen Netzen.

Abstandsmaße zur Bestimmung von semantischer Ähnlichkeit

Die im vorigen Abschnitt vorgestellten unterschiedlichen Ansätze zur Bestimmung semantisch ähnlicher Schema-Elemente (bzw. deren Instanzen) erfordern entsprechend angepasste Abstandsmaße. Darüber hinaus wird die Bestimmung der semantischen Ähnlichkeit zweier Objekte zur Beantwortung von semantischen Suchanfragen (siehe Abschnitt 3.2.4) benötigt. Grundsätzlich kann zwischen *kantenbasierten* und *knotenbasierten* Ansätzen unterschieden werden.

Beim kantenbasierten Ansatz erfolgt die Abstandsmessung auf Basis der Distanz [LeKL-93] [RaMB-89] (Länge des kürzesten Pfades (siehe Anhang A3)) zwischen zwei Knoten eines Schemas/Ontologie. Somit kann über den kantenbasierten Ansatz nur die semantische Ähnlichkeit von Objekten innerhalb eines Schemas/Ontologie bestimmt werden und kann für das Matching-Problem nicht verwendet werden. Da die Kanten nicht gewichtet werden, ist die Pfadlänge (und damit der Wert des semantischen Abstands) abhängig von der Dichte des Schemas (bzw. der Ontologie). Weiterhin muss bei dieser Variante davon ausgegangen werden, dass der dem Schema (bzw. Ontologie) zugehörige Graph zusammenhängend ist (siehe Anhang A1).

Knotenbasierte Abstandsmaße basieren auf der Analyse der Umgebung um die zu vergleichenden Elemente. Knotenbasierte Abstandsmaße bilden die Grundlage für die Auswertung von struktureller Analyse (z. B. Vergleich der Vererbungshierarchie), Linguistik-Analyse (z. B. Ähnlichkeit von Name, Beschreibung) bzw. Constraintbasierte Analyse (z. B. mögliche Attributwerte). Es gibt jedoch auch knotenbasierte Ansätze (z. B. Methode nach RESNIK), welche nur innerhalb eines Schemas/Ontologie anwendbar sind.

Um verschiedene Analysen in einem Abstandswert zu berücksichtigen, wurde von RODRIGUEZ und EGENHOFER in [RoEg-03] das Synset-Feature-Neighborhood-Abstandsmaß vorgeschlagen. Es ist ein kombinierter Ansatz, wobei der Abstandswert über die gewichtete Summe folgender Ähnlichkeiten bestimmt wird:

- Ähnlichkeit der Konzeptnamen und Synonyme (Word Matching S_W)
- Ähnlichkeit der Attribute (Feature Matching S_F)

- Ähnlichkeit der strukturellen Umgebung vom Radius R um das Konzept/ den Objekttyp (Neighborhood Matching S_N). Hierbei werden alle Konzepte mit einer maximalen Weglänge von R untersucht, wobei die Kanten mit 1 gewichtet sind.

3.5.2 Datenbank-Schema-Matching auf Basis von Ontologien

Wie bereits im vorigen Abschnitt dargestellt, beinhalten Ontologien im Gegensatz zu Datenmodell-Schemas keine explizite Semantik für ihre Daten [ShEu-05]. Eine Ontologie (d. h. anwenderorientiertes Modell) bietet die Möglichkeit, einen Sachverhalt entsprechend der Begriffswelt des Anwenders (z. B. „Baugruppe“ statt „Item“) zu modellieren, sodass es vom Domänenexperten leichter verstanden werden kann. Deshalb schlägt unter anderem [John-06] vor, die Abbildungsvorschriften zwischen Datenmodellen auf Basis von Ontologien zu definieren.

Hierbei führt JOHN [John-06] folgende Argumente für die Spezifikation der Abbildungsregeln auf Basis von Ontologien an:

- Skalierung möglich (zunächst grob mit Semantik, danach speziell)
- Synonyme können verwendet und Mehrsprachlichkeit kann realisiert werden
- Auf semantischer Ebene besitzt man eindeutige und anerkannte Begriffswelten
- Für Definition des Integrationsmodell muss kein Informatiker dabei sein
- Über Stichwortsuche kann das benötigte Konzept (und damit Objekttyp) gefunden werden
- Semantisches Netz ermöglicht domainübergreifende Spezifikation

3.6 Lösungsansätze zur Unterstützung des Collaborative Engineering unter Berücksichtigung interkultureller Aspekte

Es wurden verschiedene Ansätze entwickelt, die Lösungen für Problemstellungen interkultureller, kooperativer Entwicklungspartnerschaften aufzeigen.

Die bisherigen Ansätze zur direkten Unterstützung interkultureller Kooperationen beschränken sich häufig auf interkulturelles Training (z. B. Seminare) und die Bereitstellung von Informationen über die betreffende Kultur [Harv-07]. Diese Informationen beinhalten beispielsweise eine Beschreibung von kulturellen Besonderheiten sowie Verhaltensregeln. In diesem Kontext analysiert SCHEITZA in [ScRL-04] das unterschiedliche Kommunikationsverhalten in 24 europäischen Ländern während SCHWABE kulturelle Unterschiede zwischen USA und Deutschland untersucht [Schw-05].

Die Zielgruppe der existierenden Lösungen sind meist Manager und selten an der Kooperation beteiligte Ingenieure. SANDER [Sand-05] und PAUWELS [Pauw-01] bieten einen der wenigen Ansätze, die sich direkt mit der Unterstützung interkultureller Entwicklungspartnerschaften beschäftigen. Diese werden in den Abschnitten 3.6.1 und 3.6.2 näher betrachtet.

Weitere Forschungsansätze aus der Psychologie und Kulturforschung versuchen menschliches Verhalten und Handeln in Form von Modellen abzubilden. Hierbei gibt es beispielsweise Ansätze im Bereich der rationalen Entscheidungstheorie (z. B. [Tack-96]), der Spieltheorie (z. B. [MoOU-00]) und der Kognitionspsychologie (z. B. [Görz-95], [MoOU-00]). Diese Modelle betrachten allerdings nur einen Teilaspekt des menschlichen Handelns und liefern somit keine umfassende Möglichkeit zur Simulation. Die psychologischen Handlungstheorien (z. B. [Dörn-01]) stellen Modellierungsansätze für bestimmte Teilbereiche menschlichen Denkens, Entscheidens, Handelns und Verhalten bereit. Schwierigkeiten ergeben sich jedoch aufgrund der fehlenden formalen Spezifikation des Ansatzes, insbesondere im Hinblick auf die Wechselwirkung zwischen den emotionalen und kognitiven Anteilen [Sand-05]. URBAN stellt im Rahmen seiner Dissertation [Urba-05] das PECS-Referenzmodell³⁵ vor, das physische, emotionale, kognitive und soziale Einflüsse einbezieht. Dieses Referenzmodell unterstützt den Entwurfsprozess agentenbasierter Modelle in denen individuelles menschliches Handeln sowie Entscheiden und Verhalten von Bedeutung sind. PECS bietet Konzepte zum Aufbau von Agenten und die Modellierung der Umwelt der Agenten an. Hierbei ist das Referenzmodell unabhängig von der zugrunde liegenden Theorie (z. B. Spieltheorie, psychologische Handlungstheorie).

Die explizite Betrachtung des Einflusses von Kultur auf das menschliche Verhalten erfolgt in keinem der Ansätze. Daher werden derartige Ansätze in der vorliegenden Arbeit nicht weiter verfolgt und an dieser Stelle auf die Literatur verwiesen.

3.6.1 Interkulturelle Produktentwicklung nach PAUWELS

PAUWELS [Pauw-01] beschreibt in seiner Dissertation die Problematik des Überganges von der Produktentwicklung zur interkulturellen Produktentwicklung. Er definiert interkulturelle Produktentwicklung als ein „Produktentwicklungsprozess, der zum einen auf dem Wirksystem Wertanalyse basiert und der zum anderen verstärkt interkulturelle Einflüsse auf diesen Prozess und die zu entwickelnden Produkte berücksichtigt“ [Pauw-01].

PAUWELS unterscheidet beim Einfluss interkultureller Aspekte auf die Produktentwicklung zwischen Auswirkungen auf den *Prozess* und auf das eigentliche *Produkt*. Hinsichtlich der Auswirkungen auf das Produkt identifiziert PAUWELS folgende Gründe für eine erforderliche Anpassung [Horn-04], [Pauw-01]:

- *Direkte Hinderungsgründe* für globale Produkte sind z. B. Gründe, die durch rechtliche Randbedingungen wie z. B. Gesetze, Vorschriften oder Normen beeinflusst sind.
- *Semidirekte Hinderungsgründe* entstehen i.d.R. aufgrund technischer Umfeldbedingungen, wie Netzspannung, besondere Maßnahmen zur Gewährleistung von Tropenschutz in tropischen Regionen, Transportbedingungen etc.

³⁵ PECS: Physis, Emotion, Cognition, Social Characteristics

- *Indirekte Hinderungsgründe* entstehen grundsätzlich durch kulturelle Umfeldbedingungen. In diesem Fall ist das Produkt einführbar und auch funktionsfähig, wird jedoch vom Kunden nicht angenommen.

Im Bereich Prozesse werden vorwiegend Aspekte untersucht, die bei der Anpassung eines Produktes an örtliche Randbedingungen zu beachten sind. Ein Aspekt, der direkt mit der Zusammenarbeit in interkulturellen Teams verbunden ist, sind die vorgeschlagenen Erweiterungen im Bereich der Teamarbeit. PAUWELS unterscheidet einerseits die Zusammensetzung der Teams (multikulturell, bikulturell) sowie die zu beobachtenden Synergieeffekte, d. h. die gegenseitige Ergänzung von Stärken und Haltungen.

Der Ansatz nach PAUWELS betrachtet zwar die Beeinflussung von Prozessen und Produkten in Abhängigkeit von Umfeldbedingungen in fremden Märkten, jedoch wird der eigentliche Produktentwicklungsprozess mit interkulturellen Entwicklungspartnern nicht explizit betrachtet [Sand-05]. Eine Ausnahme bilden die genannten Aspekte bzgl. der Teamarbeit, die jedoch generisch sind und nicht in direktem Bezug zu Produktentwicklungsprozessen stehen. Die Darstellung einer durchgängigen Methode zur Durchführung interkultureller Produktentwicklung, die kulturelle Einflüsse auf den Entwicklungsprozess und das zu entwickelnde Produkt beinhaltet, erfolgt dabei im Wesentlichen in textuell beschreibender Form anhand von Empfehlungen und Beispielen. Es wird dabei kein umfassendes formales Modell in rechnerverarbeitbarer Form erstellt. Aufgrund kultureller Randbedingungen werden Empfehlungen bzgl. der Produktentwicklung *für* fremde Märkte, jedoch nicht *in* fremden Märkten in direkter Zusammenarbeit mit Personen unterschiedlicher Kulturkreise entwickelt. Im Kontext dieser Arbeit wird also nicht explizit die verteilte Zusammenarbeit interkultureller Teams im Bereich der gemeinsamen Produktentwicklung betrachtet.

3.6.2 Ansatz von Sander zur Bereitstellung von Wissen für interkulturelle Entwicklungspartnerschaften

Die Dissertation von SANDER entstand ebenso wie die Arbeit von HORNBERG im Rahmen des EU-China-Forschungsprojektes DRAGON. Im Gegensatz zur Arbeit von HORNBERG (siehe Abschnitt 3.4.2) liegt der Fokus bei SANDER auf der Unterstützung interkultureller Aspekte.

Hierzu wurden vier Module entwickelt, um den Ingenieur bei seiner Arbeit innerhalb eines interkulturellen Projektes zu unterstützen. Das Modul Kulturelles Wissensmanagement stellt das Kernstück des Konzepts des Ansatzes von SANDER dar. Es erlaubt die Speicherung von Erfahrungswissen in Form von Situationen, die in der Vergangenheit zu Problemen geführt haben. Die Definition des Erfahrungswissens erfolgt hierbei auf Basis der Prozess-Spezifikation, d. h. es wird spezifiziert, in welchem Prozess-Schritt ein bestimmtes Problem aufgetreten ist und welche Kulturen beteiligt sind. Weiterhin ist noch eine mögliche Lösungsstrategie zur Vermeidung des Problems anzugeben.

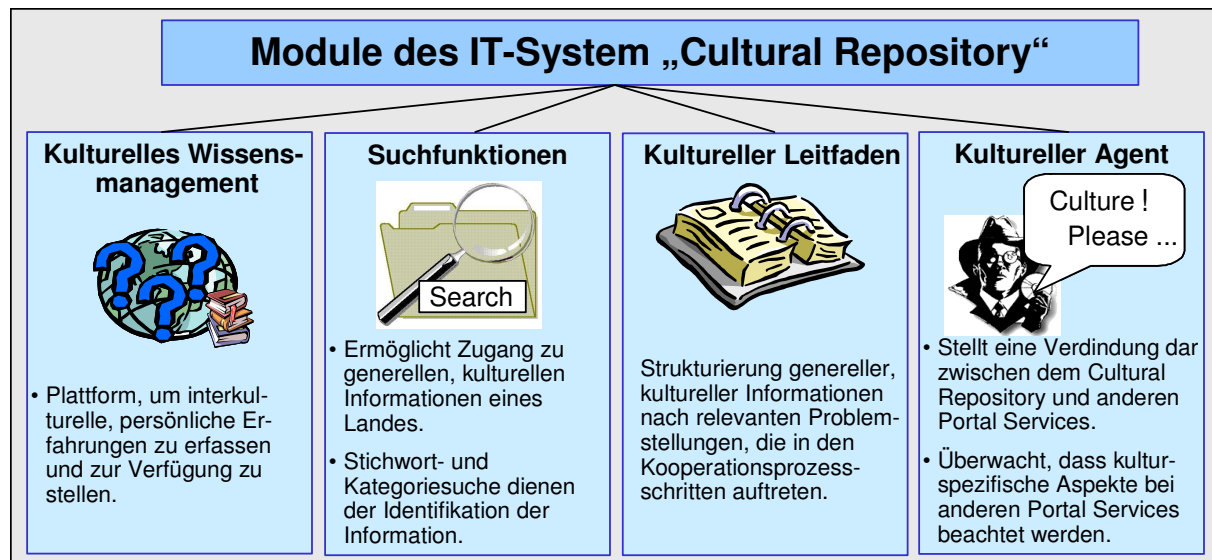


Bild 3-12: Module des Cultural Repositories nach [Sand-05]

Um das Erfahrungswissen nutzen zu können, muss der Ingenieur eine Anfrage stellen, in welcher er seine aktuelle Situation spezifiziert. Mit Hilfe fallbasierten Schließens wird ermittelt, ob eine ähnliche Situation zu Problemen geführt hat. Neben der Suchfunktion stellt auch der kulturelle Leitfaden allgemeine Informationen zu kulturellen Besonderheiten, Gesetzen etc. bereit, die für ein Land von Interesse sind. Der kulturelle Leitfaden stellt die Informationen strukturiert dar, während die Suchfunktion eine Stichwortsuche etc. auf diesen Informationen ermöglicht.

Während die ersten drei Module eine passive Unterstützung liefern, ist das Konzept des kulturellen Agenten der erste Ansatz einer aktiven Unterstützung des Ingenieurs. Der kulturelle Agent überwacht die Aufrufe von Services innerhalb der Kooperation und versucht kulturbedingte Probleme zu identifizieren. Hierzu berücksichtigt der Agent jedoch nicht den Prozess-Kontext, sondern lediglich die durch den Service-Aufruf geänderten Daten. Da Services keinen Zustand besitzen (siehe Abschnitt 3.2.2), kann nur in seltenen Fällen eine Beziehung zu den kulturellen Informationen hergestellt werden. Dadurch sind die Ergebnisse nicht hinreichend für eine aktive Unterstützung des Ingenieurs.

Bewertung

Der von SANDER vorgestellte Ansatz leistet einen Beitrag zur Vermeidung von kulturbedingten Problemen durch Bereitstellung von Erfahrungswissen. Um hiervon zu profitieren, muss der Anwender allerdings eine entsprechende Anfrage stellen. Dass heißt, es muss vorausgesetzt werden, dass dem Ingenieur bewusst ist, dass er sich in einer Situation befindet, die evtl. interkulturell brisant ist. Dies ist jedoch oft nicht der Fall. Das Konzept des kulturellen Agenten versucht diesem Problem entgegenzuwirken. Durch die Beschränkung auf die in [Sand-05] vorgeschlagene Überwachung von Services und der geänderten Daten kann dies jedoch kaum erreicht werden.

Da der Ansatz auf Erfahrungswissen basiert, zeigt sich der Nutzen erst über einen längeren Zeitraum, nachdem hinreichend viele negative Erfahrungen gemacht wurden. Somit ist dieser Ansatz vor allem für größere Unternehmen geeignet, die viele internationale Projekte durchführen und sich eine entsprechende „Vorlaufzeit“ leisten können.

Die Arbeit berücksichtigt nicht den Aufbau einer einheitlichen Semantik zur Vermeidung von kulturbedingten Missverständnissen.

3.7 Ansätze zur Bereitstellung von ontologiebasiertem Wissen im Bereich Produktentwicklung

Ein Ziel der Arbeit ist es, die Grundlage für unternehmensübergreifendes Wissensmanagement zu legen. Dazu werden in den nächsten Abschnitten Ansätze vorgestellt, die Lösungswege aufzeigen, um ontologiebasiertes Wissen in der Produktentwicklung bereitzustellen, insofern diese für die vorliegende Arbeit relevant sind.

3.7.1 Rechnerunterstützte Verarbeitung und Anwendung ontologiebasierten Wissens

POCSAI beschreibt in [Pocs-00] die Grundlagen für die rechnerunterstützte Verarbeitung und Anwendung ontologiebasierten Wissens für die Produktentwicklung. Basierend auf dem interdisziplinären Produktentwicklungsprozess, an dem Personen mit unterschiedlichen Expertenwissen und dementsprechend Begriffswelten beteiligt sind, soll ein Austausch zwischen den Experten rechnerunterstützt ermöglicht werden.

Ziel der Arbeit ist es, dem Ingenieur Werkzeuge in die Hand zu geben, um den Aufbau einer ontologiebasierten Wissensbasis zu unterstützen und zu nutzen. Der beschriebene Ansatz basiert darauf, Ontologien von verschiedenen Domänen aufeinander abzubilden. Die Abbildungsregeln müssen allerdings weiterhin manuell erstellt werden. Innerhalb der Arbeit werden keine Hilfestellungen gegeben, wie dies erfolgen kann. Insofern ist die Frage nach dem Aufbau domänenübergreifender Ontologien weiterhin nicht geklärt. Weiterhin berücksichtigt POCSAI keine interkulturellen Aspekte. Neben der Arbeit von POCSAI gibt es weitere Ansätze um disziplinübergreifende Kooperationen mit Ontologien zu unterstützen, die allerdings dieselbe Problematik haben.

3.7.2 Forschungsschwerpunkt Informationslogistik (Infolog)

Ziel des institutsübergreifenden Forschungsschwerpunkts Informationslogistik [Info-02] des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst (MWK) des Landes Baden-Württemberg war es, die Projektierung, die Projektbearbeitung und das Projektcontrolling branchenübergreifender Kooperationen zu unterstützen. Diese Unterstützung hat zum Ziel, die Beherrschung schlecht strukturierbarer, verteilter Planungs- und Entwicklungsprozesse zu vereinfachen. Durch die Einführung einer Prozesssicht zur Planung, Steuerung und Durchfüh-

rung interdisziplinärer, branchenübergreifender Kooperationen können Vorgänge innerhalb von Unternehmen als Prozess mit aufeinander folgenden Schritten definiert werden.

Ein wesentlicher Aspekt hierbei ist die Repräsentation und kontextorientierte Bereitstellung und Wiederverwendung des Prozesswissens. Innerhalb des Forschungsprojekts wurden Methoden entwickelt, die eine Unterstützung der Modellierung von Planungsprozessen ermöglichen, wie sie bei branchenübergreifenden Kooperationen zur Anwendung kommen [Klim-03]. Das entwickelte System ermöglicht zum einen die Modellierung von Vorgängen und zum anderen eine kontextbezogene Suche nach Prozessen anhand existierender Aufgaben- und Problemstellungen.

Für die vorliegende Arbeit sind insbesondere die Methoden zur wissensbasierten Unterstützung im Bereich der Kooperationen sowie zur kontextbezogenen Suche von Interesse. Wie bei den zuvor dargestellten Ansätzen liegen auch in diesem Fall keine Kenntnisse vor, ob und wie eine Übertragung der Lösungsansätze auf den Bereich Kultur möglich ist.

3.7.3 Ontobroker von Ontoprise

Die Firma Ontoprise stellt mit der Software Ontobroker eine Lösung im Bereich ontologiebasiertes Wissensmanagement zur Verfügung. Ontobroker bietet mehrere Werkzeuge, die ontologiebasierte Anfragen durchführen können.

Ontobroker verwendet intern eine auf F-Logik³⁶ (Frame-Logic) basierende Sprache zur Definition von Ontologien und zur Repräsentation in einer Wissensbasis, wodurch das computerbasierte automatische Schließen (inferencing) realisiert wird (siehe Abschnitt 2.3.3) [ONTO-07], [FHDK-03]. Aus Gründen der Kompatibilität bietet Ontobroker ebenfalls eine Schnittstelle zu den standardisierten Formaten RDF und OWL an (siehe Abschnitt 2.3.3). Ontobroker kann neben der Beantwortung von ontologiebasierten (semantischen) Suchanfragen auch zur Entwicklung von Anwendungen verwendet werden [Erdm-01]. Der Ontobroker kann ähnlich wie ein PDM-System auf verteilte Datenbestände eines Unternehmens zugreifen. Für den Einsatz im Bereich PLM sind die relevanten Daten mittels einer (unternehmensspezifischen) Ontologie zu beschreiben. Aus diesem Grund wird der Ontobroker meist nur unternehmensintern eingesetzt.

Grundsätzlich ist ein einheitliches Verständnis Voraussetzung für ein effizientes (ontologiebasiertes) Wissensmanagement. Dies ist allerdings gerade bei interkulturellen Kooperationen meist nicht gegeben. Für den Einsatz des Ontobrokers (oder anderer ontologiebasierter Wissensmanagement-Werkzeuge) müssen alle kooperationsrelevanten Daten auf Basis einer einheitlichen Ontologie beschrieben werden. Die generischen Ansätze zum Aufbau von Ontolo-

³⁶ F-Logik ist eine objektorientierte regelbasierte Sprache, die von Michael Kiefer (State University of New York) und Georg Lausen (Universität Mannheim) entwickelt und in [KiLa-89] vorgestellt wurde. F-Logic wurde ursprünglich im Bereich deduktive Datenbanken entwickelt. Heute ist F-Logik eine Sprache, die im Zusammenhang mit der Modellierung und Verarbeitung von Ontologien für Web Services relevant ist [FHDK-03]. F-Logic stellt dabei eine Sprache zur Formulierung von Ontologien ähnlich OWL, RDF dar.

gien (siehe Abschnitt 2.3.4) sind zu aufwändig und für kurz- und mittelfristige Kooperationen nicht geeignet.

3.8 Zusammenfassende Bewertung bestehender Ansätze

Die vorangegangene Analyse der bestehenden Ansätze hat gezeigt, dass beim Aufbau einer IT-gestützten Kooperationsplattform zur Unterstützung kurz- und mittelfristiger interkulturelle Entwicklungspartnerschaften weiterhin wesentliche Defizite bestehen. Diese sollen nachfolgend diskutiert werden.

Defizite existierender EAI-Lösungen

Existierende EAI-Lösungen decken im Wesentlichen die benötigten technischen Funktionen für eine unternehmensübergreifende Kooperationslösung ab. Die Autoren der von der Europäischen Kommission in Auftrag gegebenen Studie [EIRo-08] zur Festlegung einer „Roadmap for Enterprise Interoperability“ (deutsch: Meilensteinplanung für Interoperabilität zwischen Unternehmen) kamen jedoch zum Schluss, dass die existierende EAI-Software zu monolithisch und dadurch nicht hinreichend skalierbar ist. Dadurch ist der Aufbau einer an den Gegebenheiten einer Kooperation orientierten EAI-Lösung nur bedingt zu realisieren.

Fehlendes Vorgehensmodell für den Aufbau einer Kooperationslösung auf Basis von EAI-Lösungen

Wie oben beschrieben, ist die existierende EAI-Software vom technologischen Standpunkt aus betrachtet hinreichend, um die technologischen Herausforderungen einer unternehmensübergreifenden Kooperationslösung zu unterstützen. Es fehlt jedoch ein geeignetes Vorgehensmodell zum Aufbau einer EAI-basierten Kooperationslösung [EIRo-08] insbesondere im Bereich Collaborative Engineering.

Defizite bestehender Ansätze zum Aufbau eines semantischen Modells für eine Kooperation

Für den Aufbau einer Kooperationslösung für (interkulturelle) Entwicklungspartnerschaften ist es erforderlich, die unternehmensübergreifenden Prozesse und Artefakte entsprechend den Gegebenheiten der Kooperation zu spezifizieren. Hierbei stellen existierende Ansätze Methoden zur Verfügung, wie, ausgehend von vorgegebenen Referenzmodellen (Referenzprozesse (Prozesse), Referenzdatenmodell (Artefakte)), ein angepasstes Modell abgeleitet werden kann. Der Aufbau des semantischen Modells erfolgt jedoch weitgehend manuell.

Bei der Spezifikation der Artefakte werden zwar die Geschäftsprozesse berücksichtigt (z. B. [Horn-04]), allerdings erfolgt die Beschreibung weiterhin in getrennten semantischen Modellen (z. B. Prozessbeschreibung durch BPEL, ARIS und Artefakt-Beschreibung durch objektorientiertes Datenmodell oder Ontologie). Dadurch muss die semantische Kohärenz der Prozess- und Artefakt-Beschreibung manuell hergestellt werden, was aufgrund der Komplexität und des hohen Aufwands schwierig umzusetzen ist. Die nicht kohärente Beschreibung der

kooperationsrelevanten Aspekte ist vor allem bei interkulturellen Partnerschaften problematisch, da die beteiligten Personen aufgrund ihrer Kultur ein unterschiedliches Verständnis von bestimmten Konzepten haben können. Die Unified Modelling Language (UML) bietet zwar die Möglichkeit, sowohl dynamische (z. B. Prozessbeschreibung durch Activity Diagramm) als auch statische Aspekte (z.B. Klassendiagramm) auszudrücken, diese sind jedoch in unterschiedlichen Diagrammen und nicht notwendiger Weise kohärent.

Die Fundamentalontologie von DOLCE erlaubt prinzipiell die Beschreibung von Artefakten und Prozessen in einem semantischen Modell (Ontologie) und garantiert dadurch die Kohärenz. Es fehlt jedoch eine geeignete Vorgehensweise, wie aus einer Referenzontologie, welche Prozesse und Artefakte beschreibt, ein an der Kooperation angepasstes semantisches Modell abgeleitet werden kann. Weiterhin werden derartige integrierte semantische Modelle von existierenden EAI-Technologien (noch) nicht unterstützt.

Fehlende Automatisierung beim Aufbau eines an die Kooperation angepassten Datenmodells

Der Aufbau der semantischen Modelle (z. B. objektorientiertes oder relationales Datenmodell, Geschäftsprozess-Modell) erfolgt meist auf Basis von Referenzmodellen. Hierfür sind zwar im Bereich PLM verschiedene Vorgehensmodelle bekannt (z. B. [Stau-00], [Horn-04]), jedoch läuft der Prozess zum Aufbau solcher Modelle meist vollständig manuell ab.

Zur Reduktion der Komplexität der Kooperation ist zum einen ein an die Kooperation angepasstes Datenmodell zu erstellen, zum anderen muss die Selektion auf Instanzebene stattfinden. Dies wird durch bisherige Ansätze bislang nur unzureichend unterstützt. HORNBERG [Horn-04] beschreibt in seiner Arbeit ein entsprechendes Vorgehensmodell zur Reduktion der Komplexität auf Instanzebene. Dies läuft allerdings vollständig manuell ab.

Defizite bestehender Ansätze zur Erstellung von Abbildungsvorschriften zwischen Datenmodellen

Aufgrund der existierenden heterogenen Systemlandschaft ist die effiziente Anbindung externer Systeme ein wesentlicher Aspekt zur Durchführung kooperativer Entwicklungsprojekte. Nach ENGEL [Enge-06] und RAHM [MaBR-01] ist hierbei die Erstellung von Abbildungsvorschriften zwischen den Datenmodellen der zu integrierenden Systeme bzw. dem in der Kooperation verwendeten gemeinsamen Datenmodell eine zentrale Aufgabe.

Bestehende Ansätze zur automatisierten Ableitung von Abbildungsregeln zwischen Datenmodellen (siehe Abschnitt 3.5.1) liefern zurzeit allerdings nur für relativ kleine Modelle gute Ergebnisse und sind daher für den praktischen Einsatz noch nicht anwendbar [John-06]. Durch den Einsatz von Lösungsspeichern (z. B. ENGEL [Enge-06]) können evtl. bessere Ergebnisse erzielt werden, jedoch muss hierbei das Verfahren mehrmals in ähnlichem Kontext angewendet werden (siehe [Enge-06], S. 179).

Letztendlich muss eine manuelle Überprüfung der generierten Abbildungsvorschriften durch den IT-Experten erfolgen. Datenmodelle sind bezüglich der Implementierung optimiert und

verwenden oft abstrakte Typen, die für den Domänen-Experten nicht verständlich sind. Ein Versuch dem Rechnung zu tragen ist die Spezifikation der ISO-Norm STEP API-214 in anwenderorientierter (Application Reference Model, ARM) und implementierungsorientierter Sicht (Application Interpreted Model, AIM). Allerdings ist bereits die anwenderorientierte Sicht sehr komplex und abstrakt und damit für den Domänen-Experten (hier: Maschinenbau-Ingenieur) schwer verständlich, zeigt aber, dass die Notwendigkeit zur Unterscheidung zwischen den Modellierungsebenen bereits erkannt wurde.

Eine Ontologie (d. h. anwenderorientiertes Modell) bietet die Möglichkeit, einen Sachverhalt entsprechend der Begriffswelt des Anwenders (z. B. „Baugruppe“ statt „Item“) zu modellieren, sodass es vom Domänenexperten leichter verstanden werden kann. Deshalb schlägt unter anderem [John-06] vor, die Abbildungsvorschriften zwischen Datenmodellen auf Basis von Ontologien zu definieren (siehe Abschnitt 3.5.2). Es fehlt jedoch ein Ansatz, der den ontologiebasierten Ansatz mit Verfahren zur automatisierten Generierung von Abbildungsregeln sinnvoll verbindet.

Defizite bestehender Ansätze zur Unterstützung interkultureller Kooperationen

Bestehende Ansätze zur Unterstützung interkultureller Entwicklungspartnerschaften adressieren oft die Management-Ebene. Hier werden entsprechende Seminare und Schulungen angeboten. Ansätze zur Unterstützung des kooperativen Entwicklungsprozesses sind nur ungenügend vorhanden [Sand-05]. Existierende Lösungen bieten nur eine *passive* Unterstützung in der Form, dass der Ingenieur in einer Informationsquelle (z. B. Erfahrungsberichte, Best Practice oder generelle Richtlinien) über mögliche kulturelle Probleme nachlesen kann. Es fehlt jedoch an *aktiver* Unterstützung, indem ein Ingenieur auf potentielle Probleme aufmerksam gemacht wird. Weiterhin wird der Aufbau eines gemeinsamen Verständnisses zwischen den Projektpartnern für die kooperationsrelevanten Artefakte und Prozesse kaum bzw. unzureichend unterstützt.

Defizite des ontologiebasierten unternehmensübergreifenden Wissensmanagements im Bereich PLM

Die grundlegende Idee des ontologiebasierten Wissensmanagements ist, dass durch Anwendung von Inferenz-Mechanismen Datenbestände semantisch durchsucht werden können. Auf diese Weise lässt sich beispielsweise eine semantische Suche anstelle einer Volltextsuche durchführen. Weiterhin können Datenbestände auf Konsistenz untersucht werden. Die technologischen Grundlagen hierfür sind durch die bestehenden Lösungen (z. B. Ontobroker) gegeben. Zur maschinellen Auswertung von Datenbeständen müssen diese auf Basis einer Ontologie beschrieben werden. Das Problem hierbei ist, dass es keine anerkannte Ontologie gibt, die alle relevanten Aspekte beschreibt und hierzu verwendet werden könnte. Jedes kulturelle System (z. B. Unternehmen) kann hierbei eine eigene semantische Interpretation von Begriffen haben. Beispielsweise wird bei Porsche der Begriff DMU als Synonym für PDM verwendet. Im Allgemeinen steht DMU allerdings für Digital Mock-Up und bezeichnet ein computergestütztes Versuchsmodell, das die Produktstruktur (Baugruppen, Einzelteile) und deren lage-richtige Geometrie eines Produktes repräsentiert [Ovtc-07].

Daher gibt es bereits einige Dienstleister (z. B. Ontoprise), die den Aufbau einer Ontologie für ein Unternehmen auf Basis von Vorgehensmodellen (siehe Abschnitt 2.3.4) durchführen. Dies ist für kurz- und mittelfristige Kooperationen aufgrund des Aufwands nicht zweckmäßig.

4 Anforderungen und grundlegendes Konzept

In diesem Kapitel werden zunächst, basierend auf der Analyse des Standes der Technik, die Anforderungen an das Konzept definiert. Unter der Berücksichtigung dieser Anforderungen wird das Lösungskonzept für den effizienten Aufbau einer Kooperationslösung für interkulturelle Entwicklungspartnerschaften entwickelt.

4.1 Anforderungen an das Konzept

Das Ziel der Arbeit ist der Aufbau einer Kooperationslösung (IT-Infrastruktur auf Basis von EAI-Technologie) zur Unterstützung von kurz- und mittelfristigen interkulturellen Kooperationen. Der im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Lösungsansatz beinhaltet die Modularisierung von (bestehender) EAI-Technologie, sodass diese wie Elemente eines Baukastens zu einer Gesamtlösung zusammengesetzt werden können. Schwerpunkt der Arbeit ist schließlich das Vorgehensmodell (Systembaumusterplan) zum Aufbau der Kooperationslösung auf Basis der Bausteine.

Kooperationen finden heutzutage oft domänenübergreifend statt. Jede Domäne (z.B. Mechanik, Elektronik, Informatik) besitzt eine gewisse, z. T. kulturabhängige Semantik, die durch Begriffe (Konzepte) und deren Beziehungen zueinander in semantischen Modellen beschrieben werden kann. Bild 4-1 zeigt exemplarisch die kooperationsrelevante Semantik (Konzepte) in einer domänenübergreifenden Kooperation zwischen Mechanik und Elektronik³⁷. Die bestehenden domänenorientierten Software-Anwendungen (z.B. MCAD³⁸-, CAE-, ECAD³⁹- oder PDM-System) liefern eine Unterstützung für Problemstellungen in der jeweiligen Domäne und sind in der Lage, die wesentlichen Konzepte der jeweiligen Domäne abzubilden, die für den Entwicklungsprozess relevant sind. D.h. sie besitzen ein semantisches Modell, das den relevanten Teil der Semantik beschreibt. Die Beschreibung der Semantik (d.h. das semantische Modell) kann in den einzelnen Anwendungen auf unterschiedliche Weise erfolgen (z.B. verwenden MCAD-Systeme unterschiedliche Datenmodelle und Schnittstellenspezifikationen zur Repräsentation der 3D-Geometrie sowie Produktstrukturen).

³⁷ Einige Hersteller bieten mittlerweile Erweiterungsmodule an, um die Lücke zwischen den Domänen zu schließen. Beispielsweise besitzen einige ECAD-Systeme mittlerweile die Möglichkeit zur 3D-Visualisierung eines Boards über tesselierte Oberflächen. Diese Sicht kann nicht editiert werden etc. Das heißt der Benutzer arbeitet nur in einem 2D-Layout und kann sich ab und an eine 3D-Sicht erzeugen. Eine 3D-Kollisionsüberprüfung ist weiterhin nur in einem MCAD-System möglich. Ebenso wie die Verschiebung von Komponenten in der 3D-Sicht.

³⁸ MCAD bezeichnet CAD-Systeme, die in der Domäne Maschinenbau eingesetzt werden. Sie fokussieren die Gestaltmodellierung (mittlerweile meist 3D).

³⁹ ECAD bezeichnet CAD-Systeme, die in der Domäne Elektrotechnik eingesetzt werden. Sie fokussieren die Modellierung des logischen Schaltungsaufbaus sowie das Layout der Komponenten auf einer Platine (PCB-Board). Diese Systeme arbeiten 2D-orientiert, bieten aber teilweise eine 3D-Ansicht (nicht editierbar).

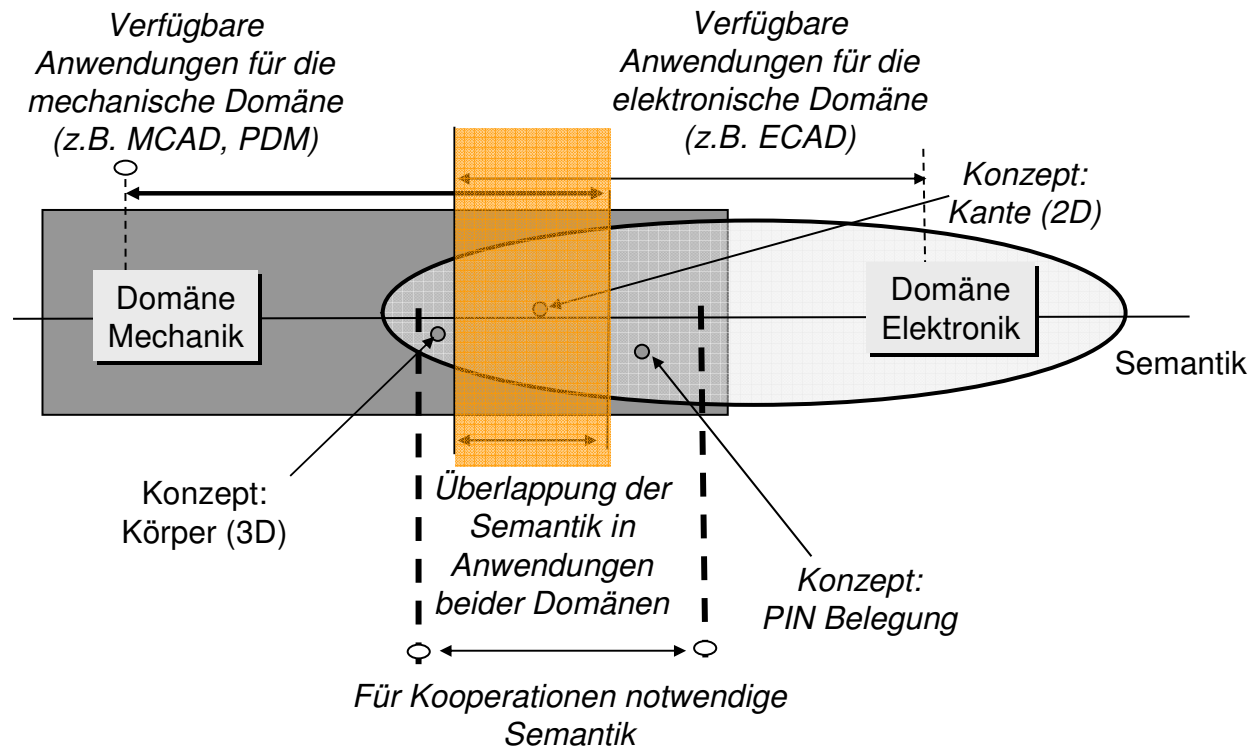


Bild 4-1: Kooperationsrelevanten Konzepte in einer domänenübergreifenden Kooperation

Die Semantiken der beiden Domänen Mechanik und Elektronik überschneiden sich. Beispielsweise kennen und nutzen die Anwendungen beider Domänen die Begriffe „Punkt“ und „Kante“ zur Beschreibung einer 2D-Geometrie. Die von den bestehenden domänenorientierten Anwendungen derzeitig repräsentierbare Schnittmenge ist jedoch nicht ausreichend, um den wachsenden Herausforderungen der domänenübergreifenden Produktentwicklung zu genügen. Beispielsweise „kennt“ ein MCAD-System das Konzept einer „PIN-Belegung“, mit dessen Hilfe beispielsweise Mikrocontroller angesprochen werden, nicht. Somit kann die PIN-Belegung eines Mikrocontrollers in einem MCAD-System nicht geändert werden. Die Bestimmung des Umfangs der Schnittmenge zwischen den Semantiken der beiden Domänen ist eine wesentliche Anforderung an den Systembaumusterplan. Je nach Kooperation kann der Umfang stark variieren.

Eine weitere Anforderung ist die Berücksichtigung der Beschreibung der Semantik der betrachteten Domänen. Beispielsweise wird in der Domäne Maschinenbau ein Element auf einer Platine (z.B. Kondensator) als Bauteil bezeichnet, während in der Domäne Elektronik hierfür der Begriff Komponente verwendet wird. So wie es zwischen den (Ingenieurs-)Domänen semantische Unterschiede gibt, existieren diese auch zwischen den beteiligten Kulturen. Beispielsweise ist die Semantik des Konzepts „freigegeben“ (engl.: released) in Bezug auf eine technische Zeichnung in Deutschland und China meist unterschiedlich: In Deutschland meint der Zustand „freigegeben“ (oder „released“) bei einer technischen Zeichnung, dass sich nichts mehr daran ändert (oder nur aufgrund eines formalen Änderungsprozesses). In China wird es im Allgemeinen so aufgefasst, dass nun grob die Randbedingungen festgelegt sind.

Nachfolgend werden die Anforderungen an den Systembaumusterplan detailliert dargestellt.

4.1.1 Allgemeine Anforderungen

Im Abschnitt 3.8 wurden die Defizite der bestehenden Ansätze zusammengefasst. Hierbei wurde identifiziert, dass die Berücksichtigung interkultureller Aspekte für die Kooperation essentiell ist. Weiterhin wurde herausgearbeitet, dass die semantisch kohärente Beschreibung der kooperationsrelevanten Aspekte nicht ausreichend unterstützt wird. Diese Defizite sollen durch die Formulierung der allgemeinen Anforderungen berücksichtigt werden.

Anforderung 1: Berücksichtigung kulturbedingter Unterschiede und Probleme

Das kulturelle System der Kooperationspartner (hier: Landeskultur) beeinflusst sowohl ihr Verhalten als auch ihr Verständnis von einigen Begriffen. Das zu erarbeitende Konzept muss diese Besonderheiten berücksichtigen.

Anforderung 2: Kohärente semantische Beschreibung von kooperationsrelevanten Aspekten

Ein wesentlicher Aspekt der Vision des Collaborative Engineering ist die kooperative Produktentwicklung auf Basis einer einheitlichen Semantik [GLHE-03]. Bisherige Ansätze separieren Artefakte (Daten), Prozesse und Services in unterschiedlichen Modellen (Datenmodell, Prozess- und Service-Spezifikation), die nicht direkt in Beziehung stehen. Auf diese Weise kann die semantische Kohärenz nicht garantiert werden. Das Konzept muss einen Mechanismus zur semantisch kohärenten Beschreibung dieser kooperationsrelevanten Aspekte unterstützen.

4.1.2 Anforderungen an ein Vorgehensmodell

Die effiziente Unterstützung unternehmensübergreifender Prozesse (bzw. Workflows) ist der entscheidende Faktor zur Durchführung eines Kooperationsprojektes. In diesem Kontext hat sich das SOA-Paradigma etabliert. Die im Rahmen des Systembaumusterplans erstellte Kooperationslösung muss dementsprechend konform mit diesem Architektur-Konzept sein. Weiterhin sind die Randbedingungen (z. B. kultureller Hintergrund der Partner, existierende IT-Systeme) der Kooperation zu berücksichtigen. Nachfolgend werden detaillierte Anforderungen an ein Vorgehensmodell formuliert.

Anforderung 3: Grundlage zum ontologiebasierten unternehmensübergreifenden Wissensmanagement schaffen, indem die Semantik der innerhalb der Kooperation relevanten Artefakte durch maschinenverarbeitbare Ontologie repräsentiert wird.

Der effiziente Einsatz von ontologiebasiertem Wissensmanagement (siehe Abschnitte 3.2.4 und 3.7) zur maschinellen semantischen Analyse von Datenbeständen scheitert zurzeit vor allem daran, dass keine anerkannte einheitliche „Weltontologie“ existiert (siehe Abschnitt 3.2.4). Die Semantik eines Konzepts kann in jedem kulturellen System unterschiedlich aufgefasst werden. Eine Ontologie beschreibt das Verständnis eines Konzepts in einem bestimmten

Kontext (und kulturellen System). Der Systembaumusterplan muss daher den Aufbau einer auf die Kooperation angepasste Ontologie unterstützen, welche die kooperationsrelevanten Daten beschreibt. Hierzu muss die Tatsache berücksichtigt werden, dass einem Konzept (Begriff) in verschiedenen kulturellen Systemen (z. B. Deutschland, China) eine unterschiedliche Semantik zugeordnet sein kann. Die Datenobjekte müssen schließlich bzgl. der Ontologie beschrieben werden, um ein ontologiebasiertes Wissensmanagements zu ermöglichen.

Anforderung 4: Minimierung des manuellen Aufwandes

Im Rahmen der Arbeit werden häufig wechselnde kurz- und mittelfristige Kooperationen betrachtet. Daher ist der Zeit- und Kostendruck für den Aufbau der Kooperationslösung entsprechend groß. Aus diesem Grund müssen die im Rahmen des Vorgehensmodells durchzuführenden manuellen Schritte einen möglichst geringen zusätzlichen manuellen Aufwand besitzen. Hierzu sind die manuellen Schritte des Vorgehensmodells beispielsweise mit Aktivitäten zu verbinden, die im Rahmen eines jedes Kooperationsprojektes durchzuführen sind (z. B. Spezifikation der unternehmensübergreifenden Prozesse).

Anforderung 5: Automatisierte Erstellung eines an die Kooperation angepassten Datenmodells

Für den Aufbau einer gemeinsamen Struktur aus verschiedenen Datenquellen (z. B. Produktstruktur aus Bauteilen/Baugruppen, die in verschiedenen PDM-Systemen gespeichert sind) ist die Spezifikation eines Datenmodells notwendig.

Existierende statische Datenmodelle zur Beschreibung von Produktdaten (siehe Abschnitt 3.4.1) sind zu komplex und können nicht an die Anforderungen einer flexiblen Kooperation angepasst werden [Horn-04]. Ansätze zur Bestimmung von angepassten Datenmodellen auf Basis von Referenzdatenmodellen (siehe Abschnitt 3.4.2) erfordern einen hohen Grad an manuellem Aufwand und sind daher für flexible, kurz- und mittelfristige Kooperationen nur bedingt geeignet. Aus diesem Grund muss der Systembaumusterplan eine automatisierte Erstellung eines für die Kooperation angepassten Datenmodells vorsehen.

Hierbei wird unter einem an die Kooperation angepassten Datenmodell ein möglichst minimales Teildatenmodell des Referenzdatenmodells verstanden, das alle Objekttypen enthält, die zur Beschreibung der für die Kooperation relevanten Objekte notwendig sind.

Anforderung 6: Reduktion der Komplexität der kooperationsrelevanten Daten

Zur effizienten Durchführung der Kooperation ist die Reduktion der innerhalb der Kooperation betrachteten Daten notwendig. Die Reduktion des Datenmodells auf die wesentlichen Objekttypen ist hierfür evtl. nicht hinreichend. Beispielsweise kann der Objekttyp „Part“ sämtliche Bauteile/Baugruppen beschreiben. Somit kann durch die Reduktion des Datenmodells die Detaillierung der Produktstruktur nicht beschrieben werden, wodurch Eingrenzungen wie „Unterbaugruppen des Konzepts „Getriebe“ sind für die Kooperation nicht relevant“ nicht abgebildet werden können. Die Beschreibung der kooperationsrelevanten Artefakte muss des-

halb auf einer semantisch höheren Ebene erfolgen und der Systembaumusterplan muss hierfür ein Lösungsansatz vorsehen.

Anforderung 7: Unterstützung der Integration existierender Systeme

Neben dem Aufbau eines für die Kooperation angepassten Datenmodells ist die Integration von externen Systemen ein wesentlicher Aspekt beim Aufbau einer Integrationslösung. Nach ENGEL [Enge-06] ist eine der aufwändigsten Tätigkeiten bei der Integration externer Systeme die Spezifikation der Abbildungsregeln zwischen den Datenmodellen dieser Systeme. Es gibt bereits einige Ansätze zur automatisierten Ableitung von Abbildungsregeln zwischen Datenmodellen. Die Überprüfung der gefundenen Abbildungsregeln ist jedoch schwierig, da der Experte meist entweder nur das Datenmodell des externen Systems oder nur das der Kooperation kennt. Weiterhin ist die Güte der generierten Abbildungsregeln für den praktischen Einsatz noch nicht hinreichend.

Aus diesem Grund muss der Systembaumusterplan eine Strategie beinhalten, um bestehende Verfahren mit dem ontologiebasierten Ansatz zum Mapping von Datenmodellen zu kombinieren.

Anforderung 8: Hilfestellung bei der Auswahl der Integrationsvariante

Im Rahmen des Aufbaus einer Kooperationslösung sind verschiedene externe Systeme zu integrieren. Gerade bei kurz- und mittelfristigen Kooperationen ist die Auswahl der den Gegebenheiten der Kooperation angepassten Integrationsvariante wichtig. Der Systembaumusterplan muss eine Hilfestellung zur Auswahl der passenden Integrationsvariante geben.

Anforderung 9: Methodische und softwaretechnische Unterstützung bei der Entwicklung/Anpassung von Services/Applikationen, die zur Bereitstellung ihrer Funktion unternehmensübergreifend auf in verschiedene Systeme verteilte Daten zugreifen müssen.

Typischerweise sind die kooperationsrelevanten Daten auf verschiedene IT-Systeme der Partner verteilt. Deshalb müssen im Rahmen der Kooperation verwendete Services/Applikationen zur Bereitstellung ihrer Funktion auf verteilte Daten zugreifen. Die Entwicklung solcher Software ist meist relativ komplex und zeitaufwändig. Deshalb ist gerade in kurz- und mittelfristigen Kooperationen die Entwicklung besonders kritisch und teilweise nicht rentabel. Aus diesem Grund muss der Systembaumusterplan die effiziente Entwicklung solcher Software methodisch unterstützen.

4.2 Lösungsansatz

Herkömmliche Ansätze sind nicht ausreichend, um die oben genannten Anforderungen in ihrer Gesamtheit zu erfüllen. Sie decken entweder nur Teilaspekte ab oder bieten keinerlei Unterstützung bzgl. der zu lösenden Problemstellungen. In den nachfolgenden Abschnitten wird das Konzept des wissensbasierten Baukasten-Ansatzes zur Unterstützung interkultureller Kooperationen vorgestellt. Ziel des Konzepts ist der effektive Aufbau einer *Kooperationslösung* zur softwaretechnischen Unterstützung von (unternehmensübergreifenden) Ent-

wicklungs- und Wissensmanagement-Prozessen innerhalb einer interkulturellen Kooperation. Unter einer Kooperationslösung wird im Kontext dieser Arbeit eine IT-Infrastruktur verstanden, der ein kooperationspezifisches semantisches Modell zugrunde liegt. Die Kooperationslösung unterstützt die im Rahmen einer Kooperation durchzuführenden unternehmensübergreifenden Prozesse durch Integration bestehender (externer) Softwaresysteme der Kooperationspartner sowie die Entwicklung neuer Anwendungen bzw. Services.

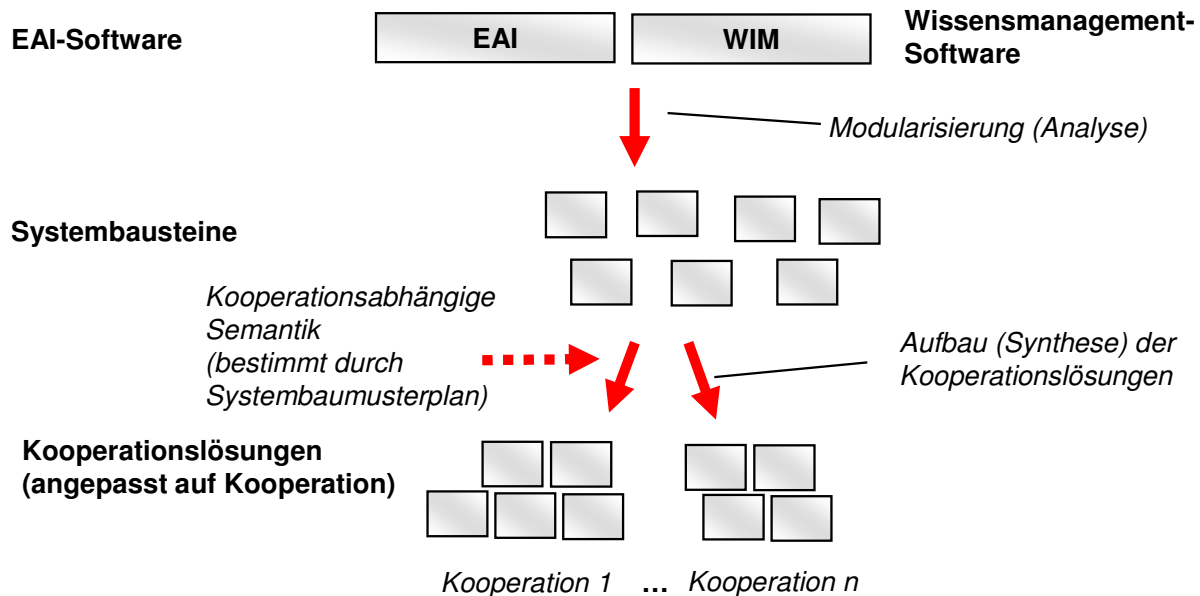


Bild 4-2: Modularisierung bestehender Technologie und Aufbau einer Kooperationslösung gemäß Systembaumusterplan

Das Lösungskonzept zum Aufbau einer Kooperationslösung verwendet den aus der Konstruktionsmethodik bekannten Baukastenansatz. Der in dieser Arbeit beschriebene Baukasten umfasst Softwaremodule (Systembausteine) zur Erstellung einer IT-Infrastruktur und ein Vorgehensmodell (Systembaumusterplan) zur Anwendung des Baukastens. In Analogie zu den Begrifflichkeiten des Baukastenansatzes in der Konstruktion werden die Terme Systembaumusterplan anstelle Vorgehensmodell und Systembaustein anstatt Softwaremodul verwendet.

Die Systembausteine stellen eine Modularisierung bestehender EAI- und Wissensmanagement Software hinsichtlich der in diesem Kontext relevanten Funktionalität dar (siehe Bild 4-2). Dafür werden die wesentlichen Funktionen dieser bekannten Technologien bestimmt und hieraus Systembausteine definiert, welche diese Funktionalitäten anbieten. Dadurch wird von der verwendeten Technologie (z. B. WebSphere) beim Aufbau der Kooperationslösung abstrahiert, wodurch der Systembaumusterplan auf beliebige Vertreter dieser Softwaretechnologie anwendbar ist (insofern die definierte Funktionalität bereitgestellt wird). Der Systembaumusterplan berücksichtigt hierbei die Randbedingungen wie kultureller Hintergrund der Kooperationspartner, zu integrierende Partnersysteme und Prozesse. Die Systembausteine (d. h. die EAI-Software) stellen generische Funktionen (z.B. Zugriff auf verteilte Daten) bereit und besitzen keine domänenspezifische Semantik. Deshalb wird mit Hilfe des Systembau-

musterplans automatisiert ein kooperationsorientiertes, semantisches Modell der für die Kooperation relevanten Konzepte bestimmt. Da die Semantik auf unterschiedliche Weise modelliert sein kann, wird eine semantisch kohärente Integration der externen Partner-Systeme und Prozesse durchgeführt, indem automatisiert Abbildungsregeln zwischen den semantischen Modellen der zu integrierenden Anwendungen abgeleitet werden. Unter Berücksichtigung von Randbedingungen der Kooperation wie Kooperationsdauer, Änderungs- und Zugriffshäufigkeit sowie Grad der semantischen Überdeckung der zu integrierenden Partnersysteme (bzgl. der kooperationsrelevanten Konzepte) wird die Systemarchitektur für die Kooperationslösung spezifiziert und implementiert.

Ein mögliches Anwendungsbeispiel stellt die kooperative Entwicklung eines Produktes durch zwei Unternehmen dar, wobei ein Unternehmen für das mechanische Design und das andere Unternehmen für das elektronische Design zuständig ist. Beide Partner besitzen domänenorientierte Software-Systeme (z.B. ECAD- und MCAD-System), die im Rahmen der Kooperation verwendet werden sollen. Sobald sich die Kooperationspartner auf die Kooperation geeinigt und die Anforderungen spezifiziert haben, kann der Systembaumusterplan durchgeführt werden. Durch Integration in den Konstruktionsprozess werden die relevanten Konzepte aus den Tätigkeiten der Konstrukteure abgeleitet.

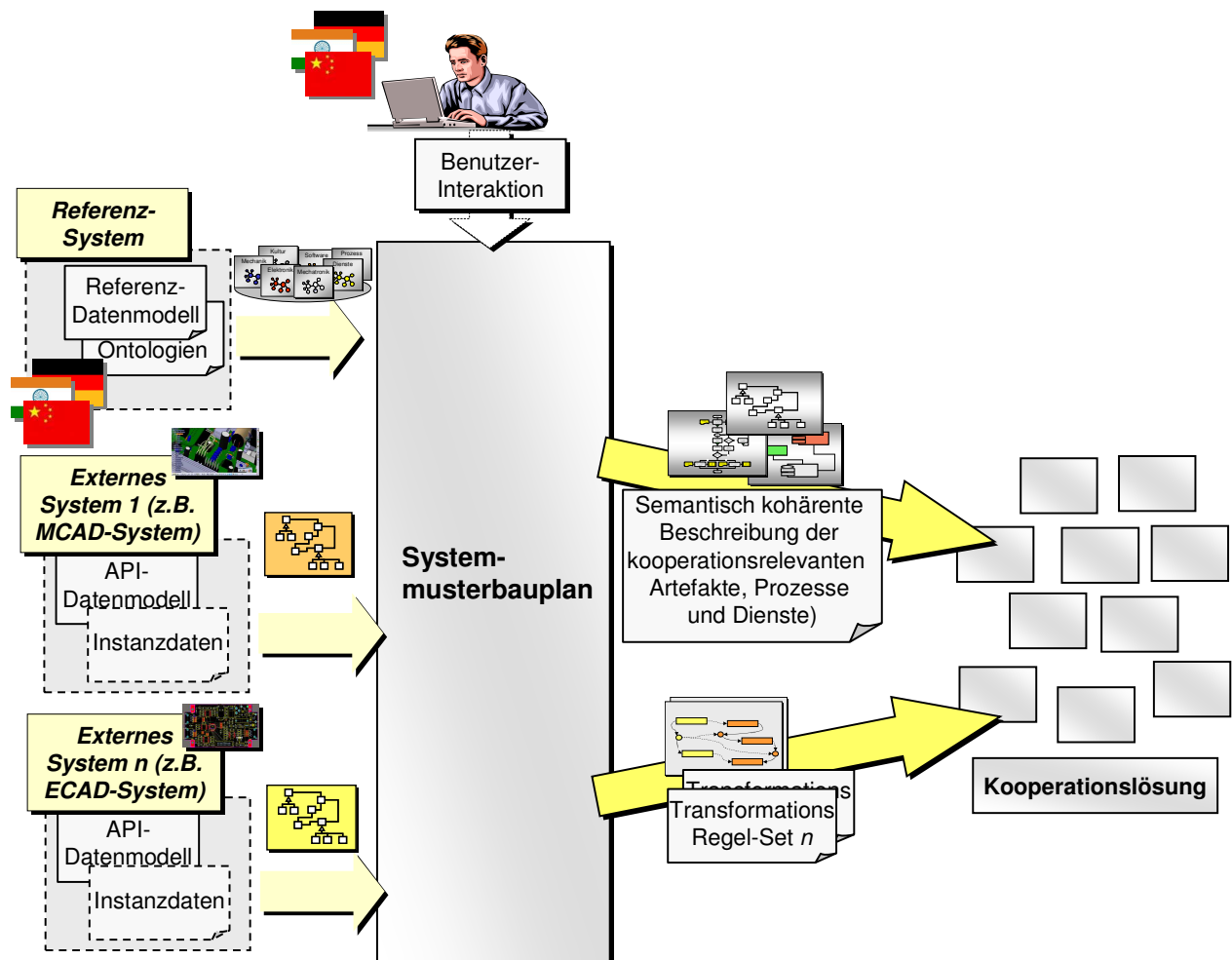
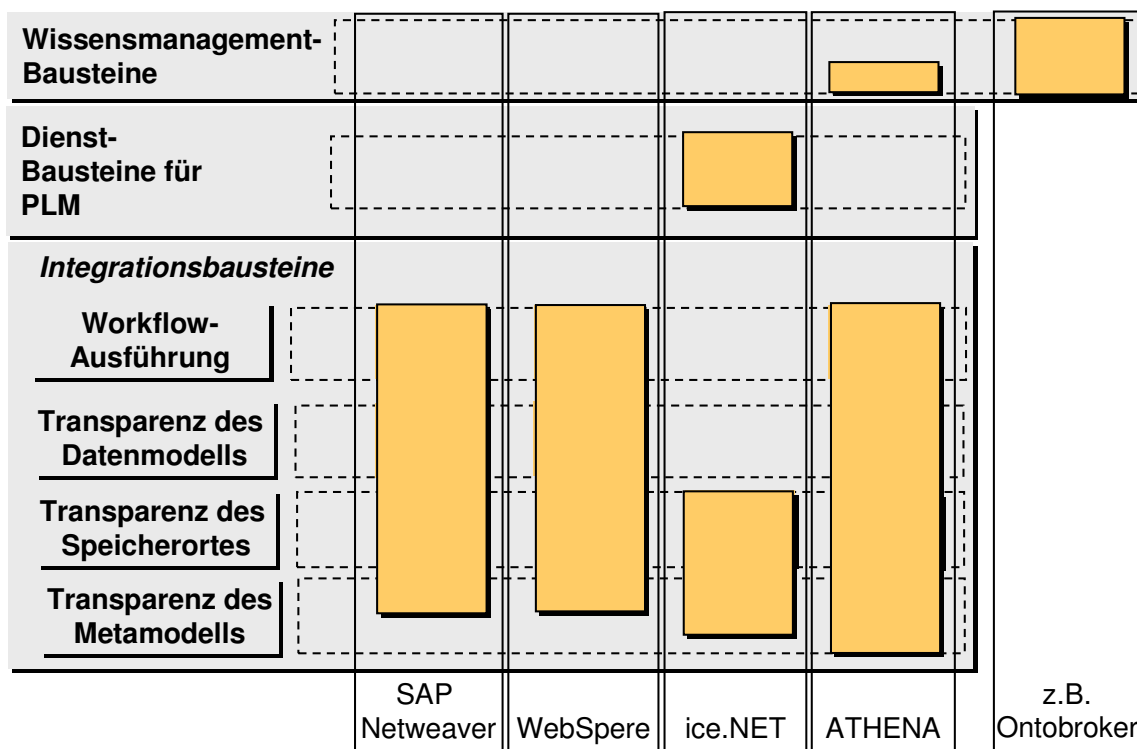


Bild 4-3: Zusammenspiel von Systembaumusterplan und Systembausteinen im Lösungskonzept

Mit dem Output des Systembaumusterplans (kooperationsorientiertes semantisches Modell, Transformationsregeln zwischen den semantischen Modellen der externen Systeme und dem kooperationsorientierten, semantischen Modell) werden die Systembausteine entsprechend den gegebenen Randbedingungen parametrisiert (siehe Bild 4-3).

Die Systembausteine können in *Integrations-*, *Wissensmanagement-* und *Dienstbausteine* unterteilt werden (siehe Bild 4-4). Die Integrationsbausteine stellen eine Modularisierung von bestehenden EAI-Technologien (siehe Abschnitt 3.2.6) wie ice.NET-Plattform, WebSphere oder Wissensmanagementlösungen (siehe Abschnitt 3.7.3) wie Ontobroker dar, wobei von der konkreten Technologie abstrahiert wird. Bestehende EAI-Lösungen ermöglichen den Zugriff auf kooperationsrelevante Informationen, wobei diese so modularisiert werden, dass die Integrationsbausteine folgendes transparent erscheinen lassen:

- Zugriff auf verteilte Daten in Anwendungen eines Kooperationspartners (z. B. das PDM-System)
- Semantisches Modell zur Beschreibung der Daten (z. B. Datenmodell des PDM-Systems eines Partnerunternehmens)
- Metamodell des semantischen Modells (z. B. relationale Repräsentation durch ERD Schema, objektorientierte Repräsentation durch UML oder EXPRESS)




 Abdeckung der Funktionalität der jeweiligen Bausteine durch bestehende Technologien (qualitativ)

Bild 4-4: Klassifikation der Systembausteine und ihre Relation zu bestehenden Technologien

Die integrierte Ausführung der unternehmensübergreifenden Prozesse erfolgt durch den Workflow-Ausführungs-Baustein. Die Wissensmanagement-Bausteine setzen auf der Funktionalität der Integrationsbausteine auf und stellen typische Wissensmanagement-Funktionen (z. B. ontologiebasierte, semantische Suche) bereit. Die Dienst-Bausteine stellen verschiedene Dienste wie beispielsweise die Erzeugung einer Montagestückliste bereit. Diese Bausteine verwenden die Funktion der Wissensmanagement- und Integrations-Bausteine. D. h. der Service „Erzeugung einer Montagestückliste“ kann unabhängig von den PDM-Systemen der Kooperationspartner (wieder-)verwendet werden. Im Gegensatz zu den anderen Bausteinen setzen die Dienst-Bausteine ein bestimmtes semantisches Modell voraus. Zur Erzeugung einer Stückliste ist beispielsweise das Konzept „Part“ (oder Bauteil) obligatorisch. Der Systembaumusterplan stellt sicher, dass alle Konzepte für die kooperationsrelevanten Dienste im semantischen Modell der Kooperation enthalten sind.

Bisherige Ansätze zur Erstellung eines semantischen Modells beschränken sich auf die Beschreibung von Artefakten oder Prozessen. Das semantische Modell zur Beschreibung von Artefakten (Ontologie bzw. Datenmodell) wird hierbei manuell, basierend auf den Modellen der zu integrierenden Systeme oder existierenden Referenzmodellen, aufgebaut. In seltenen Fällen wird zwischen einem anwenderorientierten (oder logischen) semantischen Modell und einem implementierungsorientierten Modell unterschieden. Das anwenderorientierte Modell verwendet für den Experten der Domäne (z. B. Maschinenbauer) bekannte Begriffe und ist dadurch besser verständlich, während das implementierungsorientierte Modell im Hinblick auf die bessere Implementierbarkeit optimiert ist. Der Schritt vom einen in das andere Modell ist bislang manuell durchzuführen, wird allerdings im Rahmen des Systembaumusterplans automatisiert.

Wie bereits eingangs des Abschnitts erwähnt, ist ein wesentliches Problem bei unternehmensübergreifenden, interkulturellen Kooperationen, dass es kein einheitliches Verständnis der unternehmensübergreifenden Prozesse und der von den existierenden Systemen bereitgestellten Artefakte (Daten) und (Software-)Services gibt. Gerade innerhalb von Unternehmenskooperationen, bei denen Partner mit unterschiedlichem kulturellem Hintergrund beteiligt sind, ist die Sicherstellung eines gemeinsamen Verständnisses der innerhalb der Kooperation relevanten Aspekte Grundvoraussetzung für eine effektive Zusammenarbeit und Nutzung von Wissensmanagement. Eine Ontologie beschreibt ein gemeinsames Begriffs-Verständnis einer Domäne (Weltausschnitt), welches maschinell verarbeitbar ist und zwischen mehreren Personen oder Anwendungssystemen geteilt wird (siehe Abschnitt 2.3.4). Daher sieht das Lösungskonzept vor, die innerhalb der Kooperation relevanten

- Artefakte (Daten),
- Software-Services (Dienste) und
- Prozesse

durch eine gemeinsame *Kooperationsontologie* zu beschreiben (siehe Bild 4-5).

Die Kooperationsontologie stellt somit das gemeinsame (anwenderorientierte) semantische Modell dar, mit deren Hilfe Daten (z.B. Fixierungsloch) und Dienste (z.B. Erzeugung einer Stückliste die mechanische und elektronische Komponenten enthält) der externen Systeme sowie die unternehmensübergreifenden Prozesse (z.B. Änderung der Position eines Elementes auf dem PCB-Board) beschrieben werden können. Dies ermöglicht die einheitliche semantische Interpretation und somit semantisch kohärente Integration der Daten bzw. Informationen. Die Kooperationsontologie enthält nur diejenigen Konzepte, die für die Kooperation relevant sind. Wird beispielsweise das mechanische Design von einem Partner übernommen und das elektronische Design von einem andern Partner, so ist die Beschreibung der Geometrie und hiermit Konzepte wie B-Splines evtl. nicht kooperationsrelevant. Somit kann diese Information ausschließlich in den Systemen (z.B. MCAD- oder PDM-System) des für das mechanische Design zuständigen Partners verwaltet werden.

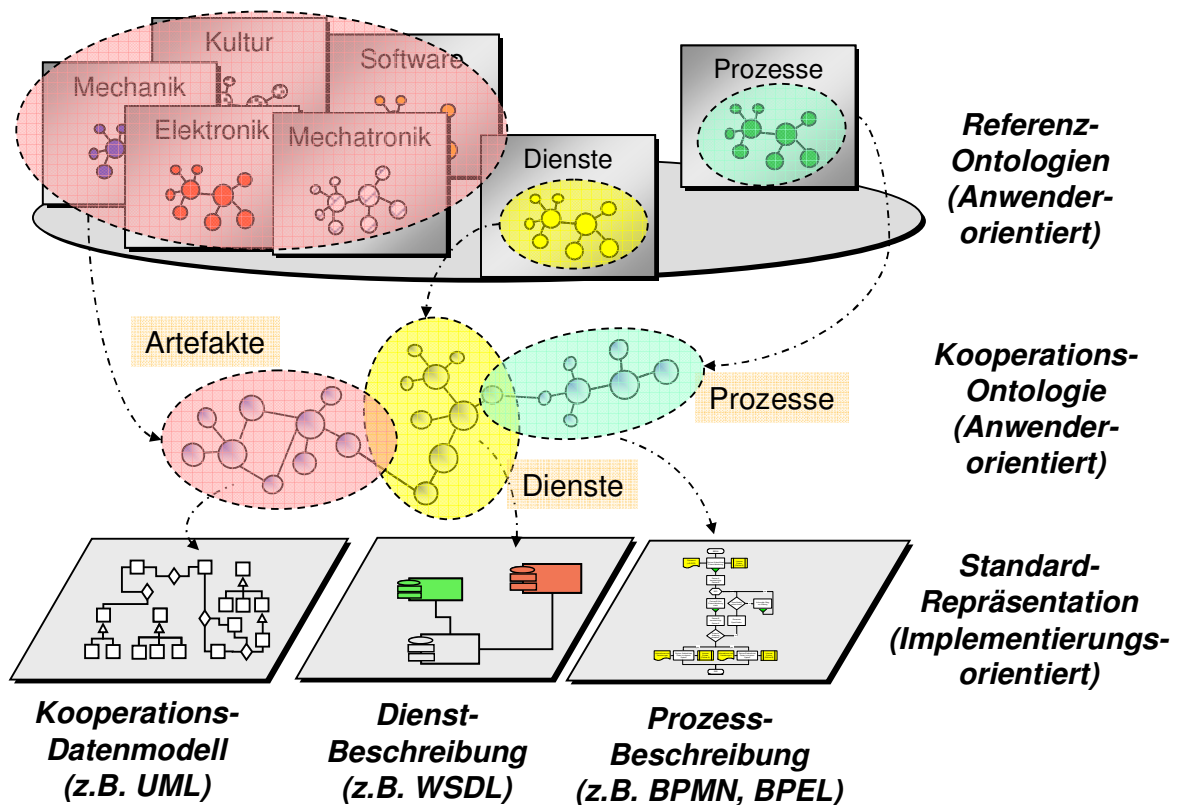


Bild 4-5: Beschreibung von Daten, Services und Prozessen mit einem semantischen Modell und Ableitung in Standardrepräsentation

Durch die semantische Interpretation der Instanzdaten ist die semantische Filterung nicht nur auf Ebene von Objekttypen, sondern auch auf Objekten möglich. Beispielsweise können dadurch bestimmte Bauteile bzw. Baugruppen (z.B. Widerstände, PCB-Board) automatisiert ausgeblendet bzw. als „Blackbox“ dargestellt werden. Auf diese Weise kann die auszutauschende Informationsmenge auf ein Minimum reduziert und dadurch die Komplexität der Kooperation verringert werden. Aus den Konzepten der Kooperationsontologie, welche die

kooperationsrelevanten Artefakte (z.B. Material, Bauteil) beschreiben, wird automatisiert das implementierungsorientierte semantische Modell (Kooperationsdatenmodell) zur Unterstützung der kooperationsrelevanten Prozesse sowie eine maschinenverarbeitbare Repräsentation der Prozesse (bzw. Workflows) und Services abgeleitet. Beispielsweise wird aus der ontologiebasierten Beschreibung des Änderungsprozesses für Elemente eines PCB-Boards eine BPEL-Repräsentation abgeleitet, die später durch den Workflow-Baustein ausgeführt wird. Die Kooperationsontologie bildet auf diese Weise die Grundlage für die Anbindung und Anpassung (bzw. Neuentwicklung) von Software-Anwendungen und unternehmensübergreifendes Wissensmanagement. Im Vergleich mit der direkten Modellierung des Datenmodells (bzw. Ableitung aus Referenzdatenmodellen) ergeben sich hierbei entscheidende Vorteile:

- Die ganzheitliche Betrachtung von Daten, Prozessen und Diensten und die automatisierte Ableitung des Datenmodells verhindern einen Bruch in der ganzheitlichen Betrachtung der kooperationsrelevanten Aspekte.
- Die Verwendung von Ontologien stellt sicher, dass alle Partner dasselbe Verständnis haben.
- Es können sowohl standardisierte Datenmodelle wie z. B. STEP oder auch firmenspezifische Datenmodelle als Referenzdatenmodell verwendet werden. Gibt es keine Präferenz auf für die Verwendung eines Referenzdatenmodells, kann das Kooperationsdatenmodell automatisiert aus der Kooperationsontologie abgeleitet werden.
- Es besteht die Möglichkeit, Referenzmechanismen auf Instanzierungen des Datenmodells (d. h. den Objekten) anzuwenden und damit die Basis für das Wissensmanagement zu schaffen.

Der Aufbau einer Ontologie ist eine komplizierte und zeitaufwändige Tätigkeit (siehe Abschnitt 2.3). Deshalb sieht der im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Ansatz vor, dass die Kooperationsontologie automatisiert aus bestehenden domänenspezifischen ontologischen Partialmodellen (Referenzontologien) generiert wird. Der entwickelte Systembaumusterplan ermöglicht den automatisierten Aufbau (Ableitung) der Kooperationsontologie, wobei die Verwendung von Ontologien für den Anwender weitestgehend transparent ist.

Der Ablauf des Systembaumusterplans erfolgt in mehreren Phasen (siehe Bild 4-6), die nachfolgend beschrieben werden:

- Phase 0: Um die interkulturellen Aspekte zu berücksichtigen, erfolgt zu Beginn des Systembaumusterplans eine kulturelle Analyse. Hierbei wird basierend auf der Theorie von HOFSTEDE [Hofs-01] der Grad der kulturellen Unterschiedlichkeit der beteiligten Kooperationspartner bestimmt und das Potential für kulturelle Probleme analysiert.

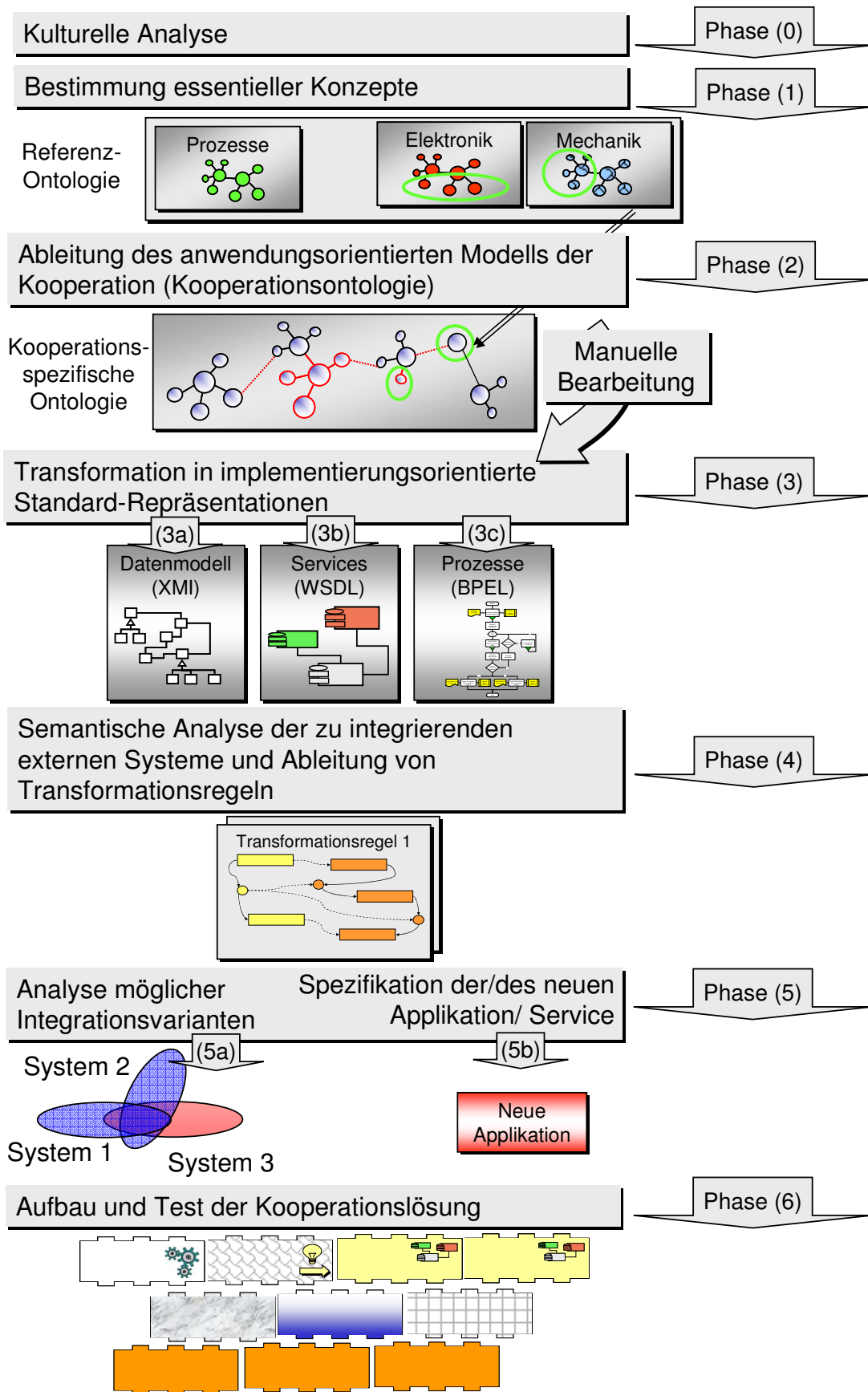


Bild 4-6: Phasen des Systembaumusterplans zum Aufbau einer Kooperationslösung für interkulturelle Entwicklungsprojekte

- Phase 1: In dieser Phase erfolgt die Bestimmung der für die Kooperation essentiellen Konzepte auf deren Basis in der nachfolgenden Phase eine zusammenhängende Kooperationsontologie abgeleitet wird. Da die (Referenz-)Ontologie für den Anwender transparent ist, kann dies durch den Domänenexperten (z. B. Mechanik-Ingenieur, Elektronik-Ingenieur) ohne zusätzlichen Aufwand durchgeführt werden. Dies wird dadurch realisiert, dass der Systembauplan in die frühen Phasen des Konstruktionsprozesses integriert wird.
- Phase 2: Die anschließende Ableitung der Kooperationsontologie erfolgt automatisiert durch das im Rahmen der Arbeit prototypisch entwickelte Softwarewerkzeug OntoConnect. Die Referenzontologien stellen eine (relativ umfassende) Beschreibung der Begrifflichkeiten und semantischen Zusammenhänge einer Domäne dar, wobei für die Kooperationsontologie meist nur Teile relevant sind.
- Phase 3: Um bestehende Technologien (z. B. Workflow-Engine) verwenden zu können, wird für den Aufbau (engl.: setup) der Kooperationslösung die Kooperationsontologie in Standard-Repräsentationen für Daten (Datenmodell (Phase 3a), z. B. UML, XMI⁴⁰), Services (Service-Beschreibung (Phase 3b), z. B. WSDL) und Prozesse (Prozessablaufbeschreibung (Phase 3c), z. B. BPEL) überführt. Die Kooperationsontologie stellt das anwenderorientierte semantische Modell des Problembereichs dar, sodass für einen Ingenieur relevante Konzepte (z. B. „Zylinderrollenlager“) explizit modelliert sind. Für die Implementierung ist das Modell ggf. zu komplex (z. B. Vererbungshierarchie zu tief), sodass eine weitere Abstraktion vorgenommen werden sollte (z. B. die Konzepte „Welle-Nabe-Verbindung“ und „Bolzenverbindung“ werden zum Objekttyp „Verbindung“ oder ganz abstrakt zu „Bauteil“ oder „item“ zusammengefasst). Hierzu wird das „implementierungsorientierte semantische Modell“ (Kooperations-Datenmodell) aus der Kooperationsontologie abgeleitet. Neben der automatisierten Ableitung des Kooperationsdatenmodells (d. h. das „implementierungsorientierte semantische Modell“) aus der Kooperationsontologie berücksichtigt der Systembaumusterplan die Möglichkeit existierende Datenmodelle (z. B. Standarddatenmodelle wie STEP AP 214) oder ein unternehmensspezifisches Datenmodell zu verwenden. Hierzu ist manuell für einige Datenmodellelemente zu definieren, welchen Konzepten der Referenzontologie sie semantisch entsprechen. Auf Basis dieser semantischen Interpretationen wird, ausgehend von der Kooperationsontologie und dem Referenzdatenmodell, automatisiert das (minimale) Kooperationsdatenmodell abgeleitet.
- Phase 4: Eine wesentliche Schwierigkeit bei der Integration externer Systeme ist die Abbildung (engl.: mapping) des externen semantischen Modells (meist objektorientiertes Datenmodell) auf das gemeinsame implementierungsorientierte semantische Modell (hier: Kooperationsdatenmodell). Im Rahmen dieser Phase wird eine semantische Analyse der externen Systeme durchgeführt. Hierbei werden zunächst manuell einige semantische Beziehungen zwischen dem zu integrierenden Datenmodell und dem anwendungsorientierten semantischen Modell (Kooperationsontologie) definiert (kann von Domänen-

⁴⁰ XMI ist ein OMG-Standard zum XML-basierten Austausch von Metadaten (siehe <http://www.omg.org/technology/documents/formal/xmi.htm>).

Experten durchgeführt werden) und hieraus die Datenmodellabhängigkeiten automatisch abgeleitet. Dadurch erhält man die semantische Interpretation der Daten des zu integrierenden Systems. Dies ermöglicht eine semantische Interpretation der von dieser Anwendung zur Verfügung gestellten Dienste und damit die automatisierte System-Anbindung. Hierbei werden nicht die gesamten Datenmodelle, sondern nur Teildatenmodelle miteinander verglichen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit semantisch äquivalent sind. Durch die Aufspaltung in kleinere Teilmodelle kann der in Abschnitt 3.8 erwähnte Nachteil bestehender Verfahren umgangen werden, sodass diese eingesetzt werden können. Zur konkreten Ableitung der Mappingregeln zwischen den Teilmodellen werden daher bestehende Verfahren eingesetzt.

- Phase 5: Aufgrund der bisherigen Phasen sind die notwendigen Inputgrößen vorhanden, um die Systembausteine mit den erforderlichen Parametern zu versorgen. Für die Integration des externen Systems sind im Systembaumusterplan verschiedene Varianten (online, offline, online mit Pufferung) vorgesehen. In der Phase 5a erfolgt die Bestimmung einer an die Randbedingungen angepassten, geeigneten Integrationsvariante. Der Systembaumusterplan spezifiziert hierzu einige Kennzahlen (z.B. semantischer Überdeckungsgrad der den zu integrierenden Systemen zugrunde liegenden semantischen Modelle). Für jede Integrationsvariante ist eine Konfiguration von Systembausteinen spezifiziert, sodass durch die Bestimmung der Variante auch die Systembausteine für die Integration des externen Systems (z.B. MCAD-System von Partner 1) festgelegt sind.

Die Spezifikation eines neuen Service bzw. einer neuen Applikation kann parallel in Phase 5b erfolgen.

- Phase 6: In der abschließenden Phase wird die Gesamtarchitektur spezifiziert und die Kooperationslösung implementiert und eingeführt.

Bild 4-7 zeigt exemplarisch die Bestimmung der Kooperationsontologie innerhalb einer domänenübergreifenden Kooperation und deren semantischen Überdeckung mit den semantischen Modellen anzubindender externer Systeme. Die Kooperationsontologie ist die Teilmenge der Referenzontologie, die sich durch die Vereinigung der Beschreibungen der Prozesse und Artefakte ergibt. Diese wird durch den Anwender (Phase 1) und durch Verfahren des Systembauplans (Phase 2) automatisiert bestimmt. Die Semantiken der zu integrierenden Systeme sind durch andere semantische Modelle beschrieben. Deshalb sind die Semantiken dieser Systeme als Projektion in die Referenzontologie dargestellt. Für die Kooperation sind nur diejenigen Konzepte der externen Systeme relevant, die in der Schnittmenge mit der in der vorherigen Phase abgeleiteten Kooperationsontologie liegen. Die Kooperationsontologie ist eine Konzeptmenge, die essentielle Artefakte bzw. Prozessspezifikationen enthält. Nur für diesen Teil des semantischen Modells des externen Systems sind in der Phase 4 Datenmodellabbildungsregeln zu bestimmen. Sollte in dieser Phase festgestellt werden, dass die Kooperationsontologie nicht hinreichend ist, so kann diese noch angepasst werden. Im gezeigten Beispiel ist das Konzept B-rep zur 3D-Repräsentation der Bauteile nicht kooperationsrelevant, während die Konzepte Microcontroller und Fixierungsloch als kooperationsrelevant eingestuft werden. Das Konzept Microcontroller wurde beispielsweise aufgrund der Anforderungsspezifikation oder Festlegung einer groben Produktstruktur basierend auf Produkt-Templates be-

stimmt. Das Fixierungsloch wird zusätzlich innerhalb des Änderungsprozesses verwendet. Da ein Fixierungsloch als Feature repräsentiert werden kann, ist das Konzept Feature ebenfalls als kooperationsrelevant markiert.

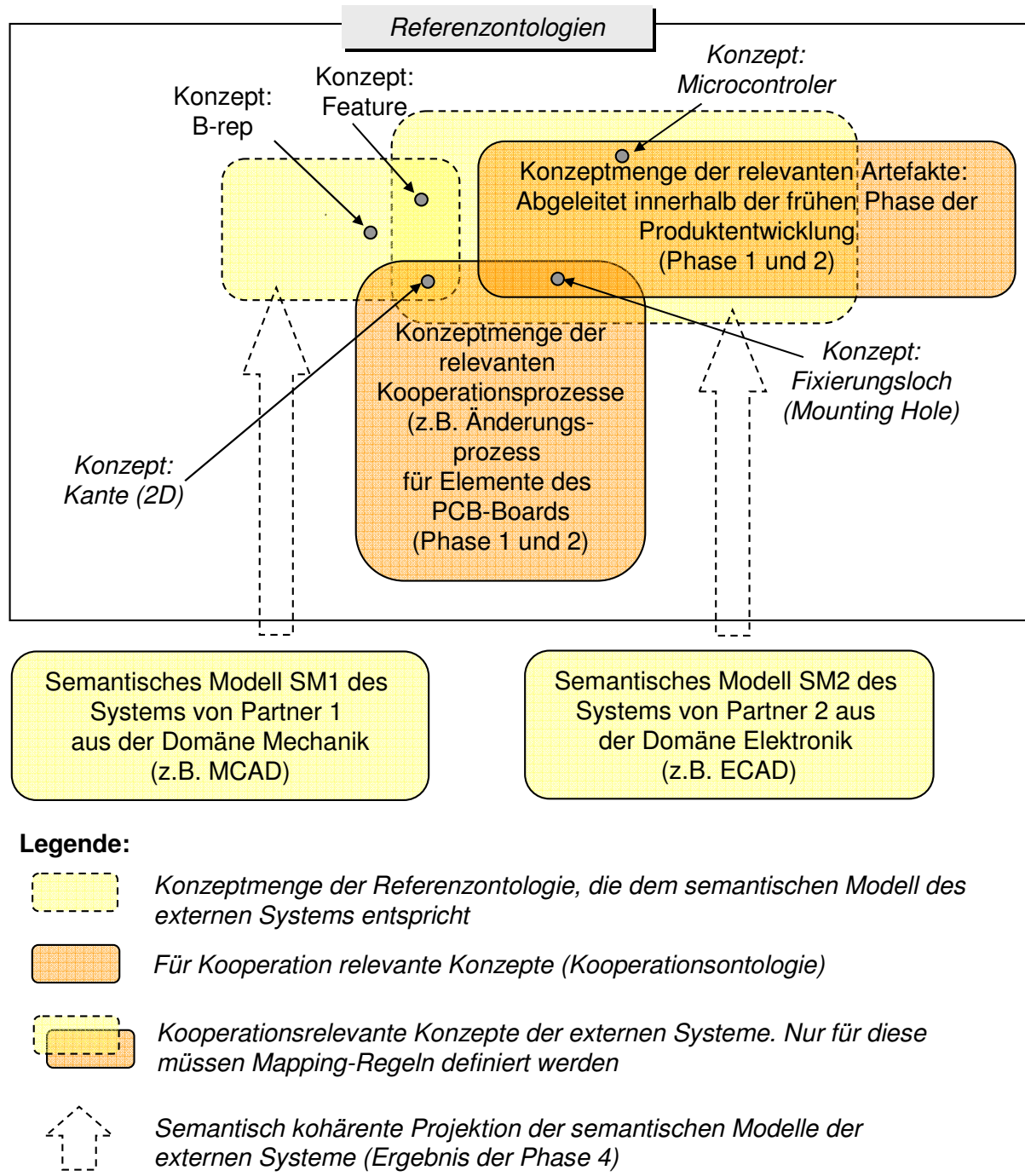


Bild 4-7: Exemplarische Ableitung der Kooperationsontologie und Darstellung der Beziehung zu den Modellen der externen Systeme

Bild 4-8 zeigt eine Übersicht über das der Arbeit zugrunde liegende Konzept. Die Systembausteine stellen generische Funktionen zur technischen Realisierung der Kooperationslösung zur Verfügung. Durch die funktionale Modularisierung wird von der Technologie abstrahiert, wodurch der Systembaumusterplan nicht auf eine Technologie festgelegt ist. Der Systembaumusterplan definiert das Vorgehen beim Aufbau einer Kooperationslösung mittels der Systembausteine. Die Anpassung der Kooperationslösung an die Randbedingungen (zu integrierende externe Systeme, Prozesse etc.) erfolgt durch Parametrisierung der Systembausteine sowie durch Verwendung von Baustein-Konfigurationen für Integrationsvarianten. Um eine ganzheitliche kohärente Betrachtung der kooperationsrelevanten Parameter (Artefakte, Prozesse, Services) zu ermöglichen, werden diese innerhalb eines semantischen Modells (Kooperationsontologie) beschrieben. Durch Ableitung in Standardrepräsentationen können die Systembausteine verwendet werden. Die ontologiebasierte Beschreibung der kooperationsrelevanten Aspekte erlaubt eine Filterung der kooperationsrelevanten Instanzen. Da nur die notwendigen Daten an den Partner weiter gegeben werden, kann die Komplexität verringert und das Know-how der beteiligten Unternehmen besser geschützt werden. Durch die semantische Interpretation der Instanzdaten bzgl. der Kooperationsontologie kann ontologiebasiertes Wissensmanagement realisiert werden. Weiterhin wird dadurch die Bedeutung (innerhalb der Kooperation) festgelegt und dadurch (kulturbedingten) Missverständnissen entgegengewirkt.

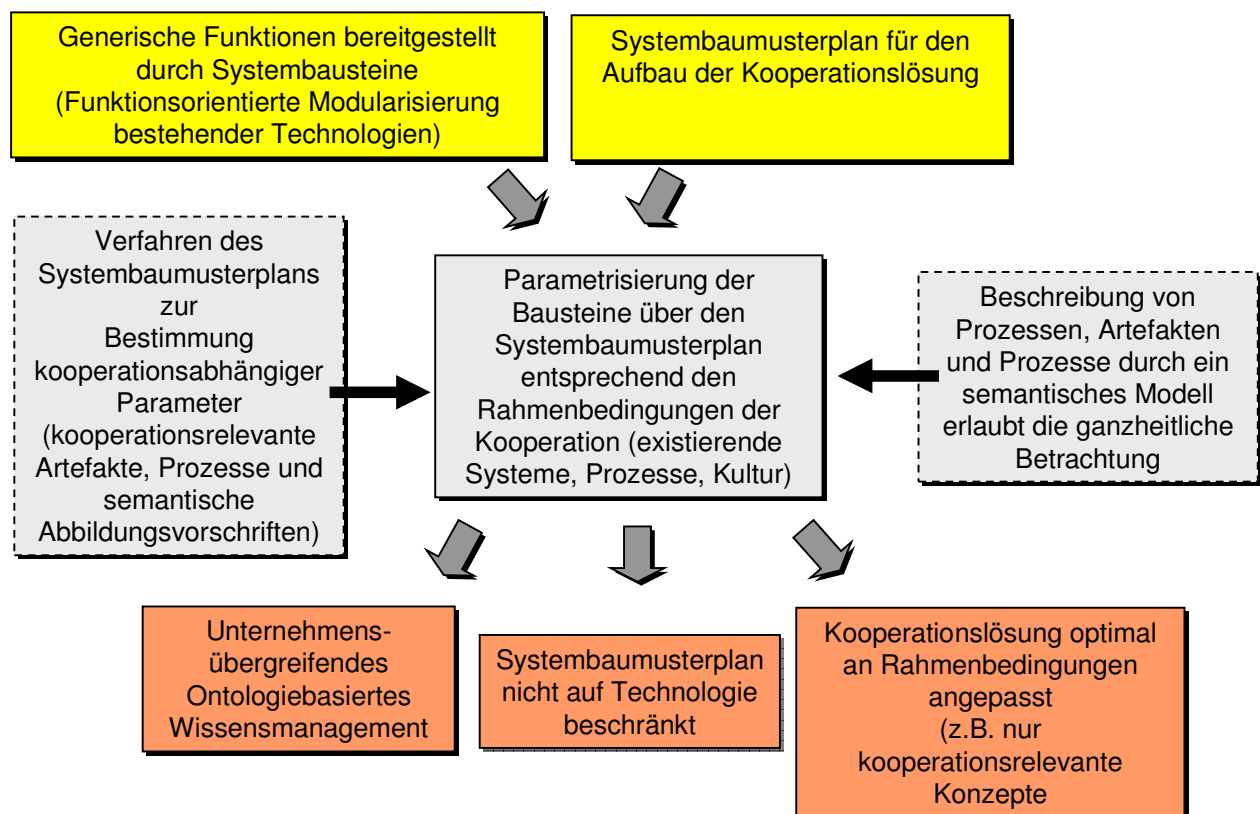


Bild 4-8: Wesentliche Struktur des Lösungskonzeptes

4.3 Die Systembausteine

Je nach Struktur des Kooperationsprojektes (Second-Tier und Third-Tier-Zulieferer), der Organisationsform der Partner (Großkonzern, Joint Venture, virtuelles Unternehmen) und den zu integrierenden Softwaresystemen kann die Konzeption und Realisierung der Gesamtarchitektur beliebig komplex sein. Deshalb muss eine geeignete Kooperationslösung dynamisch anpassbar, flexibel und deren Komplexität handhabbar sein.

Die Konstruktion der Systemarchitektur der Gesamtlösung erfolgt nach einem der Grundprinzipien der Algorithmentechnik des „Teile-und-Herrsche“⁴¹[Goos-97]. Hierbei wird die Gesamtlösung bottom-up von den einzelnen Partnern (bzw. Abteilungen) erstellt und über die Systembausteine verbunden. Die Systembausteine können (beliebig) mehrfach verwendet werden. Auf diese Weise kann ein Kooperationspartner beispielsweise mit seinen Zulieferern ein eigenes Kooperationsteilprojekt durchführen, die relevanten Daten auf einer eigenen Instanz speichern und nur diejenigen Daten freigeben, die für die anderen Partner relevant sind. Bild 4-9 zeigt die Systembausteine sowie deren Einteilung in Kategorien.

Der Single-Datenquelle-Management-Baustein realisiert den Zugriff auf eine Datenquelle, wobei von der Repräsentation abstrahiert wird. Dies ist eine Grundfunktion, die in jeder Kooperationslösung benötigt wird. Der Multi-Datenquellen-Baustein stellt Funktionen zum Zugriff auf verteilte Daten zur Verfügung. Dadurch wird eine Verbindung zwischen den einzelnen Datenquellen hergestellt, weshalb dieser Baustein entsprechend der Klassifizierung von PAHL und BEITZ [PaBe-07] ein Hilfsbaustein darstellt. Der Adapter-Basis-Baustein dient der Anbindung an ein externes System, wobei eine Anpassung an die API durchgeführt werden muss. Zusammen realisieren die beiden Bausteine den Zugriff auf verteilte Daten, wobei der Speicherort nach außen nicht sichtbar ist.

⁴¹ Teile und herrsche geht auf eine Redewendung (lat.: Divide and impera) zurück und steht für das Prinzip, unter Gegnern, welche die eigene Machtausübung bedrohen, Zwietracht und Uneinigkeit zu säen, um so in der eigenen Machtausübung ungestört zu bleiben. In der Algorithmentechnik meint es die Strategie, das Ziel in kleinere Einheiten zu zerteilen und diese nacheinander abzuarbeiten [Goos-95].

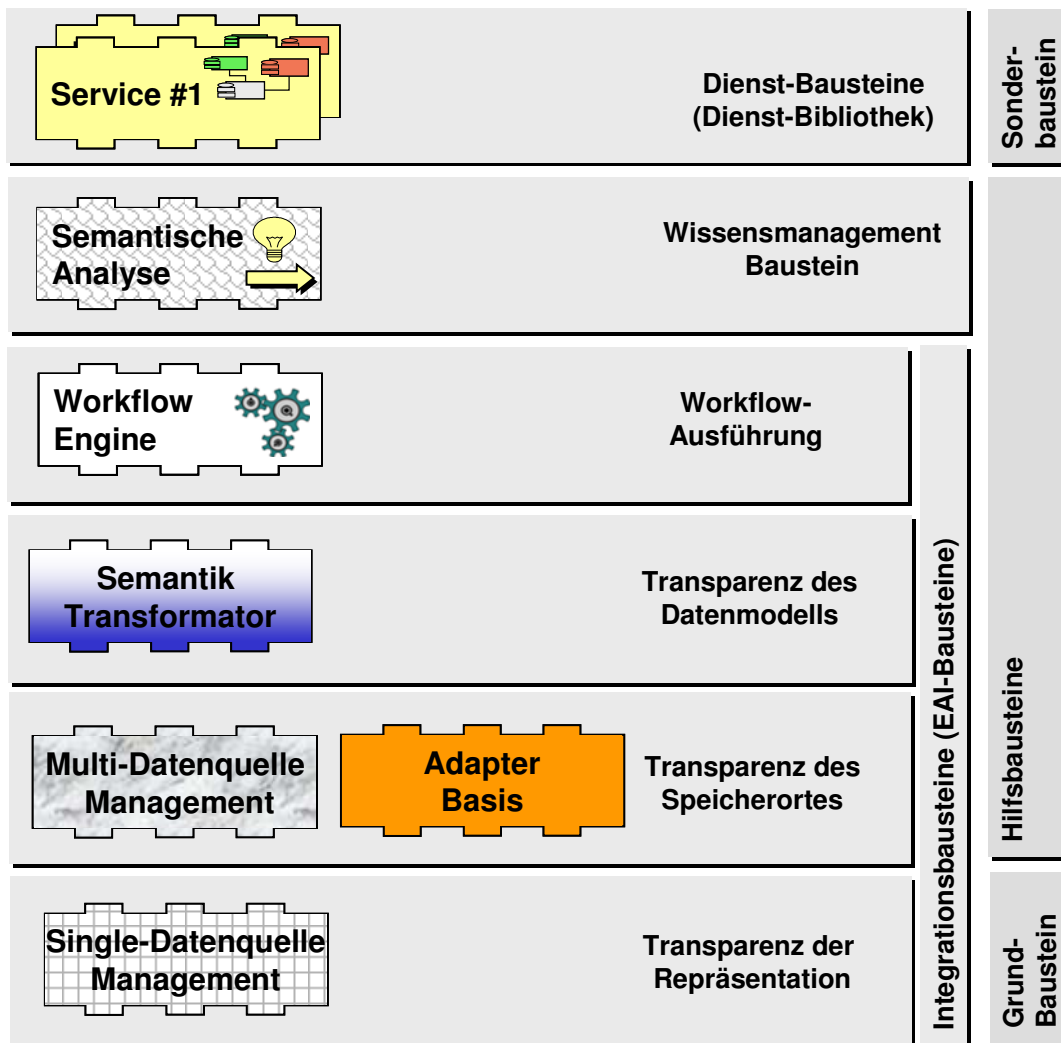


Bild 4-9: Systembausteine des Baukasten-Ansatzes

Der Semantik-Transformator-Baustein stellt über Transformationsregeln die Verbindung zwischen zwei semantischen Modellen her. Der Workflow-Baustein führt die Workflow-Spezifikation aus und verbindet dadurch die einzelnen Services. Der Semantische Analyse-Baustein stellt Funktionen für das ontologiebasierte Wissensmanagement bereit, indem er die Verbindung zwischen Instanzdaten, Datenmodell und Ontologie herstellt. Aufgrund ihrer verbindenden Eigenschaft werden die drei letztgenannten Bausteine als Hilfsbausteine klassifiziert. Die Dienst-Bausteine stellen Funktionen bereit, die innerhalb des Produktlebenszyklus benötigt werden. Für eine Kooperationslösung werden nicht immer alle Service-Bausteine verwendet. Somit stellen diese Sonderbausteine im Sinne von Pahl und Beitz dar. Im Folgenden werden die Systembausteine näher beschrieben.

4.3.1 Integrationsbausteine - Modularisierung bestehender EAI-Software

Die Modularisierung bestehender EAI-Software erfolgt konsequent entsprechend der zu erfüllenden Funktion, nämlich der prozessorientierten Integration verteilter Anwendungen. Hierbei sind zunächst die Modelle der zu integrierenden Anwendungen aufeinander abzubilden. Die

Datenmodelle können hierbei unterschiedlichen Metamodellen (Repräsentationstypen) zugrunde liegen. Deshalb muss die EAI-Software zunächst vom Metamodell (Transparenz des Metamodells, siehe Abschnitt 4.3.1.1) und schließlich vom Datenmodell (Transparenz des Datenmodells) der zu integrierenden Anwendung abstrahieren (siehe Abschnitt 4.3.1.2). Die innerhalb der Kooperation benötigten Daten sollen von der EAI-Software bereitgestellt werden, sodass der Speicherort der Daten (d. h. die beteiligten Anwendungen) transparent ist (siehe Abschnitt 4.3.1.3). Dies ist insbesondere für die auf Basis von EAI-Software zu entwickelnden Anwendungen relevant. Zur Integration der Anwendungen entsprechend den definierten Prozessen ist eine Workflow-Integration erforderlich (siehe Abschnitt 4.3.1.4).

4.3.1.1 Transparenz des Metamodells (Datenrepräsentation)

Heutzutage kommen verschiedene Arten der Datenrepräsentation [FüUb-97] zum Einsatz. Dies sind unter anderem:

- Hierarchisch (z. B. XML-Dokumente)
- Netzwerkartig (z. B. Hypertext)
- Relational (relationale Datenbanken)
- Objektorientiert (objektorientierte Datenbanken)

Eine Datenquelle Q erfüllt das Paradigma der Transparenz der Datenrepräsentation genau dann, wenn die tatsächliche Repräsentation der Daten nicht erkennbar ist. Dies wurde⁴² bereits für (nach heutigem Stand) relevante Metamodelle realisiert, indem diese auf das Meta Objekt Framework abgebildet wurden (siehe Bild 4-10). Die ice.NET Plattform ermöglicht sowohl den objektorientierten als auch den XML-basierten Zugriff auf eine relationale Datenbank. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Transparenz des Metamodells nicht notwendiger Weise eine semantisch bijektive Abbildung der Metamodelle impliziert, was aufgrund der unterschiedlichen Mächtigkeit der Metamodelle im Allgemeinen nicht möglich ist. Dies wird beispielsweise bei der Abbildung einer netzartigen Repräsentation in eine hierarchische Repräsentation deutlich. Das Paradigma besagt nur, dass der Zugriff auf die Daten unabhängig vom Metamodell ist, in welchem die Daten gespeichert (repräsentiert) sind.

⁴²Z.B. im Rahmen des Forschungsprojektes ATHENA [CORD-07]

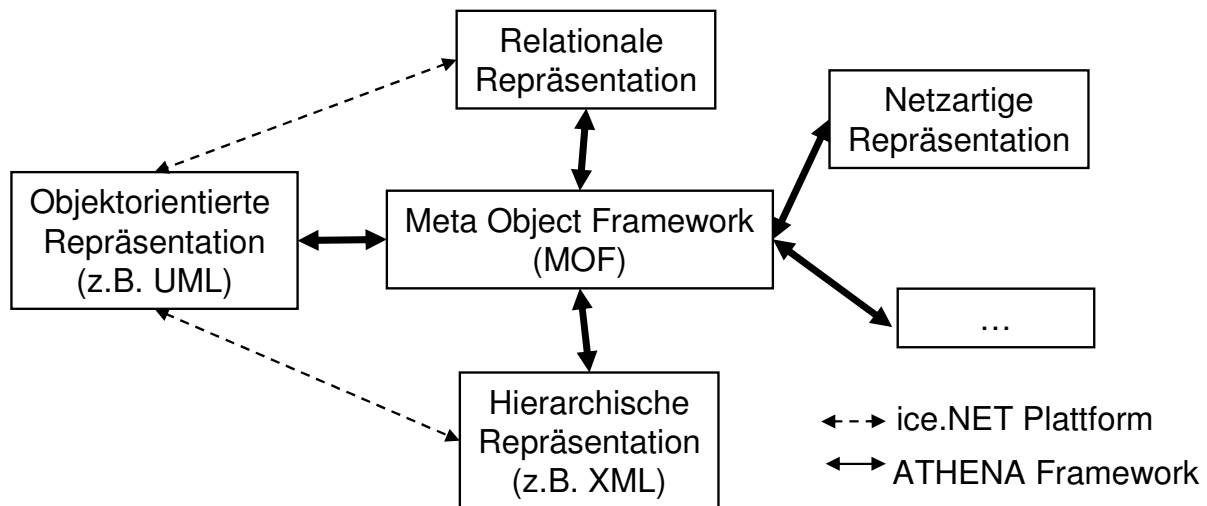


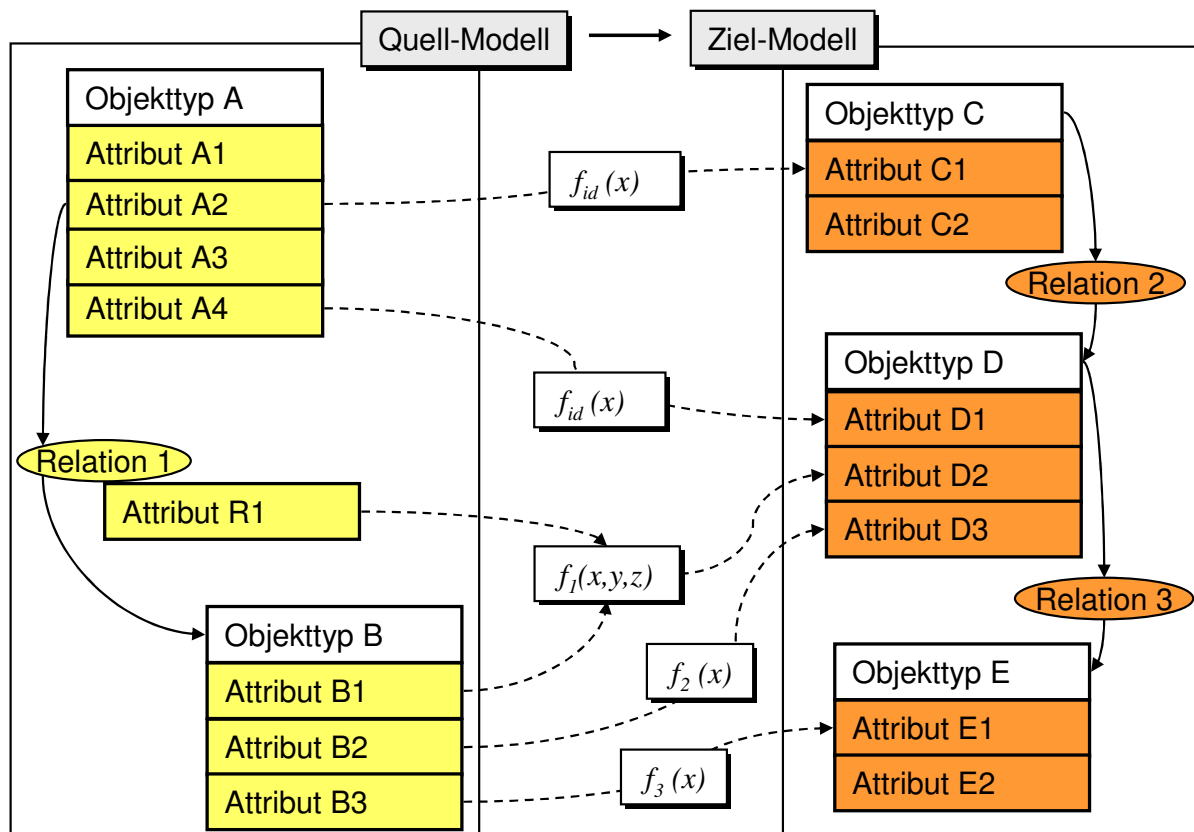
Bild 4-10: Unterstützung der Transparenz des Metamodells durch EAI-Software

Der (abstrakte) Baustein, der die Transparenz der Datenrepräsentation realisiert, wird als *Single-Datenquelle Management Baustein* (SDMB) bezeichnet. Ohne Einschränkung der Allgemeinheit wird im Folgenden davon ausgegangen, dass die tatsächlich verwendete EAI-Software eine objektorientierte Schnittstelle besitzt. Das im Rahmen der Kooperation verwendete objektorientierte Datenmodell (Kooperationsdatenmodell) wird in der Phase 3a des Systembaumusterplans bestimmt.

4.3.1.2 Transparenz des implementierungsabhängigen semantischen Modells (Datenmodells)

Im Rahmen von Kooperationen sind verschiedene Systeme mit unterschiedlichen internen Datenmodellen beteiligt. Basierend auf dem vorherigen Abschnitt (Transparenz der Datenrepräsentation) wird im weiteren Verlauf der Arbeit ohne Beschränkung der Allgemeinheit davon ausgegangen, dass zwei aufeinander abzubildende Datenmodelle dem UML-Metamodell zugrunde liegen. Die Wahl dieses Metamodells liegt darin begründet, dass UML weit verbreitet ist und dementsprechend viele Datenmodelle in UML spezifiziert sind. Ein weiterer Aspekt ist, dass im Rahmen von Anwendungsentwicklungen gerade bei SOA-Lösungen fast ausschließlich objektorientierte Sprachen (Java, C#, C++) zum Einsatz kommen. Somit muss sich die Anwendung nicht um die Transformation der Daten in eine andere Repräsentationsform (z. B. relationale Datenbank) kümmern.

Der (abstrakte) Baustein zur Umsetzung der Transparenz des Datenmodells wird *Semantischer Transformationsbaustein* (STB) genannt. Dieser transformiert Instanzdaten bzgl. einer vorgegebenen Transformation $T: D_1 \rightarrow D_2$ zwischen zwei Datenmodellen. Die Transformation T ist durch eine Menge von semantischen Transformationsregeln $T = \{f_1, \dots, f_n\}$ zwischen den Elementen festgelegt (siehe Bild 4-11). Die Transformationsregeln werden in der Phase 4 des Systembaumusterplans automatisiert abgeleitet.

**Legende:**

$f_i(x)$ f_i ($i = \{id, 1, 2, 3\}$) beschreibt eine Abbildungsregel zwischen Attributen des Quell- und Zielmodells. Eine Abbildungsregel kann auch mehrere Eingabewerte haben (z. B. Abbildung der Attribute „Vorname“, „Nachname“ auf das Attribut „Name“). Die Funktion f_{id} ist die Identitätsabbildung.

Bild 4-11: Transformationsregeln zwischen zwei Datenmodellen

4.3.1.3 Transparenz des Speicherortes

Innerhalb von unternehmensübergreifenden Kooperationen ist es erforderlich auf Daten zuzugreifen, die von verschiedenen IT-Systemen verwaltet werden und über die Unternehmen des Konsortiums verteilt sind. Beim direkten Zugriff auf das IT-System ergibt sich das Problem, dass jede zugreifende Anwendung eine eigene Anbindung auf das System realisieren muss, Zugriffsrechte benötigt und sich um die Transaktionsverwaltung kümmern muss. Dies macht die Entwicklung und Wartung solcher Anwendungen aufwändig und schwierig. Aus diesem Grund soll die Realisierung der Transparenz des Speicherortes ermöglichen, dass Anwendungen diese Aspekte nicht berücksichtigen müssen.

Bild 4-12 zeigt schematisch die Ausgangssituation und Zielsetzung des Paradigmas der Transparenz des Speicherortes. Die Systeme S_1, \dots, S_n verwalten jeweils eine Menge (M_i) von Objekten (M_1, \dots, M_n), die innerhalb einer Kooperation benötigt werden. Es wird davon ausgegangen, dass es sich um ein Single-Source-Problem handelt, d. h. dass kein Objekt von

mehreren Systemen verwaltet wird und somit die Menge der verwalteten Objekten paarweise disjunkt sind (d. h. $\bigcup_{i=1}^{n-1} (M_i \cap M_{i+1}) = \{\}$).

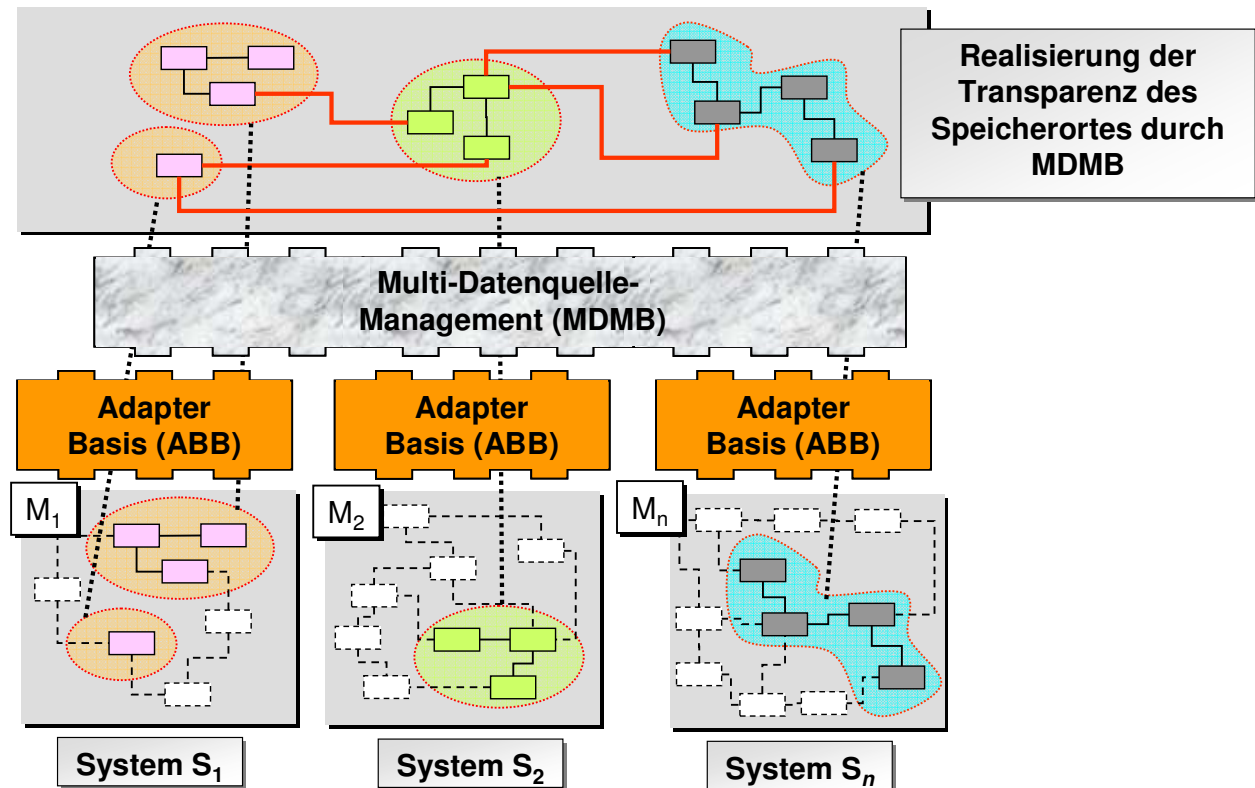


Bild 4-12: Transparenz des Speicherortes

Die n Systeme seien auf k ($k < n$) verschiedene Unternehmen verteilt, wobei eine eindeutige Zuordnung eines Systems zu einem Unternehmen besteht. Die Anbindung an die Systeme erfolgt über Adapter, wobei ohne Einschränkung der Allgemeinheit davon ausgegangen wird, dass ein Adapter die Anbindung genau eines Systems realisiert. Ermöglicht ein Adapter die Anbindung an mehr als ein System, so ist dieser selbst ein integrierendes System, das die geforderte System-Transparenz herstellt. Relationen zwischen Objekten unterschiedlicher Systeme werden in der Kooperationslösung gespeichert.

Die Realisierung der Transparenz des Speicherortes wird serverseitig vom *Multi-Datenquellen-Management-Baustein* (MDMB) und auf Seiten der externen Anwendung durch einen *generischen Adapter-Basis-Baustein* (ABB) sowie eine angepasste Implementierung realisiert. Die Anbindung externer Systeme kann entweder online oder offline erfolgen (siehe Abschnitt 3.2). In der Phase 5 des Systembaumusterplans findet eine Analyse des externen Systems statt, auf deren Basis eine passende Variante vorgeschlagen wird.

4.3.1.4 Integration der unternehmensübergreifenden Prozesse (Workflows)

Die unternehmensübergreifende Integration der Prozesse erfolgt von Seiten der EAI-Software durch eine Workflow-Engine (*Workflow-Engine-Baustein*), die den in BPEL (oder einer ande-

ren Ausführungssprache) spezifizierten Workflow überwacht und die entsprechenden Services aufruft. Die Spezifikation der ausführbaren Prozessspezifikation-Workflows in BPEL wird aus der Kooperationsontologie abgeleitet und steht nach Ende der Phase 3b des Systembaumusterplans zur Verfügung.

4.3.2 Wissensmanagement-Bausteine

Der *Semantik-Analyse-Baustein* (SAB, siehe Bild 4-13) ist der einzige Wissensmanagement-Baustein. Er ermöglicht automatisiertes, semantisches Schließen auf den innerhalb der Kooperation relevanten (verteilt liegenden) Daten. Durch die Transparenz des Speicherortes kann von der Problematik verteilter Daten abstrahiert werden. Durch die Transparenz des Metamodells (des implementierungsorientierten semantischen Modells (Datenmodell)) kann die für die eingesetzte Wissensmanagement-Software passende Repräsentation verwendet werden (z. B. RDF).

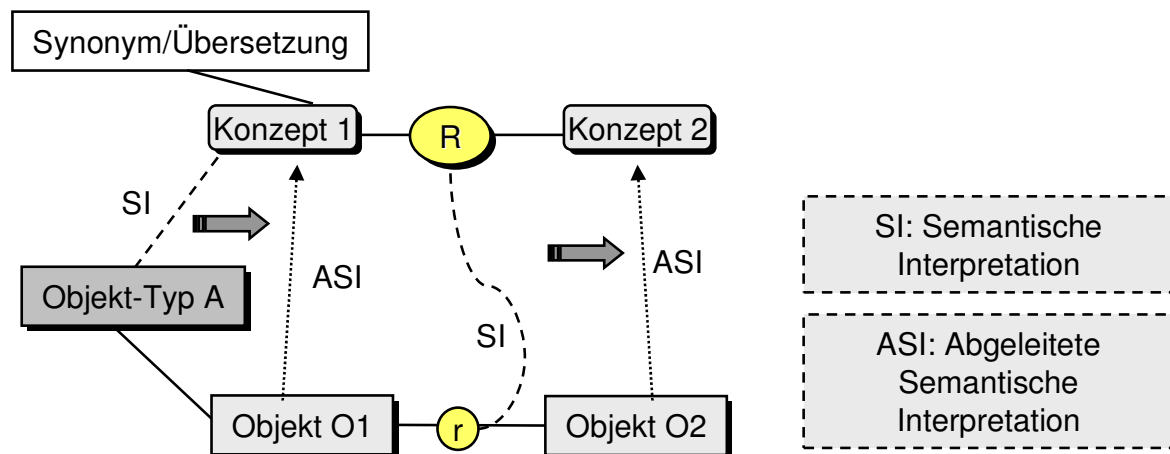


Bild 4-13: Semantische Interpretation von Daten und Instanzen

Der semantische Analyse-Baustein ordnet einem Objekt auf Basis der in der Phase 3a des Systembaumusterplans ermittelten *semantischen Interpretationen* ein Konzept der Kooperationsontologie zu. Auf diese Weise ist die Semantik des Objektes für alle Beteiligten der Kooperation klar und eindeutig festgelegt. Nun können automatische ontologiebasierte Schlussfolgerungen und eine semantische Suche auf den kooperationsrelevanten Daten-Objekten ausgeführt werden. Die Kooperationsontologie wird in der Phase 2 des Systembaumusterplans automatisiert abgeleitet.

Die semantische Interpretation kann über den Objekttyp oder durch direkte Verbindung zwischen Instanz- und Semantik-Ebene hergestellt werden. Durch die Zuordnung eines Objekttyps zu einem Konzept wird dessen Semantik festgelegt. Somit kann aus dem Objekttyp eines Objektes dessen Semantik (d. h. dessen Konzept) abgeleitet werden. Eine semantische Interpretation kann neben dem Objekttyp an Attributwerte geknüpft sein.

Bild 4-14 zeigt ein vereinfachtes Beispiel zur Erkennung von Fixierlöchern (engl.: mounting holes) auf einem PCB-Board. Bei einem Loch auf einem Board kann es sich neben einem Fixierloch beispielsweise auch um ein Kontaktloch (engl.: via), ein fertigungsbedingtes Loch oder Aussparung (engl.: cutout) handeln. Das Wissen um welche Art von Loch es sich handelt ist jedoch beispielsweise für das Routing oder die Platzierung der Komponenten und damit für die domänenübergreifende Zusammenarbeit relevant [Fröh-07].

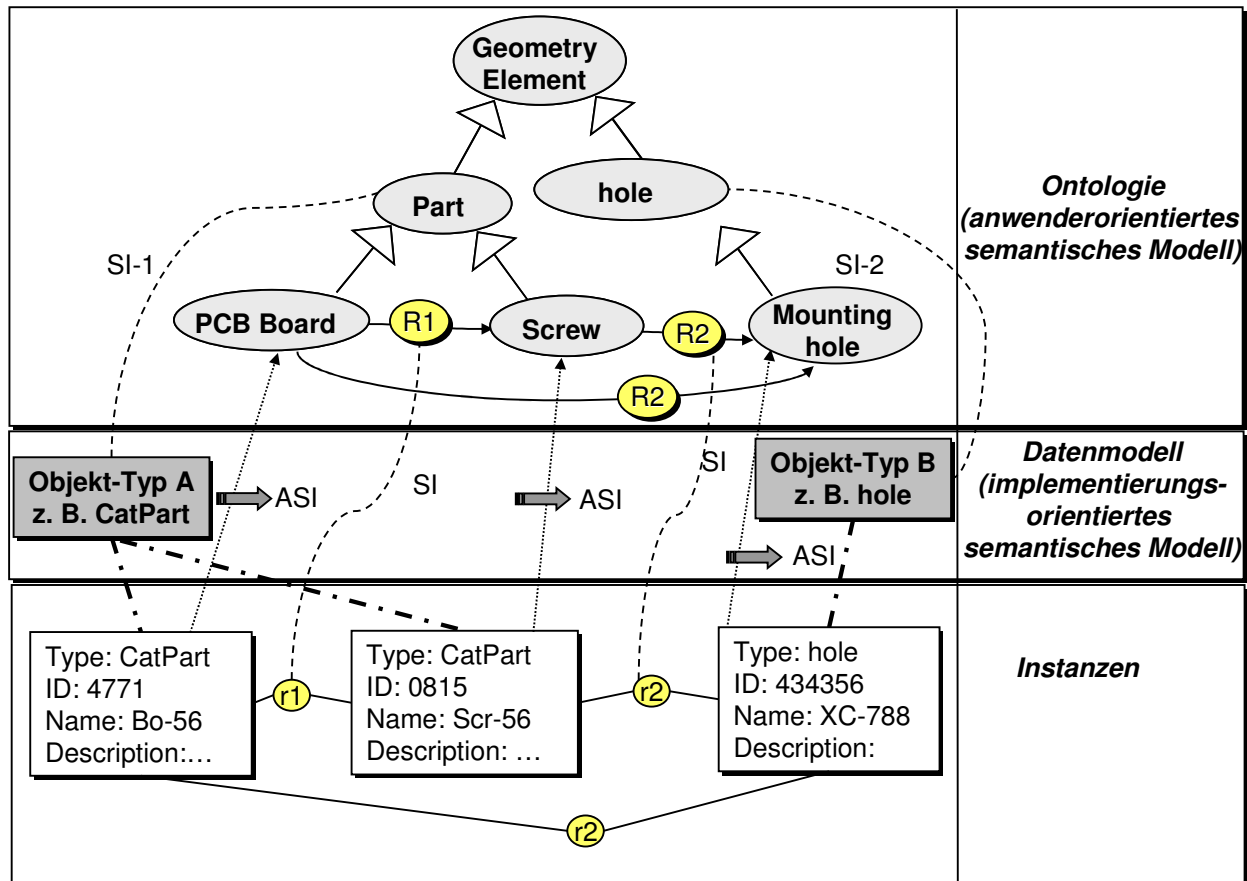


Bild 4-14: Beispiel für semantische Interpretation⁴³

Wird eine Bohrung als Feature realisiert, so kann dieses Wissen über das Konzept der erweiterten Features abgebildet werden, das im Rahmen der Tätigkeiten der FEMEX (Feature Modelling Experts) erarbeitet wurde [VaPo-98]. Dies kann bei CATIA V5 beispielsweise durch „User Defined Features“ umgesetzt werden [Bril-09]. Dies setzt jedoch voraus, dass der Maschinenbauingenieur zur Repräsentation der Bohrung das entsprechende Feature verwendet und das Fixierloch geometrisch nicht etwa durch Subtraktion von Körpervolumina beschreibt.

Dieses Beispiel ist somit insbesondere interessant, wenn nicht sichergestellt ist, dass die Konstrukteure Features (richtig) verwenden (oder in der Vergangenheit verwendet haben). Dieses

⁴³ Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden im Bild die Relationen im Datenmodell nicht dargestellt.

Beispiel skizziert somit auch, wie die semantische Analyse eingesetzt werden kann, um die semantische Kohärenz des Datenbestandes (insbesondere Altdaten) zu verbessern.

Zur Veranschaulichung werden die Instanzdaten sowie deren Metadaten (Datenmodell, Ontologie) abgebildet. Die Instanzen mit der ID 4711 und 0815 sind vom Typ CatPart. Aufgrund der semantischen Interpretation (SI-1) kann geschlossen werden, dass es sich bei diesen Instanzen um Vertreter des Konzepts „Part“ handelt. Analog kann geschlossen werden, dass das Objekt 4242 eine Bohrung ist. Durch die Abfrage eines zusätzlichen Attributwerts (z.B. Name (Namenskonvention), Materialeigenschaften etc.) kann durch die abgeleitete semantische Interpretation geschlossen werden, dass 4711 ein PCB-Board und 0815 eine Schraube (engl.: screw) ist. Aufgrund der Beziehungen (r1, r2) zwischen den Instanzen kann nun automatisiert geschlossen werden, dass es sich bei der Bohrung 4242 um ein Fixierungsloch handelt.

Die zusätzlichen Attributbedingungen (semantische Interpretationsregeln) müssen entweder manuell oder automatisiert definiert werden: Im Forschungsprojekt KLAS-05 [KLAS-05] wurde eine Methode und ein Softwarewerkzeug entwickelt, um Bauteile eines Unternehmens automatisiert zu klassifizieren. Die Ergebnisse wurden von der Firma simus-Systems⁴⁴ weiterentwickelt und zu einem kommerziellen Werkzeug (classmate) ausgebaut [SIMU-08]. Das Werkzeug erstellt automatisch Regeln, um ein Bauteil aus einem MCAD System (bisher: CATIA, SolidEdge und ProEngineer) oder PDM-System (z.B.: SAP-PLM [SPLM-04]), einer Klasse (d.h. Konzept der Ontologie) zuzuordnen [SIMU-08]. Der im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Ansatz ermöglicht es nun, durch Verknüpfung mit der Ontologie semantisches Schließen auf den Instanzdaten durchzuführen und dies in Rahmen unternehmensübergreifender Kooperationen anzuwenden.

Der Semantik-Analyse-Baustein stellt folgende Funktionen bereit (siehe Bild 4-15):

- Aufbau und Verwaltung der Ontologie der zugehörigen Datenquelle. Dies sind neben den Konzepten und Relationen auch Regeln für die automatisierten semantischen Schließen (Ontologie-Verwaltung).
- Verwaltung der modellierten semantischen Interpretationsbeziehungen zwischen Datenmodell und Ontologie bzw. Instanzdaten und Ontologie (Semantische Interpretationen-Verwaltung)
- Automatische Interpretation der Instanzdaten auf Basis der Regeln sowie semantischen Interpretationen (Instanzen-Analyzer)
- Realisierung einer ontologiebasierten semantische Anfrage (Inferenz-Maschine)

⁴⁴ Simus-systems: <http://www.simus-systems.com/>

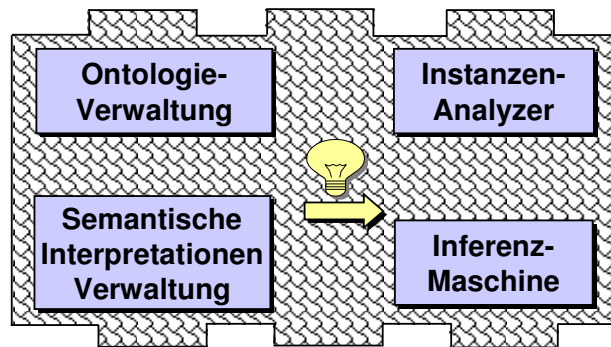


Bild 4-15: Semantik-Analyse-Baustein

Der Semantik-Analyse-Baustein ermöglicht die semantische Analyse der kooperationsrelevanten Daten und ermöglicht somit ein unternehmensübergreifendes Wissensmanagement. Hierzu wird die Transparenz des Speicherortes (Multi-Datenquelle Management Baustein) sowie die Transparenz des Datenmodells ausgenutzt. Für die Beantwortung semantischer Anfragen ist die semantische Interpretation der Instanzdaten eine Grundvoraussetzung. Hierzu ist es erforderlich, dass die semantischen Interpretationen zwischen Datenmodell und semantischem Modell (Ontologie) modelliert sind.

4.3.3 Dienstbibliothek (Servicebibliothek)

Die Dienstbibliothek stellt eine Sammlung von Services dar, die Funktionalitäten bereitstellen, die typischer Weise innerhalb von Workflows eines kooperativen Produktentwicklungsprojektes benötigt werden. Es wird davon ausgegangen, dass eine Menge von Services zur Verfügung steht, die im Rahmen der Kooperation verwendet werden können. Die ice.NET-Plattform stellt beispielsweise eine Menge von Services bereit. Weiterhin wurden im Rahmen des Forschungsprojektes ImportNET weitere Services entwickelt (z. B. Erzeugung einer Montageliste, die sowohl mechanische als auch elektronische Komponenten enthält).

Sollte diese Menge an Services nicht ausreichend sein, so sieht der Systembaumusterplan eine Phase (Phase 5b) vor, in welcher diese spezifiziert (und realisiert) werden.

4.4 Grundlagen für den Systembaumusterplan

In diesem Abschnitt werden konzeptionelle Grundlagen des Systembaumusterplans vorgestellt, die bei dessen Beschreibung später wieder aufgegriffen werden. Für die Durchführung des Systembaumusterplans ist die Existenz einer Referenzontologie erforderlich. Es wird zunächst der Aufbau und die Struktur dieser Ontologie beschrieben.

4.4.1 Aufbau und Struktur der Referenzontologie für den Systembaumusterplan

Für den Systembaumusterplan kann prinzipiell jede Ontologie, die ein Modell des Problembereichs der Kooperation darstellt, als Referenzontologie verwendet werden. Wie bereits in Abschnitt 4.2 beschrieben, ist die grundlegende Idee, sowohl die Prozesse als auch die Dienste und Artefakte (Daten) mit der Kooperationsontologie zu beschreiben. Da die Kooperationsontologie aus den Referenzontologien abgeleitet wird, muss die Referenzontologie bereits entsprechende Konzepte beinhalten. Im Falle der Prozessspezifikation enthält die Referenzontologie eine Beschreibung von Referenzprozessen, die für die Kooperation entsprechend angepasst werden müssen. Die Spezifikation der Dienste enthält eine Beschreibung aller Services, die in der Dienst-Bibliothek enthalten sind.

Im Folgenden wird zur Veranschaulichung des Konzepts die im Rahmen des Projektes ImportNET (siehe 3.4.3) entwickelte Referenzontologie verwendet, die diese Eigenschaften erfüllt. Das Konzept ist prinzipiell auf beliebige andere Ontologien anwendbar. Sollte die vorliegende Referenzontologie keine Spezifikation von Prozessen oder Diensten enthalten, so können diese angelegt oder über Standardrepräsentationen eingelesen werden. Die Herstellung der Konsistenz zwischen den (vordefinierten) Artefakten und den Prozessen (Input/Output-Parameter) muss in diesem Fall manuell erfolgen. Sollte keine Ontologie vorhanden sein, so muss diese entweder erstellt werden oder es kann ein (Referenz-)Datenmodell (z.B. Datenmodell des OEM) als Referenzontologie verwendet werden. In diesem Fall ist diese manuell um anwenderorientierte Semantik zu erweitern, d.h. es müssen manuell Konzepte (z.B. Welle-Nabel-Verbindung) eingefügt werden, von denen im verwendeten Datenmodell abstrahiert wurde. Als Grundlage können Norm- und Wiederholteilbibliotheken verwendet werden. Der bekannteste Vertreter ist die ISO 13584⁴⁵ Parts Library (kurz: P-Lib), welche verschiedene DIN-Normen (z. B. DIN 4000, DIN 4001 und DIN 66304) verwendet und auf andere Bereiche wie z. B. Elektrotechnik erweitert.

4.4.2 Quantifiziertes, parametrisches Kulturkonzept

In diesem Abschnitt wird das quantifizierte, parametrische Kulturkonzept vorgestellt. Die grundlegende Idee ist hierbei, dass verschiedene „Verständnisse“ in Form von Ontologien modelliert sind. Zu Beginn einer Kooperation wird dann das Kulturverständnis gewählt, das „am besten“ zu den Kooperationspartnern passt. Hierzu wird das Ontologie-Metamodell (siehe Abschnitt 2.3.4) erweitert, um verschiedene kulturbedingte Verständnisse zu einem Kontext repräsentieren zu können. Weiterhin wird eine Methode vorgestellt, um die kulturellen Unterschiede der Kooperationspartner auf Basis bestehender kulturvergleichender Ansätze zu quantifizieren. An dieser Stelle ist zu bemerken, dass dies nur eine grobe Abschätzung für den Grad des kulturellen Unterschiedes sein kann.

⁴⁵ Siehe http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/

4.4.2.1 Kulturbedingte Erweiterung des Ontologie-Metamodells

Ontologien werden verwendet, um innerhalb einer Domäne (in einem bestimmten Kontext) ein gemeinsames Verständnis zu definieren (siehe Abschnitt 2.3.4). Damit wird die Bedeutung aus der Sicht *einer* bestimmten Kultur beschrieben. Die *kulturbedingte Erweiterung* des Ontologie-Metamodells ermöglicht es, die Semantik über die Kultur zu parametrisieren und damit *mehrere* Kulturverständnisse *gleichzeitig* abzubilden. Ein Konzept kann innerhalb verschiedener kultureller Systeme (siehe Abschnitt 2.4.2) eine unterschiedliche Bedeutung haben. Beispielsweise bedeutet „released“ (oder „freigegeben“) im Bezug auf eine Zeichnung innerhalb des kulturellen Systems Deutschland, dass sich an der Zeichnung nichts mehr ändern wird, wohingegen in China dies gerade mal bedeutet, dass sie im Groben fertig ist, sich aber wahrscheinlich noch wesentliche Änderungen ergeben. Entsprechend können auch semantische Beziehungen zwischen Konzepten kulturabhängig sein.

Entsprechend der in Abschnitt 2.3.4 vorgestellten Ontologie-Definition ergibt sich die Definition einer kulturbezogenen Ontologie wie folgt:

Definition (Kulturbedingte Ontologie): Eine kulturbedingte Ontologie ist ein 7er Tupel $\Omega^C := (K, C, D, is_a, R, \pi, \psi')$ wobei K eine Menge von Konzepten, C eine Menge von kulturellen Systemen, D eine Menge von Beschreibungen, „is_a“ die Generalisierungsrelation auf K , $\pi: K \times C \rightarrow K$ die Projektion der Menge der Konzepte auf ein kulturelles System C , R eine Menge von Relationsnamen und $\psi': R \rightarrow \wp(C \times K \times K)$ eine Funktion ist.

Die Projektion π definiert die Konzepte bezüglich eines bestimmten kulturellen Systems und $\psi': R \rightarrow \wp(C \times K \times K)$ repräsentiert die (kulturabhängigen) Relationen zwischen den Konzepten. Die Erweiterung des Ontologie-Metamodells erlaubt die gleichzeitige Modellierung bzgl. verschiedener kultureller Systeme. Um ein gemeinsames Verständnis zu erreichen, ist es erforderlich, sich für die Kooperation auf ein kulturelles System zu einigen. Da die Landeskultur den größten Einfluss auf das Verhalten hat (siehe Abschnitt 2.4.2) bedeutet dies, dass eine Landeskultur bestimmt werden muss, die am besten zu den Beteiligten der Kooperation passt. Aufgrund der Festlegung des kulturellen Systems ändert sich natürlich das kulturelle System der beteiligten Personen nicht, wodurch die Gefahr kultureller Missverständnisse weiterhin erhalten bleibt. Diese Festlegung dient nur dazu, die Bedeutung von Begrifflichkeiten (z.B. „freigegeben“) im Rahmen der Kooperation festzulegen. Durch die kulturbezogene Erweiterung der Ontologie können auch während der Kooperation die verschiedenen kulturellen Verständnisse (z. B. was versteht ein Chinesischer Ingenieur unter „freigegeben“) eingesehen werden. Im Rahmen der Kooperation wird nur die Parametrisierung einer Ontologie bezüglich des kulturellen Systems, d. h. das Tupel $\Omega(C) := (K(C), D(C), is_a, R, \psi^C)$ betrachtet. Das Verfahren zur Auswahl des passenden kulturellen Systems (Landeskultur) für eine bestimmte Konstellation von Kooperationspartnern basiert auf der Definition des kulturellen Abstands innerhalb der Kooperation.

4.4.2.2 Quantifizierung kultureller Unterschiede innerhalb des Konsortiums

In diesem Abschnitt wird dargestellt, wie die kulturellen Unterschiede innerhalb des Konsortiums quantifiziert werden können. Die grundlegende Idee ist hierbei, dass die Unterschiede (Abstand) zweier (Landes-)Kulturen auf Basis der Kulturdimensionen nach HOFSTEDE [Hofs-01] berechnet werden. Die fünf Dimensionen beschreiben eine Kultur auf Basis von Werten von 0 bis 100. Eine Kultur wird nun als Punkt im 5-dimensionalen Raum angesehen und der Abstand zweier Punkte (also Kulturen) wird als der *kulturelle Abstand* bezeichnet. Als Metrik (Abstandsfunktion) wird hierbei der geometrische Abstand zweier Punkte im Raum verwendet.

Definition (Kultureller Abstand zweier Länder): Seien $k_1(c), \dots, k_5(c)$ mit $0 \leq k_i(c) \leq 100$, $i \in \{1, \dots, 5\}$ die Werte der kulturellen Dimensionen nach HOFSTEDE für ein Land c . Der (geometrische) kulturelle Abstand zwischen zwei Ländern c_i und c_j auf Basis der Dimensionen nach HOFSTEDE wird definiert als

$$D_{\text{Kultur}}(c_i, c_j) := \sqrt{\sum_{v=1}^5 (k_v(c_i) - k_v(c_j))^2}$$

Zur Berechnung des kulturellen Abstands zweier Partner ist jedem Unternehmen jeweils ein Land zuzuordnen. Diese Zuordnung kann in erster Näherung über den Firmensitz erfolgen, allerdings ist dies gerade bei international agierenden Firmen unter Umständen nicht ausreichend. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn der an der Kooperation beteiligte Unternehmensteil in einem anderen Land angesiedelt ist. Würde man den Sitz des Unternehmensteils als Referenzland verwenden, würde die Beziehung zum Mutterunternehmen nicht berücksichtigt werden. Beispielsweise ist die Adam Opel AG (Deutschland) als Tochterunternehmen von General Motors (USA) durchaus „amerikanischer“ als beispielsweise BMW. Berücksichtigt man noch die innerhalb der Kooperation beteiligten Mitarbeiter, ist die Zuordnung eines Partners zu genau einer Landeskultur noch schwieriger. Aus diesem Grund ist es möglich, einem Partner mehrere Landeskulturen mit unterschiedlicher Gewichtung zuzuordnen. Dies erfolgt über die so genannte kulturelle Zuordnung eines Unternehmens:

Definition (Kulturelle Zuordnung eines Unternehmens): Sei p ein Kooperationspartner (Organisation) innerhalb einer Kooperation, wobei p im Rahmen der Kooperation von den Kulturen c_1, \dots, c_k beeinflusst wird. Die kulturelle Zuordnung (oder Erzeugnis) eines Unternehmens im Rahmen der Kooperation ist die Mehrfachmenge⁴⁶ der beeinflussenden Kulturen, wobei die Gewichtungen durch die Häufigkeit des Auftretens repräsentiert werden:

$$\langle p \rangle^C = \{c_1^{(n_1)}, \dots, c_k^{(n_k)}\} \text{ mit } n_v \text{ Häufigkeit der Landeskultur } c_v$$

In der Definition beschreibt n_v die Gewichtung des Landes c_v in der kulturellen Zuordnung des Partners.

⁴⁶ Mehrfachmenge oder Multimenge: Ein Element kann mehrfach in der Menge auftauchen.

Die Mächtigkeit (d.h. Anzahl der Elemente) der Mehrfachmenge kulturelle Zuordnung ist die Summe der Gewichtungen der beteiligten Kulturen: $|< p >^C| = |\{c_1^{(n_1)}, \dots, c_k^{(n_k)}\}| = \sum_{i=1}^k n_i$. Sind in einer Kooperation für ein Unternehmen p_0 beispielsweise drei Deutsche, ein Franzose und zwei Inder beteiligt, so ergibt sich für die Mächtigkeit der kulturellen Zuordnung $|< p_0 >^C| = |\{Deutschland^{(3)}, Frankreich^{(1)}, Indien^{(2)}\}| = 3 + 1 + 2 = 6$.

Die Bestimmung der kulturellen Zuordnung eines Unternehmens im Kontext einer Kooperation kann je nach Detaillierung (Berücksichtigung der Unternehmensstruktur (und Historie) sowie die beteiligten Mitarbeiter) beliebig komplex sein. Wie ist beispielsweise ein chinesischer Mitarbeiter eines deutschen Unternehmens zu bewerten, wenn er

- in China aufgewachsen ist und studiert hat?
- in China zur Schule gegangen ist, aber in Deutschland studiert hat?
- in Deutschland geboren wurde und aufgewachsen ist?

Das Konzept der kulturellen Zuordnung ermöglicht es, eine Gewichtung vorzunehmen, wobei die Festlegung der Gewichtungen von Fall zu Fall relativ schwierig sein kann. Hierbei ist es nur möglich grundsätzliche Vorgaben zu machen, die der Situation anzupassen sind. Da der berechnete kulturelle Abstand selbst nur ein „Richtwert“ sein kann, ist eine gröbere Abschätzung durchaus zulässig. Je nach erwarteter Dauer der Kooperation macht es mehr oder weniger Sinn, die involvierten Mitarbeiter in die Berechnungen mit einzubeziehen.

Die Berechnung des kulturellen Abstands zweier Kooperationspartner basiert auf deren kulturellen Zuordnung. Da die Mächtigkeit der kulturellen Zuordnungen im Allgemeinen nicht gleich ist, muss dieses Ungleichgewicht ausgeglichen werden, indem die Zuordnungen entsprechend vervielfacht werden. Hierzu bestimmt man über die Primzahlenzerlegung der Mächtigkeit der beiden Zuordnungen das kleinste gemeinsame Vielfache (kgV). Die Vielfachheit der Zuordnung ist dann der Faktor, der zum kgV fehlt. Damit lässt sich die *ausgewogene kulturelle Zuordnung* zweier Kooperationspartner formulieren: Seien $< p_1 >^C = \{c_1^{(n_1)}, \dots, c_k^{(n_k)}\}$ und $< p_2 >^C = \{c_1^{(n_1)}, \dots, c_k^{(n_k)}\}$ die kulturelle Zuordnung der Kooperationspartner p_1 und p_2 , so gilt für die ausgewogene kulturelle Zuordnung:

$$\begin{aligned} < \{p_1, p_2\} >^C &= < p_1 >_{\{p_1, p_2\}}^C \cup < p_2 >_{\{p_1, p_2\}}^C \\ &= [< p_1 >^C]^{kgV(|< p_1 >^C|, |< p_2 >^C|) / |< p_1 >^C|} \cup [< p_2 >^C]^{kgV(|< p_1 >^C|, |< p_2 >^C|) / |< p_2 >^C|} \\ &= \{c_1^{(n_1)}, \dots, c_k^{(n_k)}\}^{kgV(|< p_1 >^C|, |< p_2 >^C|) / |< p_1 >^C|} \cup \{c_1^{(n_1)}, \dots, c_m^{(n_m)}\}^{kgV(|< p_1 >^C|, |< p_2 >^C|) / |< p_2 >^C|} \end{aligned}$$

Hierbei gibt $kgV(|< p_1 >^C|, |< p_2 >^C|) / |< p_i >^C|$ mit $i = \{1, 2\}$ die Vielfachheit der kulturellen Zuordnungen von p_i innerhalb der ausgewogenen Zuordnung von p_1 und p_2 an. Der Ausdruck $< p_i >_{\{p_1, p_2\}}^C = [< p_i >^C]^{kgV(|< p_1 >^C|, |< p_2 >^C|) / |< p_i >^C|}$, $i = \{1, 2\}$ beschreibt den Beitrag von p_i zur ausgewogenen kulturellen Zuordnung und wird kulturelle Zuordnung von p_i unter der

ausgewogenen kulturellen Zuordnung von p_1 und p_2 genannt. Für die Mächtigkeit der Zuordnungen (Mehrfachmengen) gilt folgender Zusammenhang:

$$|\langle p_1 \rangle_{\{p_1, p_2\}}^c| = |\langle p_2 \rangle_{\{p_1, p_2\}}^c| = \text{kgV}(|\langle p_1 \rangle^c|, |\langle p_2 \rangle^c|) \quad \text{und damit}$$

$$|\langle \{p_1, p_2\} \rangle^c| = 2 \cdot \text{kgV}(|\langle p_1 \rangle^c|, |\langle p_2 \rangle^c|)$$

Mit den bisher angestellten Überlegungen lässt sich der kulturelle Abstand zweier Partner innerhalb einer Kooperation bestimmen:

Definition (Kultureller Abstand zweier Kooperationspartner): Seien p_1 und p_2 zwei Partner innerhalb einer Kooperation und $\langle p_i \rangle_{\{p_1, p_2\}}^c = \{\tilde{c}_1^{(i)}, \dots, \tilde{c}_n^{(i)}\}$, $i = \{1, 2\}$, $n = \text{kgV}(|\langle p_1 \rangle^c|, |\langle p_2 \rangle^c|)$ die kulturellen Zuordnungen unter dem ausgewogenen Erzeugnis von p_1 und p_2 . Dann ist der (geometrische) kulturelle Abstand zweier Kooperationspartner definiert als

$$D_{\text{Kultur}}(p_1, p_2) := \frac{1}{n^2} \sum_{\xi \in \langle p_1 \rangle_{\{p_1, p_2\}}^c} \sum_{\lambda \in \langle p_2 \rangle_{\{p_1, p_2\}}^c} \sqrt{\sum_{v=1}^5 (k_v(\xi) - k_v(\lambda))^2}$$

oder äquivalent

$$D_{\text{Kultur}}(p_1, p_2) := \frac{1}{n^2} \sum_{q=1}^n \sum_{p=1}^n \sqrt{\sum_{v=1}^5 (k_v(\tilde{c}_q^{(1)}) - k_v(\tilde{c}_p^{(2)}))^2}$$

Anschaulich betrachtet ist der kulturelle Abstand der Partner die mittlere Summe der kulturellen Abstände der Landeskulturen innerhalb einer kulturellen Zuordnung.

Seien p_1, \dots, p_k die Partner des Konsortiums K , dann ist der kulturelle Abstand des Partners p zum restlichen Konsortium

$$D_{\text{Kultur}}(p, K) = \min\{D_{\text{Kultur}}(p, p_j) \mid p_j \in K\}$$

Auf diese Weise kann bestimmt werden, welcher Partner den kulturell größten Abstand zum Konsortium hat. Weiterhin ist dies eine Kenngröße hilfreich bei der Einschätzung eines potentiellen Partners im Hinblick auf die Aufnahme in das Konsortium.

Definition (Mittlerer kultureller Abstand innerhalb einer Kooperation): Sei $K = \{p_1, \dots, p_k\}$ das Konsortium einer Kooperation und $Z_K(p_i) = \{\tilde{c}_1^{(i)}, \dots, \tilde{c}_n^{(i)}\}$, $n = \text{kgV}(|Z(p_1)|, \dots, |Z(p_k)|)$, $i = \{1, \dots, k\}$ die kulturellen Zuordnungen von p_i unter der ausgewogenen Zuordnung von K . Dann ist der mittlere (geometrische) kulturelle Abstand des Konsortiums definiert als

$$D_{\text{Kultur}}^{\text{mittel}}(K) = \frac{2}{|K|^2 - |K|} \sum_{a=1}^{|K|-1} \sum_{b=a+1}^{|K|} D_{\text{Kultur}}(p_a, p_b)$$

Innerhalb einer Kooperation haben einige Partner ggf. einen höheren bzw. niedrigeren Stellenwert. Beispielsweise ist ein Teilezulieferer weniger „wichtig“ als ein OEM. Dementsprechend ist der kulturelle Beitrag, den jeder Partner liefert, ggf. unterschiedlich zu gewichten. Dies führt zur Definition des gewichteten mittleren kulturellen Abstands innerhalb einer Kooperation.

Definition (Gewichteter mittlerer kultureller Abstand innerhalb einer Kooperation): Sei $K = \{p_1, \dots, p_k\}$ das Konsortium einer Kooperation, $\sigma = (\alpha_1, \dots, \alpha_k)$ der ganzzahlige Gewichtsvektor ($\alpha_i \geq 0$) der die Bedeutung der einzelnen Partner innerhalb der Kooperation repräsentiert.

Weiterhin seien $\langle p_i \rangle_K^\sigma = (\langle p_i \rangle_K^C)^{\alpha_i} = \{\tilde{c}_1^{(i)}, \dots, \tilde{c}_{\alpha_i}^{(i)}\}$, $\alpha_i n = \alpha_i \cdot \text{kgV}(|\langle p_1 \rangle_K^C|, \dots, |\langle p_k \rangle_K^C|)$, $i = \{1, \dots, k\}$ die gewichteten kulturellen Zuordnungen von p_i unter der ausgewogenen Zuordnung von K . Dann ist der gewichtete mittlere (geometrische) kulturelle Abstand des Konsortiums definiert als

$$D_{\text{Kultur}}^{\text{mittel}}(K, \sigma) = \frac{2}{|K|^2 - |K|} \sum_{a=1}^{|K|-1} \sum_{b=a+1}^{|K|} \frac{1}{\alpha_a \alpha_b} D_{\text{Kultur}}(p_a, p_b)$$

Der mittlere kulturelle Abstand innerhalb einer Kooperation ist ein Indikator für das interkulturelle Gefährdungspotential innerhalb der Kooperation. Bei relativ großem Abstand müssen die Kooperationspartner besonders auf interkulturelle Aspekte achten, d. h. es sind evtl. besondere Schulungen der Mitarbeiter notwendig etc. Zumindest muss den in der Kooperation beteiligten Mitarbeitern (insbesondere Ingenieuren) die Problematik bewusst sein.

4.4.3 Transitive Semantische Hülle und semantisches Abstandsmaß

Eine wesentliche Phase des Systembaumusterplans ist die Bestimmung der Kooperationsontologie auf Basis der als essentiell markierten Konzepte (Phase 2). Es macht jedoch keinen Sinn, ein Konzept isoliert zu betrachten. Deshalb wird zunächst eine geeignete Umgebung um ein markiertes Konzept bestimmt. Anschließend sind diese Umgebungen entsprechend ihres semantischen Abstands zu verbinden (siehe Bild 4-16). Als Grundlage für dieses Vorgehen wird eine Vorschrift zur Bestimmung einer geeigneten Umgebung, die Transitive Semantische Hülle, sowie ein Abstandsmaß für Konzeptmengen abgeleitet.

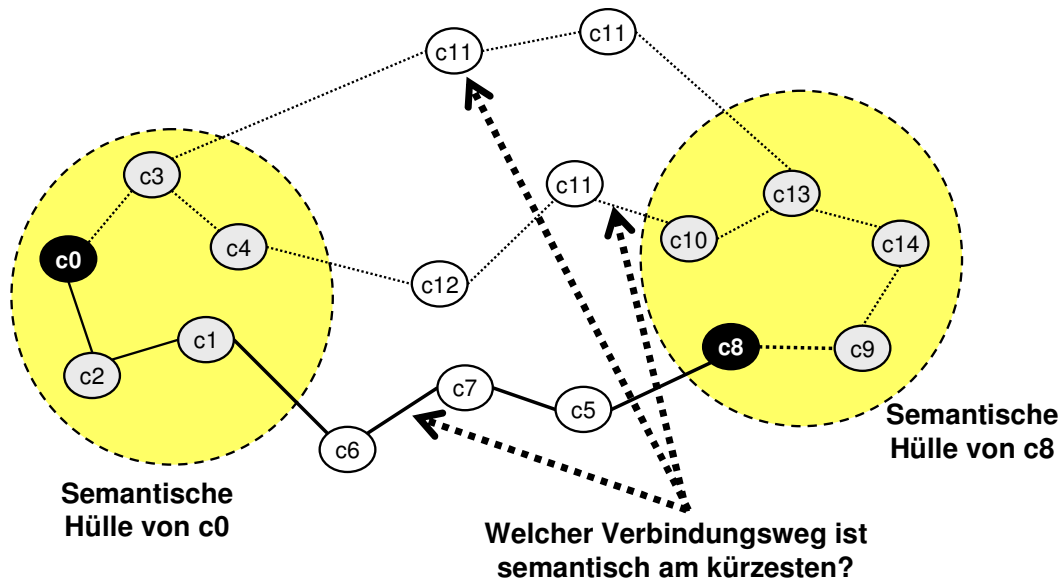


Bild 4-16: Semantische Hülle und semantische Abstandsmaße

4.4.3.1 Transitive Semantische Hülle

In diesem Abschnitt wird zunächst eine geeignete Umgebung (Hülle) um ein Konzept definiert und anschließend die Vereinigung von zwei Hüllen diskutiert. Die Hülle sollte so gewählt sein, dass sie selbst „semantisch abgeschlossen“ ist. Konzepte sind über Relationen miteinander verbunden, die unterschiedliche Eigenschaften haben können. Eine wichtige Eigenschaft ist hierbei die Transitivität: Sind sowohl die Konzepte k_1 und k_2 als auch k_2 und k_3 über eine transitive Relation R verbunden, so kann semantisch geschlossen werden, dass die Konzepte k_1 und k_3 auch über die Relation R verbunden sind (d. h. $(k_1 R k_2)$ und $(k_2 R k_3) \rightarrow (k_1 R k_3)$). Somit sind die Konzepte k_1 und k_3 direkt semantisch verbunden, wobei dies nicht explizit modelliert ist. Weiterhin liegt nahe, dass alle „Oberkonzepte“ (is_a Relation) und „Attribute“ (part-off-Relation) der Konzepte einzubeziehen sind. Dies führt zur Definition der transitiven semantischen Hülle eines Teilnetzes:

Definition (Transitive Semantische Hülle): Sei $T=(K^*,E^*)$ ein semantisches Teilnetz eines semantischen Netzes $SN=(K,E)$. Weiterhin sei R_T die Menge der transitiven Relationen, $E_H \subseteq E$ Kanten der Hierarchie-Relation und $E_A \subseteq E$ Kanten der Attribut-Relation von E . Die transitive semantische Ergänzung (ΔK^T) mit Radius $r > 0$ enthält alle Konzepte (aus $K \setminus K^*$) die auf Basis einer transitiven Relation $R \in E_T$ ausgehend von einem Konzept $k \in K^*$ semantisch geschlossen werden können (unter Berücksichtigung der Ober- und Attributkonzepte). Diese Konzeptmenge lässt sich formal beschreiben durch

$$\Delta^T K_r := \{k \in K \setminus K^* \mid \exists R^* \in R_T \exists k^* \in K^* \quad p+1 \leq r \exists u_1, \dots, u_p \in K \quad R_i \in \{R^*\} \cup \{R_H\} \cup \{R_A\} \\ k^* R_1 u_1, u_1 R_2 u_2, \dots, u_p R_{p+1} v\}$$

Die transitive semantische Hülle $TSH(T) := (K^T, E^T)$ von T (oder kurz: semantische Hülle (SH)) mit Radius r ist definiert als der Teilgraph von S , der die Knoten aus $K^* \cup \Delta K$ enthält.

Die Kantenmenge lässt sich schreiben als:

$$E^T := \{e \in E \setminus E^* \mid \exists v \in \Delta K^T \exists u \in \Delta K^T \cup K^* e = (u, v, R) \vee e = (v, u, R)\}$$

Insgesamt lässt sich die transitive semantische Hülle schreiben als $TSH^{(r)} := (K^* \cup \Delta K^T, E^T)$. Statt $TSR^{(\infty)}$ wird nachfolgend kurz TSH geschrieben.

Anschaulich betrachtet enthält die semantische Hülle eines Teilnetzes T alle Wege innerhalb des semantischen Netzes S , die von Knoten aus T ausgehen, wobei alle Kanten eines Weges denselben transitiven Relationstyp R besitzen. Dies wird ergänzt durch deren Attribute und Oberkonzepte. Die Konstruktion einer Semantischen Hülle eines gegebenen Teilnetzes erfolgt analog:

- Bestimme die Menge $\Delta^T K$ der Konzepte, die auf einem Weg (kein Semiweg (siehe Anhang A3)) ausgehend von einem Konzept k aus K^* erreichbar sind, wobei auf dem Weg nur Kanten einer transitiven Relation R^t bzw. Hierarchie- oder Attribut-Relation liegen dürfen. Für die Konstruktion der semantischen Ergänzung ist die Richtung des Graphen zu berücksichtigen, da aus aRb nicht notwendiger Weise bRa folgt. Weiterhin sind bzgl. der Hierarchierelation nur Oberkonzepte zu berücksichtigen, weshalb auch hier die Richtung der Kanten wichtig ist.

Ausgehend von jedem Konzept k der Konzeptmenge werden die Wege $w \in E^*$ abgelaufen: Es werden nur Kanten berücksichtigt, die zu einem Konzept führen, das nicht in K^* liegt. Weiterhin muss die der Kante zugeordnete Relation eine transitive Relation oder Hierarchie- bzw. Attributrelation sein. Auf einem Weg darf nur ein Typ einer transitiven Relation (außer Hierarchierelation) liegen. Nun wird der Referenzgraph von k so lange abgelaufen, bis kein weiteres Konzept über eine zulässige Kante erreichbar ist. Es werden alle Konzepte hinzugefügt, die auf dem Weg liegen.

- Nachdem die Menge ΔK bestimmt ist, wird die Kantenmenge ΔE berechnet. Hierzu wird für jedes Konzept aus ΔK überprüft, ob im Referenznetzwerk SN eine Kante zu einem Konzept aus $\Delta K \cup K^*$ existiert. Ist dies der Fall, wird die Kante in die Menge ΔE aufgenommen.

Da nur die transitiven Relationen ausgehend von der (ursprünglichen) Konzeptmenge betrachtet werden, ist die transitive Hülle nur bezüglich dieser „Ursprungsmenge“ transitiv abgeschlossen. Die transitive Hüllen zweier beliebiger Teilgraphen (T_1, T_2) einer transitiven Hülle $(TSH \supseteq T_1, T_2)$ sind im Allgemeinen nicht gleich, d. h. $TSH(T_1) \neq TSH(T_2)$.

Definition (Verschmelzung nicht disjunkter transitiver semantischer Hüllen): Seien $T_1=(K_1, E_1)$ und $T_2=(K_2, E_2)$ zwei semantische Teilnetze eines semantischen Netzes $SN=(K, E)$ und $TSE_i (K_i^T, E_i^T)$ die transitive semantische Hülle von T_i bezüglich SN ($i=\{1,2\}$). Ist die Knotenmenge der semantischen Hüllen nicht disjunkt ($K_1^* \cap K_2^* \neq \{\}$), so ist die transitive Hülle der Vereinigung der Teilnetze die Vereinigung der Konzept- und Kantenmenge der zugehörigen semantischen Hüllen ergänzt um die Kanten E^U zwischen Konzepten aus K_i^T und K_j^T :

$$K_1^* \cap K_2^* \neq \{\} \Rightarrow TSE(T_1 \cup T_2) = (K_1^T \cup K_2^T, E_1^T \cup E_2^T \cup E^U).$$

mit $E^U := \{e \in E \setminus E^* \mid \exists v \in K_1^* \exists u \in K_2^* e = (u, v, R) \vee e = (v, u, R)\}$.

Die Bildung einer semantischen Hülle soll beispielhaft anhand eines Extraktes aus einer im Rahmen des SimPDM-Projektes entwickelten Ontologie zur Beschreibung von Simulationsdaten in einem PDM-System dargestellt werden. Bild 4-17 zeigt die semantischen Hüllen der Konzepte „Document“ (deutsch: Dokument) und „Damper“ (deutsch: Dämpfer) in der verwendeten Teilontologie. Das Konzept „Damper“ besitzt keine ausgehenden Relationen, wohl aber dessen Oberkonzept „Model Element“. Die Relation R7 ist transitiv, geht von „Model Element“ aus und führt über das Konzept „Property set version“ zum Konzept „Property“. Das Konzept „Part“ ist nicht Teil der semantischen Hülle, da hier nur ein Semiweg (bzgl. der Relation R7) existiert. Das Konzept „Document“ besitzt kein Oberkonzept und nur eine ausgehende Relation zu dem Konzept „Reference to file“. Dementsprechend enthält die zugehörige semantische Hülle nur zwei Konzepte.

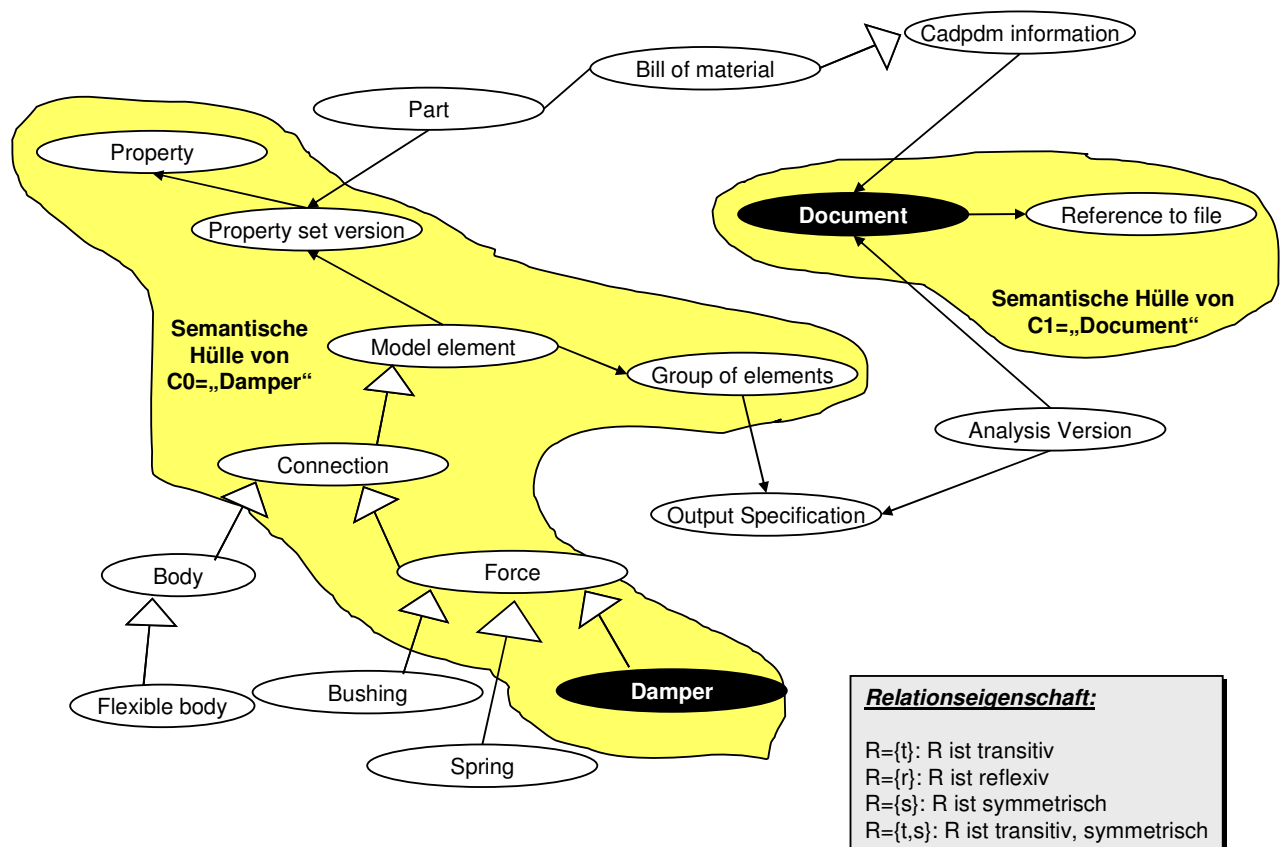


Bild 4-17: Bildung semantischer Hüllen anhand eines Beispiels

4.4.3.2 Semantisches Abstandsmaß für Konzepte und Konzeptmengen

Ein wichtiger Punkt ist die Wahl einer geeigneten Metrik D_{sem} zur Quantifizierung des semantischen Abstands zwischen zwei Konzepten der Zusammenhangskomponenten. Bei der Festlegung des Abstandsmaßes ist zu beachten, dass die Referenzontologie evtl. mehrsprachig ist und die Spezifikation von Synonymen beinhaltet. Die Angabe des Typs der semantischen

Relation (reflexiv, transitiv etc.) kann ebenfalls optional modelliert sein. Das Abstandsmaß sollte diese optionalen Informationen (Synonyme, Mehrsprachlichkeit, Angabe des Typs der Relationen) verwenden, falls sie in der Referenzontologie hinterlegt sind.

Bisherige kantenorientierte Ansätze zur Abstandsmessung haben den Nachteil, dass die Konzepte innerhalb des Netzes verbunden sein müssen. Existierende knotenbasierte Ansätze ermöglichen zwar den Vergleich nicht verbundener Konzepte, konzentrieren sich jedoch nur auf eine bestimmte Umgebung um die Konzepte, ohne den semantischen Weg zwischen den Konzepten zu berücksichtigen. Deshalb wird eine Metrik D_{sem} eingeführt, die beide Ansätze auf Basis des Synset-Feature-Neighborhood-Ähnlichkeitsmaßes (siehe Abschnitt 3.5.1) miteinander verbindet und eine flexible Verwendung der verschiedenen Kriterien zur Abstandsmessung erlaubt. Das Ähnlichkeitsmaß liegt zwischen 0 und 1 und beschreibt die semantische Ähnlichkeit, wobei 1 semantisch äquivalent bedeutet. Auf Basis eines Ähnlichkeitsmaßes (S) kann durch $D:= 1-S$ ein Abstandsmaß definiert werden.

Das Synset-Feature-Neighborhood-Ähnlichkeitsmaß ist eine gewichtete Summe der semantischen Ähnlichkeitsmaße

- des Konzept-Namens (unter Berücksichtigung der Synonyme) (S_W),
- der Features (Attribute, Parts, Funktionen) der Konzepte (S_F) und
- der Konzepte in einer Umgebung (Nachbarschaft, S_N) mit Radius r .

Die zugrunde liegende Referenzontologie ist evtl. multilingual, d. h. ein Konzept kann eine oder mehrere Übersetzungen haben. Insofern kann es als sinnvoll angesehen werden, auch einen Ähnlichkeitsvergleich der Übersetzungen durchzuführen.

Insgesamt erfolgt die Bestimmung der semantischen Ähnlichkeit (D_{sem}) zweier Konzepte k_1 und k_2 auf Basis der gewichteten Summe der Kennzahlen des Synset-Feature-Neighborhood-Ähnlichkeitsmaßes unter Berücksichtigung der Mehrsprachlichkeit der zugrunde liegenden Ontologie und ergänzt durch die

- minimale (gewichtete) Weglänge auf dem semantischen Netz zwischen den Konzepten k_1 und k_2 (S_E).

Die Gewichtung der einzelnen Kenngrößen ist der jeweiligen Situation anzupassen. Nicht vorhandene oder nicht anwendbare Kenngrößen werden im jeweiligen Durchführungsschritt des Verfahrens ausgeblendet, indem das Gewicht auf Null gesetzt wird. Bei der Bestimmung des semantischen Abstands/Ähnlichkeit zwischen zwei nicht verbundenen Konzepten wird beispielsweise die minimale Weglänge nicht berücksichtigt.

Verallgemeinerung der Kenngrößen des Synset-Feature-Neighborhood-Ähnlichkeitsmaßes für multilinguale Ontologien

Die vorliegende Ontologie kann für mehrere Sprachen definiert sein (multilinguale Ontologie). Somit kann ein Konzept in jeder verfügbaren Sprache durch mehrere äquivalente Begriffe (Synonyme) bezeichnet werden. Dies gilt entsprechend auch für die Attribute, Oberkonzept-

te etc. weshalb an dieser Stelle das Synset-Feature-Neighborhood Ähnlichkeitsmaß auf multilinguale Ontologien erweitert wird. Die Handhabung mehrsprachiger Ontologien ist nicht trivial, zumal nicht jedes Wort in eindeutiger Weise in eine andere Sprache übersetzt werden kann. Deshalb wird eine mehrsprachige Ontologie meist zunächst in einer Referenzsprache erstellt (z. B. Englisch), und anschließend werden Übersetzungen für die einzelnen Konzepte bestimmt. Weiterhin müssen die Ähnlichkeitsmaße auch auf einsprachige Ontologien anwendbar sein. Aus diesem Grund können die Werte der berechneten Ähnlichkeiten entsprechend der betrachteten Sprachen gewichtet und auf diese Weise den Gegebenheiten der Ontologie angepasst werden.

Die Kenngrößen des Synset-Feature-Neighborhood-Ähnlichkeitsmaßes [RoEg-03] basieren auf dem Tversky-Modell [Tver-77], weshalb dieses für mehrsprachige Ontologien verallgemeinert werden muss.

Definition (Erweitertes Tversky-Modell für multilinguale Ontologien):

Seien k_1 und k_2 zwei nicht notwendigerweise verbundene Konzepte einer multilingualen Ontologie O . Weiterhin sei $L=\{l_1, \dots, l_p\}$ die Menge der Sprachen der Ontologie und $w_L=(w_1, \dots, w_p)$ die Gewichtung der einzelnen Sprachen mit $\sum_{i=1}^p w_i = 1$ und $w_i \geq 0$. $B_{k_1}(l_i) := X(l_i)$ und $B_{k_2}(l_i) := Y(l_i)$ bezeichnen die Beschreibungsmengen (Synonyme, Attribute, Oberkonzepte etc.) der Konzepte k_1 und k_2 bzgl. der Sprache l_i . Dann ist die semantische multilinguistische Ähnlichkeit der Konzepte definiert als die gewichtete Summe der semantischen Ähnlichkeiten des Tversky-Modells:

$$S^L(k_1, k_2) := \sum_{l_i \in L} \frac{|X(l_i) \cap Y(l_i)|}{|X(l_i) \cap Y(l_i)| + \alpha(k_1, k_2) |X(l_i) / Y(l_i)| + (1 - \alpha(k_1, k_2)) |Y(l_i) / X(l_i)|}$$

Der Parameter $0 < \alpha \leq 0,5$ berechnet sich aus der Hierarchietiefe $h(k_i) \geq 1$ der Konzepte k_1 und k_2 :

$$\alpha(k_1, k_2) = \begin{cases} \frac{h(k_1)}{h(k_1) + h(k_2)} & \text{falls } h(k_1) \leq h(k_2) \\ \frac{h(k_2)}{h(k_1) + h(k_2)} & \text{falls } h(k_1) > h(k_2) \end{cases}$$

Ersetzt man in der ursprünglichen Definition der Kenngrößen S_W und S_F die Funktion S durch S^L , erhält man deren multilinguistische Darstellungen. Zur Berechnung des semantischen Nachbarschaftsabstands (S_N) werden diese Kenngrößen verwendet, sodass durch rekursive Ersetzung das entsprechende multilinguistische Ähnlichkeitsmaß abgeleitet werden kann (siehe Anhang).

Semantisches Ähnlichkeitsmaß (S_E) auf Basis der (gewichteten) Weglänge im semantischen Netz

Bevor das semantische Abstandsmaß für die gewichtete Weglänge formuliert werden kann, muss die Gewichtung der Kanten des semantischen Netzwerks festgelegt werden. Die Gewichtung erfolgt auf Basis der Eigenschaften (z. B. reflexiv, transitiv, etc.) der Relation, die durch eine Kante im semantischen Netz repräsentiert wird.

Definition (Gewichtung der Kanten): Sei $e \in E$ eine Kante des semantischen Netzes $S=(K,E)$ welche eine semantische Relation R repräsentiert. Weiterhin sei $\vartheta: R \rightarrow \{0,1\}^6$ die Zuordnung der Relationseigenschaften {reflexiv, symmetrisch, transitiv, irreflexiv, antisymmetrisch, anti-transitiv}. Abhängig von den Relationseigenschaften wird jeder Relation R und damit der zugehörigen Kante e ein Gewicht w_R ($0 \leq w_R \leq 1$) zugeordnet:

$$w_R := w_R(\vartheta) = \begin{cases} 0 & \text{falls } \vartheta = (1,1,1,0,0,0) \\ 1 - \lambda & (0,5 < \lambda < 0,8) \quad \text{falls } R \text{ Konzepthierarchie} \\ 1 - \zeta & (0,2 < \zeta < 0,5) \quad \text{falls } R \text{ Attributrelation} \\ 1 - \sum_{i=0}^6 \mu_i \vartheta_i & (0 < \mu_i < \frac{1}{3}) \quad \text{sonst} \end{cases}$$

Die Gewichtsverteilung ist nicht linear, sondern ermöglicht die gesonderte Behandlung ausgezeichneter Relationen. Sind für R keine Relationseigenschaften modelliert (d. h. $\vartheta = (0,0,0,0,0,0)$), so wird das Gewicht der Kante $w_R=1$ gesetzt. Ist R eine Äquivalenzrelation (reflexiv, transitiv, symmetrisch, d. h. $\vartheta = (1,1,1,0,0,0)$), so sind die verbundenen Konzepte äquivalent, weshalb der semantische Abstand der über die Relation R verbundenen Konzepte $w_R=0$ ist. Ist die Beziehung zwischen zwei Konzepten eine Hierarchie- bzw. Attributrelation, so kann die Gewichtung über die Parameter λ und ζ gesetzt werden.

Handelt es sich bei der Relation R um keinen der ausgezeichneten Fälle, so erfolgt die Berechnung des Kantengewichts (d. h. des semantischen Abstands) parametrisiert über die Relationseigenschaften. Jede der sechs Relationseigenschaften kann über die Parameter μ_i unterschiedlich gewichtet werden. Beispielsweise deuten die Eigenschaften „transitiv“ und „symmetrisch“ eher auf eine semantische Ähnlichkeit der durch die Relation verbundenen Konzepte hin, als „antisymmetrisch“ und „irreflexiv“. Der Relationstypvektor ϑ ist so dimensioniert, dass mit wachsendem Vektorindex der semantische Abstand zwischen zwei durch diese Relation verbundene Konzepte steigt (d. h. $1 - \mu_i \geq 1 - \mu_{i-1}$). Da sich jeweils drei Eigenschaften paarweise widersprechen, können höchstens drei Einträge des Vektors ϑ eins sein. Damit ist aufgrund des Wertebereichs der μ_i zwischen 0 und $\frac{1}{3}$ garantiert, dass das Kantengewicht zwischen 0 und 1 liegt.

In Anlehnung an die Pfaddefinition der Graphentheorie werden der semantische Weg und dessen Weglänge wie folgt definiert:

Definition (Weg und Weglänge): Ein Weg w innerhalb einer Ontologie (bzw. semantischem Netz) $S=(V,E)$ von einem Konzept k_1 zu einem Konzept k_n ist definiert als

$$w = k_1 \cdot e_1 \cdot k_2 \cdot e_2 \dots \cdot k_{n-1} \cdot e_{n-1} \cdot k_n \text{ mit } \forall \xi \in [1, \dots, n-1] \quad (k_\xi, e_\xi, k_{\xi+1}) \in E$$

Ein solcher Weg wird auch notiert als $k_1 \triangleright k_n$. Die gewichtete Weglänge l von k_1 zu k_n über den Weg w ist die Summe der Kantengewichte der e_i mit $i=\{1, \dots, n-1\}$: $l(w) = \sum_{e_i \in w} w_R(e_i)$

Definition (Abstandsmaß bzgl. der Kantlänge): Sei $S=(V,E)$ ein semantisches Netz und $w_R : E \rightarrow [0,1]$ die Gewichtungsfunktion der Kanten. Weiterhin sei $W(k_1, k_2) = \{w_1, \dots, w_q\}$ die Menge aller Wege von k_1 nach k_2 und $l: w \rightarrow \mathbb{R}$ die Weglänge des Weges w . Der semantische Abstand zweier Konzepte $k_1, k_2 \in K$ bzgl. der Weglänge ist definiert als die minimale Weglänge von k_1 nach k_2 unter Berücksichtigung des Kantengewichtes.

$$D_E(k_1, k_2) := \min\{d = l(w_j) \mid w_j \in W(k_1, k_2)\} = \min\{d = \sum_{e_i \in w_j} w_R(e_i) \mid w_j \in W(k_1, k_2)\}$$

Die Werte des definierten Abstandsmaßes können alle positiven reellen Werte annehmen, sodass es nicht über 1-D in ein Ähnlichkeitsmaß überführt werden kann. Deshalb muss der Abstand mit einer Skalierungsfunktion in den Bereich $[0,1)$ transformiert werden. Der Wert 1 repräsentiert den unendlichen semantischen Abstand zweier Konzepte. Eine Skalierungsfunktion (t) muss das Intervall $[0, \infty)$ bijektiv auf das Intervall $[0,1)$ abbilden und streng monoton wachsend sein. Ein möglicher Kandidat ist die Funktion $t_p(x) = 1 - e^{-\frac{1}{p}x}$ $p > 0$, was durch einfaches Nachrechnen zu belegen ist:

Lemma (Skalierungsfunktion): Sei $p > 0$ eine beliebige positive reelle Zahl. Die Funktion $t_p(x) = 1 - e^{-\frac{1}{p}x}$ $p > 0$ ist für $x > 0$ bijektiv, streng monoton wachsend und der Wertebereich ist $[0,1)$.

Beweis:

Die Funktion t_p ist eine Komposition stetig-differenzierbarer Funktionen und damit stetig-differenzierbar. Damit ist t_p genau dann streng monoton wachsend, falls die 1. Ableitung > 0 ist. Die 1. Ableitung von t_p ist $t'_p(x) = \frac{1}{p} e^{-\frac{1}{p}x}$. Da $p > 0$ und $e^y > 0$ gilt insgesamt, dass

$$t'_p(x) = \frac{1}{p} e^{-\frac{1}{p}x} > 0 \quad \forall x \in \mathbb{R}. \text{ Durch das „Einsetzen“ der Randwerte des Intervalls } [0, \infty)$$

$$t_p(0) = 1 \text{ und } \lim_{x \rightarrow \infty} 1 - e^{-\frac{1}{p}x} = \lim_{x \rightarrow \infty} 1 - \frac{1}{e^{\frac{1}{p}x}} = 1 - \frac{1}{e^\infty} = 1 \text{ folgt mit der nachgewiesenen Eigen-}$$

schaft „streng monoton wachsend“, dass die Werte von t_p im Intervall $[0,1)$ liegen.

Weiterhin folgt aus der strengen Monotonie, dass t_p umkehrbar und damit injektiv ist. Die Surjektivität folgt aus der Tatsache, dass jeder beliebiger Wert aus $[0,1)$ erreicht wird: Sei y aus $[0,1)$, dann existiert ein $x > 0$, mit $t_p(x) = y$. Dies ist gerade $x = -p \ln(1 - y)$. Damit ist t_p eine bijektive (isomorphe) Abbildung des Intervalls $[0, \infty)$ auf das Intervall $[0, 1)$.

Mit Hilfe des Parameters p kann unterschiedlich skaliert werden (siehe Bild 4-18). Für $p=1$ ist bei einem gewichteten Kantenabstand von 3 die semantische Ähnlichkeit (1-Abstand) gerade 0,05%. Für einen Wert von $p=5$ erhält man bei gleichem Kantenabstand 45,12% semantische Ähnlichkeit. Bild 4-18 zeigt die Skalierungsfunktionen für verschiedene Werte des Skalierungsparameters p . Die Abszisse bezeichnet den (absoluten) Kantenabstand während die Ordinate die mittels t_p skalierten Wert angibt. Die semantische Ähnlichkeit der Konzepte nimmt (aufgrund der Wahl der Skalierungsfunktion) exponentiell zur Kantenlänge ab. Aufgrund der Bijektivität der gewählten Skalierungsfunktion (siehe Lemma 2), ist die Verknüpfung der Abstandsfunktion D_E mit der Skalierungsfunktion ($t_p \circ D_E(k_1, k_2)$) ebenfalls eine Metrik.

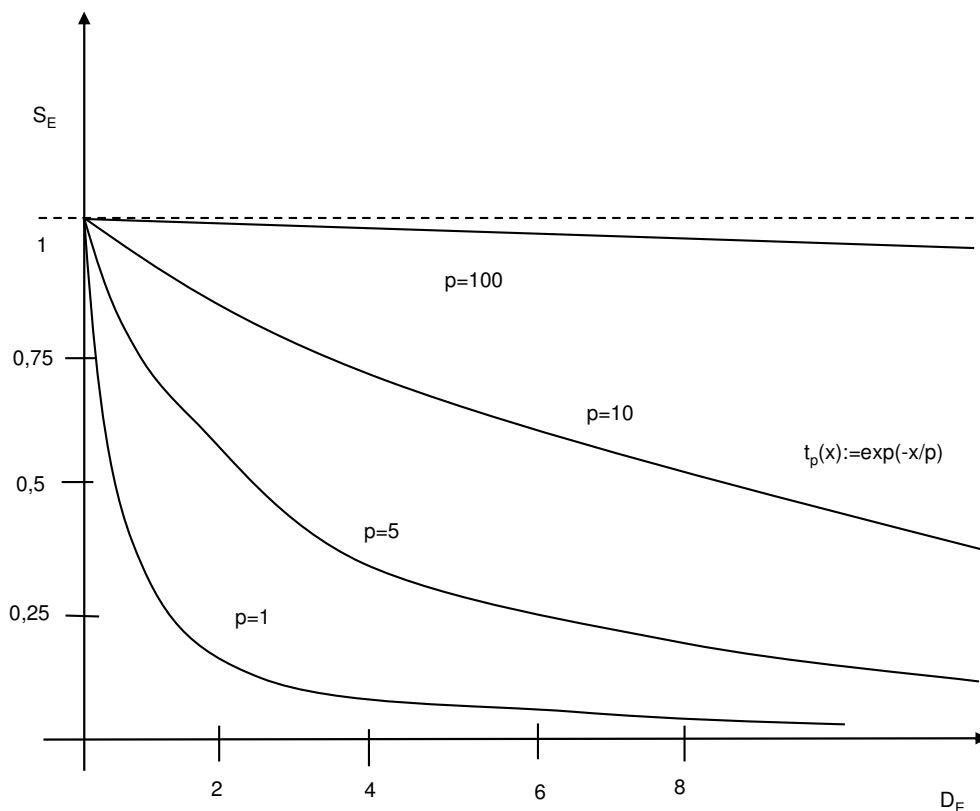


Bild 4-18: Parametrische Skalierungsfunktion des Abstandsmaßes

Definition (Skaliertes Abstandsmaß bzgl. der Kantenlänge): Sei $S=(V,E)$ ein semantisches Netz und $D_E: V \times V \rightarrow [0, \infty)$ eine Abstandsfunktion zweier Konzepte aus V . Weiterhin sei $t_p: [0, \infty) \rightarrow [0, 1)$ mit $t_p(x) = 1 - e^{-\frac{1}{p}x}$ $p > 0$ die Skalierungsfunktion. Dann ist der skalierte semantische Abstand zweier Konzepte $k_1, k_2 \in K$ bzgl. der Weglänge definiert als die minimale skalierte Weglänge von k_1 nach k_2 bezüglich des Kantengewichtes.

$$D_E^p(k_1, k_2) := t(D_E(k_1, k_2)) = 1 - e^{-\frac{1}{p} D_E(k_1, k_2)} \quad p > 0$$

Die semantische Ähnlichkeit bezüglich des Kantengewichtes ist $S_E(k_1, k_2) := 1 - D_E^p(k_1, k_2)$.

Semantischer, multilinguistischer Abstand zweier Konzepte

Auf Basis der bisherigen Überlegungen kann nun der semantische Abstand zweier Konzepte multilingualer Ontologien definiert werden.

Definition (Semantischer Abstand zweier Konzepte): Seien k_1 und k_2 nicht notwendigerweise verbundene Konzepte. Weiterhin seien folgende semantische Ähnlichkeitsmaße gegeben:

- *Kantenabstand* (S_E),
- *Wortabstand der Synonyme (Synset) unter Berücksichtigung der Mehrsprachlichkeit* (S_W),
- *Feature-Abstand (Part, Funktion und Attribut)* (S_U)
- *Struktureller semantischer Abstand um einen Radius r* (S_N)

Dann ist die (asymmetrische) semantische Ähnlichkeit der Konzepte k_1 und k_2 definiert als die gewichtete Summe der obigen Maße:

$$S_{sem}(k_1, k_2) := w_E S_E(k_1, k_2) + w_W S_W(k_1, k_2) + w_U S_U(k_1, k_2) + w_N S_N(k_1, k_2)$$

Der asymmetrische semantische Abstand der Konzepte ist $D_{sem}^{sym}(k_1, k_2) = 1 - S_{sem}^{sym}(k_1, k_2)$

Wobei die Gewichte im Bereich $[0,1]$ liegen und sich zu eins aufsummieren ($\sum w_X = 1$, $X = \{E, W, U, N\}$). Durch Mittelung der Werte der asymmetrischen Ähnlichkeit erhält man die symmetrische semantische Ähnlichkeit der Konzepte:

$$S_{sem}^{sym}(k_1, k_2) := \frac{1}{2} (w_E S_E(k_1, k_2) + w_W S_W(k_1, k_2) + w_U S_U(k_1, k_2) + w_N S_N(k_1, k_2) + w_E S_E(k_2, k_1) + w_W S_W(k_2, k_1) + w_U S_U(k_2, k_1) + w_N S_N(k_2, k_1))$$

Der symmetrische semantische Abstand der Konzepte ist $D_{sem}^{sym}(k_1, k_2) = 1 - S_{sem}^{sym}(k_1, k_2)$

Erweiterung des Abstandsmaßes auf Konzeptmengen (Zusammenhangskomponenten)

Zur Bestimmung der Zusammenhangskomponenten, die idealerweise miteinander zu verbinden sind, ist die Definition des semantischen Abstands von Konzepten auf semantische Teilnetze zu erweitern.

Definition (Absoluter und mittlerer semantische Abstand): Seien $M = \{m_1, \dots, m_p\}$ und $N = \{n_1, \dots, n_q\}$ eine Menge von Konzepten und D_{sem}^{sym} eine symmetrische Abstandsfunktion für

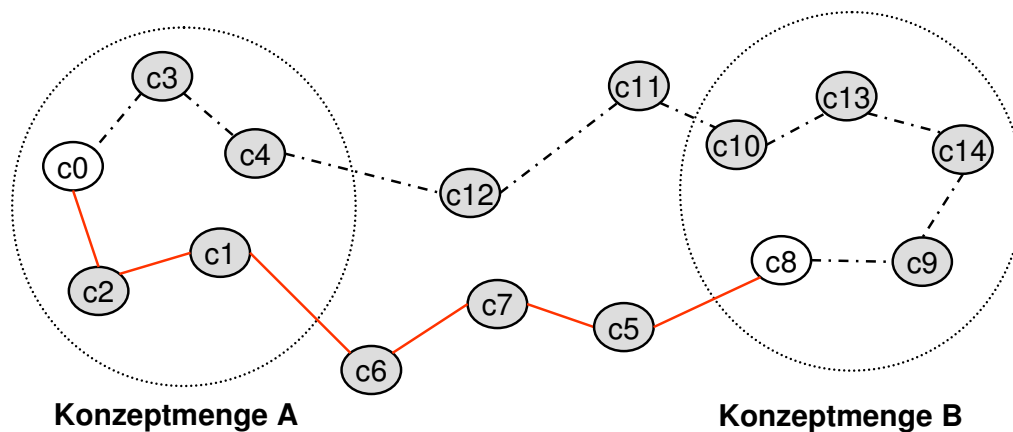
Konzepte, so ist der absolute semantische Abstand der Konzeptmengen M und N definiert als Minimum der semantischen Abstände deren Konzepte:

$$D_{sem}^{abs}(M, N) = \min\{D_{sem}^{sym}(m_i, n_j) \mid m_i \in M, n_j \in N\}$$

Der mittlere semantische Abstand ist definiert als die normierte Summe der semantischen Abstände der Konzepte in M und N :

$$D_{sem}^{mittel}(M, N) = \frac{1}{|M|} \sum_{m \in M} \min\{D_{sem}^{sym}(m, n_v) \mid n_v \in N\} \\ + \frac{1}{|N|} \sum_{n \in N} \min\{D_{sem}^{sym}(n, m_u) \mid m_u \in M\}$$

Die Berechnung des gewichteten Kantenabstandes berücksichtigt auch Wege innerhalb des semantischen Teilnetzes. Dies ist im ersten Moment ein Widerspruch, ist aber dadurch zu begründen, dass für die Berechnung des semantischen Abstands der Konzepte neben der Kantenlänge auch Attribute, Synonyme etc. berücksichtigt werden. Insofern würde der gefundene Abstand die Situation nicht korrekt widerspiegeln, falls nur die Kanten außerhalb der zu vergleichenden Teilmengen berücksichtigt würden. Dieser Sachverhalt ist beispielhaft in Bild 4-19 dargestellt. Zur Berechnung des Abstands der beiden Konzeptmengen $A = \{c0, c1, c2, c3, c4\}$ und $B = \{c8, c9, c10, c13, c14\}$ wird unter anderem der Abstand zwischen $c0$ und $c8$ berechnet. Seien die Gewichte der Kanten 1, so ist der tatsächliche Abstand zwischen $c0$ und $c8$ gleich 6 und der kürzeste Weg $w = c0, c2, c6, c7, c5, c8$. Würde man nur die externen Kanten berücksichtigen, ergibt sich eine Weglänge von drei über einen anderen Weg $w' = c0, c3, c4, c12, c11, c10, c13, c14, c9, c8$. Die tatsächliche Weglänge ist allerdings 9 und damit größer als die von w .



Legende:

---- Weg w

— Weg w'

(c6) Konzept

Bild 4-19: Bestimmung des semantischen Abstands der Konzeptmengen A und B

Bei der Ermittlung des minimalen Abstands zwischen den Konzepten c_0 und c_8 würden die SFA-Kenngrößen von c_0 und c_8 verglichen, während der Kantenabstand über die Konzepte c_4 und c_{10} berechnet werden würde. Wären c_0 und c_8 aufgrund der Kenngrößen des SFA die Konzepte mit dem kleinsten Abstand, dann würde im nächsten Schritt aufgrund der kürzeren externen Weglänge c_{12} und c_{11} hinzugefügt werden, obwohl eigentlich c_6 , c_7 und c_5 auf dem kürzesten Weg von c_0 nach c_8 liegen und hinzugefügt werden sollten.

Zur Bestimmung des Grades der semantischen „Unterschiedlichkeit“ der Konzepte einer Konzeptmenge wird über die Summe der semantischen Abstände der Konzepte der Zusammenhangskomponente gemittelt. Um die Abstände von n Konzepten untereinander zu bestimmen, sind $1 + 2 + \dots + n = \sum_{i=1}^n i = \frac{n^2 + n}{2}$ Vergleiche notwendig.

Definition (Interner semantischer Abstand): Sei $Z=(K,E)$ eine Zusammenhangskomponente mit der Konzeptmenge K und Kantenmenge E . Der interne semantische Abstand der Konzepte innerhalb der Zusammenhangskomponente ist definiert als die normierte Summe der semantischen Abstände der Konzepte in K :

$$I_{sem}^{sym}(K) := \frac{2}{|K|^2 + |K|} \sum_{k_1, k_2 \in K} D_{sem}^{sym}(k_1, k_2)$$

Für die Berechnung des Kantenabstandes werden nur Kanten aus E berücksichtigt. Für nicht zusammenhängende Konzeptmengen ist der interne semantische Abstand unendlich.

Zur Veranschaulichung soll der kürzeste Weg zwischen zwei semantischen Hüllen anhand des Beispiels SimPDM bestimmt werden. Wählt man $\mu_i = 0,3 (i=1, \dots, 6)$, $\zeta = 0,4$ und $\lambda = 0,7$ so erhält man die in Bild 4-20 gezeigten Kantengewichte. Der Weg $w_1 = \{\text{Property set version, Part, Bill of material, cadpdm information, Document}\}$ hat die Weglänge $L(w_1) = 0,7 * 3 + 0,3$. Der Weg $w_2 = \{\text{Group of Elements, Output Specification, Analysis Version, Document}\}$ hat die Länge $L(w_2) = 0,7 * 3$. Da die Weglänge von w_2 kürzer ist und die Skalierungsfunktion t_p streng monoton ist, stellt w_2 den kürzesten Weg dar. Berücksichtigt man bei der Abstandsberechnung nur die Weglänge (d.h. $w_E = 1$ und $w_w = w_F = w_N = 0$) und setzt $p = \frac{1}{5}$ in der Skalierungsfunktion t_p , so ergibt sich folgender absoluter Abstand zwischen den Konzeptmengen $SH(c_0)$ und $SH(c_1)$: $D(SH(c_0), SH(c_1)) = t_p(2, 1) = 1 - e^{-pD(SH_0, SH_1)} = 1 - e^{-\frac{1}{5}(2,1)} = 0,343$

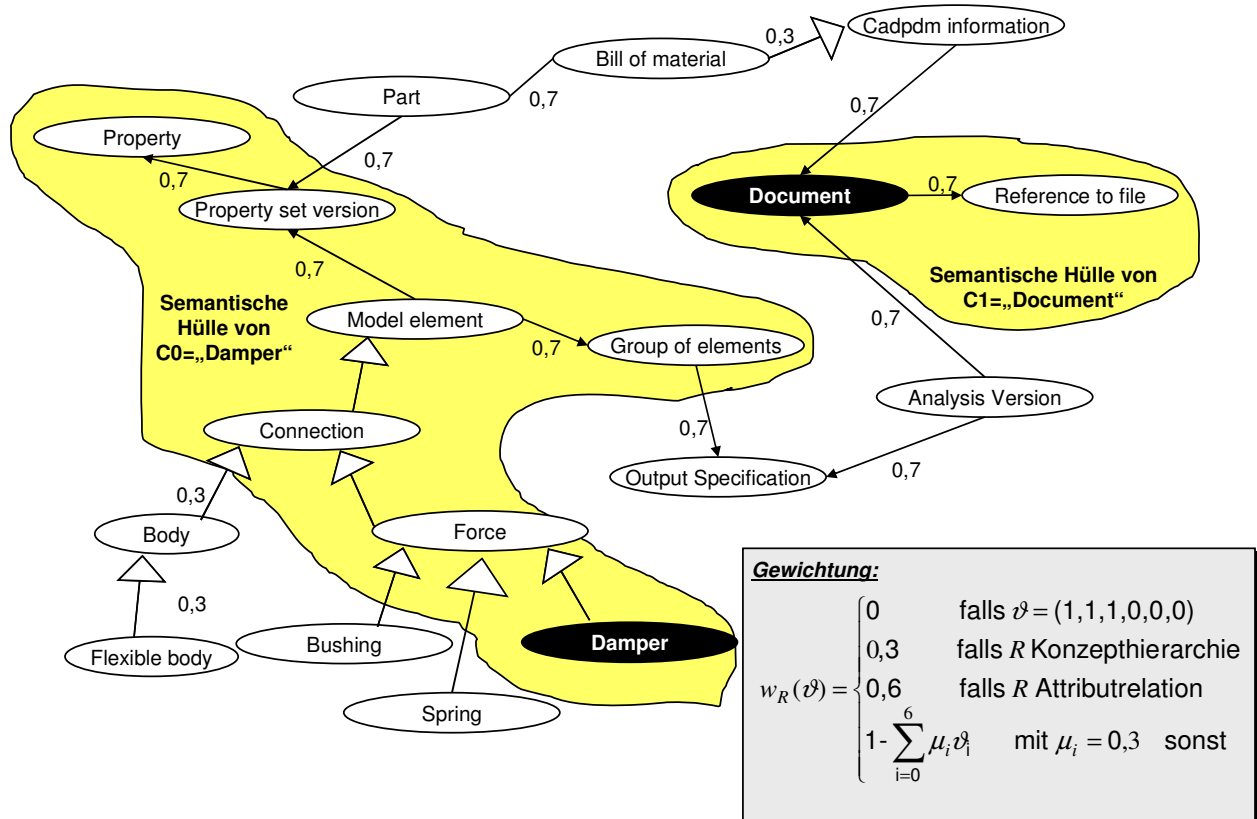


Bild 4-20: Beispiel für Berechnung des semantischen Abstands zweier Konzeptmengen

Basierend auf den in diesem Abschnitt erarbeiteten Grundlagen wird im nachfolgenden Kapitel der Systembaumusterplan zum Aufbau einer Kooperationslösung für interkulturelle, unternehmensübergreifende Entwicklungspartnerschaften detailliert beschrieben.

5 Der Systembaumusterplan

In diesem Kapitel wird der Systembaumusterplan zum Aufbau einer serviceorientierten Kooperationslösung auf Basis von EAI-Software erläutert. Hierbei wird von der verwendeten EAI-Software weitgehend abstrahiert, indem die Beschreibung anhand der abstrakten Systembausteine (siehe Abschnitt 4.3) erfolgt.

Im Rahmen des Systembaumusterplans kommen die in den vorherigen Kapitel (siehe Abschnitte 4.4, 4.4.2 und 4.4.3) vorgestellten Konzepte zur Anwendung. In Abschnitt 5.1 wird ein Anwendungsbeispiel eingeführt, das die praktische Durchführung des Systembaumusterplans veranschaulicht. Die in diesem Kapitel vorgestellten Konzepte sollen anhand dieses Beispiels erläutert werden. Dies erfolgt ausschließlich auf konzeptioneller Ebene. In Kapitel 6 wird das Beispiel wieder aufgegriffen und gezeigt, wie dies mit dem entwickelten Softwarewerkzeug (OntoConnect) unterstützt werden kann.

Nachfolgend wird die Ausgangssituation (siehe Abschnitt 5.2) des Systembaumusterplans vorgestellt und anschließend werden die einzelnen Phasen des Systembaumusterplans erläutert (Abschnitt 5.3 bis 5.11). Bild 5-1 zeigt nochmals den schematischen Ablauf des Systembaumusterplans mit der Zuordnung zu den Abschnitten, in welchen die einzelnen Phasen beschrieben werden. Der Systembaumusterplan beschreibt wie, basierend auf Referenzontologien, für eine Kooperation mit einer Menge von Partnern aus unterschiedlichen Kulturen ein minimales semantisches Modell (Kooperationsontologie) der benötigten Informationen abgeleitet werden kann und andere Systeme (bzw. semantische Modelle) zu integrieren sind.

Hierzu ist zunächst eine kulturelle Analyse der Kooperation durchzuführen (Phase 0). Dabei wird mit Blick auf die kulturellen Unterschiede der beteiligten Kooperationspartner das Potential für kulturelle Probleme analysiert und ein passendes kulturelles Modell spezifiziert. Daraufhin ist die initiale Menge der essentiellen Konzepte der Referenzontologien zu bestimmen (Phase 1). Sie beinhaltet eine Problembereichsanalyse und die Spezifikation der (unternehmensübergreifenden) Prozesse und einer konzeptionellen Produktstruktur. Eine konzeptionelle Produktstruktur beschreibt den prinzipiellen Aufbau des zu entwickelnden Produktes auf abstraktem Niveau (Verwendung von Bauteil-Klassifikationen etc.). Die initiale Bestimmung der essentiellen Konzepte erfolgt im Rahmen der Tätigkeiten, die in einer Kooperation durchzuführen sind und ist für den Anwender transparent. Dabei können beispielsweise Dokumente wie Anforderungsspezifikationen analysiert werden. Diese Strategien werden später mit Phase 1(a-c) bezeichnet.

Basierend auf den als essentiell markierten Konzepten der Referenzontologien wird automatisiert die Kooperationsontologie bestimmt (Phase 2). Daraufhin werden die zugehörigen implementierungsorientierten Standardrepräsentationen abgeleitet (Phase 3). Dabei werden neben dem Kooperationsdatenmodell zur Repräsentation der Artefakte in einer Datenbank (Phase 3a) auch die Spezifikation der Services (Phase 3b) und Prozesse (Phase 3c) abgeleitet.

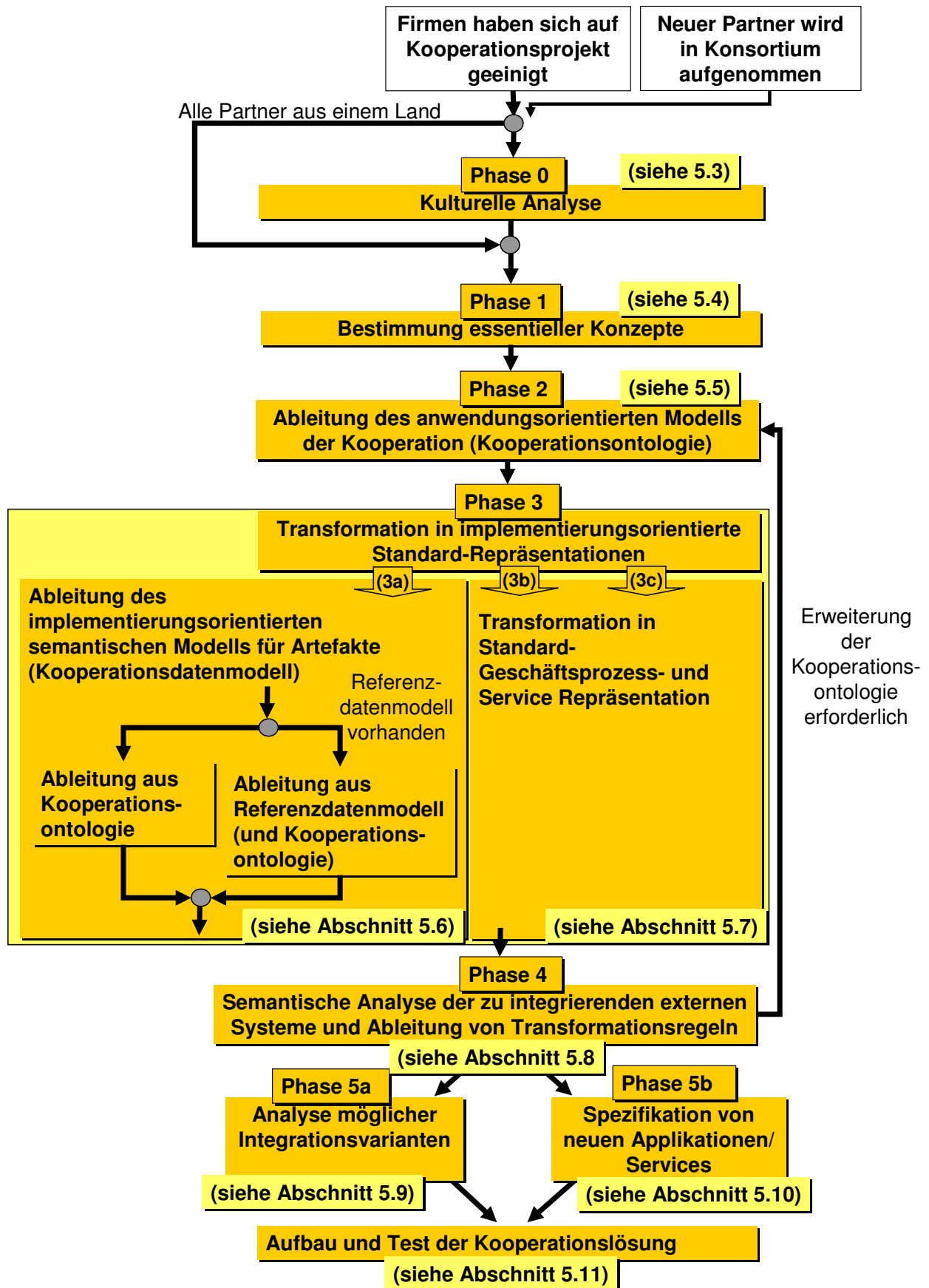


Bild 5-1: Schematischer Ablauf des Systembaumusterplans mit Zuordnung zu den Abschnitten

Existiert bereits ein Referenzdatenmodell (z. B. standardisiertes Datenmodell oder existierendes Datenmodell eines Partners), so kann dies bei der Ableitung des Kooperationsdatenmodells verwendet werden. Schließlich wird für jedes zu integrierende externe (Software-) System dessen zugrunde liegendes Datenmodell (bzw. Ontologie) analysiert und dann werden automatisiert semantische Transformationsregeln abgeleitet (Phase 4). Somit sind die notwendigen Inputgrößen vorhanden, um die Systembausteine mit den erforderlichen Parametern zu versorgen (siehe Bild 5-2).

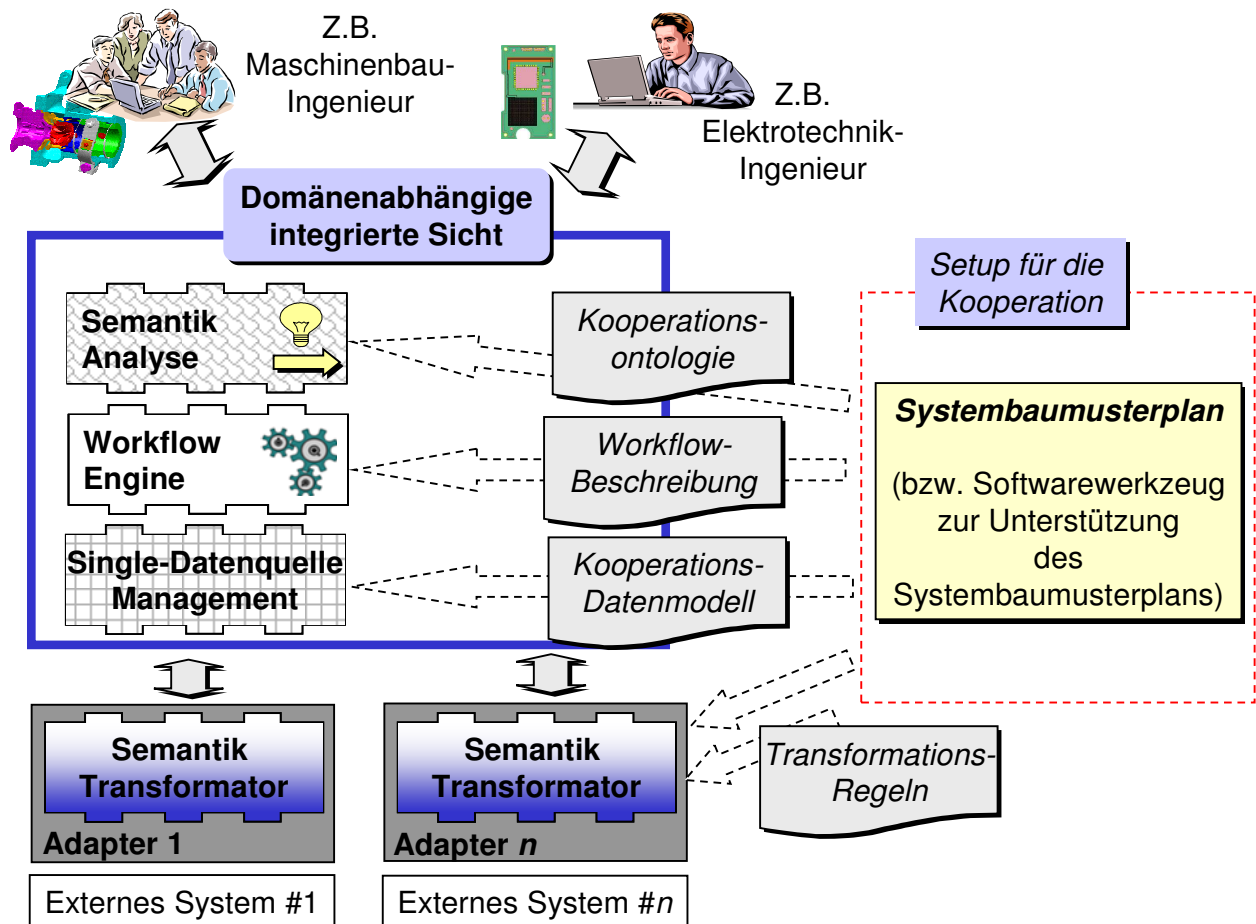


Bild 5-2: Parametrisierung der Systembausteine durch Anwendung des Systembaumusterplans

Hierbei dienen die Transformationsregeln als Input für den Semantik-Transformator-Baustein und die Kooperationsontologie als Input für den Semantik-Analyse-Baustein. Das Kooperationsdatenmodell ist Inputgröße für den Single-Datenquelle Management Baustein. Auf Basis der bisherigen Ergebnisse erfolgt die Bestimmung einer geeigneten Integrationsvariante (Phase 5a). Der Systembaumusterplan spezifiziert hierzu einige Kenngrößen. Für jeden Integrations-Typ ist eine Konfiguration spezifiziert, sodass nach Bestimmung des Typs auch die Konfiguration definiert ist. Die Spezifikation eines neuen Service bzw. einer neuen Applikation kann parallel erfolgen (Phase 5b). Abschließend wird die Gesamtarchitektur spezifiziert und das Setup implementiert (Phase 6).

Sollte ein neuer Partner aufgenommen werden, so müssen die gemeinsamen Prozesse geändert und die Kooperationsontologie angepasst werden. Entsprechend sind alle Phasen erneut zu durchlaufen, wobei in Phase 0 nur der Grad der kulturellen Unterschiedlichkeit bestimmt wird. Anhand dessen wird das Potential für kulturelle Probleme (kulturelles Gefahrenpotential) bestimmt. Durch die Verwendung der Systembausteine wird von der konkreten EAI-Technologie abstrahiert, weshalb die Kooperationslösung auf Basis einer beliebigen EAI-Software wie SAP NetWeaver, IBM WebSphere oder ice.NET realisiert werden kann. Der Systembaumusterplan stellt eine Methodik zur Verfügung, um die Kernprobleme von interkulturellen Entwicklungsprojekten auf methodischer Weise unabhängig von der verwendeten Integrations-Technologie anzugehen.

5.1 Anwendungsbeispiel

Die chinesische Firma SIASUN Robotics hat sich entschlossen, einen mobilen Roboter zu entwickeln, der in der Lage ist Treppen zu steigen, eine schiefe Ebene hochzufahren und kleinere Löcher zu überwinden. Zur Steuerung des Roboters wird ein Kommunikations-Switch benötigt. Er wird von der deutschen Firma CADCAM geliefert und in den Roboter eingebaut. Die Entwicklung des Switch ist eine Kooperation zwischen den Firmen CADCAM (Deutschland), PILON (Dänemark), CHINET (China) und TAOSOFT (Indien)⁴⁷. Die Firmen PILON, CHINET und TAOSOFT arbeiten nur mit CADCAM, aber nicht direkt mit SIASUN zusammen. Insofern können zwei Kooperationen identifiziert werden (siehe Bild 5-3).

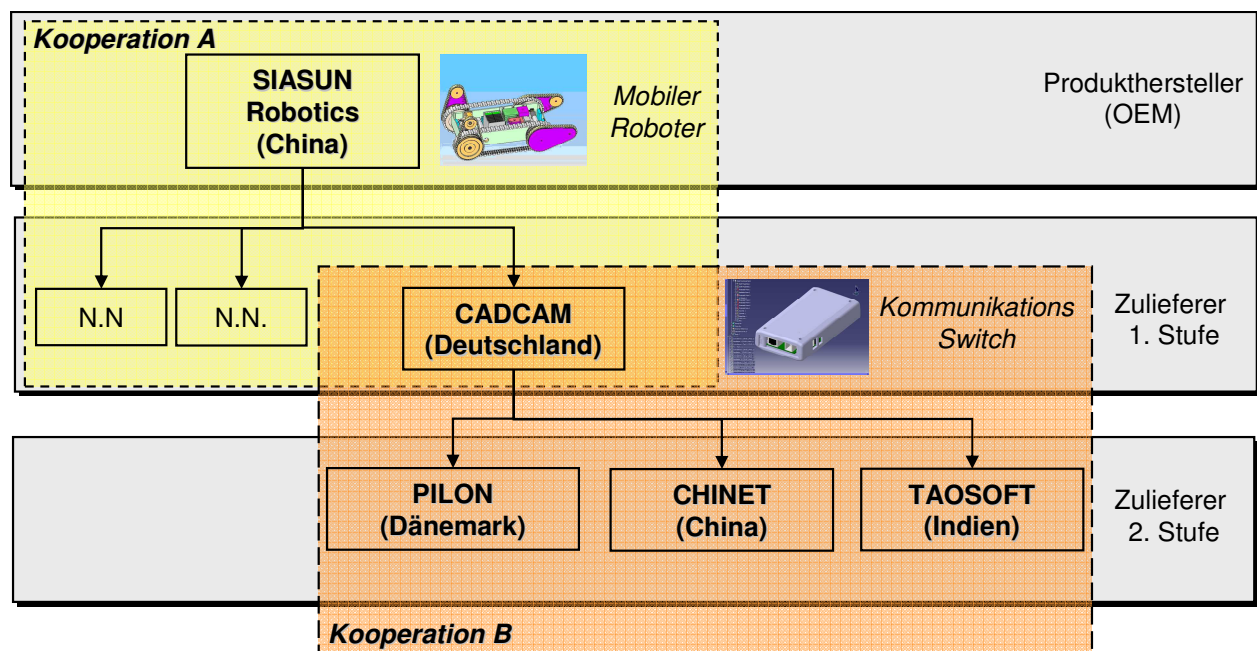


Bild 5-3: Zulieferhierarchie für das Anwendungsbeispiel

⁴⁷ Das Anwendungsbeispiel basiert auf Fallbeispielen (engl.: case studies), die im Rahmen des Europäisch-Chinesisch-Indischen Forschungsprojektes ImportNET untersucht wurden. Die Kooperation A basiert auf Fallbeispiel A und die Kooperation B auf Fallbeispiel D. Hierbei sind einige Firmennamen rein fiktiv gewählt. Die Ähnlichkeit zu realen Firmen außerhalb des ImportNET-Konsortiums ist ungewollt und rein zufällig.

Nachfolgend wird fast ausschließlich die Kooperation B betrachtet. Falls erforderlich, wird auf die Kooperation A eingegangen⁴⁸. Der Systembaumusterplan wird anhand der Kooperation B und des zugehörigen Produktes gezeigt. Lediglich bei der Erstellung der Gesamtarchitektur wird die Kooperation A berücksichtigt. Auf diese Weise soll die Idee des „Baukastens“ veranschaulicht werden.

Das deutsche Unternehmen CADCAM hat die Führung in der Kooperation B. Die dänische Firma PILON ist verantwortlich für die Schematik in der Elektronik und die chinesische Firma für das Layout auf dem PCB-Board (Platine). Die indische Firma ist für die (Embedded) Software zuständig.

Dementsprechend ist in der Setup-Phase je Kooperationspartner ein Ingenieur vertreten, wobei diese Ingenieure Experten aus verschiedenen Disziplinen sind. Dies sind ein Maschinenbau- (CADCAM) zwei Elektronik- (PILON (Logik), CHINET (Layout)) und ein embedded Software-Ingenieur (TAOSOFT). Da CADCAM diese Kooperation leitet, ist der Projektleiter (bzw. System-Ingenieur) ebenfalls von der Firma CADCAM. Der System-Ingenieur muss einen (groben) Gesamtüberblick über das gesamte (interdisziplinäre) Produkt besitzen.

Für die Entwicklung des Kommunikations-Switch wird von CADCAM das MCAD System CATIA V5 (Domäne: Maschinenbau) sowie das PDM-System MATRIX und von CHINET das ECAD System Altium Designer (Domäne: Elektrotechnik) eingesetzt. TAOSOFT verwendet Subversion als Versionsverwaltungssystem ihrer Software und Visual Studio als Entwicklungsumgebung.

Der Kommunikations-Switch besteht aus mechanischen und elektronischen Komponenten. Bei der Erzeugung der Stückliste bei interdisziplinären Produkten besteht das Problem, dass die verfügbaren Systeme nur die Stückliste für die System-Elemente einer Domäne erzeugen und die Gesamtstückliste manuell erzeugt werden muss. Bei der Erzeugung der interdisziplinären Gesamtstückliste ist z.B. zu beachten, dass aus der Sicht der Elektrotechnik zwei Mikrocontroller desselben Fabrikats unterschiedlich betrachtet werden (da sie unterschiedliche Funktionen realisieren), während dies aus der Sicht des Maschinenbaus zwei Instanzen desselben System-Elements sind.

Das PCB-Board des Switch mit seinen Komponenten wird sowohl im ECAD als auch im MCAD repräsentiert. Die Synchronisation zwischen ECAD und MCAD erfolgt über das Austauschformat IDF (Interface Definition Format) und (in seltenen Fällen) über STEP. Hierbei ergibt sich der Nachteil, dass das ursprüngliche Design überschrieben wird. Es ist beispielsweise mit den bestehenden Systemen nicht möglich, eine Änderung des Mechanik-Ingenieurs im MCAD-System durchzuführen (z.B. Verschiebung einer Komponente auf der Platine) und diese im ECAD-System anzuzeigen, während der Layout-Ingenieur (Elektrotechnik) mit der Platzierung der Komponenten beschäftigt ist. Somit ist ein paralleles Arbeiten an einem Board praktisch nicht möglich [Fröh-07].

⁴⁸ Aus rechtlichen Gründen sind die Informationen zu dem mobilen Roboter (z.B. Anforderungsspezifikation, CAD-Dateien sowie Produktstruktur) sowie Prozess-Spezifikation vertraulich und dürfen nicht veröffentlicht werden.

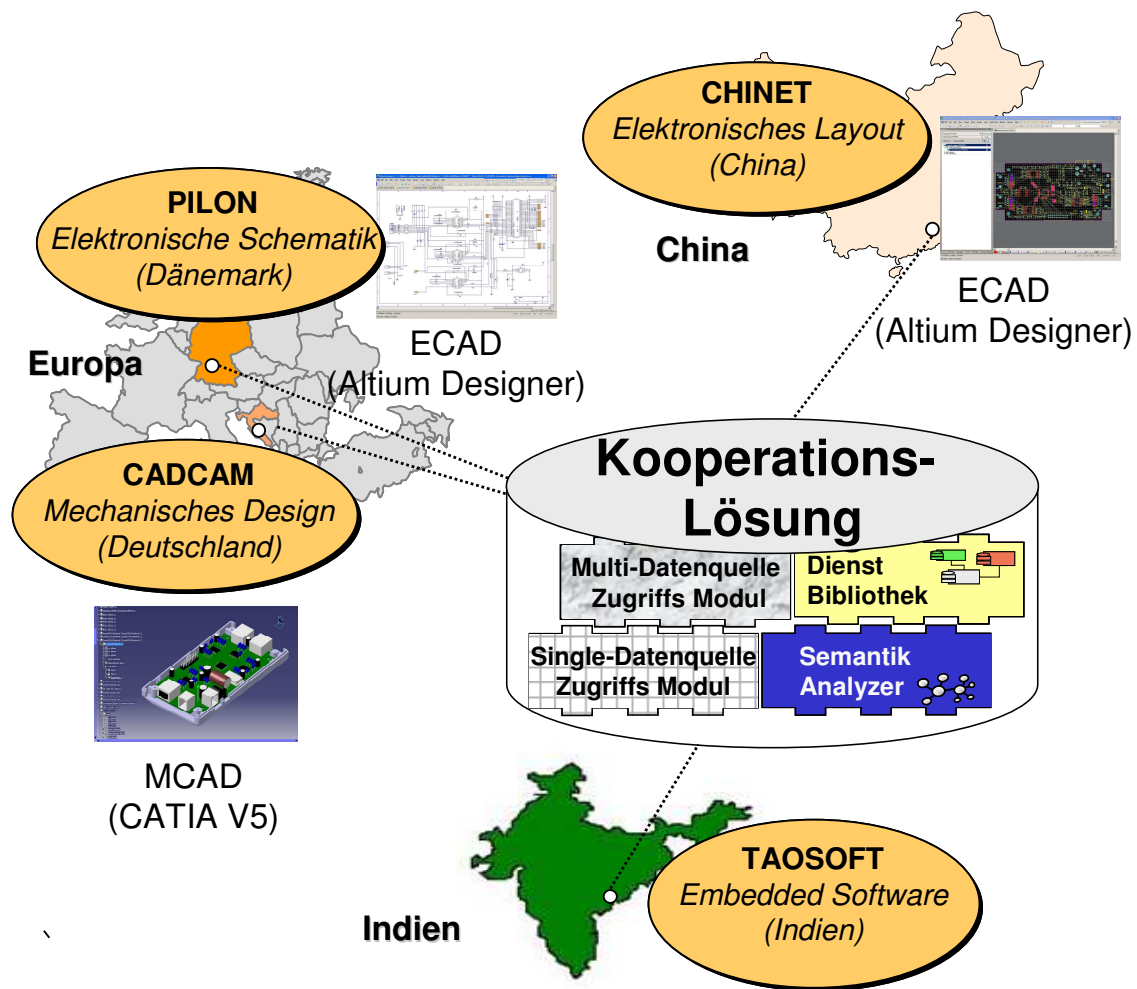


Bild 5-4: Anwendungsbeispiel: Aufbau einer Lösung für eine interkulturelle, interdisziplinäre Kooperation

Um die oben genannten Probleme zu lösen, entwickelt ein externer Software-Dienstleister zusätzliche Services (z. B. zur Erzeugung einer interdisziplinären Stückliste und zur Synchronisation des ECAD-MCAD-Designs). Zusätzlich wird noch eine Applikation entwickelt, die eine Visualisierung der kooperationsrelevanten Daten ermöglicht. Diese nutzt u. a. den Multi-Datenquelle-Management-Baustein, welcher eine integrierte Sicht auf die Daten bereitstellt.

Auf diese Weise wird im Anwendungsbeispiel (siehe Bild 5-4) sowohl der Aufbau einer Kooperationslösung (Phase 1 bis 5) als auch die Entwicklung neuer Services auf Basis der semantisch integrierten Sicht (Phase 5a) erläutert.

5.2 Ausgangssituation für die Anwendung des Systembaumusterplans

Die erwartete Ausgangssituation des Systembaumusterplans ist, dass eine Menge von Unternehmen beschlossen hat, für eine bestimmte Dauer zusammenzuarbeiten um ein gemeinsames Ziel zu erreichen. Das gemeinsame Ziel ist hierbei die kooperative Entwicklung eines Produk-

tes. Dies können sowohl eine Änderungs- als auch eine Neukonstruktionen sein. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass es nicht das Ziel der Arbeit ist, eine Konstruktionsmethodik zu verbessern, sondern einen Lösungsansatz aufzuzeigen, mit dem eine interkulturelle Kooperation von verschiedenen Unternehmen möglichst effizient aufgebaut und die existierenden Anwendungen und Prozesse der Kooperationspartner eingebunden werden können.

Die Voraussetzung für die Anwendung des Systembaumusterplans ist, dass die (initialen) Kooperationspartner und die Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt (zumindest teilweise) bekannt sind. Die vollständige Kenntnis aller Anforderungen ist in der Praxis nie vorhanden, sonst wäre die Lösung selbst schon bekannt, da eine vollständige Anforderungsliste für ein Produkt bereits (gleichwertige) Lösungen festlegt [Culh-07].

Der Systembaumusterplan setzt folgende Annahmen voraus:

- V1 Initiale Menge der Kooperationspartner $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ sowie der Kooperationsverantwortliche $v \in P$
 - V2 Referenzontologie (semantisches Modell auf Anwendungsebene) mit Spezifikation der folgenden Elemente:
 - Artefakte (z. B. Normtebibliothek (mit Anforderungs- / Funktionsbeschreibung), Produkt-Templates und Teile Bibliothek)
 - (Referenz-)prozesse (optional)
 - Dienste (zur Verfügung stehende Referenz-Dienste (Dienstbibliothek)) (optional)
 - V3 Referenzgeschäftsprozesse. Diese können optional in der Referenzontologie integriert sein oder in Standardnotation vorliegen. Sollten keine Referenzprozesse gegeben sein, so müssen diese manuell definiert werden.
 - V4 Referenzontologie ist parametrisiert bzgl. verschiedener Landeskulturen (optional)
 - V5 Datenmodelle der zu integrierenden externen Systemen der Kooperationspartner $(SYS(P_i) = \{S_1, \dots, S_k\}, i = 1, \dots, n)$
- Optional Referenzdatenmodell (semantisches Modell auf Datenebene) sowie semantische Verknüpfung zwischen Referenzdatenmodell und Referenzontologie

Der Systembaumusterplan setzt voraus, dass ein anwendungsorientiertes semantisches Modell (Referenzontologie) vorhanden ist und das implementierungsorientierte semantische Modell hieraus abgeleitet wird. Der Systembaumusterplan unterstützt zusätzlich noch den Fall, dass bereits ein Referenzdatenmodell (semantisches Modell auf Implementierungsebene) vorhanden ist. Hierbei wird allerdings vorausgesetzt, dass die semantische Verknüpfung beider Mo-

delle vorhanden ist. Sollte dies nicht der Fall sein, so muss diese manuell angelegt werden. Weiterhin ist zu beachten, dass nicht das gesamte Kooperationsdatenmodell abgeleitet werden muss, sondern dass ein Kerndatenmodell vorhanden sein kann, das um kooperationspezifische Datenmodellelemente erweitert wird.

Sollte die Referenzontologie nicht alle drei Komponenten (Prozesse, Dienste, Artefakte) enthalten, so müssen diese für die Kooperation manuell definiert werden. Es besteht natürlich auch die Möglichkeit, dies aus einer Standardrepräsentation einzulesen. Sind die Referenzprozesse beispielsweise nur in einer BPMN- (bzw. BPEL-) Notation verfügbar und noch nicht innerhalb der Referenzontologie modelliert, so können sie eingelesen und manuell mit den Konzepten zur Beschreibung von Artefakten verknüpft werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes ImportNET wird eine mögliche Referenzontologie im Bereich Mechatronik zur Verfügung gestellt. Prinzipiell sind auch andere Referenzontologien für den Systembaumusterplan geeignet.

5.3 Phase 0: Kulturelle Analyse

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Referenzontologien • Optional: Referenzontologien sind für mehrere kulturelle Systeme beschrieben (z.B. für Landeskultur China und England).
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Identifizierung der Relevanz interkultureller Aspekte in der Kooperation • Auswahl einer Referenzontologie zu einem kulturellen System (Landeskultur)

In dieser Phase wird, basierend auf den Werten der Dimensionen von HOFSTEDE [Hofs-01], eine Einschätzung über den Einfluss interkultureller Aspekte durchgeführt. Hierzu wird der in Abschnitt 4.4.2.2 vorgestellte Ansatz zur Quantifizierung der kulturellen Unterschiedlichkeit der Kooperationspartner verwendet. Diese Analyse dient dazu, den Partnern (insbesondere dem Management) bewusst zu machen, dass interkulturelle Aspekte ein Problem darstellen können. Dies ist bei einer Kooperation zwischen einem deutschen und einem chinesischen Partner offensichtlich. Doch bereits in Kooperationen zwischen einem dänischen und finnischen Unternehmen kann dies problematisch sein, was leicht übersehen wird.

Sollte die vorliegende Referenzontologie über verschiedene Landeskulturen parametrisiert sein (siehe Abschnitt 4.4.2.1), so wird in dieser Phase das kulturelle System und damit das Verständnis gewählt, welches „am besten zum Konsortium passt“. Zwei Landeskulturen passen gut zueinander, wenn die kulturellen Unterschiede zwischen ihnen möglichst gering sind. Die in Abschnitt 4.4.2.2 eingeführten Abstandsmaße erlauben eine Quantifizierung des kulturellen Unterschieds zwischen Landeskulturen. Dementsprechend minimiert die Zielfunktion zur Bestimmung des optimalen kulturellen Systems die kulturellen Abstände. Gesucht ist die

Landeskultur c , sodass die Summe der kulturellen Abstände zu c minimal wird. Hierbei können die einzelnen Partner des Konsortiums gewichtet werden.

Definition (Zielfunktion des kulturellen Systems): Sei $K = \{p_1, \dots, p_k\}$ das Konsortium einer Kooperation, C die Menge der Landeskulturen, $\sigma = (\alpha_1, \dots, \alpha_k)$ der ganzzahlige Gewichtungsvektor ($\alpha_i \geq 0$), der die Wichtigkeit der einzelnen Partner innerhalb der Kooperation repräsentiert.

Weiterhin seien $\langle p_i^\sigma \rangle_K^C = (\langle p_i \rangle_K^C)^{\alpha_i} = \{\tilde{c}_1^{(i)}, \dots, \tilde{c}_{\alpha_i}^{(i)}\}$, $\alpha_i n = \alpha_i \cdot \text{kgV}(|\langle p_1 \rangle_K^C|, \dots, |\langle p_k \rangle_K^C|)$, $i = \{1, \dots, k\}$ die gewichteten kulturellen Zuordnungen von p_i unter der ausgewogenen Zuordnung von K . Dann ist die Zielfunktion zur Bestimmung des optimalen kulturellen Systems einer Landeskultur für ein Konsortium K definiert als

$$Z_K^\sigma(c) = \frac{1}{|K|} \frac{1}{n} \sum_{a=1}^{|K|} \frac{1}{\alpha_a} \sum_{\lambda \in \langle p_a^\sigma \rangle_K^C} \sqrt{\sum_{v=1}^5 (k_v(c) - k_v(\lambda))^2} \rightarrow \min \quad c \in C$$

oder äquivalent

$$Z_K^\sigma(c) = \frac{1}{|K|} \frac{1}{n} \sum_{a=1}^{|K|} \frac{1}{\alpha_a} \sum_{p=1}^{\alpha_a n} \sqrt{\sum_{v=1}^5 (k_v(c) - k_v(\tilde{c}_p^{(a)}))^2} \rightarrow \min \quad c \in C$$

Zur Bestimmung des Optimums von Z genügt es, sich bei der Grundmenge C der betrachteten Landeskulturen auf die innerhalb der Ontologie zur Verfügung stehenden zu beschränken. Zusätzlich könnte es sinnvoll sein, die Grundmenge weiter einzuschränken und nur die innerhalb des Konsortiums beteiligten Kulturen zu betrachten. Dies hat den Vorteil, dass zumindest das Verständnis eines Partners verwendet wird und sich nicht alle Partner anpassen müssen.

In dieser Phase sind zwei Schritte durchzuführen:

- Bestimmung der kulturellen Zuordnung der Partner
- Festlegung des kulturellen Verständnisses innerhalb der Kooperation auf Basis der Zielfunktion

Diese Schritte können rechnergestützt durchgeführt werden, wobei die Bestimmung der kulturellen Zuordnung auf Basis der in Abschnitt 4.4.2 vorgestellten Definition erfolgen kann. Das Ergebnis der initialen Phase ist die Festlegung des innerhalb der Kooperation verwendeten Kulturverständnisses (Landeskultur). Aufgrund der Vorarbeit in dieser Phase kann in den nachfolgenden Schritten des Systembaumusterplans weitgehend von der interkulturellen Problematik abstrahiert werden.

5.3.1.1 Erläuterung anhand des Anwendungsbeispiels

In der Kooperation B sind Unternehmen aus China, Indien, Deutschland und Dänemark vertreten. Da der deutsche Partner die Führungsrolle in der Kooperation hat, wird dessen kultureller Anteil mit 2 gewichtet. Basierend auf dem in Abschnitt 4.4.2.2 abgeleiteten Abstandsmaß und HOFSTEDE-Dimensionen werden die Berechnungen durchgeführt.

Zunächst sind die Parameter festzulegen:

- $K = \{CADCAM, PILON, TAOSOFT, CHHINET\}, |K|=4,$
- $\sigma = (\alpha_1, \dots, \alpha_5)$ mit $\alpha_1 = 2$ und $\alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 1$
- $C = \{\text{Deutsch, Dänisch, Chinesisch, Indisch}\}$

Im Rahmen der Kooperation werden von den beteiligten Unternehmen nur einheimische Ingenieure eingesetzt, sodass die kulturelle Zuordnung eines Unternehmens gerade der Landeskultur seines Firmensitzes entspricht:

$$\langle p_1^\sigma = CADCAM \rangle_K^C = \{\text{Deutsch}^{(2)}\}, \langle p_2^\sigma = PILON \rangle_K^C = \{\text{Dänisch}^{(1)}\}, \\ \langle p_3^\sigma = CHHINET \rangle_K^C = \{\text{Chinesisch}^{(1)}\}, \langle p_4^\sigma = TAOSOFT \rangle_K^C = \{\text{Indisch}^{(1)}\}$$

Durch Einsetzen der entsprechenden Werte in die obige Zielfunktion erhält man⁴⁹

$$Z_{\{p_1, p_2, p_3, p_4\}}^{(2,1,1,1)}(c) = \frac{1}{4} \frac{1}{1} \sum_{a=1}^4 \frac{1}{\alpha_a} \sum_{\lambda \in \langle p_a^\sigma \rangle_K^C} \sqrt{\sum_{v=1}^5 (k_v(c) - k_v(\lambda))^2} \rightarrow \min \quad c \in C$$

$$Z_{\{p_1, p_2, p_3, p_4\}}^{(2,1,1,1)}(c) = \frac{1}{4} \sqrt{\sum_{v=1}^5 (k_v(c) - k_v(\text{Deutsch}))^2} + \frac{1}{8} \sqrt{\sum_{v=1}^5 (k_v(c) - k_v(\text{Dänisch}))^2} + \\ + \frac{1}{8} \sqrt{\sum_{v=1}^5 (k_v(c) - k_v(\text{Chinesisch}))^2} + \frac{1}{8} \sqrt{\sum_{v=1}^5 (k_v(c) - k_v(\text{Indisch}))^2} \rightarrow \min \quad c \in C$$

$$Z_{\{p_1, p_2, p_3, p_4\}}^{(2,1,1,1)}(c) = \frac{1}{4} \sqrt{(k_1(c) - 35)^2 + (k_2(c) - 67)^2 + (k_3(c) - 66)^2 + (k_4(c) - 65)^2 + (k_5(c) - 31)^2} \\ + \frac{1}{8} \sqrt{(k_1(c) - 18)^2 + (k_2(c) - 74)^2 + (k_3(c) - 16)^2 + (k_4(c) - 23)^2 + (0)^2} \\ + \frac{1}{8} \sqrt{(k_1(c) - 80)^2 + (k_2(c) - 20)^2 + (k_3(c) - 66)^2 + (k_4(c) - 30)^2 + (k_5(c) - 118)^2} \\ + \frac{1}{8} \sqrt{(k_1(c) - 77)^2 + (k_2(c) - 48)^2 + (k_3(c) - 56)^2 + (k_4(c) - 40)^2 + (k_5(c) - 61)^2} \rightarrow \min$$

Das Minimum der Zielfunktion wird auf der Grundmenge der im Konsortium vertretenen Kulturen ($\{\text{Deutsch, Dänisch, Chinesisch, Indisch}\}$) erreicht, falls $c = \{\text{Deutsch}\}$ gewählt wird mit $k_1(c) = 35, k_2(c) = 67, k_3(c) = 66, k_4(c) = 65, k_5(c) = 31$.

⁴⁹ Der Wert der Hofstede Kulturdimension LTO ist für Dänemark nicht bekannt. Deshalb wird dieser Wert bei der Berechnung des kulturellen Anteils von Dänemark nicht berücksichtigt.

5.4 Phase 1: Bestimmung essentieller Konzepte der Kooperationsontologie (aus Referenzontologie)

Input:	<ul style="list-style-type: none"> Referenzontologien zu einem bestimmten kulturellen System (Landskultur)
Output:	<ul style="list-style-type: none"> Spezifikation der Prozesse auf Basis der Konzepte Spezifikation der benötigten Services auf Basis der Konzepte Spezifikation der wesentlichen Konzepte der Kooperation

In dieser Phase sind die grundlegenden Konzepte festzulegen, die innerhalb der Kooperation benötigt werden. Basierend auf den in dieser Phase initial bestimmten Konzepten der Referenzontologie wird in der nachfolgenden Phase automatisiert die Kooperationsontologie abgeleitet (siehe Bild 5-5). Dies ist im Verhältnis zu einem vollständigen Aufbau einer Ontologie ein wesentlich geringerer Aufwand.

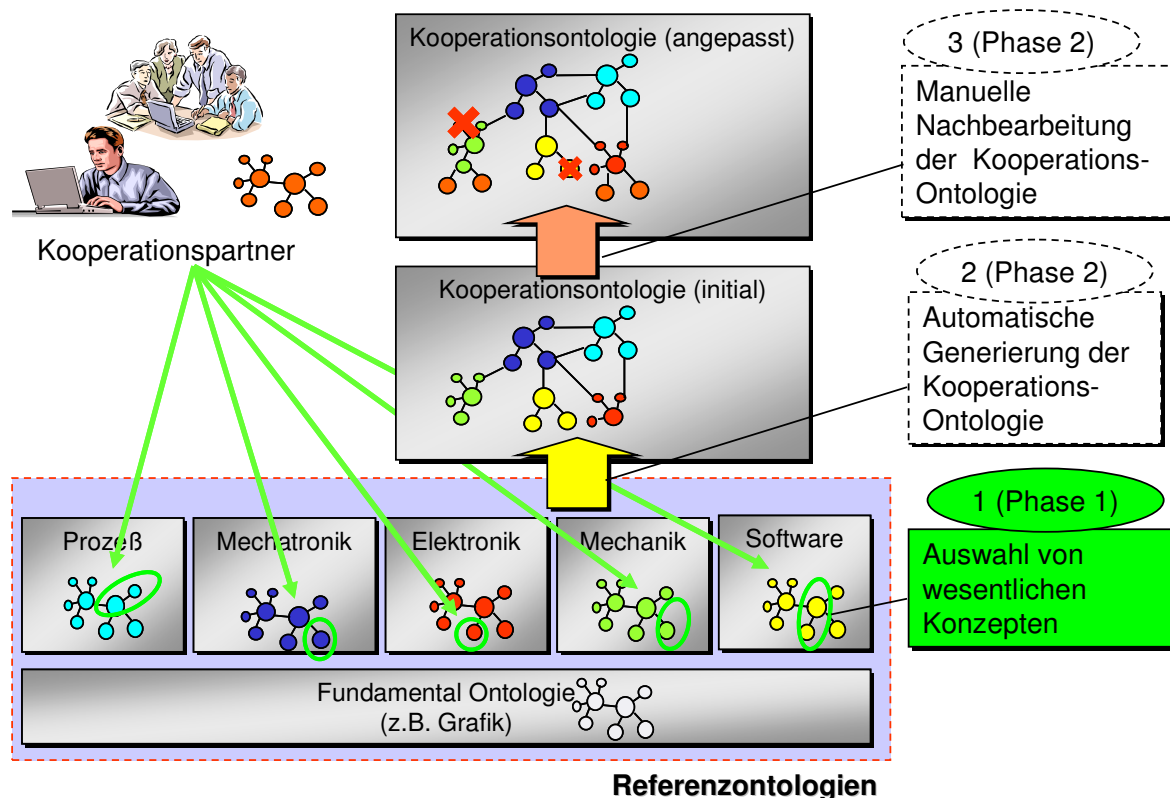


Bild 5-5: Drei Schritte zur Bestimmung der Kooperationsontologie (Phase 1 und 2 des Systembaumusterplans)

Die Kooperationsontologie soll alle Konzepte enthalten, die erforderlich sind, um die Artefakte zu beschreiben, die innerhalb der Kooperation benötigt werden. Ein Artefakt stellt eine Instanz eines oder mehrerer Konzepte (in der Referenzontologie) dar.

Der Anwender (Maschinenbau oder Elektronik) ist meist kein Experte für Ontologien und die Verwendung von einigen Begriffen (Konzepte) kann kulturabhängig sein. Deshalb sollte diese Vorauswahl für den Anwender möglichst transparent ablaufen. Weiterhin sollte es möglichst geringen zusätzlichen Aufwand erzeugen, um Kosten zu sparen und die Akzeptanz der Endanwender zu erleichtern. Aus diesem Grund berücksichtigt der Systembaumusterplan neben der manuellen Auswahl (z. B. an einem Editor) folgende Möglichkeiten, die einzeln oder kombiniert angewandt werden können (siehe Bild 5-6):

- Erstellung einer „konzeptuellen“ Produktstruktur auf Basis von Bibliotheken (Teile-Hierarchie) und/oder Produkt-Templates (vordefinierte Produktstrukturen)
- Spezifikation des Kooperationsprozesses und der benötigten Dienste (Services)
- Analyse von Dokumenten (z. B. Pflichtenheft, Zeichnungsskizzen)

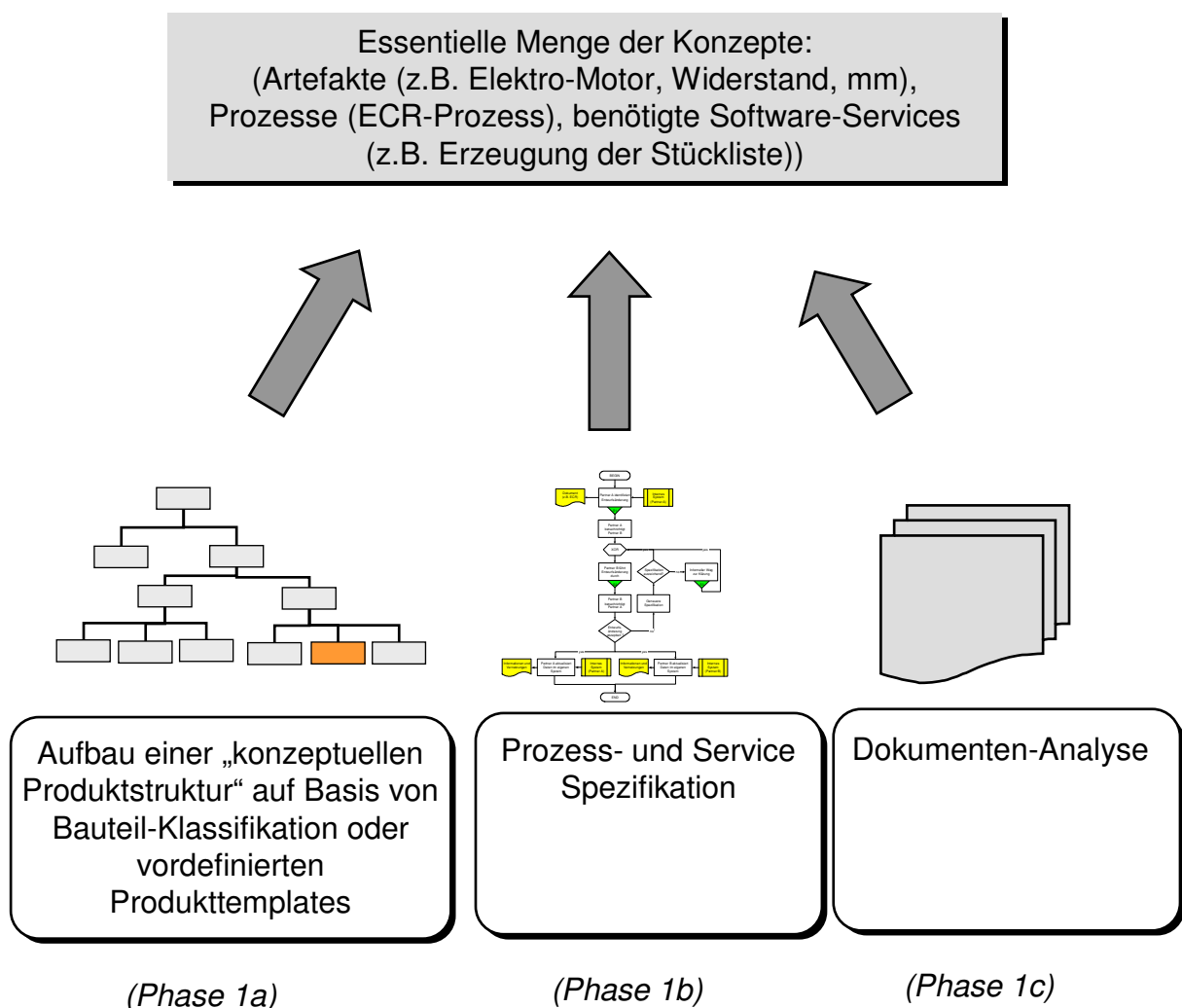


Bild 5-6: Möglichkeiten zur Bestimmung der essentiellen Konzepte

Die ersten beiden Ansätze setzen eine gewisse Struktur der Referenzontologien voraus (z. B. Name der Relation zwischen System-Elementen). Um das Verfahren auf beliebige Referenz-

ontologien anwenden zu können, wird im unterstützenden Werkzeug (OntoConnect) das interne Modell auf das Modell der Referenzontologie abgebildet.

Sollte die verwendete Referenzontologie nicht in der Lage sein, Produktklassifikationen, Prozess- und Dienst-Spezifikationen abzubilden, muss sie entsprechend erweitert werden. Hierzu können beispielsweise die entsprechenden Teile der im Rahmen von ImportNET entwickelten Referenzontologie verwendet werden. Diese verwendet die Task-Ontologie DOLCE als Fundamentalontologie.

Neben den erstgenannten Möglichkeiten können die essentiellen Konzepte durch die Analyse von Dokumenten (z. B. Pflichtenheft, CAD Modell von ähnlichen Produkten etc.) bestimmt werden. Mit Hilfe von Textmining-Verfahren können die wesentlichen Konzepte der Dokumente extrahiert und hiermit die Konzepte in der Referenzontologie „markiert“ werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, einige relevante Konzepte manuell zu definieren (z. B. aus Erfahrungen vergangener Projekte).

5.4.1 Phase 1a: Initiale Bestimmung der Konzepte durch Erstellung einer groben Produktstruktur auf Basis von Bibliotheken (Teile-Hierarchie) und/oder Produkt-Templates (vordefinierten Produktstrukturen)

Bei diesem Schritt erstellt der Ingenieur eine konzeptuelle Produktstruktur, d. h. er spezifiziert die Grobstruktur des zu entwickelnden Produktes. Diese Tätigkeit ist im Rahmen jeder Produktentwicklung notwendig, sodass dies kein zusätzlicher Aufwand ist. Indem der Ingenieur die Grobproduktstruktur festlegt, werden (im Hintergrund) die zugehörigen Konzepte (z. B. Prozessor, Elektro-Motor, PCB-Konnektor) in der Referenzontologie als „essentiell“ markiert. Hierbei wird vorausgesetzt, dass eine System-Element-Klassifikation (z. B. LANGLOTZ [Lang-00], IEC⁵⁰-61360 [IEC-08]) und/oder Produkt-Templates in Form von Produktstrukturen in der Referenz-Ontologie hinterlegt sind. Da auf eine bestehende Bibliothek zurückgegriffen wird, unterstützt dieser Ansatz vor allem Änderungskonstruktionen (hoher Anteil aller Konstruktionsaufgaben).

In der Domäne Maschinenbau wird ein Element eines Produktes (z. B. Kondensator eines PCB-Boards) als Bauteil bzw. Baugruppe bezeichnet. Im Bereich Elektrotechnik wird der Begriff Komponente verwendet, während in der Informatik der Term Modul gebräuchlich ist. Aus diesem Grund wird nachfolgend der neutrale Term „System-Element“ verwendet.

Durch die Spezifikation eines benötigten System-Elements (in der Produkt-Grobstruktur) werden automatisch die essentiellen Konzepte, wie benötigte System-Element-Klassen (z. B. Elektro-Motor, Prozessor) sowie die Konzepte zur Beschreibung der Soll-Eigenschaften (Anforderungen, z. B. Leistung (Elektro-Motor), Flush-Speicherkapazität (Prozessor)) in der Referenzontologie als „essentiell“ markiert. Sollte ein Funktionsmodell für ein System-Element

⁵⁰ IEC: International Electrotechnical Commission. IEC -61360: Referenzsammlung von Klassen für elektronische und elektromechanische Komponenten und Materialien, die in elektrotechnischen Produkten verwendet werden.

in der Referenzontologie definiert sein, so wird die durch dieses System-Element realisierte (bzw. kontrollierte) Funktion (z. B. Drehmoment wandeln) als essentiell markiert (siehe Bild 5-7). Sollten die einem System-Element zugehörigen Anforderungen mit Maßkategorien (z. B. Leistung, Länge, Breite, Gewicht) und /oder realisierte Funktion nicht in der Referenzontologie modelliert sein, so kann dies zur Laufzeit erfolgen.

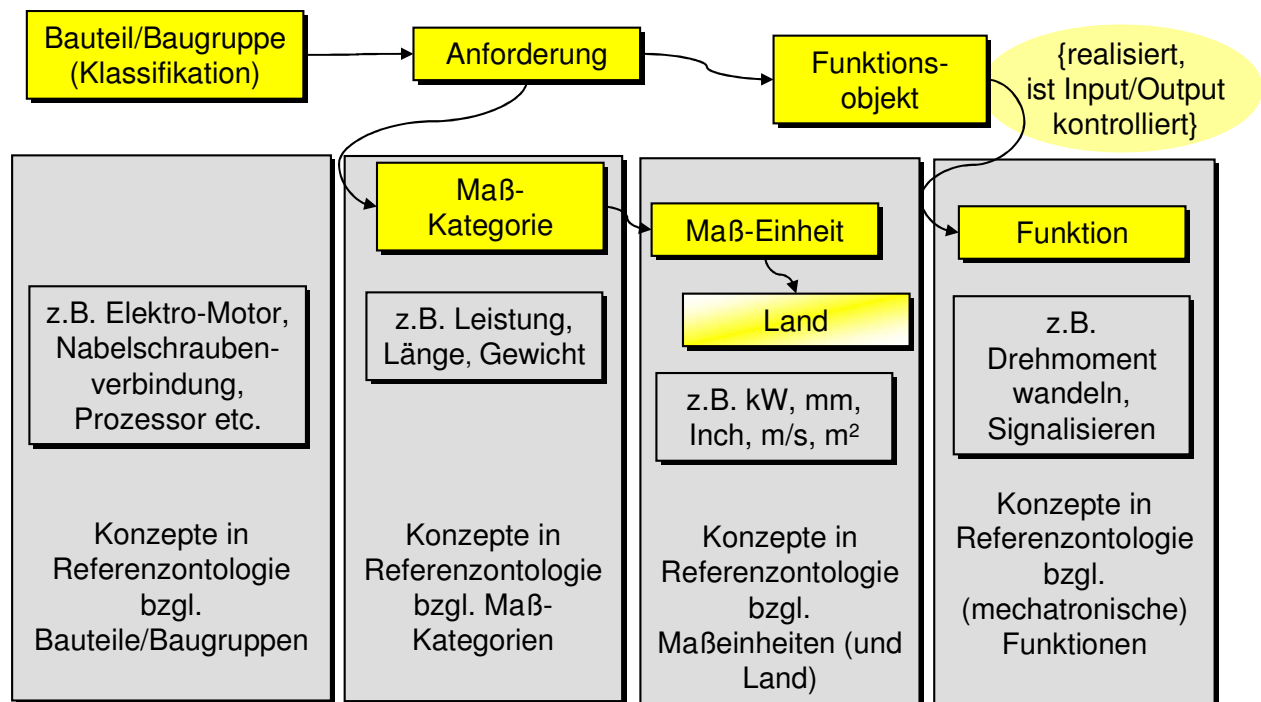


Bild 5-7: Markierung essentieller Konzepte bei Auswahl eines System-Teils

Das Verfahren unterstützt eine effiziente Wiederverwendung von in Produkt-Templates modelliertem Wissen. Dieses wieder verwendete Wissen ist beispielsweise die Menge der Soll/Ist-Eigenschaften einer System-Element-Klasse (z. B. Elektro-Motor) sowie eine Funktionsstruktur eines Produkt-Templates. Zur Wiederverwendung der Funktion ist die Funktionsstruktur auf die (hierarchische) Produktstruktur abzubilden. In Abschnitt 5.5.2.1 (Aggregation von Funktionen gemäß der Produktstruktur) wird ein mögliches Verfahren beschrieben, das auf einem von LANGLOTZ [Lang-00] vorgestellten Ansatz beruht.

Prinzipiell kann die Erstellung der Grobstruktur

- produktstrukturgetrieben oder
- funktionsgetrieben

erfolgen (siehe Bild 5-8).

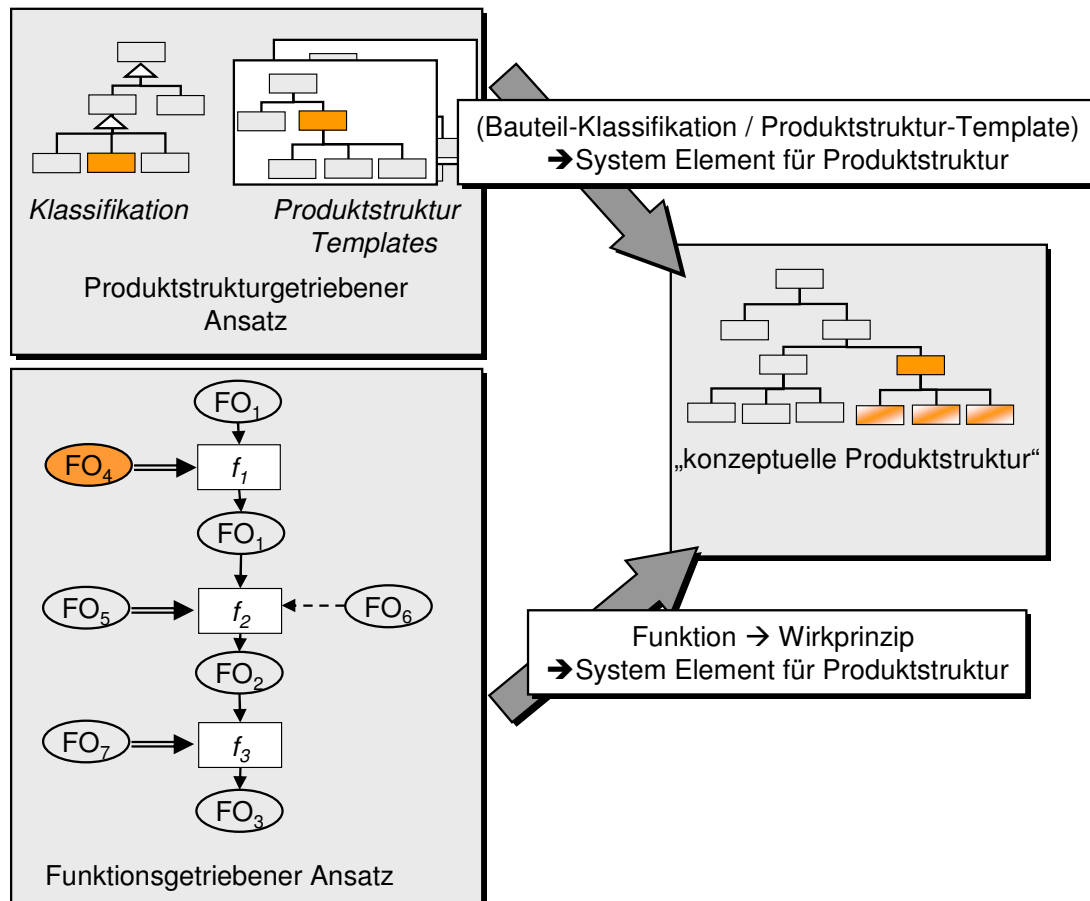
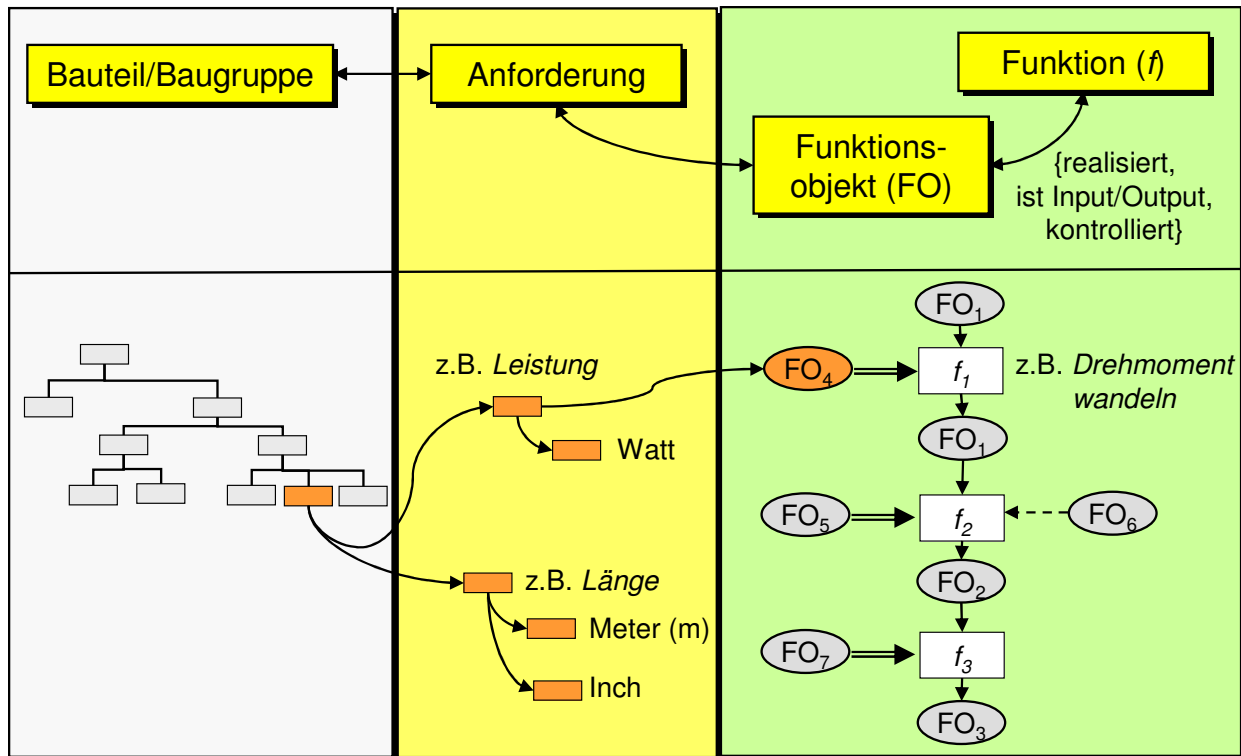


Bild 5-8: Bestimmung der Grobproduktstruktur

Im produktstrukturgetriebenen Ansatz wird beispielsweise das System-Element „Elektro-Motor“ ausgewählt. Dadurch werden automatisch die Maßkategorien Leistung und Länge sowie die zugehörigen Maßeinheiten ausgewählt. Die Auswahl der Maßeinheiten ist abhängig von den innerhalb der Kooperation vertretenen Landeskulturen. Falls nur Partner in der Kooperation sind, die das metrische System nutzen, wird die Einheit Inch nicht als essentiell markiert. Sollte das ausgewählte System-Element die Rolle eines Funktionsobjektes spielen, d. h. eine Funktion realisieren, kontrollieren oder Input bzw. Output einer Funktion sein, so wird diese Funktion auch als essentiell markiert. Bild 5-9 zeigt den beschriebenen Sachverhalt, wobei die Notation von LANGLOTZ [Lang-00] zur Beschreibung des Funktionsflusses verwendet wird.



Legende:

- ⇒ realisiert,
- ist Input/Output,
- - - → kontrolliert
- FO₇ Funktionsobjekt
- f₃ Funktion

Bild 5-9: Markierung essentieller Konzepte durch Auswahl eines System-Elementes

Der funktionsgetriebene Ansatz unterstützt die „klassischen“ Ansätze aus der Konstruktions-
 theorie. Hierbei beginnt der Konstruktionsprozess mit der Festlegung der Funktion (z. B.
 „greifen“) und mit der Bestimmung des Wirkprinzips (z. B. pneumatische Krafterzeugung).
 Mit diesen Informationen wird dann die Gestalt modelliert. Sollten bereits ein oder mehrere
 System-Elemente in der Referenzontologie hinterlegt sein, die diese Funktion mit dem Wirk-
 prinzip unterstützen, so wird dies dem Anwender vorgeschlagen. Der Ingenieur spezifiziert
 eine zu realisierende Funktion und bekommt (ein oder mehrere) System-Element(e) vorge-
 schlagen, welche(s) in der Lage ist (sind), diese Funktion zu realisieren. Der funktionsgetrie-
 bene Ansatz beginnt beispielsweise mit der Funktion „Drehmoment wandeln“. Hier muss der
 Ingenieur nach der Spezifikation der benötigten Funktion angeben, mit welchem System-
 Element (hier: Elektro-Motor) er die Funktion realisieren möchte. D. h. es werden dieselben
 Konzepte markiert, allerdings in der umgekehrten Reihenfolge (von der Funktion ausgehend
 hin zum System-Element).

Eine Weiterentwicklung bestehender Ansätze zur Unterstützung des Konstruktionsprozesses
 ist keinesfalls Fokus dieser Arbeit. Die Wiederverwendung von Funktionen (Mechanik) wurde
 beispielsweise von LANGLOTZ [Lang-00] beschrieben. Im Kontext dieser Arbeit ist das

Ziel dieses Schrittes die Bestimmung der essentiellen Konzepte, wobei beide Ansätze („produktstrukturgetrieben“, „funktionsgetrieben“) unterstützt werden können.

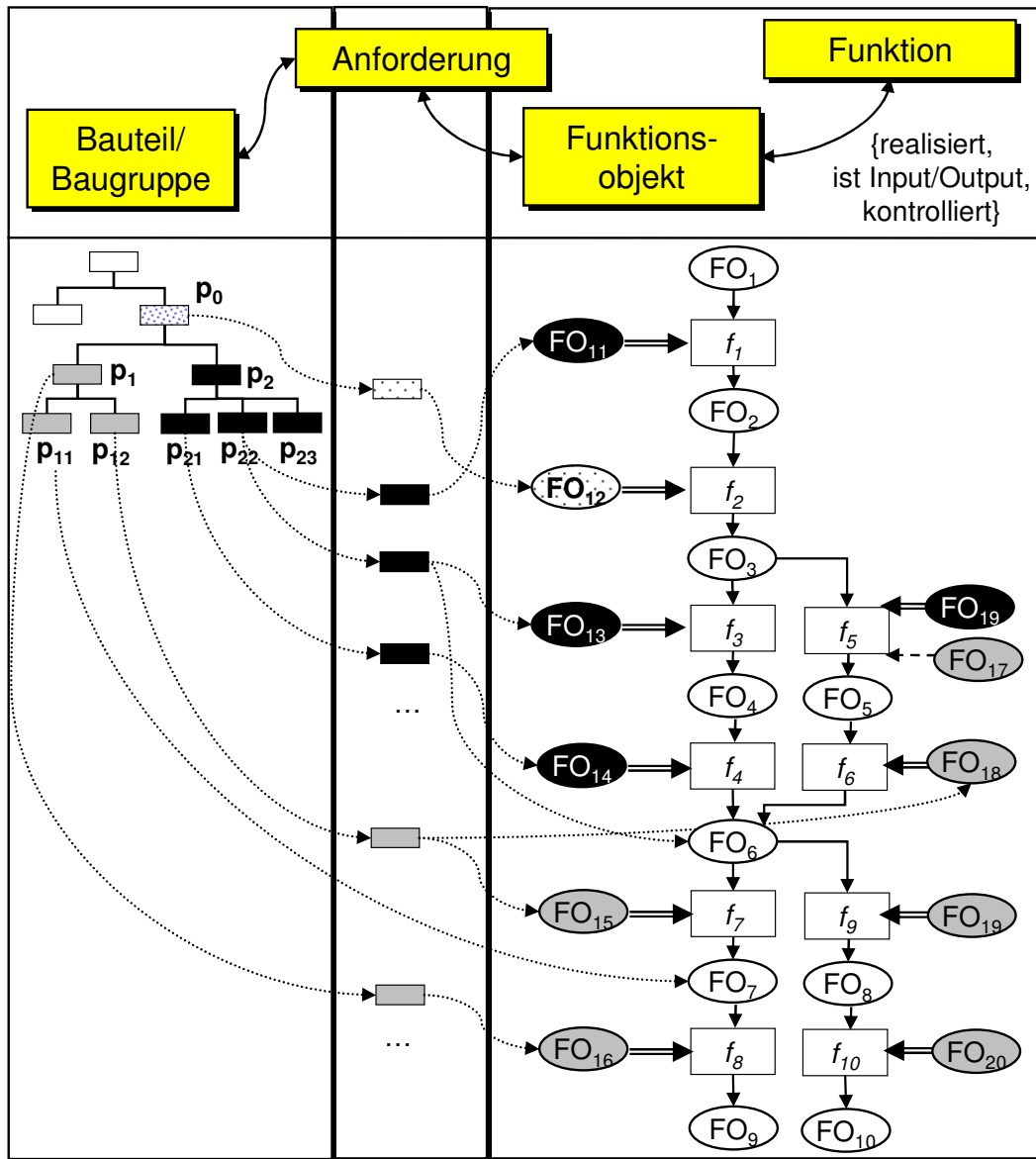
5.4.1.1 Aggregation von Funktionen analog zur Produktstruktur

In diesem Abschnitt soll ein Verfahren zur Abbildung einer vorhandenen (flachen) Funktionsstruktur auf eine bestehende (hierarchische) Produktstruktur beschrieben werden. Das vorgestellte Verfahren erweitert den von LANGLOTZ [Lang-00] vorgestellten Ansatz zur Aggregation von Funktionen und geht von folgenden Annahmen aus:

- Eine Funktion lässt sich so weit zerlegen, dass diese durch ein System-Element realisiert wird. Diese Funktion wird atomare Funktion genannt.
- Ist ein System-Element eine Baugruppe, so realisiert diese die Funktionen ihrer Sub-System-Elemente.
- Ein System-Element (Baugruppe/Einzelteil) kann eine oder mehrere Funktionen realisieren.

Das Ergebnis des Verfahrens ist die Bestimmung von aggregierten Funktionen für Baugruppen der Produktstruktur. Die vom Verfahren automatisch ermittelten aggregierten Funktionen sind vom Ingenieur (Experten) zu überprüfen und ggf. manuell nachzubearbeiten. Sollten die obigen Annahmen für einen konkreten Fall nicht zutreffend sein, so kann dies über die manuelle Überprüfung korrigiert werden. Bild 5-10 zeigt die Situation vor der Anwendung des Verfahrens zur Ermittlung aggregierter Funktionen.

Im gezeigten Beispiel werden alle Funktionen der Funktionsflussstruktur von der Baugruppe p_0 realisiert. Diese Baugruppe kann in die Baugruppen p_1 und p_2 zerlegt werden. Jede (atomare) Funktion wird von einem System-Element realisiert, wobei es sich bei dem System-Element um eine Baugruppe (z. B. p_0) oder Einzelteile (z. B. p_{12} , p_{21}) handeln kann. Weiterhin kann ein System-Element eine Funktion kontrollieren bzw. Input/Output einer Funktion sein.



Legende:

- FO₁₂ Funktionsobjekt von p₀ FO₁₃ Funktionsobjekt von p₂
- FO₁₅ Funktionsobjekt von p₁ f₈ (Atomare) Funktion

Bild 5-10: Realisierung von atomaren Funktionen durch System-Elemente und Baugruppen

Die Beschreibung des Verfahrens erfolgt durch die Angabe eines rekursiven Algorithmus (siehe Bild 5-11). Beginnend vom Wurzelknoten der Produktstruktur wird in jedem Durchlauf des Algorithmus zu einer Menge $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ von System-Elementen deren zugehörige aggregierten Funktionen bestimmt. In jedem Rekursionsschritt wird zunächst für jedes Element v_i aus V überprüft, ob es sich um eine Baugruppe handelt ($|\text{sub}(v_i)| > 0$). Sollte dies für ein v_i zutreffen, so wird für jedes ihrer Sub-System-Elemente $s_k \in \text{sub}(v_i)$ ebenfalls die Baugruppen-Eigenschaft getestet ($|\text{sub}(s_k)| > 0$). Gilt dies für ein $s_k \in \text{sub}(v_i)$ so wird die Rekursion für

dessen Subsystem-Elemente ($\text{sub}(s_k)$) aufgerufen. Der eigentliche Rekursionsschritt besteht in der Identifizierung und Zuordnung von aggregierten Funktionen zu den System-Elementen.

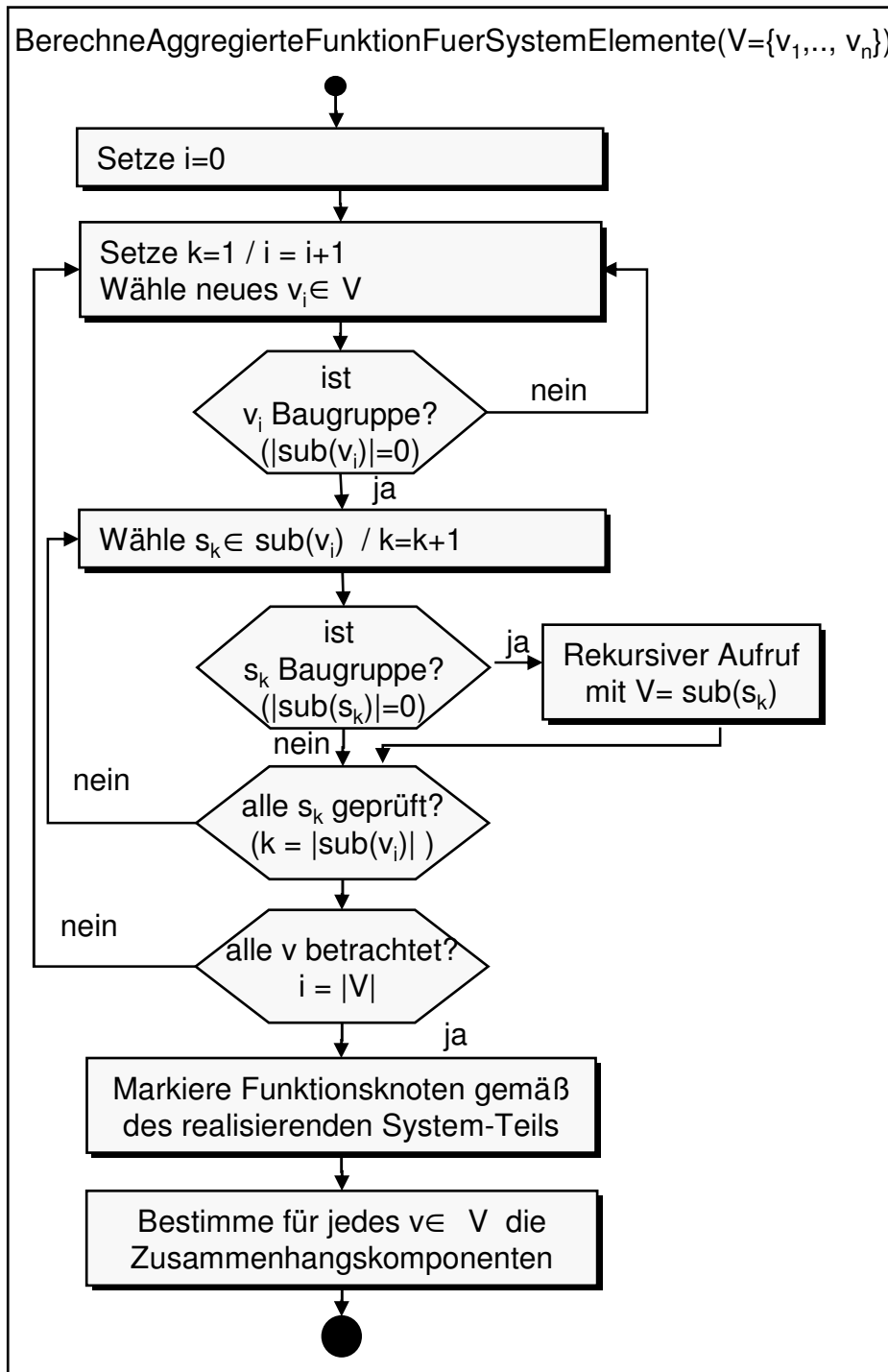


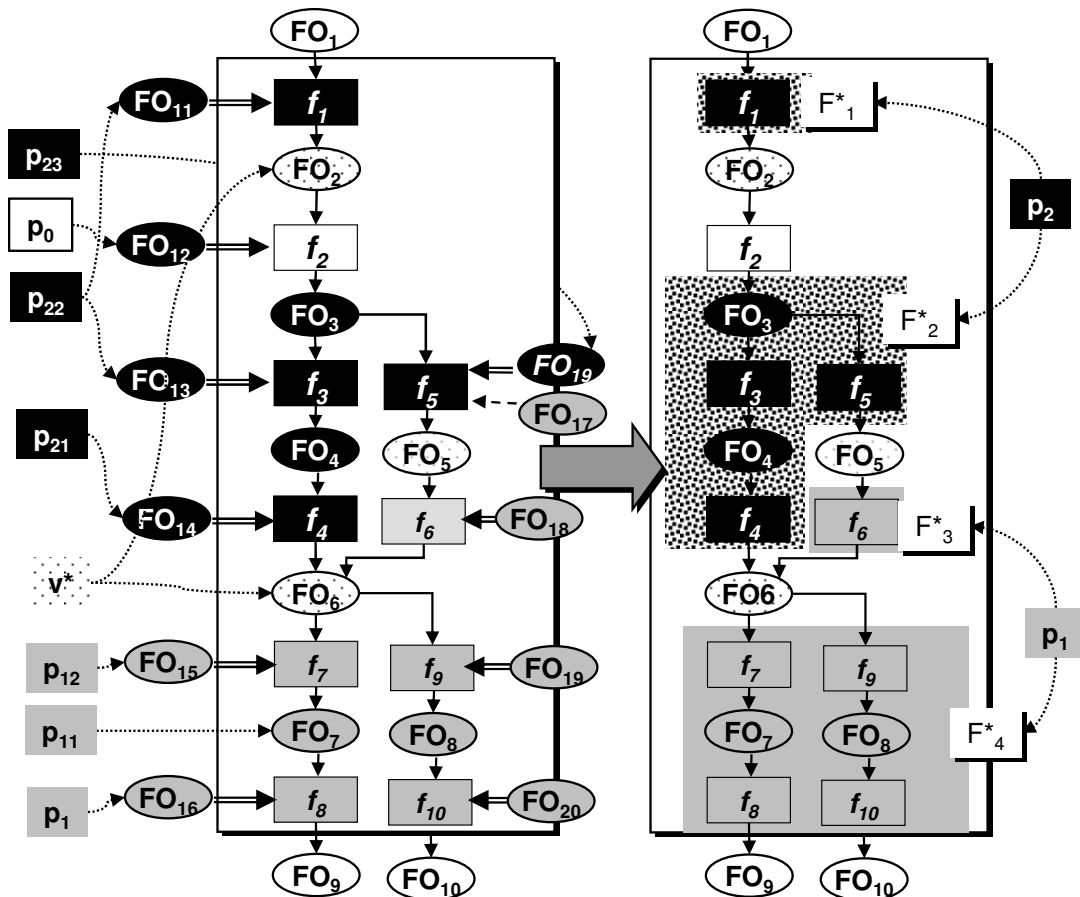
Bild 5-11: Ablauf des (rekursiven) Algorithmus zur Bestimmung der aggregierten Funktionen von Baugruppen

Im Rahmen des Verfahrens werden die Funktionen sowie deren Input/Output als Knoten eines (zusammenhängenden) Flussnetzwerk-Graphen aufgefasst. Im ersten Schritt werden die Funktions-Knoten einem System-Element $v_0 \in V$ zugeordnet. Eine Funktion wird hierbei ei-

nem v_0 zugeordnet, falls v_0 oder ein Sub-System-Element von v_0 die Funktion realisiert. Aufgrund der Annahme, dass jede Funktion von einem System-Element realisiert wird, sind nach diesem Schritt alle Funktionen entweder genau einem oder keinem System-Element $v_0 \in V$ zugeordnet. Funktionen die nicht zugeordnet sind, werden entweder von übergeordneten Baugruppen oder in der Hierarchie parallelen System-Elementen realisiert. Weiterhin wird identifiziert welches System-Element $v_0 \in V$ dem jeweiligen Input/Output-Funktionsobjekt entspricht. Hierbei werden Funktionsobjekte, die Input bzw. Output von unterschiedlichen $v_0 \in V$ sind der gemeinsamen übergeordneten System-Element (Baugruppe) zugeordnet.

Da die konkrete Baugruppe in diesem Schritt nicht relevant ist, werden sie einem abstrakten v^* zugeordnet. Dies ist beispielsweise für die Funktionsobjekte FO_5 und FO_6 der Fall. FO_6 ist sowohl Output der p_2 zugeordneten Funktion f_4 als auch Output der p_1 zugeordneten Funktion f_6 .

Nach der Zuordnung der Funktionsobjekte zu einem System-Element werden die Zusammenhangskomponenten je System-Element $v_0 \in V$ bestimmt (siehe Bild 5-12). Nun wird für jede Zusammenhangskomponente eine aggregierte Funktion angelegt und dem entsprechenden System-Element (Baugruppe) zugeordnet, sofern die Funktion nicht vom abstrakten System-Element realisiert wird. Im dargestellten Beispiel werden die aggregierten Funktionen F_1^* , F_2^* , F_3^* und F_4^* identifiziert und den Baugruppen p_1 und p_2 zugeordnet.



Schritt 1:
Funktionen und Input/Output
gemäß „realisiert“-Beziehung einer
Baugruppe zuordnen

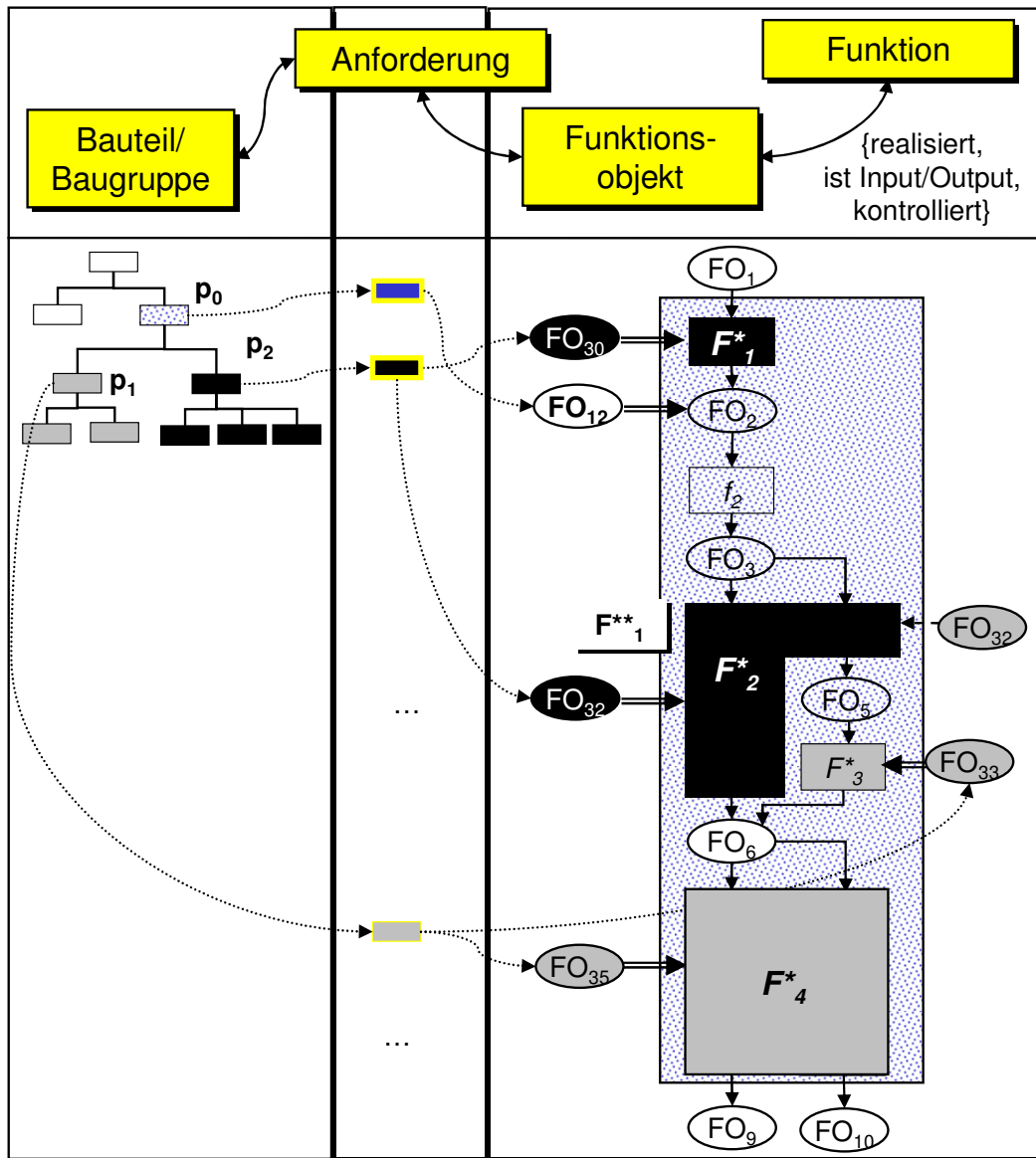
Schritt 2:
Zusammenhangs-
komponenten im
Funktionsgraph bestimmen
und aggregierte Funktionen
zuordnen

Legende:

FO_{12}	Funktionsobjekt von p_0	F^*_4	Zusammenfassung von Funktionen zu einer aggregierten Funktion (realisiert durch p_1)
FO_{15}	Funktionsobjekt von p_1	F^*_3	Zusammenfassung von Funktionen zu einer aggregierten Funktion (realisiert durch p_2)
FO_{13}	Funktionsobjekt von p_2		
f_8	Funktion, die nicht von p_1 oder p_2 allein realisiert wird		
f_7	Funktion, die von p_1 realisiert wird		
f_4	Funktion, die von p_2 realisiert wird		

Bild 5-12: Algorithmus zur Bestimmung aggregierter Funktionen (Rekursionsschritt)

Die Funktion F_2^* aggregiert beispielsweise die Teilfunktionen f_3, f_4 und f_5 und wird durch die Baugruppe p_2 realisiert und durch p_1 kontrolliert (siehe Bild 5-13). Im nächsten Rekursionsschritt wird das Verfahren auf die aggregierte Sicht angewendet. Die identifizierte aggregierte Funktion F_1^{**} umfasst F_1^*, F_2^*, F_3^* und F_4^* und wird durch p_0 realisiert und kontrolliert.



Legende:

- Funktionsobjekt von p_0
- Funktionsobjekt von p_1
- Funktionsobjekt von p_2
- Atomare Funktion, die von p_0 realisiert wird

- Aggregierte Funktion, die von p_1 realisiert wird
- Aggregierte Funktion, die von p_2 realisiert wird
- Aggregierte Funktion der gesamten Baugruppe p_0

Bild 5-13: Aggregation von Funktionen entsprechend der Produktstruktur

5.4.1.2 Erläuterung der Phase 1a anhand des Anwendungsbeispiels

Wie bereits in Abschnitt 5.2 dargestellt, sind Ingenieure aus verschiedenen Disziplinen beteiligt. In dieser Phase ist eine grobe Produktstruktur aufzubauen. Der System-Ingenieur sucht in der UNO-Klassifikation die entsprechende Produktklasse (Kommunikations-Switch).

Nun sind zwei Fälle möglich:

- Es ist noch kein Produkt-Template für diese Produktklasse vordefiniert
- Es ist bereits (mind.) ein Produkt-Template für diese Produktklasse vordefiniert

Fall 1: Keine Produkt-Templates in der Referenzontologie vordefiniert.

Ist kein Produkt-Template in der Referenzontologie vordefiniert, so muss die konzeptionelle Produktstruktur manuell aufgebaut werden. Dies kann produktstruktur- oder funktionsgetrieben oder auch kombiniert erfolgen.

Produktstrukturgetriebener Ansatz

Der Mechanik-Ingenieur bestimmt in der System-Element-Taxonomie die (mechanischen) System-Elemente, die für die Realisierung des Kommunikations-Switch erforderlich sind (Gehäuse, Schrauben etc.). Diese Aktion führen analog die Logik und Layout-Ingenieure für die elektronischen Komponenten des Switch (z.B. Mikrocontroller, Input Transceiver, Output Transceiver, Resistor) durch. Sollte das ausgewählte System-Element in einem Produkt-Template enthalten und eine Funktion definiert sein, so wird diese übernommen. Das System-Element „Input Transceiver“ realisiert beispielsweise die Funktion Condition Signal (Magnitude/Change/Signal). Das Funktionsverb Condition Signal ist eine Spezialisierung des NIST-Standard-Funktionsverbs Magnitude/Change/Signal. Durch die Auswahl der System-Elemente werden automatisch die entsprechenden Konzepte als essentiell markiert (siehe Bild 5-14).

Funktionsgetriebener Ansatz

Im funktionsgetriebenen Ansatz suchen die Ingenieure nach System-Elementen, die eine gesuchte Funktion realisieren. Beispielsweise sucht der Elektronik-Ingenieur nach System-Elementen, welche die Funktion „Magnitude/Change/Signal“ realisieren. Hierbei wird das System-Element „Input Transceiver“ gefunden.

In diesem Beispiel bietet sich ggf. ein kombinierter Ansatz an, bei dem zunächst die mechanischen Teile produktstrukturgetrieben und anschließend die elektronischen Komponenten funktionsgetrieben identifiziert werden.

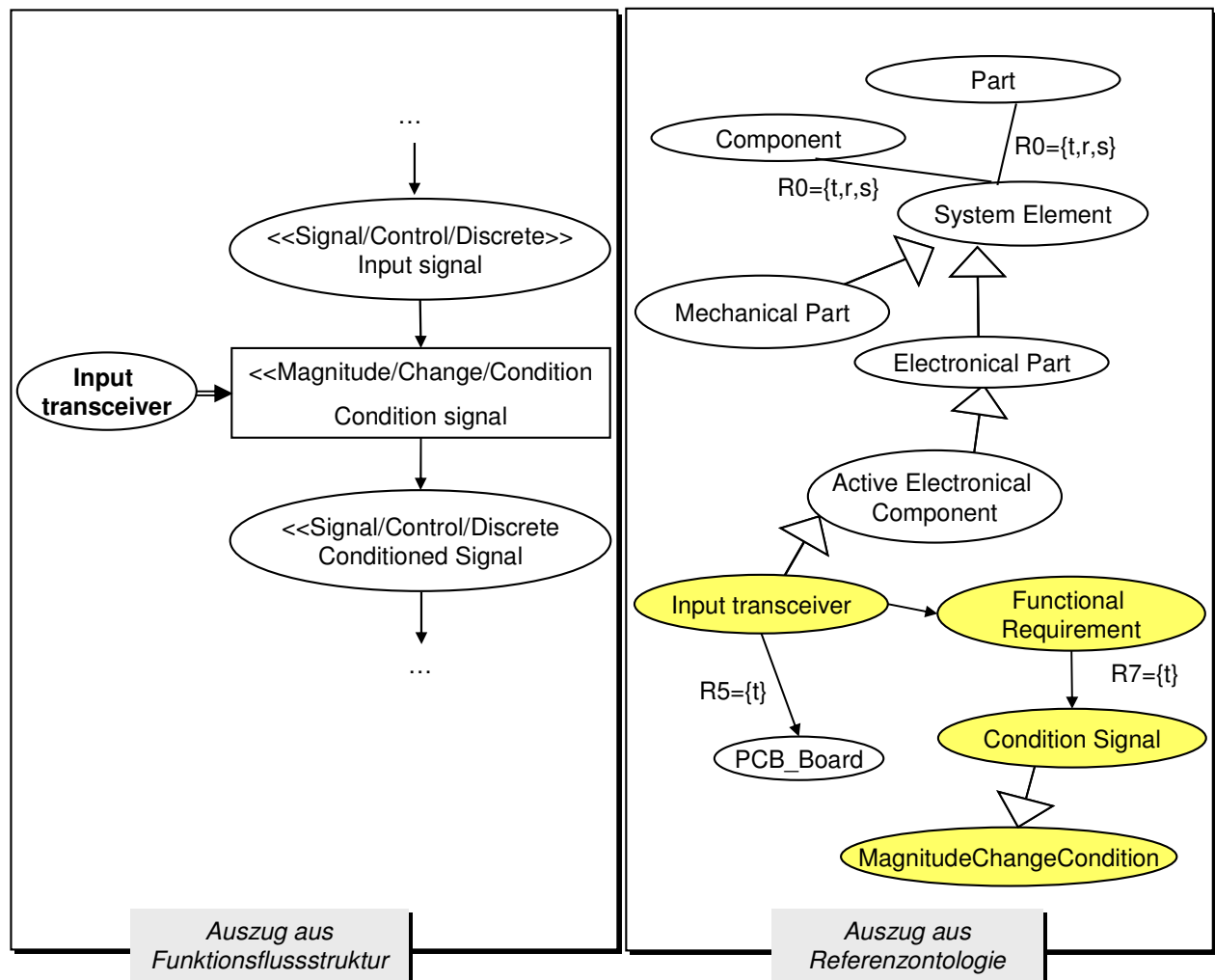


Bild 5-14: Auswahl des System-Elements Input Transceiver für den Switch

Fall 2: Produkt-Templates in Referenzontologie vordefiniert.

Da CAD/CAM schon früher einen Kommunikations-Switch entwickelt hat, ist bereits ein Produkt-Template für diese Produktklasse in der Referenzontologie vordefiniert. Die Funktionsflussstruktur wird entsprechend des Verfahrens zur "Aggregation von Funktionen" auf das Produkt-Template abgebildet (siehe vorheriger Abschnitt). Das Template besitzt allerdings zusätzlich die Funktion „Video grapper“, welche nicht benötigt wird; dafür fehlt die Funktion „Temperatur Controller“. Der System-Ingenieur wählt das Produkt-Template aus. Dadurch werden die entsprechenden Konzepte als essentiell markiert. Anschließend entfernt er die (aggregierte) Funktion „Video Grapper“ und damit die System-Elemente, die nicht mit einer anderen Funktion des Switch in Beziehung stehen, d. h. eine andere Funktion realisieren, kontrollieren oder Input/Output einer Funktion sind. Anschließend führt der System-Ingenieur eine semantische Suche nach der Funktion „Temperatur Controller“ durch und findet diese in einer anderen Produktstruktur. Er fügt die Funktion und damit die entsprechenden System-Elemente in die (grobe) Produktstruktur ein. Dadurch werden im Hintergrund die entsprechenden Konzepte markiert.

5.4.2 Phase 1b: Initiale Bestimmung der Konzepte auf Basis von Prozessdefinition

Zur Realisierung einer Kooperation sind die unternehmensübergreifenden Prozesse zwischen den Partnern festzulegen. Diese Tätigkeit ist vor jeder Kooperation durchzuführen und stellt somit keinen Mehraufwand dar.

Die Idee ist, die Spezifikation der Prozesse zu verwenden, um die relevanten Konzepte zu bestimmen. Die Beschreibung eines Prozesses erfolgt durch Benennung des Prozessschrittes sowie die Definition von Input und Output. Ein Artefakt (z. B. 3D-CAD-Modell) stellt eine Instanz eines oder mehrerer Konzepte (in der Referenzontologie) dar, die Input oder Output eines Prozessschrittes sein können. Im Rahmen eines Prozessschrittes können eine oder mehrere Dienste (z. B. generiere Stückliste für (Teil-)Produkt) verwendet werden. Durch die Spezifikation der unternehmensübergreifenden Kooperationsprozesse werden somit neben den benötigten Artefakten (Input bzw. Output) auch die relevanten Dienste festgelegt. Die Anwendungslogik (Businesslogik) der Dienst-Bibliothek setzt die Existenz bestimmter Artefakte im semantischen Modell voraus. Deshalb werden durch die Auswahl eines Dienstes (Service) alle für den Dienst benötigten Konzepte markiert (siehe Bild 5-15).

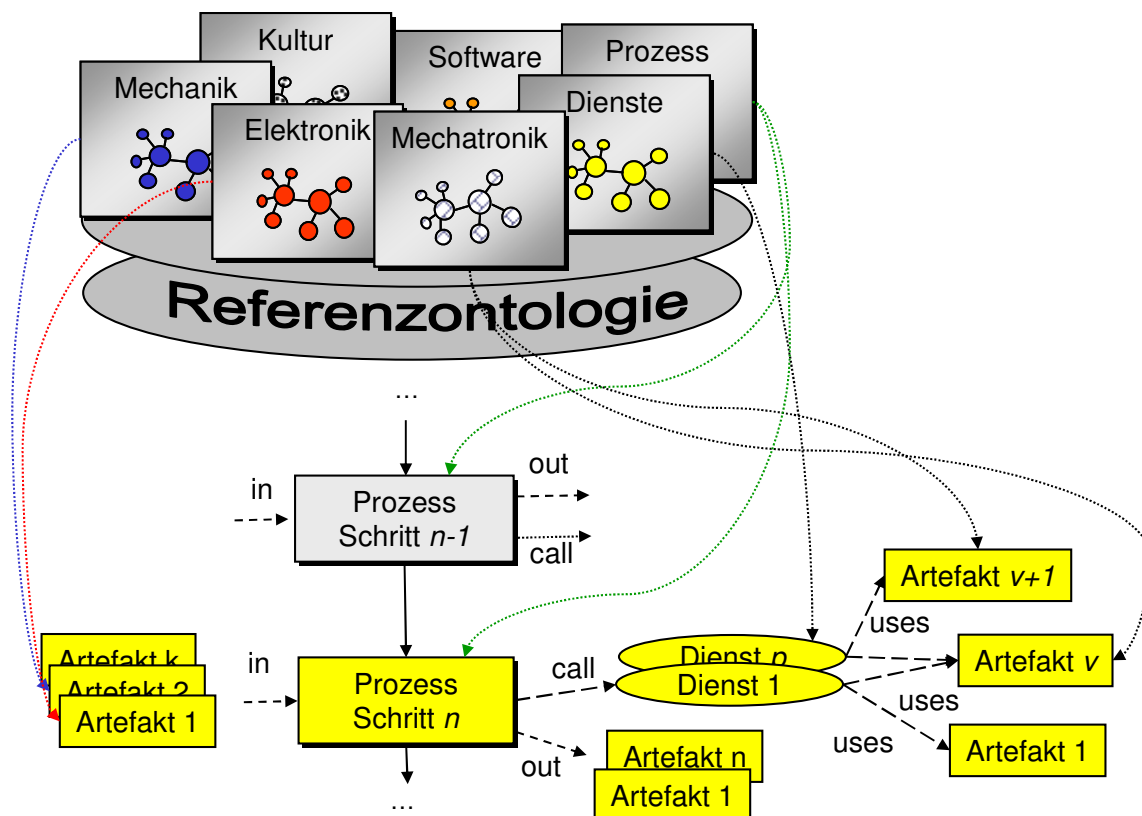


Bild 5-15: Beschreibung von Prozessschritten sowie Input/Output Artefakte und Dienste auf Basis der Referenzontologie

5.4.2.1 Ablauf der Prozess-Spezifikation

Zur Vereinfachung der Prozessspezifikation können vordefinierte Referenzprozesse (bestehend aus mehreren Referenzprozessschritten) verwendet werden. Wird ein neuer Prozessschritt angelegt (z. B. Detaillierung eines Referenzprozess-Schrittes), so wird in der Kooperationsontologie ein entsprechendes Konzept erzeugt und als relevant markiert. Dies erlaubt die Spezifikation von unternehmensübergreifenden Prozessen mit oder ohne vordefinierte Referenzprozesse. Der Gesamtprozess ist in Bild 5-16 dargestellt.

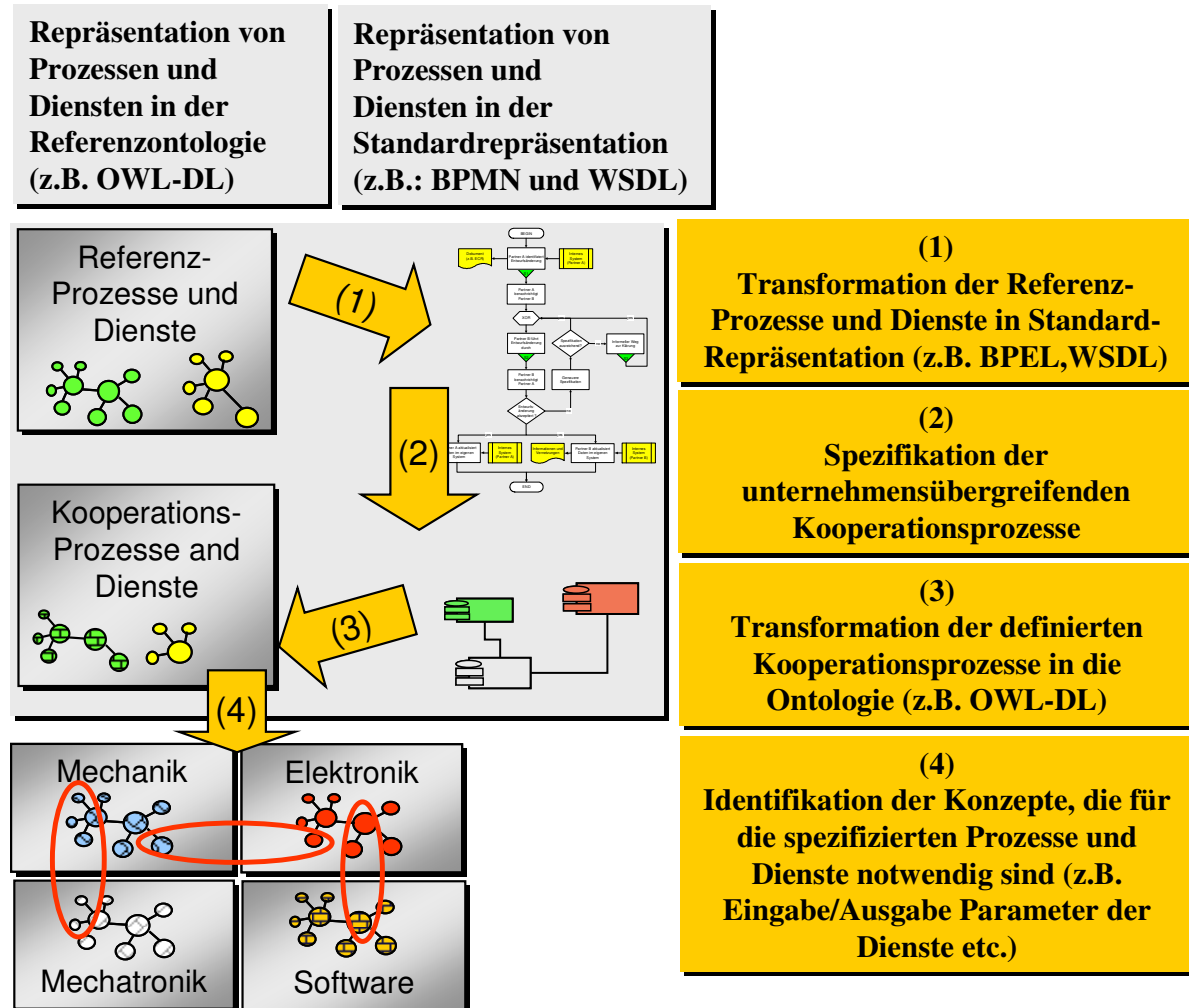


Bild 5-16: Gesamtprozess der Phase 1b: Spezifikation der Prozesse und Identifikation der essentiellen Konzepte [MaSOB-07]

Sind die Referenzprozesse und die verfügbaren Dienste in der Referenzontologie spezifiziert, werden sie zunächst in die Standardrepräsentation (z. B. BPEL, WSDL) überführt (1). Dadurch ist die Bearbeitung mit einem existierenden Werkzeug (z. B. WebSphere, ActiveBPEL) möglich. Sollten die Prozesse und Dienste nur in der Standardrepräsentation verfügbar sein, entfällt der erste Schritt. Nun können die Kooperationsprozesse basierend auf den vordefinierten Referenzprozessen spezifiziert werden (2). In der Literatur finden sich einige Ansätze zur Analyse und Spezifikation unternehmensübergreifender Prozesse. HORNBERG [Horn-04] be-

schreibt ein Verfahren auf Basis von Referenzprozessen, während ENGEL [Enge-06] ein Verfahren basierend auf in der in vorherigen Kooperationsprojekten angewendeten Prozessdefinitionen einführt.

Auf Basis der Analyse der Kooperationspartner müssen die zu unterstützenden (Referenz-) Prozessschritte identifiziert und weiter detailliert werden. Hierzu werden spezifische Arbeitsabläufe sowie die zwischen den Partnern stattfindenden Informationsflüsse abgeleitet. Darüber hinaus werden auf Basis der abgeleiteten Informationsflüsse die Systeme und Anwendungen der Entwicklungspartner identifiziert.

Anschließend erfolgt die Transformation der definierten Kooperationsprozesse in die Ontologie (3). Dabei werden die Artefakte identifiziert, die für die spezifizierten Prozesse und Dienste relevant sind (4). Dies sind beispielsweise Eingabe/Ausgabe Parameter der Dienste bzw. Prozesse. Sind keine Referenzprozesse verfügbar, so entfallen die Schritte (1) und (2).

5.4.2.2 Erläuterung der Phase 1b anhand des Anwendungsbeispiels

Die Spezifikation der gemeinsamen unternehmensübergreifenden Prozesse wird exemplarisch anhand eines Änderungsprozesses gezeigt.

Die Entwicklung des Switch wird unter anderem im MCAD System CATIA (Domäne: Maschinenbau) und im ECAD System Altium (Domäne: Elektrotechnik) erfolgen. Das PCB-Board mit seinen Komponenten kann von beiden Systemen modifiziert werden und ist somit entsprechend zu synchronisieren. Es soll nun der entsprechende Prozess auf Basis von Referenzprozessen spezifiziert werden.

Der Änderungsprozess (ECAD/MCAD-Collaboration-Prozess) von System-Elementen und Synchronisation der entsprechenden ECAD/MCAD-Dateien ist eingebettet in einen generellen Änderungsreferenzprozess (Änderungsanforderung (ECR) und Änderungsbeauftragung (ECO), siehe Bild 5-17). Er basiert auf der VDA-Richtlinie 4965, welche einen Engineering-Change-Referenzprozess spezifiziert (siehe [ECR-06]).

Der Referenzprozess definiert im Gegensatz zur VDA-Empfehlung 4965 [VDA-06] neben einem „formalen“ Änderungsprozess eine „nicht-formale“ Variante. Je nach Bearbeitungsstatus der zu ändernden System-Elemente (z. B. noch nicht freigegeben („released“)) kann die „nicht-formale“ Variante gewählt werden. Dies bedeutet, dass Änderungen direkt zwischen den beteiligten Ingenieuren (und dem Projektleiter) vereinbart werden können (ohne formale Änderungs-Beauftragung (Engineering Change Order)).

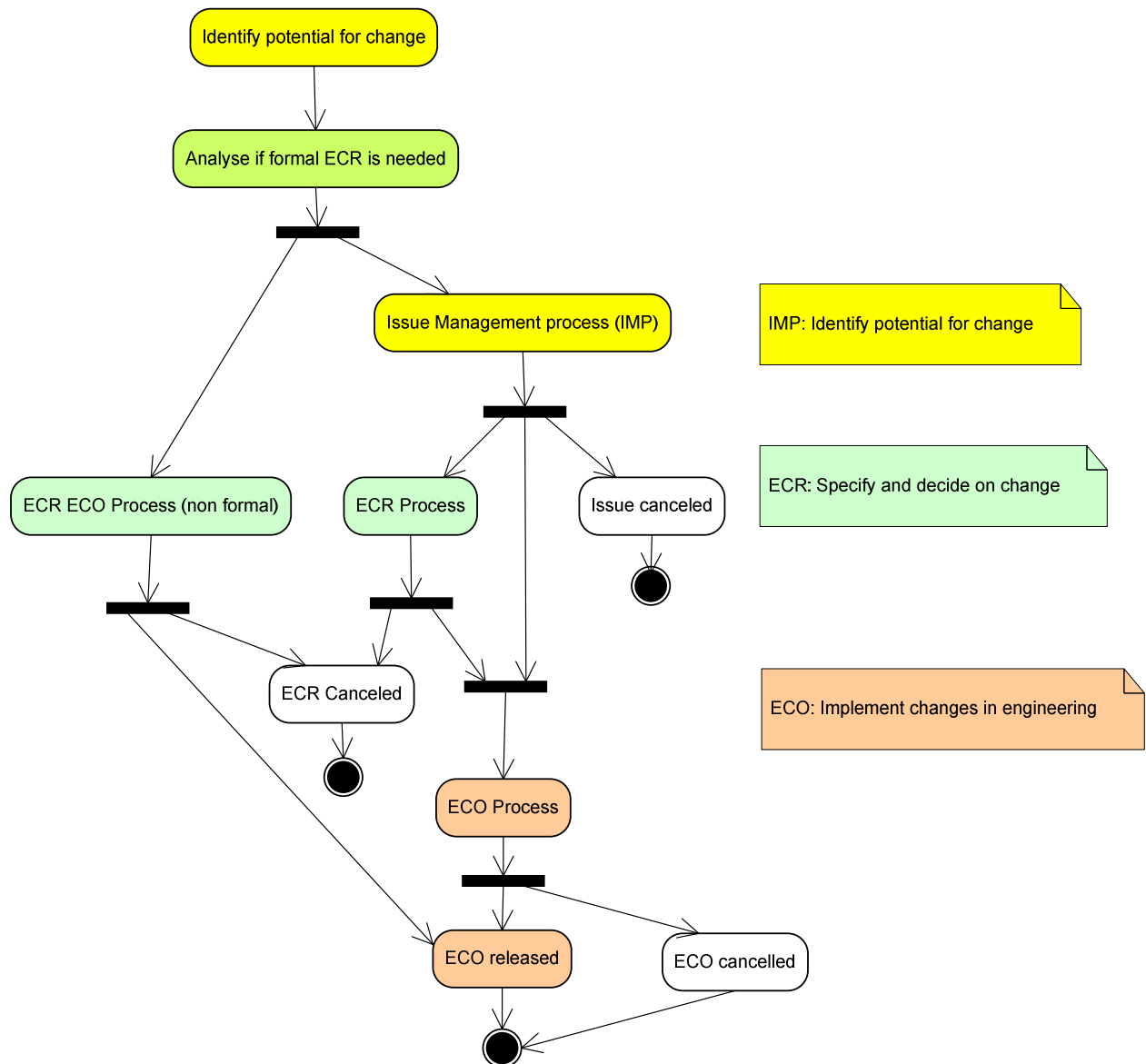


Bild 5-17: Änderungsreferenzprozess (ECR/ECO Prozess)

Der ECAD-MCAD-Collaboration-Prozess ist Teil des ECO-Prozessschrittes. Im Rahmen des ECAD-MCAD-Collaboration-Prozesses können verschiedene Arten von Änderungen durchgeführt werden:

- Verschieben eines System-Elements (elektronische Komponente) auf dem Board
- Verschieben eines Loches („mounting hole“) zur Befestigung des Boards
- Ersetzen eines System-Elements (elektronische Komponente)
- Vertauschen der PIN-Belegung eines System-Elements (elektronische Komponente)

Entsprechend der bisherigen Modellierung ist auch bei der „nicht-formalen“ Variante die Zustimmung des System-Ingenieurs erforderlich, falls ein System-Element ausgetauscht werden soll. Die Prozessbeschreibung wird so abgeändert, dass die Zustimmung des System-

Ingenieurs bei einer „nicht-formalen“ Änderung nicht erforderlich ist. In der Ontologie werden hierbei die Relationen zwischen den Konzepten „umgehängt“. Bei der Bestimmung der essentiellen Konzepte werden die nicht mehr im Prozessfluss befindlichen Konzepte nicht mehr berücksichtigt. Im Rahmen des Prozesses werden verschiedene Dienste (z. B. „Commit_System_Element“) aufgerufen. Diese benötigen zur Bereitstellung ihrer Funktionalität einige Artefakte. Diese werden dementsprechend auch als essentiell markiert. Der Service Commit_System_Element benötigt beispielsweise die Artefakte „System Element“, „ECAD file“ und „MCAD file“.

5.4.3 Phase 1c: Initiale Bestimmung der Konzepte auf Basis von Dokumenten

In dieser Phase werden die essentiellen Konzepte aus Textdokumenten abgeleitet. Bild 5-18 zeigt die Extraktion der Konzepte Fensterheber, Motor und Leistung aus einer Anforderungsspezifikation. Aufgrund der Ableitung aus dem Text werden diese Konzepte als essentiell markiert. Das Problem der Extraktion von Ontologien aus Textdokumenten ist ein wesentliches Problem der maschinellen Analyse von Texten (Textmining) [WiMü-06]. Es gibt bereits Algorithmen und Softwaretools, die basierend auf Häufigkeitsanalysen und Statistiken diesen Ansatz unterstützen. Wenngleich weiterhin Forschungsbedarf existiert, liefern die bestehenden Ansätze (z.B. SMES⁵¹ [NeSa-05]) bereits relativ gute Ergebnisse [WiMü-06]. Deshalb soll an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen werden.

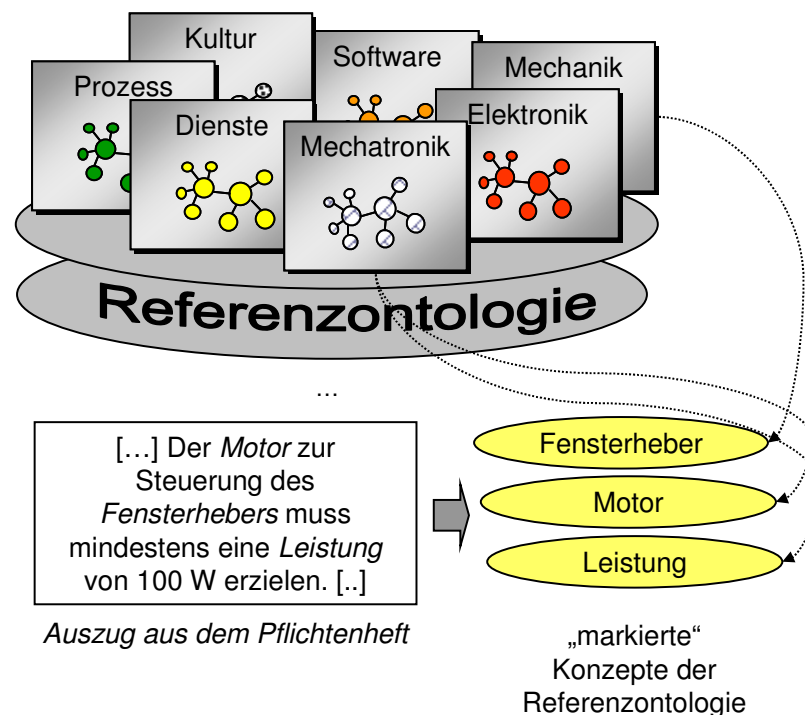


Bild 5-18: Identifizierung essentieller Konzepte auf der Basis einer Textanalyse

⁵¹ Die linguistische Textanalysekomponente SMES wurde im Rahmen des Forschungsprojektes German Text Exploitation and Search System (GETESS) am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) erstellt.

5.5 Phase 2: Ableitung des anwendungsorientierten Modells der Kooperation (Kooperationsontologie)

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht notwendigerweise zusammenhängende Konzepte der Referenzontologien (evtl. verteilt auf mehrere Domänen)
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenhängende Kooperationsontologie

In dieser Phase ist auf Basis der in der vorherigen Phase identifizierten grundlegenden Konzepte der Referenzontologie die Kooperationsontologie abzuleiten. Ziel ist es die übrigen Konzepte abzuleiten, die für die Kooperation erforderlich sind, wobei die abzuleitende Kooperationsontologie zusammenhängend sein sollte. Hierzu wird die semantische transitive Hülle (siehe Abschnitt 4.4.3.1) um die markierten Konzepte bestimmt und die semantischen Hüllen über den semantisch kürzesten Weg (siehe Abschnitt 4.4.3.2) verbunden.

Die Legitimation des Ansatzes begründet sich auf folgender Überlegung: Konzepte mit einem kleinen semantischen Abstand dienen zur Beschreibung eines ähnlichen Sachverhalts. Bei der Identifikation der Konzepte erfolgt die grobe Eingrenzung des Wissensgebiets, das für die Kooperation relevant ist, wobei die „Grenzen“ durch die Konzepte gesteckt werden. Dies lässt sich leicht veranschaulichen, wenn man die Konzepte der Ontologie mit Knoten eines semantischen Netzwerks (siehe Abschnitt 2.3.3) identifiziert. Da die identifizierten Konzepte für die Kooperation relevant sind, kann davon ausgegangen werden, dass eine Umgebung um die Konzepte ebenfalls für die Kooperation relevant ist. Bei der Bestimmung der relevanten Umgebung ist es sinnvoll, nicht gleichmäßig in alle Richtungen zu gehen, sondern diejenige Richtungen zu bevorzugen, die zu Konzepten führen, die ebenfalls als relevant identifiziert wurden.

Die Kanten des Netzes, also die semantischen Relationen (z. B. `is_a`, `instance-of`, `consist-of`, etc.), können, müssen aber nicht symmetrisch sein. Berücksichtigt man die Eigenschaft einer Relation (reflexiv, symmetrisch etc.), so ist das semantische Netz ein gerichteter Graph. Für die zu bestimmende Ontologie ist es hinreichend, dass es keine isolierten Knoten gibt. Das heißt, es genügt auch, wenn zwei Konzepte über einen Semiweg miteinander verbunden sind. Somit kann man im Folgenden ohne Einschränkung der Allgemeinheit davon ausgehen, dass es sich bei dem semantischen Netz um einen ungerichteten Graphen handelt.

Innerhalb dieser Phase soll eine möglichst zusammenhängende Kooperationsontologie abgeleitet werden, die alle identifizierten Konzepte enthält. Zu beachten ist hierbei, dass die Konzepte aus unterschiedlichen Domänen stammen können und somit selbst in der Referenzontologie nicht zusammenhängend sind.

Definition (Semantisch zusammenhängend): Sei $SN_{\Omega}(K_{\Omega}, E_{\Omega})$ die graphische Repräsentation einer nicht zusammenhängenden Ontologie O . Für zwei beliebige Konzepte $k_1, k_2 \in K_{\Omega}$ gilt:

- Die Konzepte heißen semantisch zusammenhängend, falls ein (Semi-)Weg $w \subseteq E_{\Omega}$ von k_1 nach k_2 existiert. Existiert sogar eine Kante $e \in E_{\Omega}$, die beide Konzepte verbindet, so werden die Konzepte semantisch stark zusammenhängend genannt.
- Es existiert kein Weg $w \subseteq E_{\Omega}$ zwischen den beiden Konzepten. In diesem Fall werden die Konzepte als semantisch nicht zusammenhängend bezeichnet.

Die Eigenschaft „semantisch zusammenhängend“ ist eine Äquivalenzrelation auf SN_{Ω} , wobei die Äquivalenzklassen N_1, \dots, N_p Teilgraphen des semantischen Netzes sind und als semantische Zusammenhangskomponenten bezeichnet werden.

Der Nachweis, dass die Eigenschaft „semantisch zusammenhängend“ eine Äquivalenzrelation auf der Konzeptmenge darstellt, folgt direkt aus der Graphentheorie, da das semantische Netz einen ungerichteten Graphen darstellt (Wege können in beiden Richtungen durchlaufen werden). Wähle zwei beliebige semantisch zusammenhängende Konzepte $k_1, k_2 \in N_i$. Dann gibt es einen Weg von k_1 nach k_2 und von k_2 nach k_1 (ungerichteter Graph). Besteht nun auch ein semantischer Zusammenhang zwischen k_1 und einem weiteren Konzept $k_3 \in N_j$, dann existiert ein Weg von k_2 (über k_1) nach k_3 . Damit sind auch k_2 und k_3 semantisch zusammenhängend. Da k_1, k_2 und k_3 beliebig gewählt wurden, gilt dies für beliebige Vertreter von N_i und N_j und damit kann $N_i = N_j$ gefolgert werden. Somit stellen die Zusammenhangskomponenten Äquivalenzklassen bzgl. der Äquivalenzrelation „semantisch zusammenhängend“ dar.

5.5.1 Übersicht über das schematische Vorgehen

Bild 5-19 zeigt schematisch das schrittweise Vorgehen zur Bestimmung der Kooperationsontologie, welche die minimale Menge an Konzepten enthält, die für eine Kooperation relevant sind. Basierend auf den in der vorangegangenen Phase identifizierten Konzepten werden zunächst die entstandenen Zusammenhangskomponenten identifiziert, indem überprüft wird, ob zwei oder mehrere Konzepte semantisch stark zusammenhängend sind.

Im nächsten Schritt werden die transitiven semantischen Hüllen der Zusammenhangskomponenten berechnet. Hierbei kann es bereits zu einer Überlappung und aufgrund der Äquivalenzrelation zu einer Verschmelzung von semantischen Hüllen kommen. Schließlich sind die semantischen Hüllen bzw. die neu entstandenen Zusammenhangskomponenten miteinander zu verbinden. Zunächst werden daher die Zusammenhangskomponenten betrachtet, die innerhalb des semantischen Netzes der Referenzontologie verbunden waren. Die Verbindung der Teilnetze erfolgt hierbei über den kürzesten semantischen Weg (siehe Abschnitt 4.4.3). Wesentliche Probleme hierbei sind, dass nicht bekannt ist, welche Zusammenhangskomponenten miteinander verbunden werden sollen und von welchen Konzepten ausgegangen werden soll.

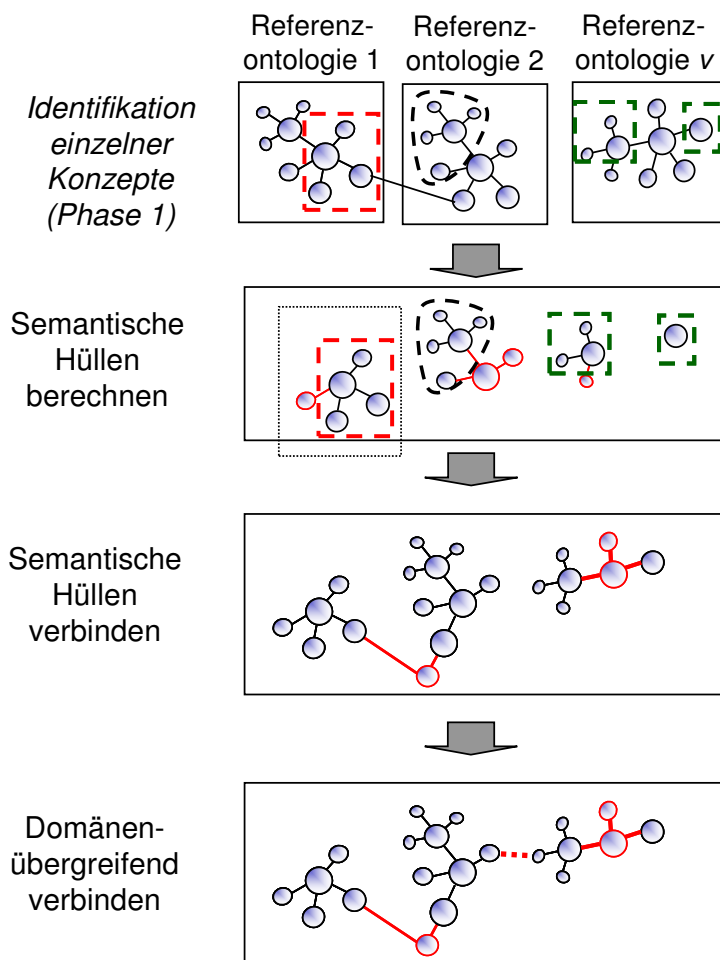


Bild 5-19: Ableitung der Kooperationsontologie

Anschließend gilt es die im vorherigen Teilschritt abgeleiteten Zusammenhangskomponenten aus unterschiedlichen Domänen miteinander zu verbinden. Dies kann jedoch nur teilautomatisiert erfolgen, da diese Beziehungen nicht modelliert sind. Dieser Schritt erfolgt unter Verwendung knotenbasierter Abstandsmaße, die es erlauben, den semantischen Abstand zweier Konzepte unterschiedlicher Domänen zu quantifizieren. Im abschließenden Schritt wird die semantische transitive Hülle des semantischen Teilnetzes berechnet.

5.5.2 Algorithmische Vorgehensweise

Basierend auf der in Abschnitt 4.4.3 vorgestellten Definition sinnvoller semantischer Einheiten (transitive semantische Hülle) und eines flexiblen Abstands- bzw. Ähnlichkeitsmaßes für Konzepte und Konzeptmengen wird in diesem Abschnitt das algorithmische Vorgehen definiert, welches durch das Softwarewerkzeug realisiert wird.

Gegeben sei die Referenzontologie \mathcal{Q} mit den $k \geq 1$ Domänenontologien D_1, \dots, D_k , wobei $K(D_i)$ die Menge der Konzepte der Domänenontologie bezeichnet. Weiterhin sei $M = \{k_1, \dots, k_q\} \subseteq K_{\mathcal{Q}}$ die Menge der als relevant markierten Konzepte der Referenzontologie. Die Repräsentation der Referenzontologie durch einen Graphen (semantisches Netz) wird mit

$SN_{\Omega}(K_{\Omega}, E_{\Omega})$ mit $K_{\Omega} = \bigcup_{i=1}^k K(D_i)$ bezeichnet. Da Domänenontologien zusammenhängend sind, besteht das semantische Netz der Referenzontologie aus maximal k Zusammenhangskomponenten. Das Maximum wird genau dann erreicht, wenn keine domänenübergreifenden Beziehungen modelliert sind. Die Menge der Zusammenhangskomponenten der Referenzontologie wird mit Z_{Ω} bezeichnet. Eine Zusammenhangskomponente $z=(K_z, E_z)$ ist ein Teilgraph des semantischen Netzes der Referenzontologie.

Gesucht ist das minimale zusammenhängende semantische Netz $SN_C(K_C, E_C)$, welches alle Konzepte aus M enthält. Dieses Netz repräsentiert die Kooperationsontologie C , welche den Umfang der innerhalb der Kooperation benötigten Semantik widerspiegelt.

Das Problem der Bestimmung einer zusammenhängenden Kooperationsontologie wird in zwei Teilprobleme unterteilt:

- Bestimmung der zusammenhängenden Ontologie je zusammenhängendem Teilnetz des semantischen Netzes der Referenzontologie (siehe Abschnitt 5.5.2.1)
- Domänenübergreifende Verbindungen in der Referenzontologie unverbundener Konzeptmengen herstellen (siehe Abschnitt 5.5.2.2)

5.5.2.1 Bestimmung einer minimalen zusammenhängenden Konzeptmenge je innerhalb des semantischen Netzes ausgezeichnete Zusammenhangskomponente

Der Algorithmus zur Bestimmung einer minimalen zusammenhängenden Konzeptmenge einer Domäne besteht aus vier Teilschritten:

- Bestimmung der semantisch stark zusammenhängenden Konzepte aus K . Ergebnis sind $p \leq q$ semantische Zusammenhangskomponenten $Z^{(1)}(K)$
- Konstruktion der transitiven semantischen Hülle je Zusammenhangskomponente und Bestimmung der zu verschmelzenden transitiven semantischen Hüllen. Ergebnis dieses Schrittes sind die resultierenden Zusammenhangskomponenten $Z^{(2)}(K) := \bigcup_{k \in K} SH(Z^{(1)}(k))$. Gilt $|Z^{(1)}(K)| = |Z^{(0)}(K)|$, so wurden keine semantischen Hüllen verschmolzen, d. h. sie sind paarweise disjunkt.
- Bestimmung der zu verbindenden Zusammenhangskomponenten $z_i, z_j \in Z^{(1)}(K)$ und Vereinigung dieser Zusammenhangskomponenten durch Hinzunahme des/der kürzesten semantischen Wege(s) zwischen den Zusammenhangskomponenten. Dies wird so lange durchgeführt, bis entweder nur noch eine Zusammenhangskomponente existiert ($|Z^{(3)}(K)|=1$), oder die Zusammenhangskomponenten semantisch zu weit entfernt sind. Dann muss der Anwender entscheiden, ob der semantische Weg hinzugenommen werden soll.
- Bestimmung der zusammenhängenden Kooperationsontologie durch Konstruktion der semantischen Hülle der bisherigen Zusammenhangskomponenten.

Sind verbundene Domänenontologien hinsichtlich ihrer Modellierung (Attribute, Relationseigenschaften, Features, Sprachen) sehr inhomogen, empfiehlt es sich, diese zunächst in einer Zusammenhangskomponente je Domäne zu separieren. Die Teilschritte 1-3 werden in diesem Fall für jede Domäne mit unterschiedlichem Gewichtsvektor getrennt durchgeführt und anschließend durch Ausführen des Teilschritts 4 mit einem angepassten Gewichtungsvektor zu einer zusammenhängenden Kooperationsontologien vereinigt.

Teilschritt 1: Bestimmung von Zusammenhangskomponenten

Im ersten Teilschritt wird analysiert, welche Konzepte aus $M=\{k_1, \dots, k_q\}$ semantisch stark zusammenhängend sind. Diese bilden zusammen jeweils eine Zusammenhangskomponente des zu bestimmenden minimalen semantischen Netzes, das K umschließt. Hierbei werden die Kanten aus der Referenzontologie übernommen. Als Ergebnis erhält man $p \leq q$ Zusammenhangskomponenten $Z^{(1)}:=\{z_1, \dots, z_p\}$, wobei diese nur Konzepte aus M enthalten. Stehen keine zwei Konzepte aus M miteinander in Beziehung, so ist $p=q$. Die genaue Beschreibung des Algorithmus in Pseudocode findet sich im Anhang B-1.

Teilschritt 2: Ableitung der Semantischen Hüllen bzgl. den Zusammenhangskomponenten

In diesem Teilschritt werden zunächst die semantischen Hüllen $SH(z_i)$ der Zusammenhangskomponenten z_1, \dots, z_p aus dem vorherigen Teilschritt abgeleitet. Die Konstruktion einer semantischen Hülle einer Konzeptmenge wurde bereits in Abschnitt 4.4.3 beschrieben, weshalb an dieser Stelle nicht mehr darauf eingegangen wird. Abschließend sind die Zusammenhangskomponenten zu identifizieren. Hierzu ist zu überprüfen, ob sich eine oder mehrere Hüllen überlappen und somit eine Zusammenhangskomponente bilden. Ist die Konzeptmenge zweier semantischer Hüllen nicht leer, so werden diese vereinigt. Die Vereinigung zweier semantischer Hüllen ist wiederum eine semantische Hülle. Die genaue Beschreibung des Algorithmus in Pseudocode findet sich im Anhang B-1.

Teilschritt 3: Bestimmung einer zusammenhängenden Ontologie

Nun werden diejenigen Zusammenhangskomponenten verbunden, die aus derselben Domäne stammen (oder für die zumindest eine Verbindung zwischen den Domänen (in den Referenzontologien) modelliert ist). Für die Verbindung von Zusammenhangskomponenten sind folgende Probleme zu lösen:

1. Welche Zusammenhangskomponenten sollen miteinander verbunden werden?
2. Welche Konzepte sollen als Anfangs- bzw. Endpunkt des Verbindungsweges zwischen den Zusammenhangskomponenten dienen?
3. Welcher Weg soll zur Verbindung der Zusammenhangskomponenten gewählt werden?

Die Lösungsstrategie sieht vor, zunächst diejenigen Zusammenhangskomponenten miteinander zu verbinden, deren semantischer Abstand kleiner als eine vorgegebene Grenze δ_{\min} ($0 < \delta_{\min} \leq 1$) ist. Falls die Grenze verwendet wird, kann es passieren, dass nicht alle Zusammenhangskomponenten verbunden werden. Dann wird die Grenze um die Schrittweite

$0 < \Delta < 1$ erhöht, das heißt setze $\delta_{\min}^{(n+1)} := \delta_{\min}^{(n)} + \Delta$, $\delta_{\min}^{(1)} := \delta_{\min}$ $n > 0$. Dieser Teilschritt wird so lange wiederholt, bis entweder alle Zusammenhangskomponenten verbunden oder eine gegebene Obergrenze (δ_{\max}) für den semantischen Abstand erreicht wurde. Sollte die Grenze erreicht werden, muss der Anwender entscheiden, ob der minimale Weg (mit einem größeren semantischen Abstand) verwendet werden soll oder ob er die Verbindung manuell erstellt. Es kann eine weitere Grenze δ_{\max^*} ($\delta_{\min} \leq \delta_{\max^*} \leq \delta_{\max}$) angegeben werden, ab dieser Grenze nur die Zusammenhangskomponenten mit minimalem Abstand miteinander vereinigt werden. Ist $\delta_{\max} = 1$, wird auch ein „unendlich großer Abstand“ akzeptiert und somit sind nach diesem Teilschritt alle Zusammenhangskomponenten verbunden (die gemäß Referenzontologie nicht isoliert sind). Als Abstandsmaß kann entweder

- der absolute semantische Abstand oder
- der mittlere semantische Abstand

für Konzeptmengen verwendet werden. Je nachdem, welches Abstandsmaß verwendet wird, ergeben sich unterschiedliche Lösungen für die Teilschritte 2 und 3. Die genaue Beschreibung des Algorithmus in Pseudocode findet sich im Anhang B-1.

Verwendung des absoluten semantischen Abstands

Der absolute semantische Abstand zweier Zusammenhangskomponenten ist gleich dem minimalen Abstand aller Konzeptpaare, wobei jeweils ein Konzept aus einer Zusammenhangskomponente stammt. Deshalb werden zur Berechnung der Brückenkonzepte der zu verbindenden Zusammenhangskomponenten die Konzept-Paare mit minimalem Abstand (oder kleiner als δ) gewählt. Der Verbindungsweg ist der minimale Weg zwischen den Brückenkonzepten. Ist der minimale Weg nicht eindeutig, so werden entweder alle Wege übernommen oder es wird der Weg mit der minimalen Anzahl an Konzepten gewählt. Sollte das ebenfalls nicht eindeutig sein, wird der Weg so gewählt, dass die entstehende Zusammenhangskomponente einen möglichst kleinen internen semantischen Abstand besitzt.

Verwendung des mittleren semantischen Abstands

Zur Berechnung des mittleren semantischen Abstands der Zusammenhangskomponenten werden sämtliche Wege der Referenzontologie zugelassen und alle Konzepte werden bei der Bestimmung des Abstands berücksichtigt. Gesucht ist der Verbindungsweg, der zwei gegebene Zusammenhangskomponenten so miteinander verbindet, dass der interne semantische Abstand der entstehenden Zusammenhangskomponente möglichst minimal ist.

Damit lässt sich die Zielfunktion zur Bestimmung des Verbindungsweges zweier Zusammenhangskomponenten für das Abstandsmaß „mittlerer semantischer Abstand“ formulieren:

Definition (Zielfunktion zur Verbindung von Zusammenhangskomponenten): Sei $SN_{\Omega}(K_{\Omega}, E_{\Omega})$ das der Referenzontologie Ω assoziierte semantische Netz und $Z_1 = (K_1, E_1)$, $Z_2 = (K_2, E_2)$ zwei unverbundene Zusammenhangskomponenten. Sei V eine Menge von Verbindungswegen zwischen den Zusammenhangskomponenten und $H(V)$ der Teilgraph, der (rekur-

siv) alle Oberkonzepte und Attribute der Konzepte von V enthält. Gesucht ist die (minimale) Menge an Verbindungswegen V , sodass der interne semantische Abstand der Vereinigung (U_T) der Teilgraphen Z_1, Z_2 und $H(V)$ minimal wird.

$$Z(V) := I_{sem}^{sym}(H(V) \cup Z_1 \cup Z_2) \rightarrow \min$$

Unter den Nebenbedingungen:

- $\forall v = \{u_1, \dots, u_k\} \in V \quad u_1 \in K_1 \quad u_k \in K_2 \quad \text{und} \quad u_i \notin K_1 \cup K_2 \quad (i = \{2, \dots, k-1\})$
- $|V| \rightarrow \min$

Zur Berechnung des mittleren semantischen Abstands der Konzeptmengen wird für alle Konzeptpaare der Zusammenhangskomponenten deren minimaler Verbindungsweg bestimmt. Diese Wege stellen die Kandidatenmenge der minimalen Verbindungswege dar. Zur Bestimmung der Brückenkonzepte und des idealen Verbindungsweges werden im nächsten Schritt alle Verbindungswege bzgl. ihrer Eignung als idealer Verbindungsweg getestet. Hierzu werden die Wege v um die innerhalb der Konzeptmenge verlaufenden Wegabschnitte gekürzt, in die Zielfunktion $Z(\{v\})$ eingesetzt und nach aufsteigendem Zielfunktionswert sortiert. Im nächsten Schritt werden die Wege (entsprechend der Sortierung) so lange der Menge V^* hinzugefügt, bis $Z(V^*) \leq \delta_{\min} + \varepsilon$ mit $\varepsilon > 0$, gilt. So kann garantiert werden, dass nach diesem Schritt die Kooperationsontologie zusammenhängend ist, falls die Referenzontologie zusammenhängend war.

Teilschritt 4: Konstruktion der semantischen Hülle der bisherigen Zusammenhangskomponenten

In diesem Teilschritt wird für die im vorherigen Schritt bestimmte(n) Zusammenhangskomponente(n) die semantische Hülle berechnet. War die Referenzontologie zusammenhängend, so ist nach diesem Schritt die Kooperationsontologie bestimmt.

5.5.2.2 Bestimmung einer minimalen zusammenhängenden Konzeptmenge je domänenübergreifenden Zusammenhangskomponente

Sind nach dem vorherigen Schritt noch nicht alle Zusammenhangskomponenten verbunden, so war die Referenzontologie selbst nicht verbunden. Somit können diese nur manuell verbunden werden. Da eine Ontologie zumindest innerhalb einer Domäne verbunden ist, stellt jede Zusammenhangskomponente das für die Kooperation relevante Extrakt einer (oder mehrerer verbundener) Domäne(n) der Referenzontologie dar. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die Anzahl der Zusammenhangskomponenten klein (< 5) ist, wobei die Zusammenhangskomponenten relativ viele Konzepte beinhalten können.

Die Verbindung der verschiedenen Zusammenhangskomponenten kann durch hinzufügen einer weiteren Relationsbeziehung (Variante 1) oder weiterer Konzepte (Variante 2) erfolgen (siehe Bild 5-20). Durch Verwendung eines rein kantenbasierten Abstandsmaßes können sogenannte „Brücken-Konzepte“ vorgeschlagen werden, die als Ausgangspunkt für die Verbin-

ung dienen könnten. Es sind gerade die Paare aus den jeweiligen Konzeptmengen mit dem geringsten semantischen Abstand.

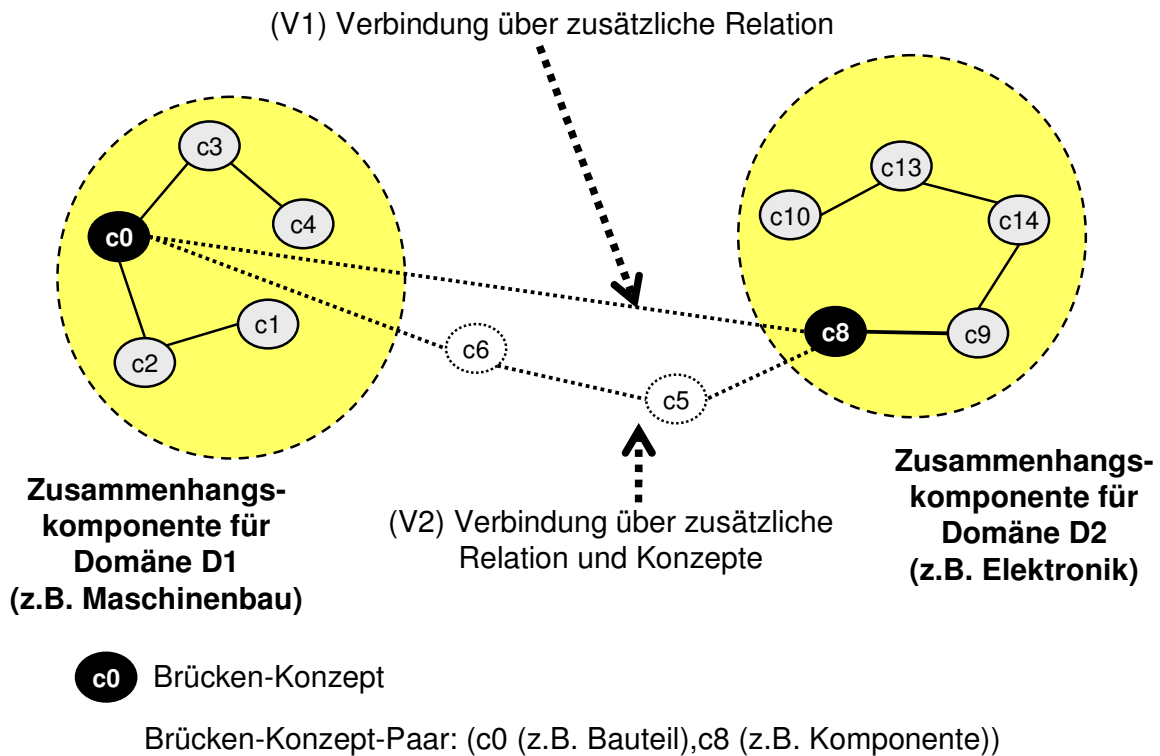


Bild 5-20: Erstellung domänenübergreifender Verbindungen

Seien Z_1, \dots, Z_k die Zusammenhangskomponenten aus der vorherigen Phase, so werden über die knotenbasierten Anteile des definierten semantischen Abstandsmaßes paarweise die Konzepte mit dem geringsten semantischen Abstand bestimmt. Das Ergebnis dieses automatisierbaren Schrittes ist eine nach dem semantischen Abstand sortierte Liste von möglichen Brücken-Konzept-Paaren. Basierend auf dieser „Vorschlagsliste“ müssen die beteiligten Domänenexperten (z. B. Maschinenbauer und Elektrotechniker) manuell die übergreifenden Verbindungen erstellen. Hierbei können zwischen zwei Domänen mehrere Verbindungen modelliert werden.

Da die verwendeten Begrifflichkeiten aus der anderen Domäne sind, können die in den Vorschlagslisten errechneten semantische Ähnlichkeiten jedoch nur ein Anhaltspunkt sein, der manuell zu überprüfen ist. Beispielsweise kann ein Begriff in unterschiedlichen Domänen unterschiedliche Bedeutung haben, sodass die errechnete semantische Ähnlichkeit nicht korrekt sein muss. Das verwendete Abstandsmaß basiert auf dem Synset-Feature-Abstandsmaß, welches neben den Namen der Begriffe auch die strukturelle Umgebung betrachtet. Aus diesem Grund sind insgesamt brauchbare Ergebnisse zu erwarten.

5.5.3 Erläuterung der Phase 2 anhand des Anwendungsbeispiels

Als Ergebnis der Phase 1 wurden einige Konzepte als essentiell markiert (siehe Abschnitt 5.4). Bild 5-21 zeigt exemplarisch das Vorgehen wobei die Konzepte „Input Transceiver“, „ECAD-File“, „MCAD-File“ und „Commit Changes (Activity)“ als essentiell markiert seien (d. h. $M = \{Input\ Transceiver, ECAD\text{-}File, MCAD\text{-}File, Commit\ Changes\ (Activity)\}$).

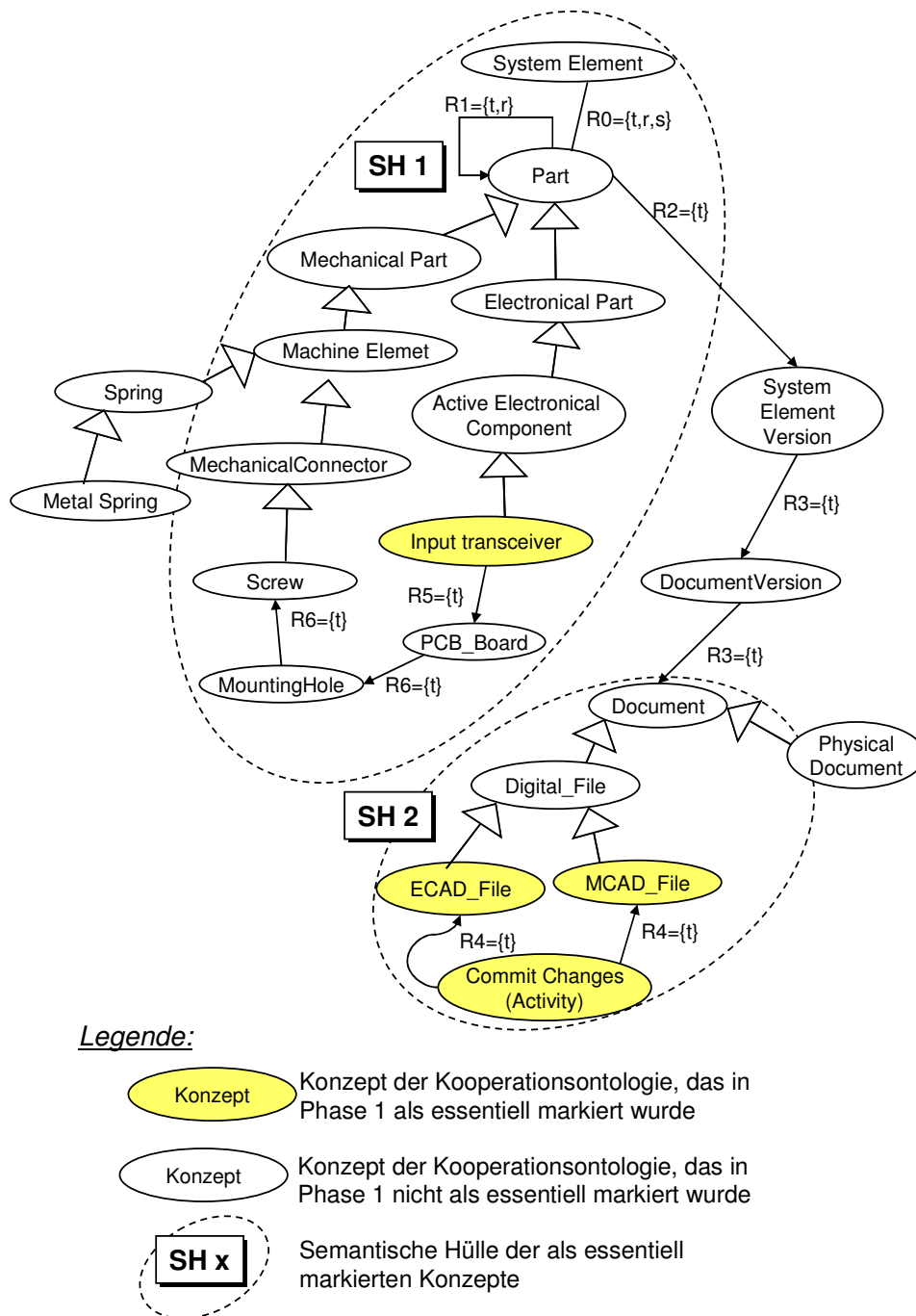


Bild 5-21: Bestimmung einer zusammenhängenden Kooperationsontologie (Beispiel)

Schritt 1:

Entsprechend des in diesem Abschnitt beschriebenen Verfahrens sind zunächst die Zusammenhangskomponenten der essentiellen Konzepte zu bestimmen. Die Konzepte ECAD-File, MCAD-File und Commit Changes (Activity) sind direkt miteinander verbunden und bilden somit eine Zusammenhangskomponente. Da „Input Transceiver“ mit keinem als essentiell markierten Konzept direkt verbunden ist, gibt es zwei Zusammenhangskomponenten: $Z^{(1)} = \{z_1, z_2\}$ mit $z_1 = \{\text{ECAD-File, MCAD-File und Commit Changes (Activity)}\}$ und $z_2 = \{\text{Input Transceiver}\}$.

Schritt 2:

Im zweiten Schritt werden die semantischen Abstände der semantischen Hüllen mit Radius R bestimmt. Die semantische Hülle ($SH_1 = SH(z_1)$) von z_1 enthält alle Oberkonzepte („Active Elctronical Component“, „Electronical Part“ und „Part“) des Konzepts „Input Transceiver“ sowie alle von diesem Konzept über transitive Relationen erreichbare Konzepte. Die von dem Konzept ausgehende Relation $R_5 = \text{„build_in“}$ ist transitiv und verbindet über das Konzept „PCB_Board“ auch die Konzepte „Mounting hole“ und „Screw“. Deshalb sind diese Konzepte (ebenso wie deren Oberkonzepte („Mechanical Part“)) in der entsprechenden transitiven semantischen Hülle (SH_1). Das Konzept „System Element“ ist ein Synonym zum Konzept „Part“ und hat den semantischen Abstand 0 (Verbindung über Äquivalenzrelation). Deshalb ist dieses Konzept auch Element von SH_1 . Die semantische Hülle von z_2 sind lediglich deren Oberkonzepte („Digital File“ und „Document“), da von den Konzepten aus z_2 keine transitiven Relationen ausgehen.

Schritt 3:

In diesem Schritt werden die semantischen Hüllen über den kürzesten Weg miteinander verbunden, falls der Abstand kleiner als die vorgegebene Schranke δ_{\min} ist. Es wird $\delta_{\min} = 0,7$ gewählt.

Der kürzeste Weg (weil einziger Weg) zwischen den semantischen Hüllen führt vom Konzept „Part“ zum Konzept „Document“ über die Konzepte „Version“ und „Document Version“. Auf dem Weg liegen zwei transitive Kanten und eine Hierarchiekante. die Weglänge ist somit $d = 2w_i + \lambda$.

Bei der Berechnung des Abstands werden folgende Einstellungen vorgenommen:

- Bei der Berechnung der semantischen Ähnlichkeit wird nur die Weglänge berücksichtigt (d. h. $S_{sem}(k_1, k_2) := w_E S_E(k_1, k_2) + w_W S_W(k_1, k_2) + w_U S_U(k_1, k_2) + w_N S_N(k_1, k_2)$ mit $w_W = 1$, $w_E = 0$, $w_U = 0$, $w_N = 0$, $w_N = 0$)
- Alle Relationseigenschaften werden mit 0,3 gewichtet, d. h. der Gewichtungsvektor ist $v = (0,3/0,3/0,3/0,3/0,3)$

- Für die Skalierungsfunktion wird der Parameter $p=1$ gesetzt, da es im Beispiel wenige Konzepte gibt und sich die Weglängen somit nur wenig unterscheiden. Damit ist ein relativ kleiner Skalierungsfaktor zu wählen, um eine gute Streuung zu erhalten. Sind mehr Konzepte vorhanden, so bietet es sich an $p>1$ zu setzen.

Mit diesen Einstellungen erhält man folgenden Wert für den semantischen Abstand der Hüllen $D(SH1,SH2)$:

$$D_{\text{sem}}(SH1,SH2) = 1 - S_{\text{sem}}(SH1,SH2) = t_p(2w_i + \lambda) = e^{-\frac{1}{p}(2w_i + \lambda)} = e^{-(2 \cdot 0,3 + 0,3)} = 0,4 < \delta_{\text{min}}$$

Der berechnete semantische Abstand ist kleiner als die vorgegebene Schranke (δ_{min}), sodass die semantischen Hüllen über den kürzesten Weg verbunden werden können. Damit ergibt sich eine zusammenhängende Ontologie, welche die Konzepte aus M enthält.

Die im Rahmen von ImportNET entwickelte Referenzontologie ist zusammenhängend, sodass die berechnete Kooperationsontologie ebenfalls zusammenhängend ist.

5.6 Phase 3a: Ableitung des implementierungsorientierten semantischen Modells (Kooperationsdatenmodell)

In dieser Phase ist auf Basis der (in der vorherigen Phase berechneten) Kooperationsontologie (anwendungsorientiertes semantisches Modell) das Datenmodell (implementierungsorientiertes semantisches Modell) abzuleiten, das die für die Kooperation relevanten Datenmodellelemente zur Beschreibung der Artefakte enthält. Die Ableitung des implementierungsorientierten semantischen Modells kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen: Ableitung aus der Kooperationsontologie mit (siehe Abschnitt 5.6.2) und ohne (siehe Abschnitt 5.6.1) Referenzdatenmodell. Das Ergebnis dieser Phase ist ein (objektorientiertes) Kooperationsdatenmodell⁵² sowie semantische Interpretationen zwischen Elementen aus dem Kooperationsdatenmodell und der Kooperationsontologie. Die semantische Interpretationen geben an, wie Instanzen eines Objekttyps o (oder Relationstyp r) bzgl. der Ontologie zu interpretieren sind. Hierbei können unbedingte und bedingte semantische Interpretationen auftreten. Bedingte semantische Interpretationen beinhalten Regeln bzgl. der Attributwerte der Instanzen. Bild 5-22 visualisiert den Sachverhalt anhand eines Beispiels: Das Konzept „Welle-Nabe-Verbindung“ ist Unterkonzept vom Konzept „Maschinenelement“ sowie „Teil“. Das Konzept „Teil“ wird im Datenmodell als Objekttyp repräsentiert. Somit besteht eine (unbedingte) semantische Interpretationsbeziehung zwischen dem Konzept Teil und dem Objekttyp Part. Das Konzept „Welle-Nabe-Verbindung“ wird nicht als Objekttyp repräsentiert. Instanzen des Konzeptes „Welle Nabe Verbindung“ werden als Instanzen des Objekttyps Part mit entsprechender Belegung des Attributs „Typ“ repräsentiert. Somit besteht eine bedingte semantische Interpretationsbeziehung zwischen dem Konzept „Welle Nabe Verbindung“ und dem Objekttyp „Part“. Als

⁵² Aufgrund der Transparenz der Datenrepräsentation kann ohne Einschränkung der Allgemeinheit ein objektorientiertes Datenmodell vorausgesetzt werden.

Attributwert sind nicht nur der Name des Konzeptes sondern auch die Synonyme sowie Übersetzungen möglich. Es können theoretisch auch andere Bedingungen wie Wertebereiche eines anderen Attributes in einer bedingten semantischen Interpretation aufgenommen werden. Durch Speicherung der semantischen Interpretation und der Transformationsregeln zwischen Ontologie und Datenmodellelemente können „bewährte“ Transformationen in nachfolgenden Kooperationen wieder verwendet werden. Hierzu sind die beschriebenen Verfahren so zu erweitern, dass zunächst nach bestehenden Ontologiefragmenten im Lösungsspeicher gesucht wird und falls keine passende Transformation gefunden wurde, die nachfolgende „Heuristik“ angewendet wird.

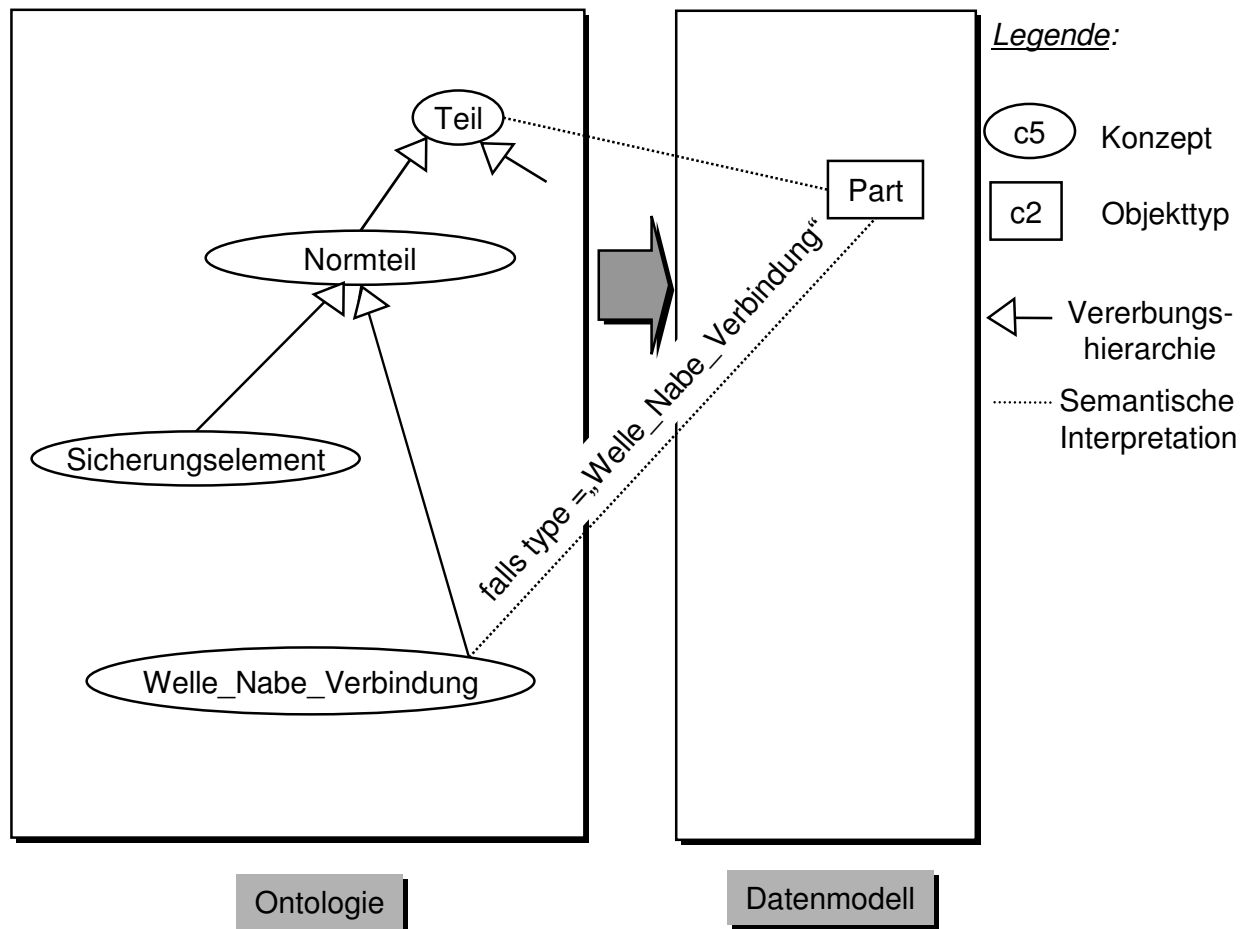


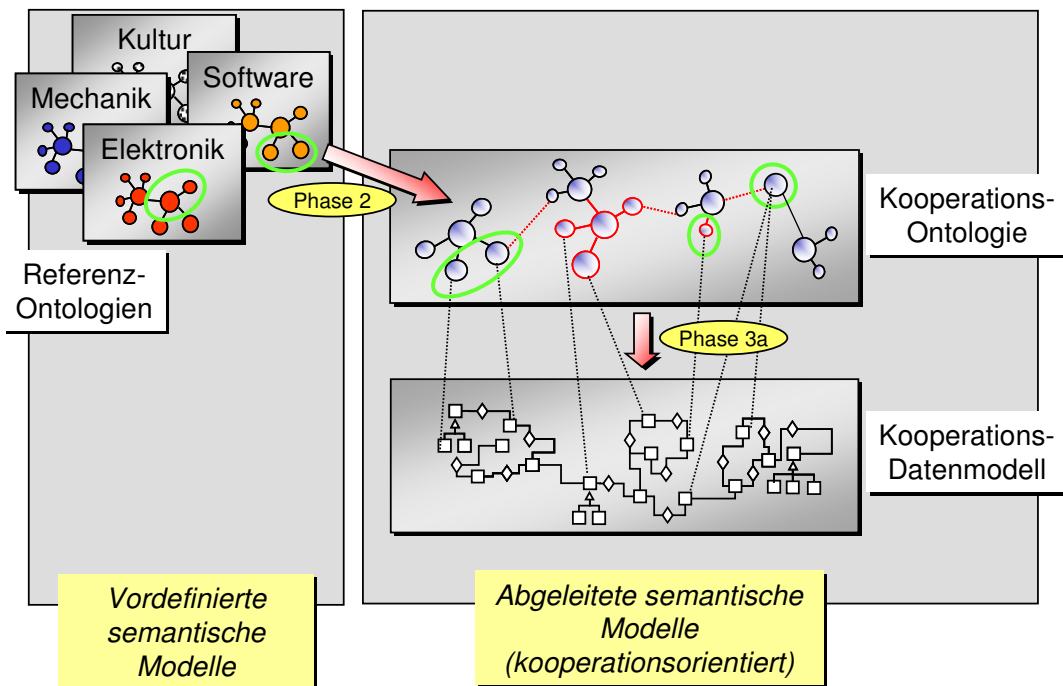
Bild 5-22: Bedingte und unbedingte semantische Interpretationen

Die kulturbedingte Erweiterung des Ontologie-Metamodells (siehe Abschnitt 4.4.2.1) ermöglicht verschiedene Übersetzungen sowie kulturabhängige Beschreibungen (Bedeutung) des Konzeptes zu spezifizieren. Diese Semantik wird nicht im Datenmodell repräsentiert, ist jedoch über die semantische Interpretation weiterhin zugreifbar.

5.6.1 Ableitung des Kooperationsdatenmodells aus der Kooperationsontologie

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenhängende Kooperationsontologie • Abstraktes Oberkonzept „Artefakt“
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Datenmodell, das die für die Kooperation relevanten Datenmodell-elemente enthält

In diesem Abschnitt wird die (direkte) Ableitung des Kooperationsdatenmodells (implementierungsorientiertes semantisches Modell) aus der Kooperationsontologie (anwendungsorientiertes semantisches Modell) beschrieben, wobei kein Referenzdatenmodell existiert. Dies erfolgt nur für Artefakt-Konzepte. Hierzu wird vorausgesetzt, dass ein abstraktes Oberkonzept Artefakt existiert. Ist dies in einer bestehenden Ontologie nicht vorgesehen, so sind die Wurzelknoten der bestehenden Hierarchien mit diesem Konzept zu verbinden. Hintergrund ist, dass die Prozessbeschreibung in Standardrepräsentation (hier: BPEL) abgebildet wird und nicht im Datenmodell repräsentiert werden muss. Insofern sind für diese Konzepte keine Datenmodellelemente zu erzeugen. Bild 5-23 zeigt schematisch die Ableitung des Kooperationsdatenmodells sowie den Zusammenhang zwischen den beteiligten semantischen Modellen.



Legende:

- Semantische Interpretation
- In Phase 1 als essentiell markierte Konzepte
- ➔ Ableitung an Kooperation angepasster Modelle

Bild 5-23: Direkte Ableitung eines zusammenhängenden Kooperationsdatenmodells aus der Kooperationsontologie

Basierend auf den in Phase 1 als essentiell markierten Konzepten wurde in der Phase 2 aus der Referenzontologie die Kooperationsontologie abgeleitet. In diesem Schritt (Phase 3a) erfolgt die Ableitung des Kooperationsdatenmodells aus der Kooperationsontologie. Hierbei werden entsprechend des nachfolgend spezifizierten Verfahrens aus Ontologieelementen die gesuchten Datenmodellelemente abgeleitet. Für jedes abgeleitete Datenmodellelement wird eine semantische Interpretation zwischen dem Ontologieelement (z.B. Konzept) und dem abgeleiteten Datenmodellelement (z.B. Objekttyp) angelegt.

Das Ontologie-Metamodell (ohne die kulturbedingte Erweiterung) enthält die Metaelemente Domäne, Konzept und Ontologie-Relation. Bei der Ontologie-Relation kann es sich neben einer „allgemeinen“ Relation um eine Vererbungs- bzw. Attributrelation handeln. Das Metamodell des (objektorientierten) Datenmodells enthält die Elemente Package, Objekttyp, Attributtyp und Relationstyp. Man erkennt die Korrespondenz der Metaelemente-Tupel (Domäne, Package), (Konzept, Objekttyp) sowie (Ontologie-Relation, Relationstyp). Konzepte mit eingehender Attributrelation sind Attribute des Konzeptes das Quelle der Attributrelation ist. Diese Vorüberlegung erlaubt die Definition einer (trivialen) 1:1 Abbildung zwischen Ontologie und Datenmodell.

Eine Ontologie enthält meist verschachtelte Hierarchien, die allerdings für die Implementierung wenig geeignet sind. Bei der (automatisierten) implementierungsorientierten Transformation der Artefakte der Kooperationsontologie sollen möglichst flache Hierarchien und möglichst wenig Objekttypen entstehen.

Es gibt verschiedene Varianten, wie die Ontologie-Elemente im Datenmodell repräsentiert werden können:

- Das Konzept c wird als Objekttyp o repräsentiert.
- Das Konzept c wird als Attributwert des Oberkonzeptes realisiert, das in der Vererbungshierarchie am nächsten bei c ist und als Objekttyp repräsentiert wird. Entsprechend der Klassifikation nach LANGLOTZ [Lang-00] ist das Konzept „Keilwellen-Verbindung“ Unterkonzept von „Welle-Nabe-Verbindung“ welche selbst Unterkonzept von „Maschinenelement“ ist. Das Konzept Maschinenelement werde als Objekttyp repräsentiert so könnten Instanzen des Konzeptes Keilwellen-Verbindung als Instanzen des Objekttyps „Maschinenelement“ repräsentiert werden, indem das Attribut „Type“ (des Objekttyps „Maschinenelement“) mit dem Wert „Keilwellen-Verbindung“ belegt wird.
- Das Konzept c wird nicht im Datenmodell repräsentiert.
- Die Ontologie-Relation r wird als Relationstyp repräsentiert.
- Die Ontologie-Relation r wird als Objekttyp repräsentiert.

Verbindet eine Relation zwei Konzepte, so ist die Relation im Allgemeinen nicht auf das Oberkonzept anwendbar. Beispielsweise besitzt das Konzept „Auto“ eine Relation zu dem Konzept „Rad“. Diese Relation ist jedoch für das Oberkonzept „Fortbewegungsmittel“ nicht zulässig, da weder ein Hubschrauber noch ein Schiff ein Rad zur Fortbewegung nutzen. Analog gilt dies auch für die Argumentation für Attribute eines Konzeptes.

Der Algorithmus zur Ableitung des implementierungsorientierten semantischen Modells enthält dementsprechend folgende Regeln:

- Ein Konzept c mit einer eingehenden bzw. ausgehenden Relation (nicht Vererbung bzw. Attribut) wird als Objekttyp repräsentiert.
- Ein Konzept c , das Attribute besitzt, wird als Objekttyp repräsentiert. Hierbei werden geerbte Attribute ignoriert.

Nun ist die Frage zu klären, wie ein Konzept abzubilden ist, das weder Attribute noch eingehende/ausgehende Relationen besitzt. Hierzu betrachte man die in Bild 5-24 beispielhaft angegebene Konzepthierarchie. Der Algorithmus bestimmt aufgrund der obigen Regeln die als Objekttyp abzubildenden Konzepte (hier: Konzepte c_6 , c_{12} und c_{15}). Nun wird innerhalb der Vererbungshierarchie das den ausgezeichneten Konzepten gemeinsame Oberkonzept in minimaler Hierarchieebene bestimmt (c^*). Betrachtet man im Beispiel nur c_{12} und c_{15} , so ist $c^* = c_8$. Unter der Einbeziehung des Konzeptes c_6 ist $c^* = c_2$.

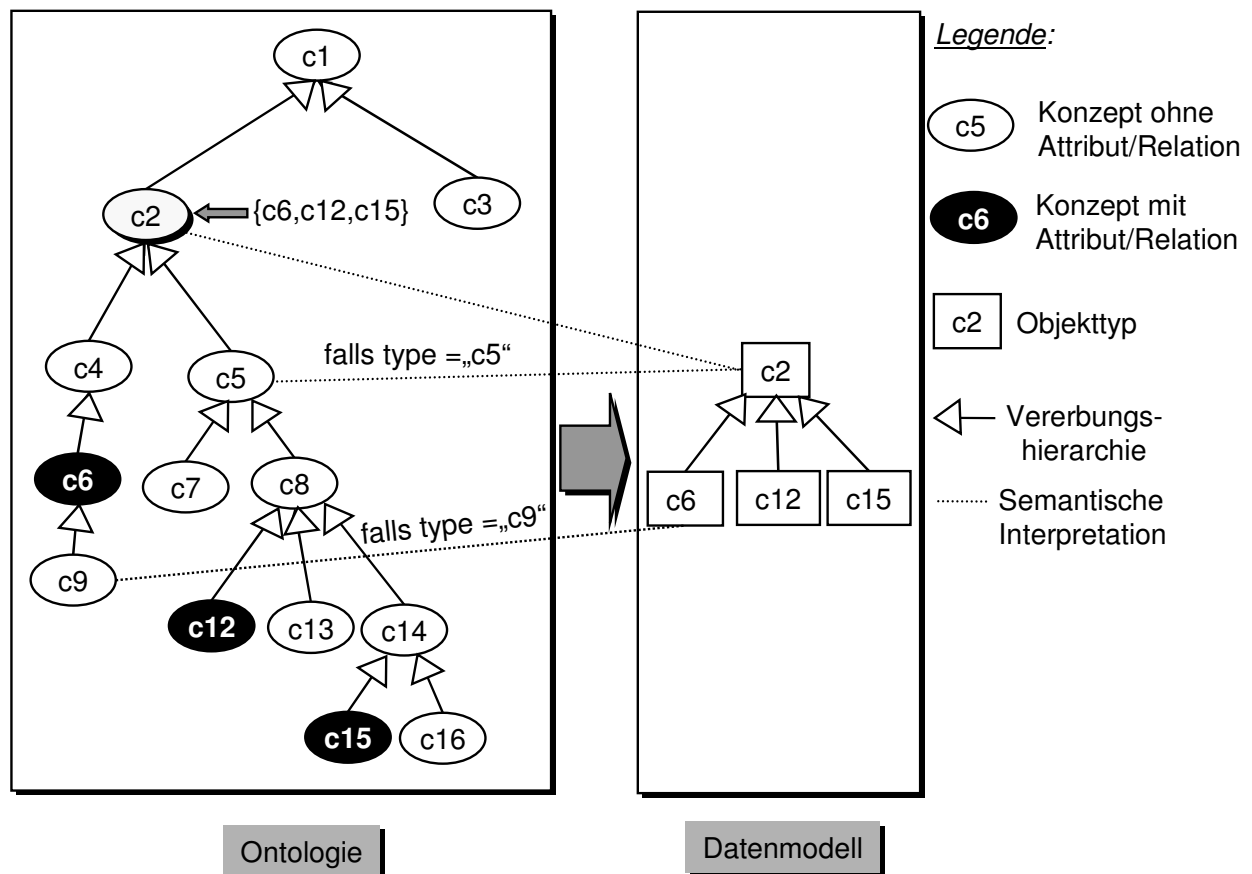


Bild 5-24: Beispielhafte Transformation einer Konzepthierarchie in eine Datenmodellhierarchie.

Das Konzept $c^* = c_2$ wird im Datenmodell als Objekttyp repräsentiert. Die Konzepte, die in der Hierarchie oberhalb von c^* sind, werden im Datenmodell nicht repräsentiert. Die Konzepte „unterhalb“ von c^* (ohne Attribut bzw. Relation) werden als Attribut von c^* (bzw. eines in

der Hierarchie niedrigeren ausgezeichneten Konzepts) repräsentiert. Im Beispiel werden die Konzepte c_1 und c_3 im Datenmodell nicht repräsentiert. Die Konzepte $K^A(c^*)=\{c_4,c_5,c_7,c_8,c_{10},c_{13},c_{14},c_{16}\}$ werden als Attribute von c^* und $K^A(c_6)=\{c_9\}$ als Attribute von c_6 repräsentiert. Für jedes als Objekttyp o repräsentierte Konzept c wird eine semantische Interpretationsbeziehung zwischen o und c erzeugt. Für jedes Konzept, das als Attribut eines Objekttyps repräsentiert wird, ist eine bedingte semantische Interpretation anzulegen. Im betrachteten Beispiel wurde zwischen c_2 und o_2 eine semantische Interpretation und zwischen c_5 und o_2 eine bedingte semantische Interpretation angelegt. Ontologie-Relationstypen werden als Datenmodell-Relationstypen repräsentiert.

Darüber hinaus kann der Anwender manuell bestimmen, wie ein Ontologieelement im Datenmodell abgebildet werden soll, und somit das Ergebnis des Algorithmus beeinflussen. Somit kann der Anwender beispielsweise spezifizieren, dass ein Ontologierelationstyp immer als Attribut repräsentiert werden soll (selbst wenn dieser Relationen besitzt). Falls ein Konzept als Attribut repräsentiert werden soll, kann darüber hinaus angegeben werden, ob die (evtl. existierenden) Relationen in das Oberkonzept übertragen werden sollen. Durch die Angabe, dass ein Konzept nicht im Datenmodell repräsentiert werden soll, können (abstrakte) Oberkonzepte bei der Algorithmus-Ausführung ignoriert werden. Das abstrakte Oberkonzept „Artefakt“ wird beispielsweise standardmäßig auf „ignorieren“ gesetzt, da ansonsten immer nur eine Vererbungshierarchie (und damit Wurzelknoten) existiert.

5.6.1.1 Algorithmus zur Ableitung des Datenmodells (unter Berücksichtigung der Mehrfachvererbung)

Im Rahmen einer Ontologie (sowie objektorientiertem Datenmodell) ist Mehrfachvererbung erlaubt. Um das nachfolgend vorgestellte Verfahren auf Strukturen mit Mehrfachvererbung anzuwenden, sind zunächst alle (strengen) Vererbungshierarchiekomponenten (Vererbungsbäume) zu bestimmen. Diese sind bei Strukturen mit Mehrfachvererbung nicht disjunkt (siehe Bild 5-25). Im ersten Schritt wird die Menge der Konzepte ohne Oberkonzept bestimmt $S=\{c_1,\dots,c_n\}$ (hier: $S=\{c_1, c_2\}$). Dies sind die Wurzelknoten der zu identifizierenden Vererbungsbäume. Im zweiten Schritt werden, ausgehend von jedem Konzept, $c_i \in S$ rekursiv deren Subkonzepte bestimmt. Die besuchten Konzepte bilden den zugehörigen Vererbungsbaum $VB(c_i)$ mit $i=1,\dots,n$.

Daraufhin werden die c^* Konzepte bzgl. jedes Vererbungsbaumes bestimmt. Dabei kann der Fall auftreten, dass ein Konzept c_0 aus der Sichtweise eines Vererbungsbaumes als Objekttyp ($c_0=c^*$) und bzgl. eines anderen Vererbungsbaumes als Attribut repräsentiert wird. In diesem Fall wird das Konzept (aus der Sicht aller Vererbungsbäume) als Objekttyp repräsentiert. Im nachfolgenden Schritt werden die Objekttypen und semantischen Interpretationen für jeden Vererbungsbaum entsprechend dem oben beschriebenen Verfahren bestimmt. Weiterhin werden die Relationstypen sowie Attributtypen angelegt. Entsprechend den oben definierten Regeln wird ein Konzept, das eine eingehende bzw. ausgehende Relation besitzt, als Objekttyp im Datenmodell repräsentiert.

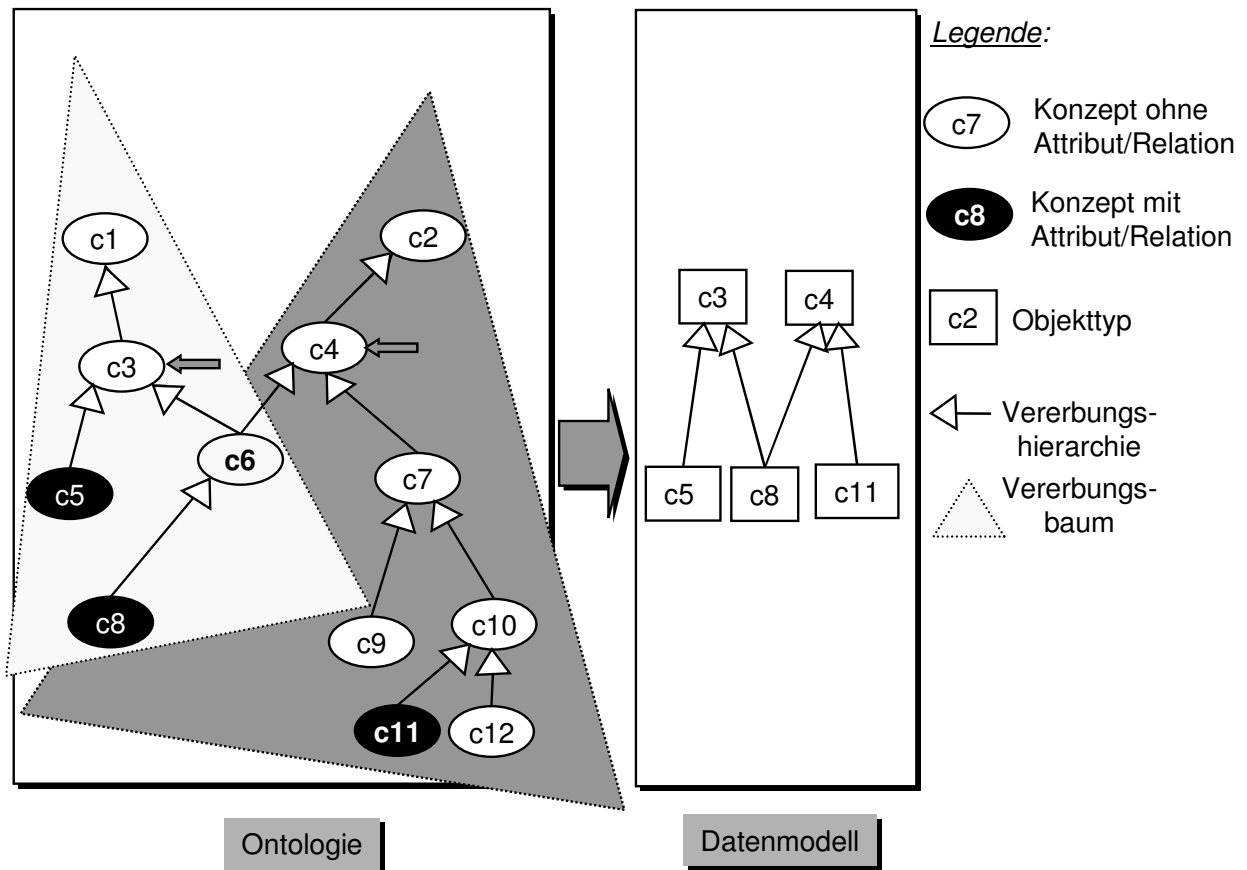


Bild 5-25: Anwendung des Verfahrens bei Mehrfachvererbung

Die Ableitung der Relationen ist eine 1:1-Abbildung, wobei die abgeleitete Datenmodellrelation die entsprechenden Objekttypen verbindet. Beispielsweise verbindet die Relation r1 die Konzepte c1 und c3 (siehe Bild 5-26). Dementsprechend verbindet die abgeleitete Relation die Objekttypen o(c1) und o(c3).

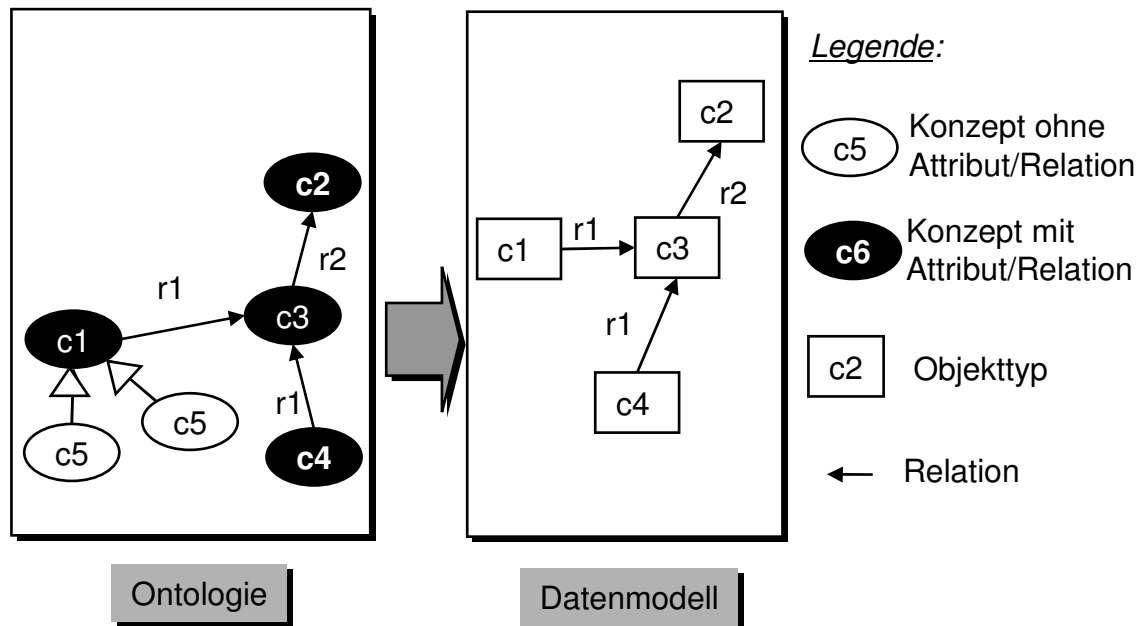


Bild 5-26: Ableitung von Relationstypen

5.6.1.2 Festlegung von Namen und Beschreibung des abgeleiteten Datenmodellelements

Für ein Konzept können verschiedene Übersetzungen sowie kulturabhängige Bedeutungen hinterlegt sein. Ein Datenmodellelement kann jedoch nur einen Namen und eine Beschreibung (Bedeutung) haben. Bei der Ableitung von Datenmodellelementen aus der Ontologie werden der Name und die Beschreibung entsprechend des ausgewählten kulturellen Systems vergeben.

5.6.1.3 Erläuterung der Phase 3a anhand des Anwendungsbeispiels

In dieser Phase ist das Kooperationsdatenmodell aus der Kooperationsontologie abzuleiten. Dies soll anhand des in der vorherigen Phase beispielhaft abgeleiteten Ontologiefragments (siehe Abschnitt 5.5.3) erläutert werden (siehe Bild 5-27). Es wird manuell definiert, dass das Konzept *MountingHole* als Attribut abgebildet wird. Somit werden die zugehörigen Relationen (R_6) bei der Datenmodellgenerierung ignoriert. Das Konzept *CommitChanges* ist kein Artefakt. Somit wird es bei der Generierung des Datenmodells ebenfalls ignoriert.

Die Ableitung erfolgt entsprechend der definierten fünf Schritten des Verfahrens:

- *Schritt 1: Bestimmung der Konzepte mit Attributen oder Relationen $M=\{PCB_Board, InputTransceiver, Document\ Version, Document\}$.*
- *Schritt 2: Bestimmung der Konzepte ohne Oberkonzept $S=\{System_Element, Version, Document\}$.*

- *Schritt 3: Bestimmung der Vererbungsbäume: $VB = \{VB(\text{System_Element}), VB(\text{Version}), VB(\text{Document})\}$. Da es in diesem Fragment keine Mehrfachvererbung gibt, sind die Vererbungsbäume paarweise disjunkt.*
- *Schritt 4: Bestimmung der Konzepte c^* für jeden Vererbungsbaum. $c^*(VB(\text{System_Element})) = \{\text{System_Element}\}$, $c^*(VB(\text{Version})) = \{\text{Version}\}$ und $c^*(VB(\text{Document})) = \{\text{Document}\}$.*
- *Schritt 5: Ableitung der Datenmodellelemente und semantischen Interpretationen.*

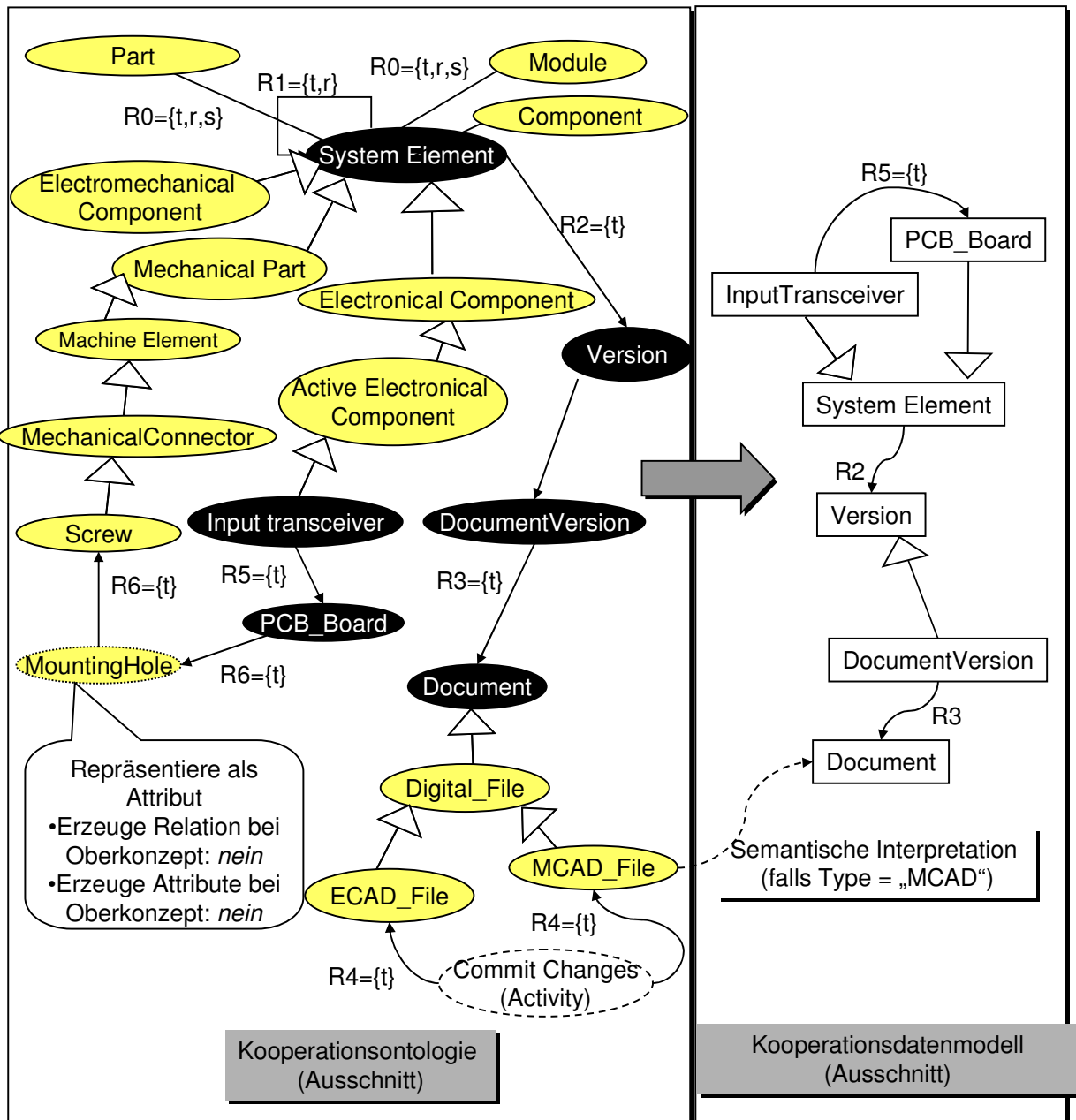


Bild 5-27: Ableitung des Kooperationsdatenmodells (exemplarisch)

5.6.2 Ableitung des Kooperationsdatenmodells unter Berücksichtigung existierender Referenzdatenmodelle

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenhängende Kooperationsontologie • Referenzdatenmodell, das über semantische Interpretationen mit der Referenzontologie verbunden ist
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Wohldefiniertes Datenmodell, das die für die Kooperation relevanten Datenmodellelemente enthält

Im vorherigen Abschnitt wurde die automatisierte Ableitung des Kooperationsdatenmodells aus der Kooperationsontologie beschrieben. Die automatisierte Ableitung basiert auf generischen Regeln und erlaubt somit keine kontextbasierte Optimierungen. Aus diesem Grund wird ein Ansatz vorgestellt, der bei der Ableitung des Kooperationsdatenmodells bestehende Referenzdatenmodelle berücksichtigt.

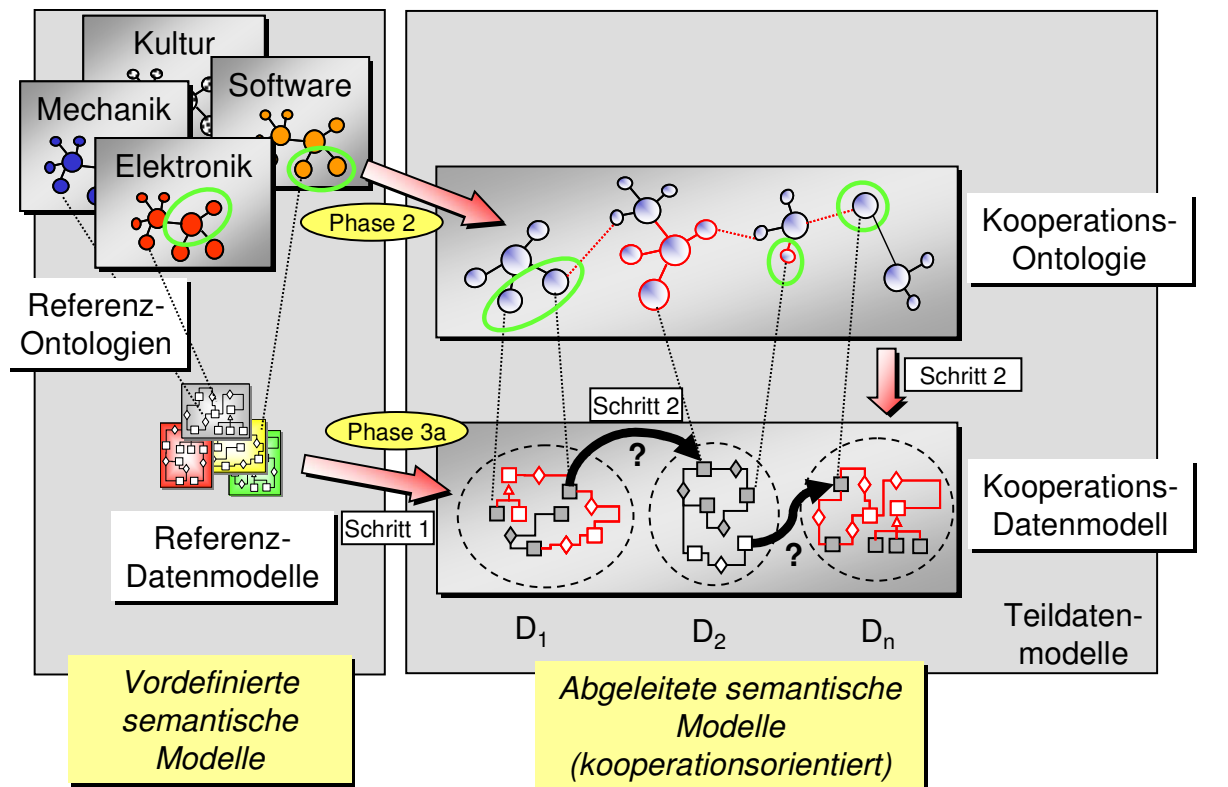
Für das Verfahren wird vorausgesetzt, dass zwischen Elementen des Referenzdatenmodells (Objekttyp, Relationstyp) und Elementen der Referenzontologie (Konzept, Relation) semantische Interpretationen definiert sind (vgl. Abschnitt 5.2). Ist dies nicht der Fall, so ist dies durch den Anwender durchzuführen. Da die Kooperationsontologie eine Teilmenge der Referenzontologie ist, können die semantischen Interpretationen auch bzgl. der (kleineren) Kooperationsontologie definiert werden.

Da diese Verknüpfungen entweder manuell oder höchstens semi-automatisch erstellt wurden, kann nicht davon ausgegangen werden, dass die semantischen Interpretationen vollständig modelliert sind. Da eine Ontologie (im Gegensatz zum Datenmodell) nicht speziell für eine Applikation erstellt wurde, wird nicht jedes Ontologie-Element auf Datenebene repräsentiert. Datenmodelle können – im Gegensatz zu Ontologien – auch isolierte Teildatenmodelle enthalten. Zwischen Datenmodellelementen und Ontologie-Elementen besteht eine n:m Beziehung, d. h. ein Konzept kann durch mehrere Objekttypen im Datenmodell repräsentiert werden und ein Objekttyp kann durch mehrere Konzepte semantisch interpretiert werden.

Basierend auf diesen vorangegangenen Überlegungen wird folgendes Verfahren zur Ableitung des Kooperationsdatenmodells vorgestellt (siehe Bild 5-28):

- Schritt1: Initiales Ableiten von Teildatenmodellen (D_1, \dots, D_n) basierend auf (vordefinierten) semantischen Interpretationen zwischen Elementen der Referenzontologie (bzw. Kooperationsontologie) und des Referenzdatenmodells.
- Schritt 2: Automatisierte Verbindung der Teildatenmodelle. Hierbei werden zunächst die Teildatenmodelle miteinander verbunden, die im Referenzdatenmodell verbunden sind, indem das verbindende Teildatenmodell aus dem Referenzdatenmodell übernommen

wird. Im Referenzdatenmodell nicht verbundene Teildatenmodelle werden durch aus der Kooperationsontologie abgeleitete Teildatenmodelle verbunden.



Legende:

- ⋯ Semantische Interpretation in Phase 1 als essentiell markierte Konzepte
- Objekttyp, für den eine semantische Interpretation definiert ist

- ➔ Ableitung an Kooperation angepasster Modelle
- ➔ Verbindung der Teildatenmodelle entsprechend des Systembaumusterplans

Bild 5-28: Ableitung eines zusammenhängenden Kooperationsdatenmodell auf Basis von existierenden Referenzdatenmodellen

Eine Referenzontologie kann mit beliebigen Referenzdatenmodellen verknüpft sein und ein Datenmodell kann mit mehreren Referenzontologien semantisch verbunden sein. Die Auswahl des Referenzdatenmodells erfolgt zu Beginn dieser Phase. Es wird nachfolgend vorausgesetzt, dass ein Referenzdatenmodell $\omega = (O_\omega, R_\omega, A_\omega)$ ausgewählt wurde.

5.6.2.1 Schritt 1: Initiales Ableiten von Teildatenmodellen aus der Kooperationsontologie und dem Referenzdatenmodell

In diesem Teilschritt werden auf Basis der Kooperationsontologie die benötigten Datenmodellelemente abgeleitet, die eine semantische Beziehung mit den Ontologieelementen haben.

Es wird für jedes Ontologieelement (Konzept, Relation) der Kooperationsontologie überprüft, ob das zugehörige Element in der Referenzontologie eine semantische Beziehung zu einem Datenmodellelement besitzt. Ist dies der Fall, so wird das Datenmodellelement in das Kooperationsdatenmodell übernommen.

Ein Datenmodellelement (z. B. Objekttyp) kann nicht isoliert verwendet werden, sondern benötigt andere Elemente in seiner „Umgebung“. Beispielsweise ist die Verwendung eines Objekttyps ohne seinen Obertyp nicht sinnvoll. Deshalb wird ähnlich wie bei Konzeptmengen (Semantische Hülle, siehe Abschnitt 4.4.3) eine Umgebung definiert, die vom Referenzdatenmodell übernommen wird. Es werden insbesondere Vererbungsbeziehungen (zu Oberklasse/Oberobjekttyp) sowie Aggregations- und Existenzrelationen (Kardinalität: „1“ oder „1..*“) übernommen. Da sich diese Umgebung ausschließlich aus der strukturellen Umgebung (und nicht an Relationseigenschaften (z. B. Transitivität)) ableitet, wird die Umgebung als *struktureller Datenmodell-Abschluss* bezeichnet:

Definition (Struktureller Datenmodell-Abschluss): Sei $\omega=(O_\omega,R_\omega,A_\omega)$ das Referenzdatenmodell und $\varphi=(O_\varphi,R_\varphi,A_\varphi)\subseteq\omega$ ein Teildatenmodell. Der strukturelle Datenmodell-Abschluss (SDMA) des Teildatenmodells der Dimension k enthält alle Modellelemente (Objekttypen (O_φ), Relationstypen (R_φ), Attributtypen (A_φ)) des Teildatenmodells sowie alle Oberklassen und rekursiv bis zur k . Ebene alle Objekttypen, die über Aggregations- oder Existenzrelationen (1..*) mit Objekttypen des Teildatenmodells verbunden sind. Die verbindenden Relationstypen sind ebenfalls Bestandteil des strukturellen Abschlusses des Teildatenmodells.

Für die nachfolgenden Betrachtungen wird das Referenzdatenmodell sowie die (abgeleiteten) Teildatenmodelle als ein (nicht zusammenhängender) Graph $G(\varphi)=(O_\varphi,E_\varphi)$ repräsentiert, wobei die Objekttypen als Knoten und die Ausprägungen der Relationstypen die Kanten ($G(R_\varphi)=E_\varphi$) des Graphen darstellen. Die Attributtypen finden keine Entsprechung durch die Graphen-Repräsentation und werden implizit über die Objekttypen (und Relationstypen) mitgeführt: Es werden diejenigen Attributtypen des Referenzdatenmodells übernommen, die in den Attributen der Objekttypen/Relationstypen auftauchen. Ein typisches Beispiel einer Repräsentation eines objektorientierten Datenmodells als Graph ist das UML-Klassendiagramm.

Die Ableitung der initialen Version des Kooperationsdatenmodells ($\varphi(1)=(O_\varphi,R_\varphi,A_\varphi)$), bestehend aus zusammenhängenden disjunkten Teildatenmodellen ($\Psi(1)=\{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p\}$) erfolgt nach folgendem Verfahren:

Es wird für jedes Element der Kooperationsontologie überprüft, ob eine semantische Beziehung zu einem Datenmodellelement besteht. Ist dies der Fall, so wird das Datenmodellelement übernommen und der strukturelle Datenmodell-Abschluss bestimmt. Ist das Datenmodellelement ein Relationstyp, so werden die mit diesem Relationstyp verbundenen Objekttypen als Grundlage für den strukturellen Datenmodellabschluss verwendet. Nachdem die Datenmodellelemente bestimmt wurden, wird überprüft, ob sie untereinander (im Referenzdatenmodell) verbunden sind. Ist dies der Fall, so wird die Relation aufgenommen und die Elemente zu einem Teildatenmodell vereinigt. Anschließend wird für jedes so gefundene Teildatenmodell der strukturelle Abschluss gebildet und überprüft, ob das abgeleitete Teildatenmo-

dell mindestens ein Objekttyp eines vorher erstellten Teildatenmodells enthält. Ist dies der Fall, so werden die Teildatenmodelle vereinigt. Die genaue Beschreibung des Algorithmus in Pseudocode findet sich im Anhang B-2.

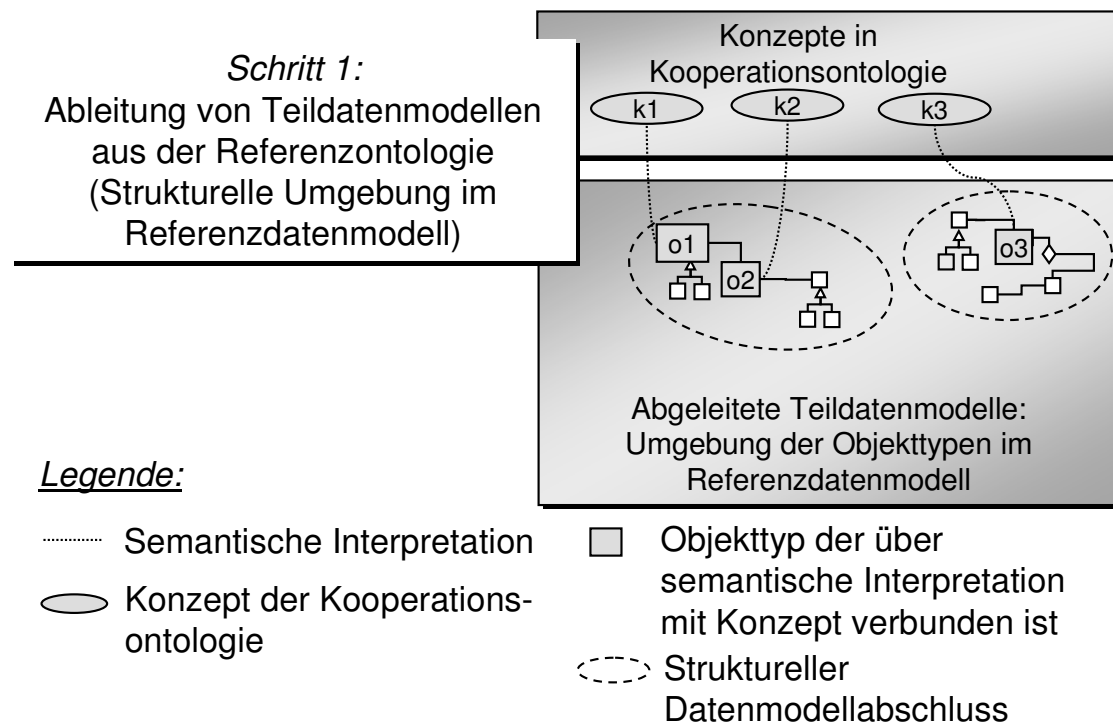


Bild 5-29: Ableitung der Teildatenmodelle aus dem Referenzdatenmodell (Schritt 1)

Bild 5-29 veranschaulicht die Ableitung eines Teildatenmodells aus dem Referenzdatenmodell. Das Konzept k1 bzw. k2 wird im Datenmodell durch den Objekttyp o1 bzw. o2 repräsentiert. Diese Objekttypen sind im Referenzdatenmodell über eine Relation verbunden. Das hieraus abgeleitete Teildatenmodell ist der strukturelle Datenmodellabschluss der beiden Objekttypen sowie der verbindenden Relation. Das Konzept k3 wird durch den Objekttyp o3 repräsentiert, welcher nicht mit einem Objekttyp in Beziehung steht, für den eine semantische Interpretation definiert ist. Somit ist das hieraus abgeleitete Teildatenmodell der strukturelle Abschluss von o3. Wären die abgeleiteten Teildatenmodelle nicht disjunkt, so würden diese vereinigt werden.

5.6.2.2 Schritt 2: Ableitung eines möglichst zusammenhängenden Kooperationsdatenmodells

Die aus dem vorangegangenen Schritt abgeleiteten Teildatenmodelle sind nun, basierend auf dem Referenzdatenmodell, zu verbinden. Je nach Güte der Modellierung der semantischen Beziehungen zwischen Ontologie- und Datenmodellelementen enthalten die verbindenden Teildatenmodelle mehr oder weniger Datenmodellelemente. Zu beachten ist hierbei, dass es in einem Datenmodell isolierte Teilmodelle geben kann. Im ersten Teilschritt sollen zunächst

diejenigen Teildatenmodelle miteinander verbunden werden, die in den Referenzdatenmodellen miteinander verbunden sind. Hierzu ist zu klären,

- welche Teildatenmodelle miteinander zu verbinden sind und
- welche Datenmodellelemente des Referenzdatenmodells zusätzlich verwendet werden sollen, um die Verbindung herzustellen.

Im zweiten Teilschritt werden Teildatenmodelle miteinander verbunden, die im Referenzdatenmodell nicht miteinander verbunden sind. Dies kann durch manuelle Modellerweiterungen des Anwenders oder automatisiert durch Ableitung des verbindenden Teildatenmodells aus der Kooperationsontologie entsprechend des in Abschnitt 5.6.1 vorgestellten Verfahrens erfolgen.

Die Auswahl der zu verbindenden Teildatenmodelle erfolgt (analog zum Ableitung der Kooperationsontologie) gemäß dem geringsten semantischen Abstand. Eine in dieser Arbeit getroffene Annahme ist, dass eine Ontologie semantisch höherwertiger ist als ein Datenmodell. Weiterhin ist eine Ontologie im Gegensatz zu einem Datenmodell zusammenhängend, weshalb der semantische Abstand auf Basis der Kooperationsontologie bestimmt wird. Die semantischen Interpretationen stellen die Verbindung zwischen Datenmodellebene und Ontologieebene her, d. h. man betrachtet zunächst nicht das (evtl. nicht zusammenhängende) Referenzdatenmodell, sondern die über semantische Interpretationen verbundenen Elemente der Kooperationsontologie. Dadurch ist eine Abstandsmessung auch dann möglich, wenn die Datenmodellelemente nicht verbunden sind. Die semantische Interpretation eines Teildatenmodells enthält die mit den Datenmodellelementen verbundenen Konzepte. Da nicht alle Konzepte durch Datenmodellelemente repräsentiert sind, wird nicht der Abstand der direkt zugeordneten Konzeptmenge, sondern deren semantische Hülle verwendet und als abgeschlossene semantische Interpretation eines Teildatenmodells bezeichnet.

Definition (Abgeschlossene semantische Interpretation): Sei $\omega=(O_\omega,R_\omega,A_\omega)$ das Referenzdatenmodell, $C=(K_C,E_C)$ die Kooperationsontologie und $I: \Psi \rightarrow \{K_C\}^p$ die semantische Interpretation der Datenmodellelemente Ψ . Die abgeschlossene semantische Interpretation des Teildatenmodells (ASI) vom Grad k des (Teil-) Datenmodells $\varphi \in \Psi$ ist definiert als die semantische Hülle der Ebene k der semantischen Interpretation von $\varphi=(O_\varphi,R_\varphi,A_\varphi)$:

$$SDE^{(k)} := TSH^{(k)}(\{y \in K_C \mid \exists x \in O_\varphi \cup R_\varphi \cup A_\varphi \ y \in I(x)\})$$

Auf Basis der abgeschlossenen semantischen Interpretation des Teildatenmodells wird der semantische Abstand der Teildatenmodelle auf Basis der Kooperationsontologie (nicht der Referenzontologie) bestimmt. Die Teildatenmodelle mit den geringsten Abständen sind Kandidaten für die Vereinigung der Teildatenmodelle. Diese Kandidaten sind allerdings nicht notwendigerweise im Referenzdatenmodell miteinander verbunden. Bild 5-30 veranschaulicht die wesentlichen Aspekte bei der Verbindung der Teildatenmodelle. Im Teildatenmodell D1 sind zwei Objekttypen und im Teildatenmodell D2 ist ein Objekttyp über semantische Interpretationen mit Konzepten der Kooperationsontologie verbunden. Die Entscheidung, ob die Teildatenmodelle miteinander verbunden werden, erfolgt gemäß dem semantischen Abstand

der abgeschlossenen semantischen Interpretationen dieser Teildatenmodelle. Die Verbindung erfolgt durch ein Teildatenmodell, das vom Referenzdatenmodell übernommen bzw. aus der Kooperationsontologie abgeleitet wurde. In diesem Schritt werden zunächst diejenigen Teildatenmodelle miteinander verbunden, die bereits im Referenzdatenmodell miteinander verbunden sind.

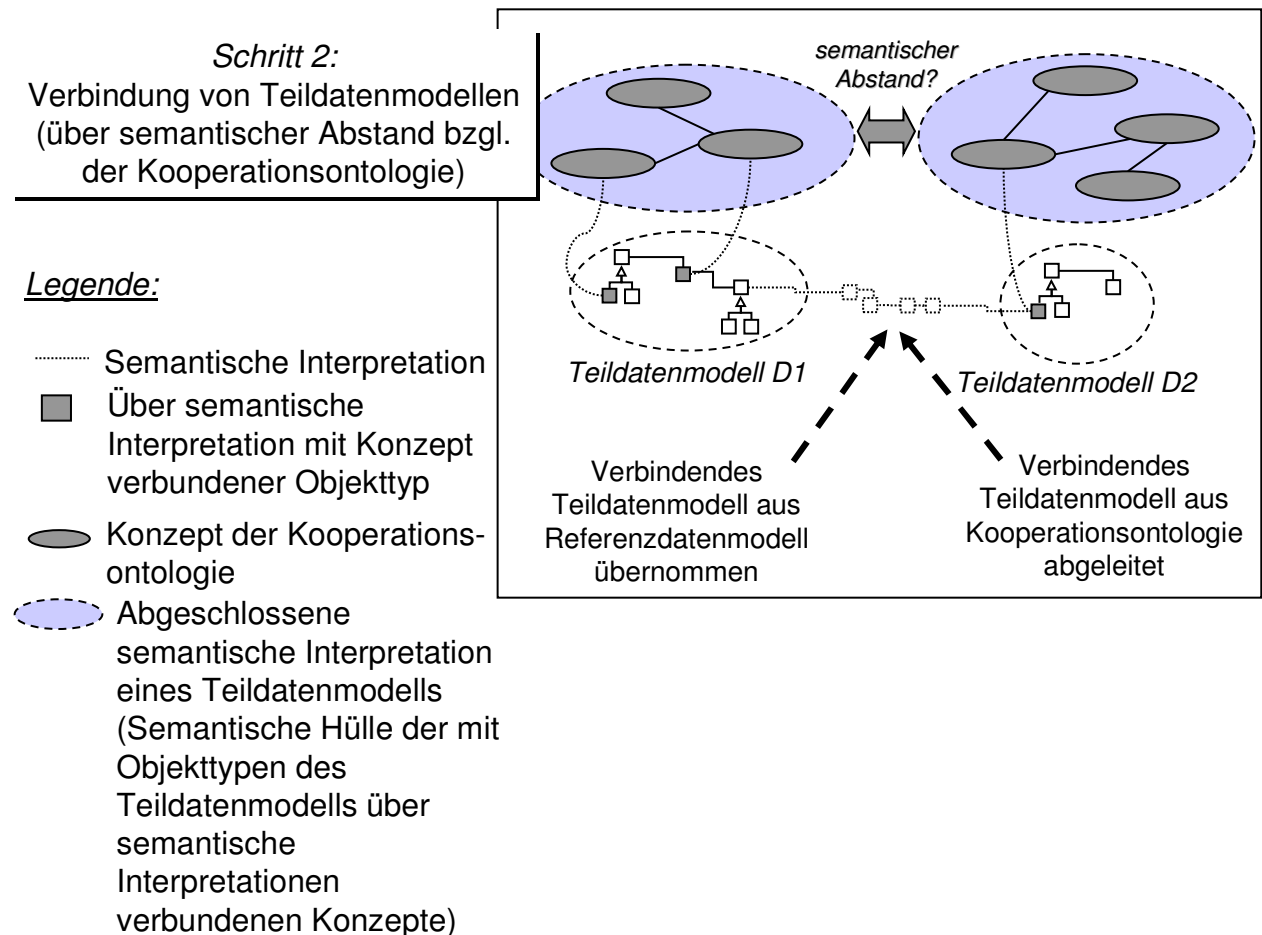


Bild 5-30: Verbindung der Teildatenmodelle unter Berücksichtigung von Referenzdatenmodellen und der Kooperationsontologie (Schritt 2)

Zur Beantwortung der Frage, durch welches Teildatenmodell des Referenzdatenmodells die Teildatenmodelle miteinander zu verbinden sind, wird das Referenzdatenmodell als Graph interpretiert, wobei die Kanten entsprechend der Relationsart (Hierarchie oder Assoziation) sowie der Kardinalität der beteiligten Objekttypen mit. Sind zwei Objekttypen über eine zweiseitige Existenzbeziehung miteinander verbunden, so stellt dies eine engere (datentechnische) Verbindung dar, als eine optionale Beteiligung der Objekttypen an der Relation. Liegt eine Hierarchiebeziehung auf dem Weg zwischen den Teildatenmodellen, so sind die Teildatenmodelle nur für eine Teilmenge von Objekttypen, nämlich die Objekte der Unterklasse, verbunden. Aus diesem Grund werden die Kanten entsprechend mit Gewichten $1+w_1 \geq 1 \geq 1-w_3 \geq 1-w_2$ ($0 \leq w_i \leq 1$) belegt (siehe Tabelle 2), sodass möglichst ein Weg über Existenzrelationen gewählt wird.

<i>Art der Relation</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Gewichtung</i>
Hierarchiebeziehung	Oberklasse-Unterklassen-Beziehung	$1+w_1$
Beidseitig obligatorische Teilnahme an der Relation	Quelle und Senke der Relation besitzen entweder die Kardinalität $[1..*]$ oder $[1]$	$1-w_2$
Einseitig obligatorische Teilnahme an der Relation	Entweder Quelle oder Senke der Relation ist mit der Kardinalität $[1..*]$ bzw. $[1]$ ausgezeichnet.	$1-w_3$
Beidseitig optionale Teilnahme an der Relation	Quelle und Senke der Relation besitzen entweder die Kardinalität $[0..*]$ oder $[0..1]$	1
Keine Kardinalitäten modelliert	Die Kardinalität der Relation ist nicht spezifiziert.	1

Tabelle 2: Gewichtsverteilung für Kanten des Datenmodells

Definition (Struktureller Datenmodell-Abstand): Sei $\omega=(O_\omega, R_\omega, A_\omega)$ das Referenzdatenmodell und $\varphi=(O_\varphi, R_\varphi, A_\varphi)$, $\psi=(O_\psi, R_\psi, A_\psi)$ zwei nicht verbundene Teildatenmodelle von ω . Weiterhin sei $G(x)$ deren Interpretation als gerichteter, gewichteter Graph. Die Gewichtungsfunktion der Kanten ist gegeben durch

$$w(e) := \begin{cases} 1 + w_1 & \text{falls } e \text{ Hierarchiekante} \\ 1 - w_2 & \text{falls Quelle und Senke von } e \text{ Kardinalität } \geq 1 \text{ besitzt} \\ 1 - w_3 & \text{falls entweder Quelle oder Senke von } e \text{ Kardinalität } \geq 1 \text{ besitzt} \\ 1 & \text{sonst} \end{cases}$$

Der strukturelle Abstand zweier Objekttypen ist definiert als der minimale Abstand der zugehörigen Knoten auf dem Graphen des Referenzdatenmodells.

Bevor das Verfahren genauer spezifiziert wird, ist zu klären, weshalb zur Bestimmung der zu verbindenden Teildatenmodelle nicht ebenfalls der Datenmodellabstand verwendet wird. Dies liegt darin begründet, dass der Datenmodellabstand lediglich die Struktur des Datenmodells, nicht aber die Semantik berücksichtigt. Weiterhin ermöglicht dieses Abstandsmaß keine Abstandsmessung von nicht zusammenhängenden Teildatenmodellen.

Algorithmus zur automatisierten Verbindung von Teildatenmodellen basierend auf einem Referenzdatenmodell

Input des Verfahrens ist die im vorherigen Schritt abgeleitete Menge der paarweise disjunkten Teildatenmodelle $\Psi^{(1)}$ sowie das Referenzdatenmodell ω und die zusammenhängende Kooperationsontologie C . Ziel dieses Algorithmus ist die Ableitung eines möglichst zusammenhängenden Datenmodells, d. h. $|\Psi^{(1)}| \rightarrow \min$. Für $|\Psi^{(1)}| = 1$ existiert nur ein Teildatenmodell, d.h. das Kooperationsdatenmodell ist zusammenhängend. Dies bedeutet aber nicht, dass alle möglichen Verbindungen realisiert werden, sondern nur diejenigen, die aufgrund der semantischen Ähnlichkeit als sinnvoll angesehen werden. Zu Beginn des Verfahrens wird die Obergrenze (χ) für die Anzahl der Teildatenmodelle in der Kooperationsontologie festgelegt.

Es wird zunächst für alle Teildatenmodell-Paare aus $\Psi^{(1)}$ deren semantischer Abstand bzgl. deren semantischer Interpretation bestimmt. Die Teildatenmodell-Paare werden entsprechend ihres semantischen Abstands sortiert und in die Kandidatenmenge $K1$ aufgenommen. Nun wird, beginnend vom Teildatenmodell-Paar mit dem geringsten Abstand, überprüft, ob diese im Referenzdatenmodell miteinander verbunden sind. Ist dies nicht der Fall, so werden sie in die Kandidatenmenge $K2$ eingefügt und im nachfolgenden Schritt betrachtet⁵³. Ansonsten wird für jedes Objekttyp-Paar der minimale Weg auf dem Graphen des Referenzdatenmodells berechnet und es wird über diesen Weg verbunden. Ist der minimale Weg nicht eindeutig, so wird entweder der Weg mit der minimalen Anzahl an Objekttypen oder es werden alle minimalen Wege aufgenommen. Anschließend wird der Strukturelle Abschluss der Ebene k von der Vereinigung der beiden Teildatenmodelle (zusammen mit dem Verbindungsweg) ermittelt. Bei jedem Teildatenmodell-Paar wird überprüft, ob der semantische Abstand kleiner als eine Schranke δ ist. Wurden aufgrund der gegebenen Schranke δ nicht hinreichend viele Teildatenmodelle verbunden (d. h. $|\Psi^{(1)}| > \chi$), so wird diese um die Schrittgröße Δ erhöht. Dies wird so lange wiederholt, bis entweder hinreichend viele Teildatenmodelle verbunden wurden oder die Maximalgrenze δ_{\max} erreicht wurde.

Anschließend werden die in der Kandidatenmenge $K2$ abgelegten Teildatenmodell-Paare betrachtet. Die Verbindung dieser Teildatenmodelle kann manuell durch den Anwender oder automatisiert aus der Kooperationsontologie abgeleitet werden. Bei der automatisierten Ableitung wird der kürzeste Weg der abgeschlossenen semantischen Interpretation der beiden Teildatenmodelle bestimmt und basierend auf dem in Abschnitt 5.6.1 vorgestellten Verfahren die Datenmodellelemente aus der Ontologie erzeugt.

5.7 Phase 3b+c: Transformation in Standard-Geschäftsprozess- und Service-Repräsentation

Die Transformation der Kooperationsontologie in Standard-Geschäftsprozess-Repräsentation soll an dieser Stelle nur grob skizziert werden. Es existieren verschiedene Tools und damit unterschiedliche Notationen zur Darstellung von Prozessen (z. B. MERGE, ARIS).

⁵³ Alternativ kann bereits an dieser Stelle das Verbindungsdatenmodell aus der Kooperationsontologie generiert werden, sodass diese Teildatenmodelle in jedem Fall verbunden werden.

Der ISO-Standard BPMN ermöglicht eine neutrale Repräsentation von Prozessen [Enge-06]. Während BPMN ein Standard zur Repräsentation von Prozessen darstellt, ermöglicht der (WSDL-basierte) Standard BPEL die Ausführung mit einer Workflow-Engine. So definiert der BPMN-Standard, wie ein BPMN-Diagramm in BPEL übersetzt wird, damit die beschriebenen Prozesse durch einen Computer ausgeführt werden können. Hierfür sind bereits einige Software-Werkzeuge verfügbar. Diese Vorüberlegungen legitimieren die Verwendung von BPEL als Standardrepräsentation von Prozessen in dieser Arbeit.

BPEL ermöglicht die Einbindung von Webservice-Aufrufen in die Prozessbeschreibung (siehe Abschnitt 3.2.3). Insofern kann die Ableitung der Prozess- und Dienstspezifikation aus der Kooperationsontologie als eine Phase betrachtet werden. Bild 5-31 zeigt den prinzipiellen Ansatz zur Abbildung der Ontologie in die BPEL-Repräsentation. Die Detaillierte Umsetzung dieser Transformation wurde durch den ImportNET-Projektpartner SRFG (Salzburg Research Forschungsgesellschaft) umgesetzt. Weiterhin beschreibt beispielsweise ASLAM in [AsAS-06], wie ein Mapping zwischen BPEL und OWL-S umgesetzt werden kann.

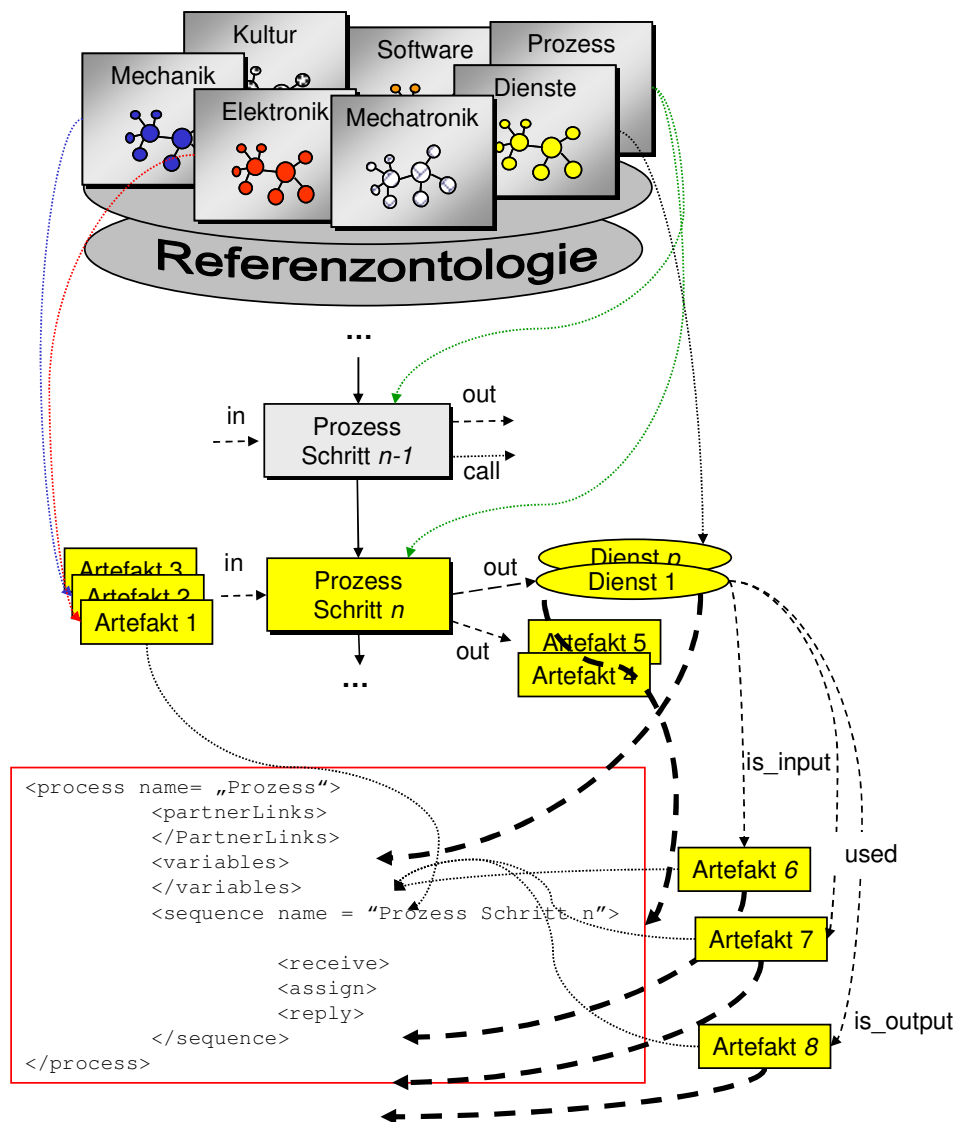


Bild 5-31: Transformation zwischen Referenzontologie und BPEL

5.8 Phase 4: Semantische Analyse der zu integrierenden externen Systeme und Ableitung von Transformationsregeln

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Wohldefiniertes Datenmodell, das die für die Kooperation relevanten Datenmodellelemente enthält (Kooperationsdatenmodell) • Kooperationsontologie • Datenmodell (Ontologie) der zu integrierenden Partnersysteme
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Semantische Interpretation der zu integrierenden Systeme • Erforderliche Erweiterung des Kooperationsdatenmodells

Im Rahmen einer Kooperation ist es erforderlich auf Daten zuzugreifen, die von IT-Systemen der Kooperationspartner (PDM-System, etc.) verwaltet werden. Basierend auf den Ergebnissen der Phase 1 ist bekannt, welche IT-Systeme Daten verwalten, die innerhalb der Kooperation benötigt werden. Der Zugriff auf diese Daten kann entweder online (über einen Adapter) oder offline (über eine Import/Export-Funktion des Systems) erfolgen, wobei die Beschreibung der Daten auf Basis des zugrunde liegenden Datenmodells erfolgt. In beiden Fällen ist es erforderlich, die Datenobjekte konform zum Kooperationsdatenmodell abzubilden. Die Integration der externen Datenquelle in die Gesamtarchitektur der Kooperationslösung erfolgt auf Basis der Systembausteine. Abhängig von verschiedenen Faktoren (in welchem Maße werden die Daten des IT-Systems von anderen Systemen benötigt, Zugriffshäufigkeit der Daten, Änderungshäufigkeit der Daten, (erwartete) Kooperationsdauer und Sicherheitsaspekte (gegenseitiges Vertrauen)) empfiehlt sich eine Offline- oder eine aufwändigere Online-Integration bzw. eine Zwischenlösung. Die Art der Realisierung der Integration definiert die Konfiguration der Systembausteine.

Zur Integration einer Datenquelle sind in dieser Phase folgende drei Teilschritte durchzuführen:

- Bestimmung der relevanten Datenmodellelemente der zu integrierenden (externen) Datenquelle.
- Bestimmung von nicht durch das Kooperationsdatenmodell abgedeckten Datenmodellelementen.
- Spezifikation der Abbildungsvorschriften der Datenmodellelemente der externen Datenquelle auf das Kooperationsdatenmodell.

Entweder sind diejenigen Datenmodellelemente der externen Datenquelle, die nicht auf Elemente des Kooperationsdatenmodells abgebildet werden konnten, nicht für die Kooperation relevant oder das Kooperationsdatenmodell muss entsprechend erweitert werden. Diese Tätigkeit erfolgt manuell, basierend auf der Liste nicht abgebildeter Objekttypen der externen Datenquelle. Auf diese Weise werden durch das Verfahren automatisiert die relevanten Da-

tenmodellelemente (Schritt 1) und die erforderlichen Kooperationsmodellerweiterungen ermittelt (Schritt 2) sowie die Abbildungsvorschriften bestimmt (Schritt 3).

Input für das Verfahren ist die Kooperationsontologie, das Kooperations-Datenmodell und das Datenmodell der zu integrierenden (externen) Datenquelle. Optional kann noch eine semantische Interpretation (Ontologie) der externen Datenquelle gegeben sein.

Eines der wesentlichen Probleme bei der Definition von Abbildungsregeln zwischen Datenmodellen ist, dass

- die involvierten Personen nur entweder das externe Datenmodell oder das Kooperationsdatenmodell kennen und
- ein attributbezogenes Datenmodellmapping nicht skalierbar und sehr komplex ist.

Das ontologiebasierte Datenmodellmapping (siehe Abschnitt 3.5.2) basiert auf der Grundidee, dass dem Experten die Kooperationsontologie und damit die Semantik bekannt sind. Durch die Kombination dieses Ansatzes mit existierenden Ansätzen zum automatisierten Mapping (siehe Abschnitt 3.5.1) kann insgesamt das Ergebnis verbessert werden.

Die automatisierten Verfahren liefern meist bei kleinen Datenmodellen gute Ergebnisse, beim Vergleich komplexer Datenmodelle ist das Ergebnis allerdings noch nicht hinreichend. Deshalb wird, basierend auf den semantischen Interpretationen, das Datenmodell des externen Systems in kleine Teildatenmodelle zerlegt und mit Teildatenmodellen des Kooperationsdatenmodells verglichen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit semantisch ähnlich sind. Dies wird dadurch realisiert, dass zunächst nicht die Teildatenmodelle verglichen werden, sondern die semantisch äquivalenten Fragmente der Kooperationsontologie.

Das Verfahren des automatisierten, ontologiebasierten semantischen Mappings zweier Datenquellen wird im Anhang C detailliert erläutert. Das Ergebnis des Verfahrens ist die Spezifikation von Abbildungsregeln zwischen den Datenmodellelementen der beiden Datenquellen sowie die semantische Interpretation der Datenmodellelemente der externen Datenquelle mit Konzepten der Kooperationsontologie. Die Datenmodellelemente werden entsprechend des Verständnisses der Kooperation (und des zugrunde liegenden kulturellen Modells) interpretiert.

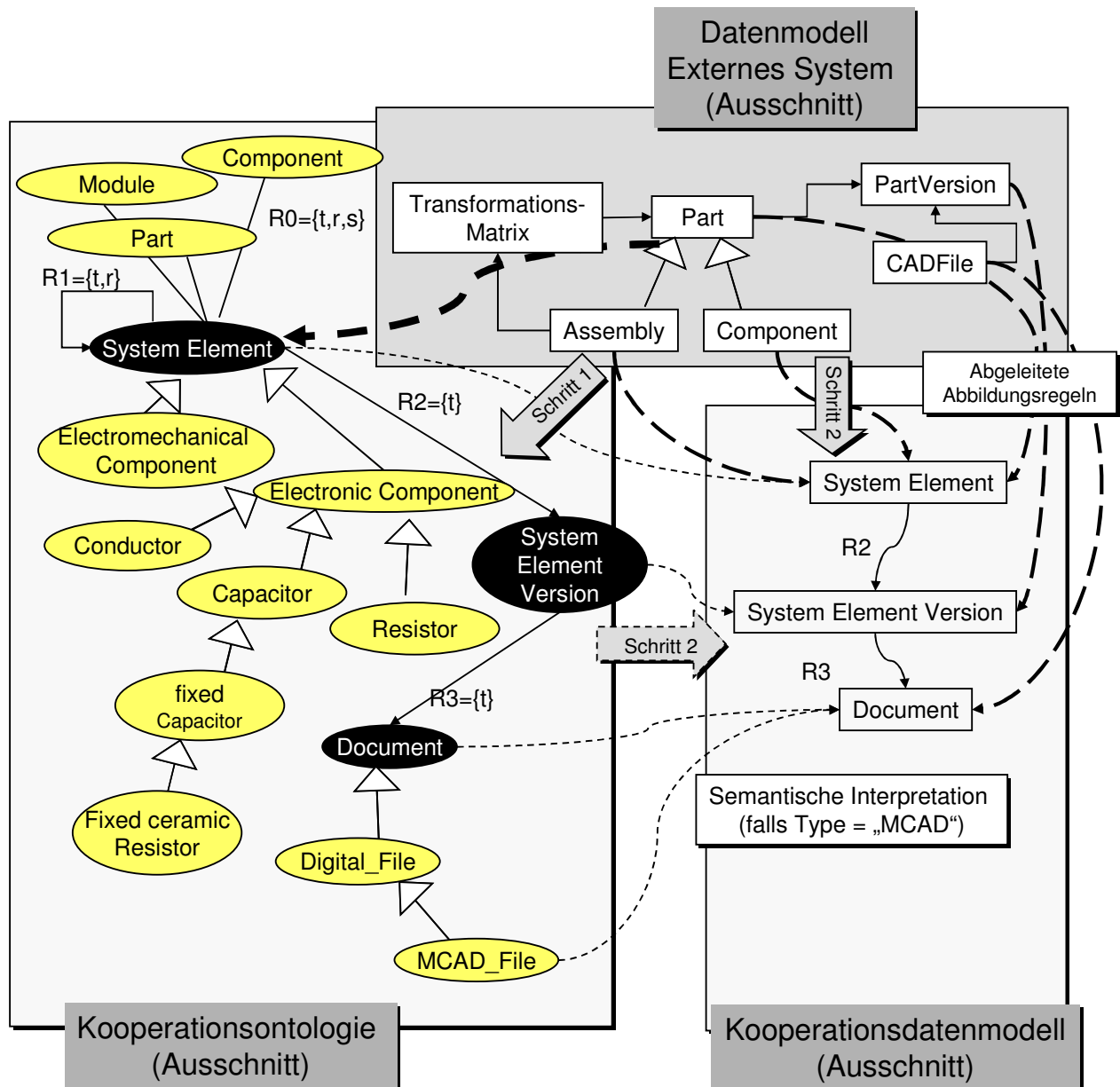
5.8.1 Erläuterung der Phase 4 anhand des Anwendungsbeispiels

Die Ausführung der Phase 4 soll nun anhand des Anwendungsbeispiels veranschaulicht werden. Hierbei wird die Analyse des PDM-Systems des Partners CAD/CAM betrachtet. Bild 5-32 zeigt Ausschnitte der semantischen Modelle des zu integrierenden externen Systems sowie der Kooperation (Kooperationsontologie, Kooperationsdatenmodell). Der dargestellte Ausschnitt des Datenmodells des externen Systems (oben) beschreibt den Aufbau einer Produktstruktur: Die (abstrakte) Oberklasse Part kann entweder eine Baugruppe (Assembly) oder ein Einzelteil (Component) sein. Der Objekttyp Transformationsmatrix beschreibt die Lage der Bauteile zueinander. Über die Klasse PartVersion kann eine Version erzeugt werden, wobei eine Ver-

sion mit einer CAD-Datei verbunden sein kann. Der Ausschnitt der Kooperationsontologie beschreibt ebenfalls den Aufbau einer Produktstruktur, wobei hier nicht zwischen Baugruppe und Einzelteil unterschieden wird. Weiterhin enthält die Kooperationsontologie eine Beschreibung der Semantik (z.B. Widerstand) der Bauteile. Die schwarz hinterlegten Konzepte werden im Kooperationsdatenmodell repräsentiert. Somit existiert mindestens eine semantische Interpretationsbeziehung zwischen den Konzepten und den jeweiligen Objekttypen. Das Konzept „System-Element“ stellt die domänenneutrale Beschreibung eines Bauteils dar. In der Ontologie können die „domänenorientierten“ Bezeichnungen über eine Synonym-Relation beschrieben werden. Im Datenmodell wird lediglich die abstrahierende Bezeichnung verwendet.

Der Experte (Domäne: Maschinenbau) definiert nun zunächst manuell die semantische Interpretation des Objekttyps „Part“ als Konzept „System-Element“. Die Äquivalenz wird dem Experten durch die Berücksichtigung der Synonyme des Konzepts deutlich. Analog wird bei der Integration des ECAD-Systems das Konzept System-Element als äquivalent zum Typ elektronische Komponente identifiziert. Im zweiten Schritt erfolgt die modifizierte Anwendung eines ausgewählten Verfahrens zur automatisierten Ableitung der Abbildungsregeln.

Hierbei wird für den Objekttyp „Transformationsmatrix“ keine Abbildungsregel gefunden. Da im Rahmen der Kooperation keine MCAD zu MCAD Interaktion stattfindet, kann die Transformationsmatrix allein im MCAD (bzw. PDM-System) verwaltet werden. Der Experte stellt anhand des (für ihn verständlichen) anwendungsorientierten semantischen Modells (Kooperationsontologie) fest, dass es kein semantisch äquivalentes Konzept gibt. Aus diesem Grund wird der entsprechende Objekttyp (und die damit verbundenen Instanzen) als nicht kooperationsrelevant eingestuft. Durch die Abbildung auf Objekttypen des Kooperationsdatenmodells werden die semantischen Interpretationen zwischen den Objekttypen des externen Modells und der Kooperationsontologie angelegt.



- Legende:**
- > Semantische Interpretation zwischen Kooperationsontologie und Kooperationsdatenmodell (in Phase 3 angelegt)
 - ←----- Semantische Interpretation zwischen externem System und Kooperationsontologie (in Phase 4 angelegt)
 - ←----- Abgeleitete Abbildungsregel zwischen externem Datenmodell und Kooperationsdatenmodell (Phase 4)

- Konzept** (in black oval) Konzept der Kooperationsontologie, das durch Objekttyp direkt repräsentiert wird (unbedingte semantische Interpretation)
- Konzept** (in yellow oval) Konzept der Kooperationsontologie, das durch ein Attribut eines Objekttyps repräsentiert wird (bedingte semantische Interpretation)

Bild 5-32: Analyse des externen Systems und Ableitung der Transformationsregeln

5.9 Phase 5a: Analyse möglicher Integrationsvarianten der externen Systeme

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Kooperationsontologie, die für die Kooperation relevanten Konzepte enthält • Kooperationsdatenmodell, das die für die Kooperation relevanten Datenmodellelemente enthält • Transformationsregeln zwischen dem semantischen Modell des zu integrierenden Partnersystems und dem Kooperationsdatenmodell • Semantische Interpretationen von Elementen des externen Systems bzgl. der Kooperationsontologie
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Grad der semantischen Überdeckung der zu integrierenden Systeme • Systemarchitektur auf Basis der Baukastenkomponenten

In dieser Phase ist für jedes zu integrierende externe System die passende Integrationsvariante zu bestimmen. In diesem Abschnitt werden zunächst die möglichen Integrationsvarianten, sowie deren Realisierung auf Basis der Systembausteine vorgestellt. Anschließend werden verschiedene Kriterien zur Auswahl einer den Randbedingungen der Kooperation angepassten Integrationsvariante diskutiert.

5.9.1 Varianten zur Integration von Systemen

Die Bestimmung der Systemkomponenten basiert auf den Ergebnissen des Verfahrens zum semantischen Datenmodellmapping. Die Integration eines IT-Systems kann prinzipiell durch zwei unterschiedliche Varianten realisiert werden:

- Variante 1 („Offline-Integration“): Daten werden (zu definierten Zeitpunkten) aus dem zu integrierenden IT-System ausgeleitet und in der gemeinsamen Datenquelle gespeichert.
- Variante 2 („Online-Integration“): Direktkopplung des Systems über einen Adapter

Weiterhin ist eine „Mischform“ möglich:

- Variante 3 („Gemischte Offline/Online Integration“): Daten werden auf einer lokalen Server-Instanz zur Verfügung gestellt und die Daten werden bei Bedarf aktualisiert. Im Gegensatz zu Variante 2 verändert eine Schreiboperation nicht direkt die Daten im Ursprungssystem, sondern zunächst nur auf der lokalen Serverinstanz als „Puffer“. Der Unterschied zu Variante 1 ist, dass über einen Adapter bidirektionale Schreib- und Leseoperationen durchgeführt werden, wobei die zu ändernden Objekte im externen System ausgecheckt werden. Diese Variante ist dann zu empfehlen, falls eigentlich eine Online – Integration erforderlich wäre, dies aber aufgrund von Sicherheitsaspekten (z. B. fehlendes Vertrauen) nicht gewünscht ist.

Zur Realisierung aller drei Varianten ist eine Abbildung des Datenmodells des zu integrierenden Systems auf das Kooperationsdatenmodell erforderlich. Es werden jedoch unterschiedliche Systembausteine verwendet.

Nachfolgend werden die einzelnen Varianten und deren bevorzugte Einsatzfälle vorgestellt. Ausgehend von dieser Beschreibung werden Kriterien zur Auswahl der passenden Variante vorgestellt und quantifiziert. Die drei Varianten sind grundsätzlich unabhängig von der verwendeten EAI-Technologie.

Ein wesentliches Kriterium zur Auswahl der entsprechenden Integrations-Variante ist, durch welche Art von Prozessen eine Änderung der Daten im externen System erfolgt:

- Änderung der Daten durch (Partner-)interne Prozesse
- Änderung der Daten durch übergreifende Prozesse

Bei internen Prozessen können die Daten direkt im System geändert werden, wobei bei übergreifenden Prozessen die Änderung über die Kooperationsplattform und externe Schnittstellen des zu integrierenden Systems erfolgt.

Variante 1: Offline-Kopplung

Die benötigten Daten werden dateibasiert über ein neutrales Format (z. B. über XML oder STEP) aus dem zu integrierenden System ausgeleitet und auf dem gemeinsamen Kooperationsserver zur Verfügung gestellt. Bei der Offline-Integration liegen die Daten redundant vor und werden nur zu bestimmten Zeitpunkten mit dem externen System abgeglichen. Da sich die Daten im System zwischenzeitlich geändert haben können, ist ein Rückschreiben der Daten schwierig zu realisieren. Dies lässt sich dadurch beheben, dass die weitergegebenen Daten im internen PDM-System ausgecheckt werden. Daher muss die Konsistenz beim Zurückschreiben der Daten geprüft werden, was teilweise manuell erfolgen muss. Daher bietet sich diese Variante an, falls sich die für die Kooperation relevanten Daten des Systems kaum ändern. Dies bedeutet:

- Wenige Änderungen der Daten durch (Partner-)interne Prozesse
- Keine (kaum) Änderungen der Daten durch partnerübergreifende Prozesse

Eine häufige Änderung der Daten durch interne Prozesse ist problematisch, da bei dieser Variante mit hoher Wahrscheinlichkeit auf nicht mehr aktuellen Daten gearbeitet wird. Eine häufige Änderung der Daten durch übergreifende Prozesse, also die Änderung der redundant angelegten Kopie, ist kritisch, da das Zurückschreiben in das System bei dieser Variante problematisch (bzw. nicht möglich) ist. Deshalb bietet es sich an, bei dieser Variante keine Schreiboperationen (durch äußere Prozesse) auf den Instanzen (Kopien) zu erlauben.

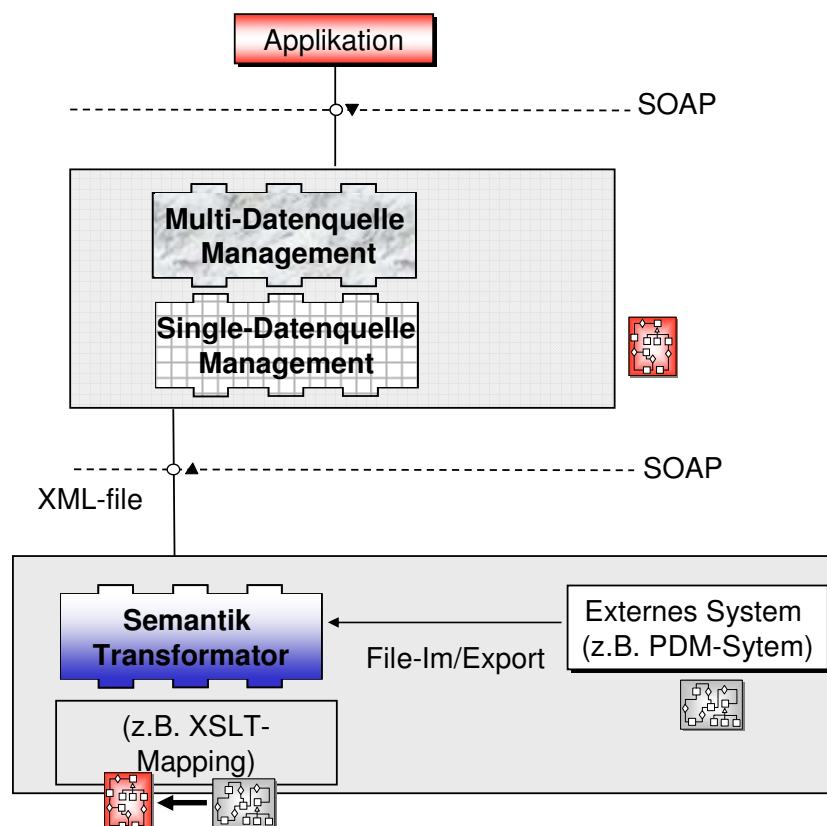


Bild 5-33: Systembausteine für Variante 1 (Offline-Integration)

Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass die Realisierung am wenigsten aufwändig ist. Da keine direkte Kopplung mit dem System (und damit den sicherheitsrelevanten Daten) besteht, genügt sie den Sicherheitsansprüchen von Unternehmen eher als die Online-Variante. Bild 5-33 zeigt die Realisierung dieser Integrations-Variante auf Basis der Systembausteine. Der Semantik-Transformator-Baustein übernimmt das Mapping der Austauschdateien zwischen dem semantischen Modell des externen Systems (z.B. PDM-System) und der Kooperationslösung. Erfolgt der Datenaustausch über XML-Dateien, so realisiert der Baustein das XSLT-Mapping zwischen den beiden XML-Schemata. Den Zugriff auf die externen Daten realisiert der Multi-Datenquellen-Management-Baustein. Zur Speicherung der kooperationsrelevanten Daten, die nicht in den externen System liegen (z.B. systemübergreifende Relationen zwischen Objekten, Referenz auf externes Datenobjekt), wird der Single-Datenquelle-Management-Baustein verwendet.

Variante 2: Online-Kopplung über Services (Adapter)

Die zweite Variante ist dann anzuwenden, wenn sich die Daten häufig ändern (sowohl durch interne als auch durch übergreifende Prozesse) und der Direktzugriff auf keine sicherheitsrelevanten Probleme stößt. Im Gegensatz zu Variante 1 erfolgt hier der Zugriff auf die Daten direkt über einen Adapter, der Services für den Zugriff anbietet. Auf diese Weise werden eine redundante Datenhaltung und die damit verbundenen Probleme vermieden: Änderungen des Datenbestandes sind sofort sichtbar und es wird nicht auf einem veralteten Datenbestand gearbeitet. Dafür sind die Kosten für eine derartige Realisierung höher als für Variante 1. Basie-

rend auf den Ergebnissen des Systembaumusterplans (z. B. automatisierte Ableitung der Abbildungsregeln zwischen den Datenmodellen) kann der Entwicklungsaufwand allerdings wesentlich reduziert werden. Sollte die Anwendung selbst bereits entsprechende Services anbieten, so kann auf die Implementierung des Adapters verzichtet werden (z. B. System implementiert den PLM-Service Standard).

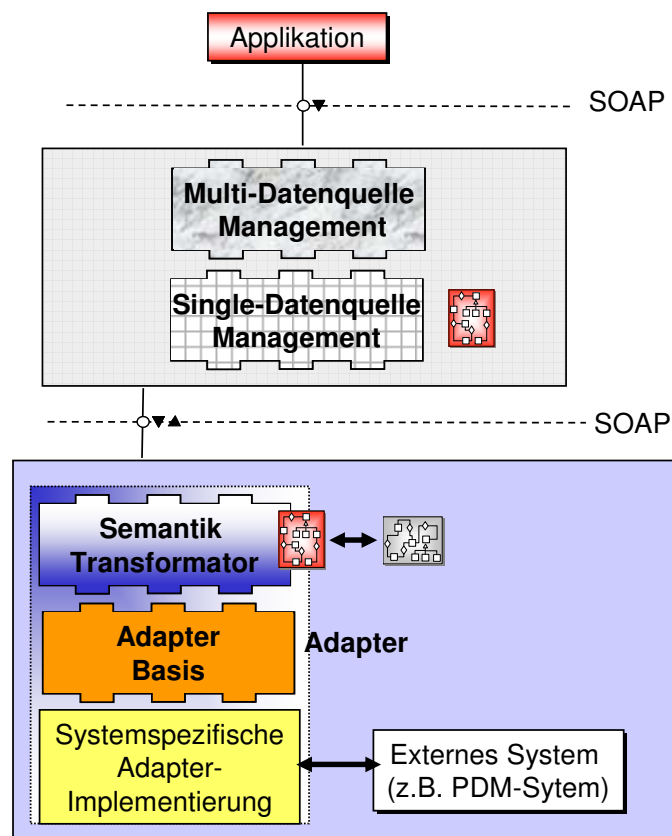


Bild 5-34: Systemkomponenten zur Online-Integration eines IT-Systems (Variante 2)

Bild 5-34 zeigt die verwendete Konfiguration der Systembausteine. Da bei dieser Variante die Daten teilweise in einem externen System liegen, ist zur Realisierung der Transparenz des Speicherortes der Multi-Datenquelle-Management-Baustein für die Kooperationsplattform obligatorisch. Zur Realisierung des Adapters wird der Semantik-Transformator-Baustein (Transparenz des Datenmodells) sowie der Adapter-Basis-Baustein verwendet. Der Adapter-Basis-Baustein realisiert die Standardfunktionalitäten, wie die Transaktionsverwaltung etc. Aufgrund des generischen Datenmodell-Ansatzes können die Bausteine ohne Modifikation übernommen werden. Die Abbildungsregeln stellen lediglich Parameter des Semantik-Transformator-Bausteins dar. Somit muss nur noch die Implementierung realisiert werden, die von der API des zu integrierenden Systems abhängig ist. Durch die Verwendung des Semantik-Transformator-Bausteins, welcher die relevanten Teile des Kooperationsdatenmodells auf das Datenmodell des externen Systems abbildet, wird der hiermit verbundene Aufwand entscheidend reduziert.

Variante 3: Gemischte Online/Offline-Kopplung durch lokale Pufferung

Die dritte Variante ist eine Mischung der beiden ersten Varianten. Hier wird nicht direkt über einen Adapter zugegriffen, sondern die Daten werden in einer Zwischeninstanz „gepuffert“. Auf diese Weise behält der Partner die Kontrolle über die Datenzugriffe. Die Konsistenz der Daten wird durch einen Zugriffs- und Rückschreibe-Mechanismus (check-out und check-in) realisiert. Des Weiteren können auf diese Weise den Partnern genau diejenigen Zwischenstände zur Verfügung gestellt werden, die im übergreifenden Kooperationsprozess definiert wurden. Die internen Prozesse und Freigaberegungen (z. B. für Zeichnungen, Berechnungen etc.) sind für das übrige Konsortium nicht sichtbar. Dies ist neben dem organisatorischen Vorteil, die internen Prozesse nicht verändern zu müssen, ein weiterer Mechanismus zum Schutz des Know-hows. Durch die Einrichtung eines „Puffers“ in Form einer weiteren lokalen Server-Instanz (Single-Datenquelle-Management-Baustein) besteht die Möglichkeit, mehrere interne Systeme auf diese Weise intern zu integrieren und den Zugriff „von außen“ anders zu konfigurieren. Die Daten des externen Systems werden durch den Adapter auf den „Puffer“ (hier: Single-Datenquelle-Management-Baustein) gelegt und (wenn vorgesehen) wieder zurückgeschrieben. Sollen auf Partnerseite mehrere Systeme gekoppelt werden, so ist zusätzlich ein Multi-Datenquelle-Management-Baustein erforderlich. Während das „Zurückschreiben“ in das externe System bei jeder Änderung des Puffers (von außen) erfolgt, ist die Rückrichtung (Änderung innerhalb des externen Systems) von der Spezifikation des Adapters abhängig.

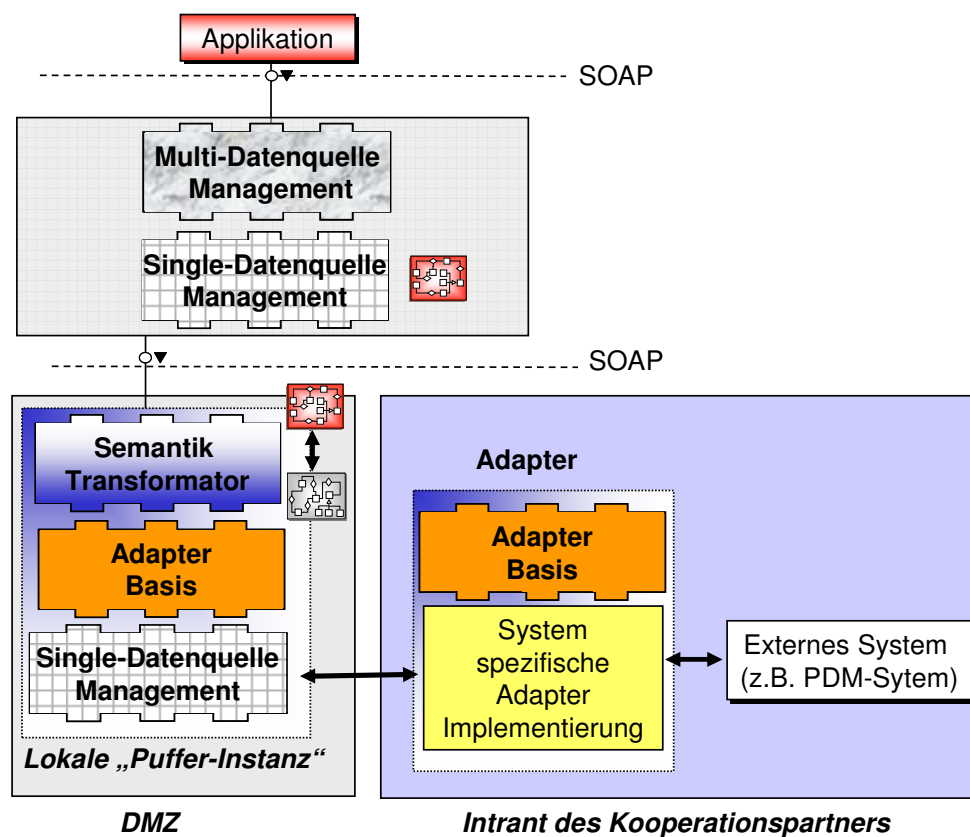


Bild 5-35: Systemkomponenten zur gemischten Online/Offline-Integration eines IT-Systems (Variante 3)

Diese Variante ist insbesondere dann zu verwenden, wenn sich die Daten häufig ändern, aber die Geschäftsleitung des Partners hohe Sicherheitsauflagen hat, was insbesondere bei einer interkulturellen Kooperation mit Partnern der Fall ist, bei denen das gegenseitige Vertrauen noch nicht hinreichend gefestigt ist. In Bild 5-35 sind die benötigten Systembausteine sowie die zugehörige Architektur zu sehen. Zur Herstellung der Transparenz des Speicherortes ist in der Kooperationsplattform der Multi-Datenquelle-Management-Baustein erforderlich. Die lokale Serverinstanz (Single-Datenquelle-Management-Baustein) stellt aus Sicht der Kooperationsplattform einen Adapter dar. Der eigentliche Adapter für ein zu integrierendes System setzt sich aus dem Adapter-Basis-Baustein sowie eine an das System angepasste API-spezifische Implementierung zusammen. Die Übersetzung der Anfragen vom Kooperationsdatenmodell in das System-Datenmodell (Transparenz des Datenmodells) kann sowohl im Adapter als auch im Puffer erfolgen.

In der unten stehenden Tabelle werden die wesentlichen Merkmale der einzelnen Varianten nochmals zusammengefasst.

	Einsatzbereich:	Systembausteine:
Variante 1: Offline-Kopplung	<ul style="list-style-type: none"> • Kaum/keine Änderung der Daten durch unternehmensübergreifende Kooperationsprozesse (Kooperationspartner) • Hohe Sicherheitsauflagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Multi-Datenquelle-Management Baustein (optional) • Single-Datenquelle-Management Baustein • Mapping Modul
Variante 2 Online Kopplung	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr häufige Änderung der Daten durch unternehmensübergreifende Kooperationsprozesse (Kooperationspartner) • Häufige Änderungen der Daten durch unternehmensinterne Prozesse • Mittlere Sicherheitsauflagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Multi-Datenquelle-Management Baustein • Single-Datenquelle-Management Baustein • Mapping Modul (Online) • Adapter Basis Baustein
Variante 3 Online/Offline Kopplung	<ul style="list-style-type: none"> • Relativ häufige Änderung der Daten durch unternehmensübergreifende Kooperationsprozesse (Kooperationspartner) • Hohe Sicherheitsauflagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Multi-Datenquelle-Management Baustein • Single-Datenquelle-Management Baustein (2x) • Mapping Modul (Online) • Adapter Basis Baustein

5.9.2 Kennzahlen zur Auswahl der optimalen Integrationsvariante

Für die Auswahl der passenden Integrationsvariante sind mehrere Kriterien relevant. In diesem Abschnitt werden zunächst die wichtigsten Kriterien vorgestellt. Auf Basis dieser Kriterien werden quantifizierbare Kennzahlen zur Auswahl der Integrationsvariante abgeleitet. Hierbei sind die meisten Parameter nicht bekannt, sondern müssen abgeschätzt werden. Es ist allerdings zu beachten, dass einige Rahmenbedingungen K.O.-Kriterien für die eine oder andere Variante darstellen. Beispielsweise ist bei extrem sicherheitsrelevanten Daten eine Direktkopplung gemäß der zweiten Variante nicht möglich. Hier muss dann entsprechend auf die dritte oder gar die erste Variante zurückgegriffen werden.

Für die Integration einer Datenquelle werden folgende Kriterien als relevant angesehen:

- Kosten für die Realisierung (Implementierung) und Wartung der gewählten Variante
- Folgekosten, falls auf nicht aktuelle Daten zugegriffen wird, bzw. Kosten um sicherzustellen, dass redundant gespeicherte Daten aktuell sind (Realisierung eines Check-in/Check-out Mechanismus)
- Durchschnittliche Änderungsfrequenz der Daten aufgrund
 - interner Prozesse (direkte Manipulation der Daten in dem zu integrierenden System)
 - übergreifender Prozesse (Änderung über die Kooperationsplattform durch externe Partner)
- Zugriffshäufigkeit auf die im externen System (Datenquelle) liegenden Daten
- Geschätzte Dauer der Kooperation (zur Verfügung stehender Amortisationszeitraum)
- Sicherheitsrelevanz der Daten und Bereitschaft der beteiligten Partner sicherheitsrelevante Daten über eine Online-Schnittstelle auszutauschen

Nachfolgend werden drei Kennzahlen zur Auswahl der Integrationsvariante vorgestellt, die einen oder mehrere der oben aufgelisteten Kriterien berücksichtigen.

Kennzahl 1: Erwartete Gesamtkosten unter Berücksichtigung der Zugriffshäufigkeit und Änderungsfrequenz (K1)

Basierend auf den oben aufgelisteten Kriterien können die Kosten für die einzelnen Varianten bestimmt werden. Neben den Kosten für Setup und Betrieb sind die Kosten für die Datenzugriffe zu berücksichtigen. Hierbei unterscheidet man zunächst zwischen lesendem und schreibendem Zugriff. Je nach Variante wird mit unterschiedlichen Kosten für die jeweilige Zugriffsart kalkuliert. Diese Kostensätze spiegeln die potentiellen Kosten für einen fehlerhaften Zugriff auf ein Datenobjekt wider. Bei Verwendung der Variante 1 werden die Daten nur zu bestimmten Zeitpunkten aktualisiert, sodass die Wahrscheinlichkeit eines Zugriffs auf ein nicht aktuelles Datenobjekt höher ist als bei anderen Varianten.

Um die Kosten für die einzelnen Varianten abschätzen zu können, werden die zu erwartenden Kosten⁵⁴ entsprechend der Zugriffswahrscheinlichkeit für die einzelnen Datenzugriffe, sowie die variantenabhängige Kosten je Zugriffsart (lesend, schreibend) bestimmt. Eigentlich müsste der Erwartungswert durch Summation über alle Instanzen einer Datenquelle durchgeführt werden. Da jedoch die einzelnen Instanzen nicht bekannt sind, wird folgende Vereinfachung vorgenommen: Es wird davon ausgegangen, dass auf alle Instanzen eines Objekttyps mit näherungsweise derselben Wahrscheinlichkeit zugegriffen werden kann. Dementsprechend wird nicht über die Instanzen der Datenquelle, sondern über die für die Kooperation *relevanten* Objekttypen der Datenquelle summiert und die zu erwartende Anzahl der Instanzen eines Objekttyps abgeschätzt. Durch die Einbeziehung der semantischen Interpretationen je Objekttyp können diese Überlegungen analog für Konzepte anstatt Objekttypen angestellt werden.

Definition (Erwartete Kosten für Objektzugriff): Sei OT_i die Menge der Objekttypen einer externen Datenquelle D_i , auf die innerhalb der Kooperation zugegriffen werden soll. Weiterhin sei $|obj(x)|$ die durchschnittliche Anzahl der Datenobjekte des Objekttyps $x \in OT_i$ in der Datenquelle D_i . Weiterhin sei n die Gesamtanzahl der Zugriffe auf die Datenquelle während der Kooperation und k_{lesen} (bzw. $k_{schreiben}$) die Kosten für einen Lesezugriff (bzw. Schreibzugriff) mit Variante $v = \{1, 2, 3\}$. Dann sind die erwarteten Kosten für alle Änderungs- bzw. Lesezugriffe auf Instanzen von D_i definiert als

$$K_{lesen}^{(v)}(D, n) := n \cdot p_{lesen} \sum_{x \in OT} k_{lesen}(v, x) \cdot p_{Zugriff}(x)$$

$$K_{schreiben}^{(v)}(D, n) := n(1 - p_{schreiben}) \sum_{x \in OT} k_{schreiben}(v, x) \cdot p_{Zugriff}(x)$$

mit

$p_{Zugriff}(x)$: Wahrscheinlichkeit für Zugriff auf eine Instanz des Objekttyps x

p_{lesen} : Wahrscheinlichkeit für lesenden Zugriff auf eine Instanz der Datenbasis

$p_{schreiben}$: Wahrscheinlichkeit für schreibenden Zugriff auf eine Instanz der Datenbasis

Unter der Voraussetzung, dass die Zugriffe auf Objekttypen gleichverteilt sind, ergibt sich für die Zugriffswahrscheinlichkeit auf eine Instanz des Objekttyps $x \in OT_i$:

$$p_{Zugriff}(x) = \frac{|obj(x)|}{\sum_{x \in OT} |obj(x)|}$$

Die zu erwartenden Kosten für die verschiedenen Arten des Datenzugriffs bilden die Grundlage für die Berechnung der zugriffsartorientierten Gesamtkosten.

⁵⁴ Der Erwartungswert E einer diskreten Zufallsvariable $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ mit einer gegebenen Wahrscheinlich-

keitsverteilung p_1, p_2, \dots, p_n ist definiert als $E(X) := \sum_{i=1}^n x_i p_i$

Definition (Gesamtkosten): Die Gesamtkosten für die Integrations-Varianten $i = 1, 2, 3$ sind definiert als

$$K_{\text{gesamt}}^{(i)}(D_i) := K_{\text{Aufbau}}^{(i)} + K_{\text{Betrieb}}^{(i)} + K_{\text{schreiben}}^{(i)} + K_{\text{lesen}}^{(i)} \quad \text{mit } i = \{1, 2, 3\}$$

mit

K_{Aufbau} : Erwartete Kosten für den Aufbau der Variante i

K_{Betrieb} : Erwartete Kosten für den Betrieb der Variante i
(über die gesamte Dauer der Kooperation)

Die Kosten für Aufbau und Betrieb der Integrationsvariante beinhalten neben Personalkosten beispielsweise Lizenzkosten für benötigte Software (z.B. Lizenz zur Nutzung der API). Während Variante 1 beim Aufbau, Realisierung und Betrieb geringere Kosten verursacht als Varianten 2 und 3, sind die Zugriffskosten bei diesen Varianten geringer. Ausschlaggebend für die Wahl der Variante ist, ob sich die Zugriffskosten so stark auswirken, dass sich der Mehraufwand für eine Online-Integration lohnt. Bild 5-36 stellt qualitativ die Auswahl der Integrationsvariante auf Basis der ermittelten Kosten in Bezug auf die Anzahl der zu erwartenden Änderungen dar. Hierbei werden die Kosten für den Aufbau und Betrieb der jeweiligen Variante als fix angesehen. Die Steigung der Kurven hängt von den (fiktiven) Kosten je Zugriff ab. Die Gesamtkosten werden durch den y-Achsenabschnitt der jeweiligen Variante abgebildet. Der x-Achsenabschnitt beschreibt die Anzahl der Änderungen. Sind wenige Zugriffe zu erwarten, so wird eher Variante 1 gewählt. Sind viele Zugriffe zu erwarten, ist Variante 2 zu favorisieren.

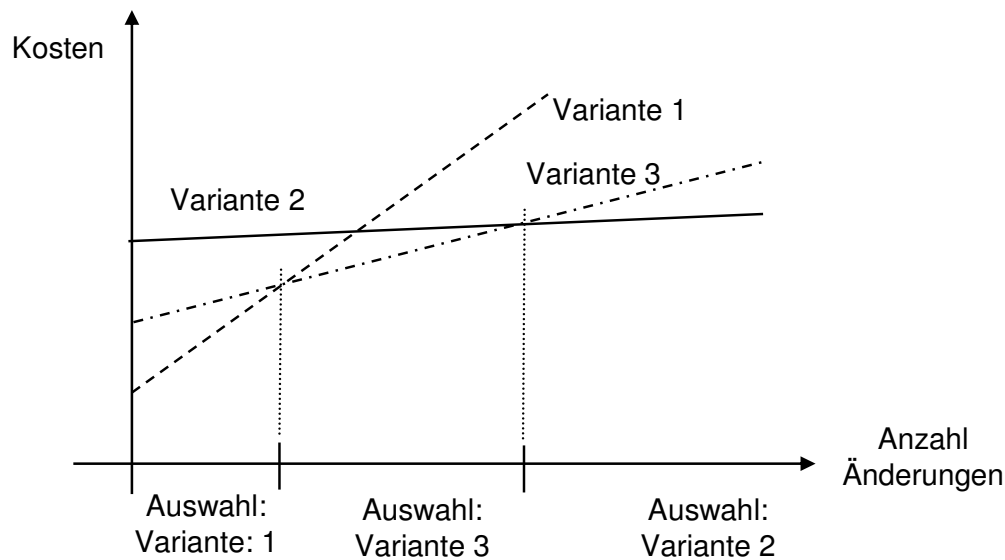


Bild 5-36: Auswahl der Integrationsvariante nach der Kennzahl Gesamtkosten (unter Berücksichtigung der Änderungshäufigkeit) (qualitativ)

Kennzahl 2: Workflow-Zugriffs-Menge (K2)

Die im Rahmen der Kooperation ausgeführten Lese- und Änderungsoperationen auf den Daten erfolgen im Kontext der spezifizierten Kooperationsprozesse. Somit kann auf Basis der Prozess- und Servicespezifikation ein weiteres Kriterium zur Auswahl der Integrationsvariante definiert werden.

Die minimale Service-Spezifikation definiert die Input- und Output-Parameter. Die vollständige Service-Spezifikation definiert zusätzlich, welche Konzepte (der Kooperationsontologie) im Rahmen der Ausführung eines Services benötigt werden. Hierbei kann auf die Instanzen der Konzepte lesend oder schreibend zugegriffen werden. Durch die Analyse des Workflows eines Prozesses können die im Rahmen der Prozessausführung zugegriffenen Konzepte identifiziert werden. Um diese Information zu nutzen, muss zunächst eine Verbindung zwischen den Objekttypen des externen Systems und der Kooperationsontologie hergestellt werden. Dies erfolgt über die in der vorherigen Phase definierten Mappingregeln und das semantische Erzeugnis des transformierten Datenmodells. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass nicht sichergestellt ist, dass der Zugriff auf Instanzen der Konzepte auf das zu integrierende externe System erfolgt. Es ist nur garantiert, dass der Zugriff auf Konzepte erfolgt, für die im externen System semantisch äquivalente Objekttypen existieren.

Definition (Menge der über Workflow zugreifbare Konzepte): Sei D_0 das Datenmodell einer externen Datenquelle und D_K das Kooperationsdatenmodell. Weiterhin sei $map: D_0 \rightarrow D_K$ die Abbildungsvorschrift des Datenmodells D_0 in das Kooperationsdatenmodell. Die Menge $SE(D_0)$ bezeichne das semantische Erzeugnis des Datenmodells D_0 bzgl. der Kooperationsontologie. Sei W die Menge der spezifizierten Workflows der Kooperation und $C_{Zugriff(w)}$ mit $w \in W$ die Menge der Konzepte, auf die im Rahmen eines Workflows lesend oder schreibend zugegriffen wird. Insgesamt werden alle im Rahmen der spezifizierten Workflows zugegriffenen Konzepte einer Datenquelle D_0 als $W_{Zugriff}(D_0)$ bezeichnet.

$$W_{Zugriff}(D_0) = SE(map(D_0)) \cap \bigcup_{w_i \in W} C_{Zugriff}(w_i)$$

Weiterhin bezeichne $n_{Zugriff}(x, w)$ die Anzahl des Auftretens eines Konzepts im Workflow w . Die Anzahl des Auftretens eines Konzepts x in allen Workflows wird mit $N_{Zugriff}$ bezeichnet.

$$N_{Zugriff}(x) = \sum_{w \in W} n_{Zugriff}(x, w) \quad \text{mit } x \in W_{Zugriff}$$

Die Auftrittshäufigkeit $N_{Zugriff}(x)$ kann als Grundlage der für die Abschätzung der Kennzahl K1 benötigten Zugriffswahrscheinlichkeit eines Objekttyps verwendet werden. Hierzu sind ggf. die semantischen Interpretationen der Objekttypen bzgl. der Ontologie zu betrachten.

Für die Auswahl der passenden Integrationsvariante gilt prinzipiell, dass mit steigender Anzahl der Konzepte in $W_{Zugriff}$ die Varianten 3 bzw. 2 zu wählen sind. Hierbei empfiehlt es sich auch, die Häufigkeit des Zugriffs auf einzelne Konzepte zu berücksichtigen. Die gewichtete

Workflow-Zugriffs-Kennzahl erlaubt es, die Anzahl der Konzepte und deren Auftreten unterschiedlich zu gewichten.

Definition (Gewichtete Workflow-Zugriffskennzahl): Sei D_0 das Datenmodell einer externen Datenquelle und D_K das Kooperationsdatenmodell. Weiterhin sei $W_{\text{Zugriff}}(D_0)$ die Menge der über spezifizierte Workflows der Kooperation zugegriffenen Konzepte. Dann ist die gewichtete Workflow-Zugriffs-Kennzahl (GWZK) definiert als

$$GWZK(W) := a_1 \cdot |W_{\text{Zugriff}}| + a_2 \cdot (N_{\text{Zugriff}}(x) - |W_{\text{Zugriff}}|) \text{ mit } 1 \geq a_1 \geq a_2 \geq 0 \text{ und } a_1 \neq 0 \vee a_2 \neq 0.$$

Da auf alle Konzepte von W_{Zugriff} mindestens einmal zugegriffen wird, wird diese von der Gewichtung der Zugriffe (zweiter Summand) abgezogen. Soll keine Unterscheidung zwischen der Anzahl auftretender Konzepte und der Anzahl der Zugriffe auf dasselbe Konzept getroffen werden, so ist $a_1 = a_2$ zu setzen, d.h. eine Menge W_{Zugriff} mit n Konzepten mit jeweils einem Zugriff je Konzept führt zur selben Kennzahl wie eine Menge W_{Zugriff} mit einem Konzept und n Zugriffen. Bild 5-37 stellt den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Zugriffe und der Auswahl der Integrationsvariante qualitativ dar.

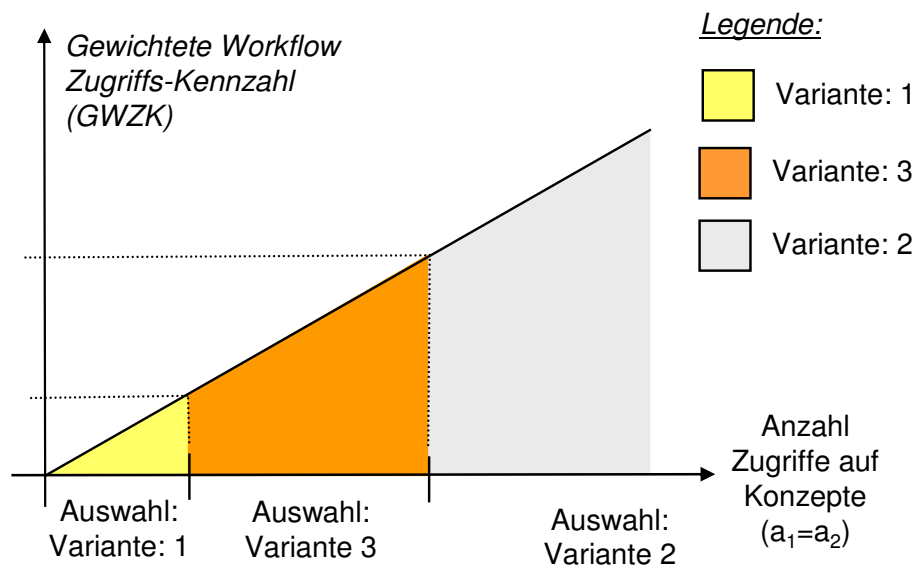


Bild 5-37: Auswahl der Integrationsvariante basierend auf der Anzahl der Zugriffe auf Konzepte innerhalb der kooperationsrelevanten Workflows (qualitativ)

Für die Auswahl der passenden Integrationsvariante ist neben der Anzahl der Zugriffe auch die Art (lesend/schreibend) relevant. Erfolgt der Zugriff auf Instanzen eines oder zwei Konzepte im Rahmen des Workflows schreibend, so empfiehlt sich auch bei kleiner GWZK Variante 2 oder 3 zu wählen. Anhand einer Workflow-Spezifikation kann allerdings nicht abgeleitet werden, ob der Zugriff (innerhalb des im Workflow aufgerufenen Services) lesend oder schreibend durchgeführt wird. Aufgrund von Erfahrungswissen des IT-Experten (oder auf Basis von Untersuchungen innerhalb von anderen Projekten) können Wahrscheinlichkeiten für den lesenden bzw. schreibenden Zugriff auf Instanzen der einzelnen Konzepte bestimmt

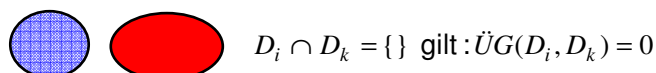
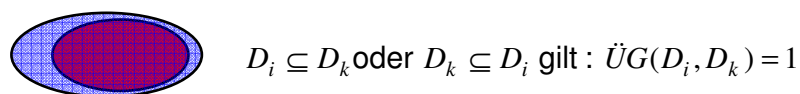
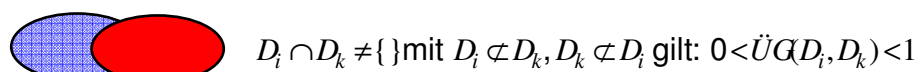
werden. Enthält die Konzeptmenge W_{Zugriff} Konzepte mit hoher Wahrscheinlichkeit eines schreibenden Zugriffs, so ist Variante 2 oder 3 zu wählen. Enthält die Konzeptmenge W_{Zugriff} nur Konzepte, für die kein Schreibzugriff (auf das externe System) zu erwarten ist, so ist Variante 1 zu wählen.

Kennzahl 3: Semantischer Überdeckungsgrad (K3)

Der semantische Überdeckungsgrad ist eine weitere Kennzahl, um die im Rahmen von unternehmensübergreifenden Prozessen gelesenen und modifizierten Daten abzuschätzen. Diese Kennzahl ist insbesondere dann zu verwenden, wenn die kooperationsrelevanten Prozesse nicht (bzw. nicht vollständig) in einer Workflow-Spezifikation definiert sind. Es wird davon ausgegangen, dass innerhalb eines Prozesses auf Daten zugegriffen wird, die in einer beliebigen Datenquelle liegen. Besitzen verschiedene Datenquellen semantisch äquivalente Datenmodellelemente, so ist zu erwarten, dass die zugehörigen Instanzen in übergreifenden Prozessen benötigt werden. Tritt ein Datenobjekt in keiner anderen Datenquelle auf, so wird es mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit durch übergreifende Prozesse verändert (sondern direkt im System). Im Einzelfall kann dies natürlich anders sein, es kann aber sicherlich folgendes angenommen werden: Sind die Datenmodellelemente einer Datenquelle semantisch ähnlich mit einer anderen Datenquelle, so sind diese Datenmodellelemente mit einer höheren Wahrscheinlichkeit an übergreifenden Prozessen beteiligt.

Ausgehend von dieser Überlegung ist eine Online-Kopplung einer Datenquelle sinnvoll, falls die zugehörigen Datenmodellelemente in den Datenmodellen anderer Datenquellen auftauchen. Da jede Datenquelle ihr eigenes Datenmodell hat, ist hierbei die Abbildung des Datenmodells der Datenquelle in das Kooperationsdatenmodell zu betrachten.

Definition (Überdeckungsgrad auf Datenebene): Seien D_i und D_k die Datenmodelle zweier Datenquellen



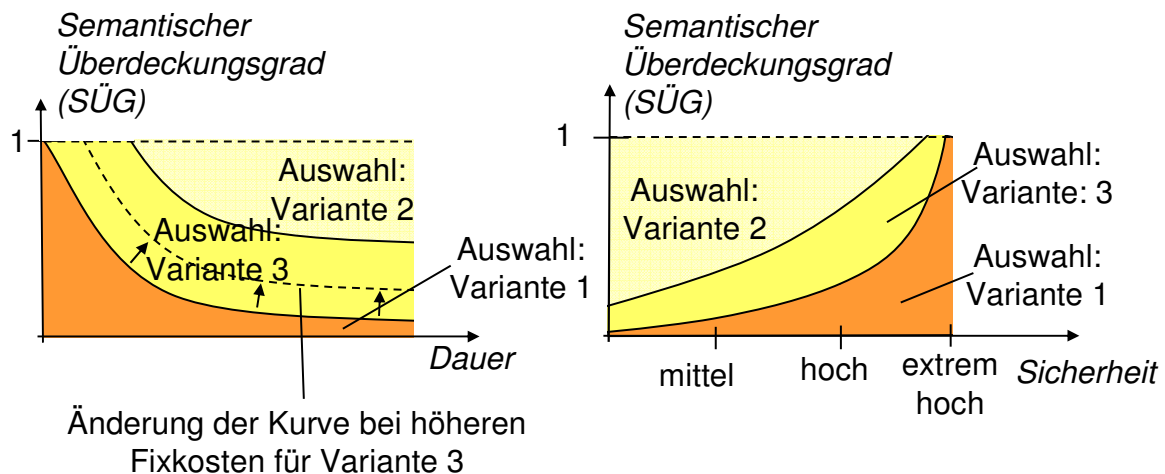
Der Überdeckungsgrad auf Datenebene kann noch um die durchschnittliche Anzahl der Instanzen je Datenmodellelement erweitert werden.

Vergleicht man zwei Datenquellen hinsichtlich ihrer Überdeckung, so ist es deshalb nahe liegend, die zugrunde liegende Semantik (also die Konzepte) miteinander zu vergleichen. Um dies zu realisieren, muss zunächst eine Verbindung zwischen den Objekttypen des externen Systems und den Konzepten der Kooperationsontologie hergestellt werden. Dies erfolgt über die in der vorherigen Phase definierten Mappingregeln und die semantische Interpretation des transformierten Datenmodells. Hierzu wird, ausgehend von den Datenmodellen der externen

Systeme, über die Mappingregeln das semantisch äquivalente Fragment im Kooperationsdatenmodell bestimmt. Für dieses Datenmodellfragment wird das semantische Erzeugnis hinsichtlich der Kooperationsontologie bestimmt und die Anzahl der gemeinsamen Konzepte der beiden semantischen Erzeugnisse wird als Grundlage für den sogenannten *semantischen Überdeckungsgrad* verwendet. Der semantische Überdeckungsgrad gibt an, in welchem Maß zwei Datenmodelle (bzgl. der Kooperationsontologie) semantisch übereinstimmen.

Definition (Semantischer Überdeckungsgrad): Seien D_1 und D_2 die Datenmodelle zweier Datenquellen und D_K das Kooperationsdatenmodell. Weiterhin sei $map_i: D_i \rightarrow D_K$ ($i=\{1,2\}$) die Abbildungsvorschrift der Datenmodelle D_1 , D_2 in das Kooperationsdatenmodell. Die Menge $SE(x)$ bezeichne das semantische Erzeugnis des Datenmodells x bzgl. der Kooperationsontologie. Dann ist der semantische Überdeckungsgrad definiert als

$$SÜG(D_K) := \frac{1}{\min\{|SE(D_1)|, |SE(D_2)|\}} |SE(map_1(D_1)) \cap SE(map_2(D_2))|$$



Legende:

- Variante: 1
- Variante: 3
- Variante: 2

Bild 5-38: Zusammenhang der Auswahlkriterien semantischer Überdeckungsgrad und Kooperationsdauer (links) sowie Sicherheit (rechts) (qualitativ)

Bild 5-38 zeigt qualitativ, welche Variante abhängig vom semantischen Überdeckungsgrad, Dauer der Kooperation und Sicherheitsempfinden des jeweiligen Partners gewählt werden sollte. Bei hohem datentechnischen bzw. semantischen Überdeckungsgrad empfiehlt sich die Verwendung der Variante 2 bzw. 3. Bei einem kleinen Überdeckungsgrad ist eher Variante 1 zu bevorzugen. Das linke Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen dem semantischen Überdeckungsgrad und der Dauer der Kooperation. Die je nach Variante unterschiedlichen Gesamtkosten (Kennzahl 1) für den Aufbau und den Betrieb wirken sich entsprechend auf die

Steigung der Kurven im Überdeckungsgrad/Zeit Diagramm aus. Sind die Kostenunterschiede zwischen Variante 3 (bzw. 2) und 1 groß, so verschiebt sich die „Grenzkurve“ zwischen Variante eins und drei nach oben, da mehr Zeit zur Amortisation erforderlich ist. Bei hohem semantischen Überdeckungsgrad und sehr kurzer Dauer ist somit dennoch Variante 1 zu wählen. Das rechte Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen dem semantischen Überdeckungsgrad und der Sicherheitsrelevanz der kooperationsrelevanten Daten entsprechend der Einschätzung der beteiligten Kooperationspartner. Hierbei wird berücksichtigt, dass Firmen unterschiedliche Sicherheitsrestriktionen besitzen können und die Sicherheitsrelevanz auf unterschiedliche Weise bewerten. Die Kennzahl 2 liefert wie der semantische Überdeckungsgrad eine Abschätzung für im Rahmen der Kooperation durchgeführte Prozesse. Dementsprechend können die obigen Aussagen analog auf diese Kennzahl übertragen werden.

5.9.3 Erläuterung der Phase 5a anhand des Anwendungsbeispiels

Kennzahl: semantischer Überdeckungsgrad

Das PDM-System MATRIX mit Direktkopplung an das MCAD-System CATIA verwaltet die Produktdaten (u. a. 3D-Geometrie des PCB-Boards) von CAD/CAM. Die Auswahl der elektronischen Komponenten sowie deren Positionierung auf dem PCB-Board erfolgt allerdings auch im ECAD-Tool Altium Designer durch die Kooperationspartner CHINET und (teilweise) PILON. Dies bedeutet, dass MATRIX/CATIA und Altium Instanzen mit derselben Semantik (Repräsentation des PCB-Board Designs) verwalten. Dementsprechend ist der semantische Überdeckungsgrad dieser Systeme nicht Null. Eine Änderung, die in einem System durchgeführt wurde, ist im anderen System semantisch äquivalent nachzuziehen. D. h. die Instanzen werden durch unternehmensübergreifende Prozesse geändert. Das PCB-Board ist wesentlicher Bestandteil des zu entwickelnden Produktes, sodass der semantische Überdeckungsgrad größer als der Schwellwert für die Integrationsvariante 2 ist. Damit wird auf Basis des semantischen Überdeckungsgrads die Integrationsvariante 2 (Online) für beide Systeme vorgeschlagen.

5.10 Phase 5b: Spezifikation der/des neuen Applikation/ Service

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Wohldefiniertes Datenmodell, das die für die Kooperation relevanten Datenmodellelemente enthält. • Implementierungsorientierte semantische Modelle (Datenmodelle) der zu integrierenden Partnersysteme
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Spezifikation des neuen Applikation/Service

Der im Rahmen der Phase 1 spezifizierte Workflow legt fest, welche Services verwendet werden. Um die durch die Services bereitgestellte Funktionalität nutzen zu können, müssen

dem Anwender portalbasierte Sichten (neue Applikation) zur Verfügung gestellt werden, welche eine Kommunikation mit dem Anwender erlauben. Sind nicht alle benötigten Funktionalitäten durch die zur Verfügung stehenden Services vorhanden (z. B. Bestimmung einer Stückliste, die sowohl mechanische Teile als auch elektronische Komponenten und Software-Module enthält), so müssen neben einer Applikation auch Services entwickelt werden (siehe Bild 5-39).

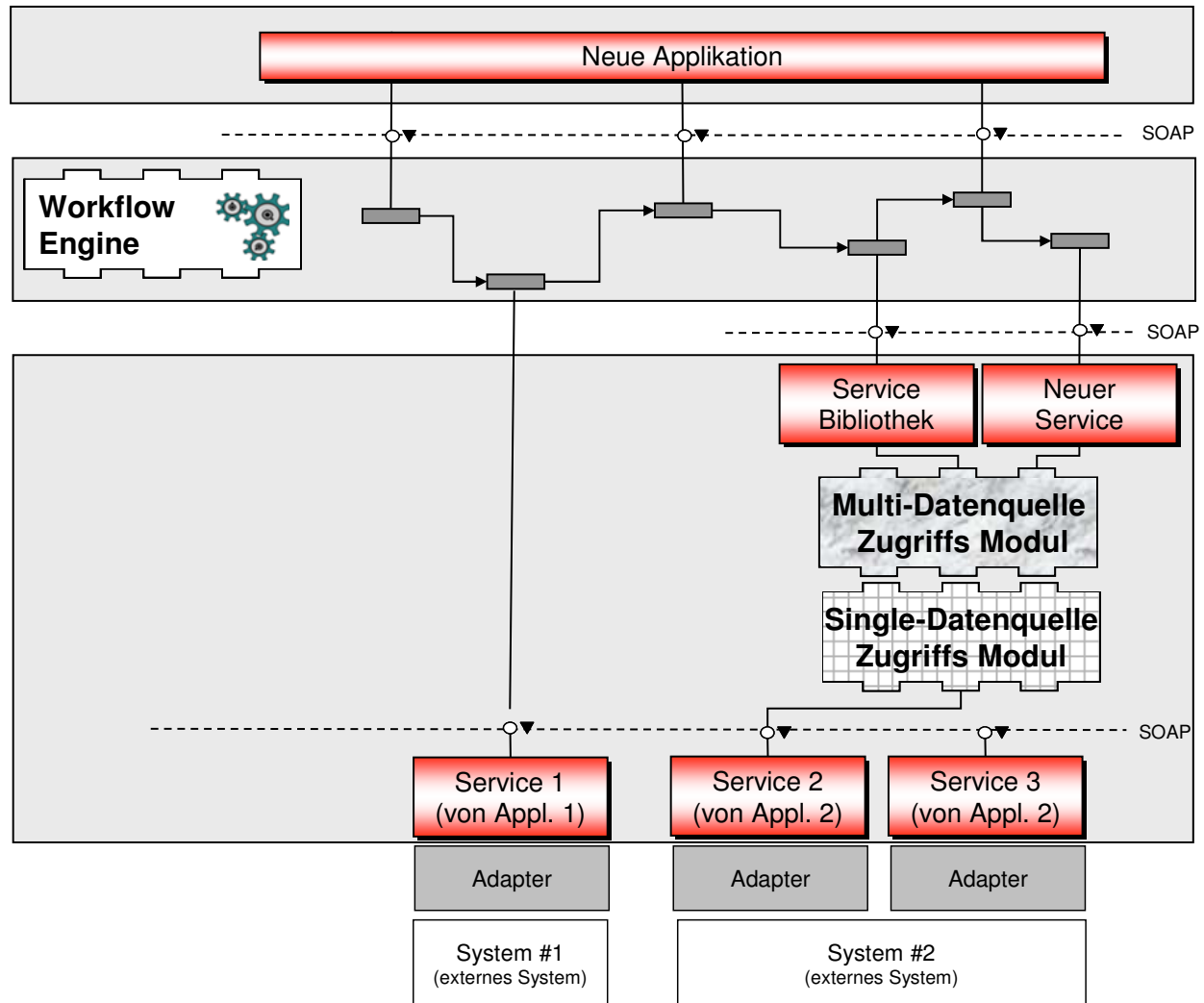


Bild 5-39: Neuentwicklung von Services und Applikationen auf Basis des durch die Systembausteine realisierten transparenten Zugriffs auf die relevanten Informationen

Durch die Verwendung der Integrationsbausteine des Baukastens wird die Realisierung des transparenten Zugriffs auf die relevanten Informationen ermöglicht (siehe Abschnitt 4.3.1). Dadurch ist sowohl das externe System, welches die Informationen verwaltet, als auch dessen semantisches Modell transparent⁵⁵. Alle kooperationsrelevanten Informationen sowie die Services, welche den Zugriff auf die Informationen ermöglichen, werden auf Basis des gemeinsamen kohärenten semantischen Modells (Kooperationsontologie) beschrieben.

⁵⁵ Die Transparenz der Datenrepräsentation wird bereits durch die Verwendung von Services realisiert.

Auf diese Weise kann die Heterogenität der existierenden Anwendungssysteme der Kooperationspartner sowie deren spezielle Semantik im Kontext des Unternehmens bei der Entwicklung neuer Services bzw. Applikationen vernachlässigt werden. Dies verringert den Entwicklungsaufwand und erleichtert die Wiederverwendung.

Die Systemarchitektur einer Applikation gliedert sich im Allgemeinen in Oberfläche, Anwendungslogik und Datenzugriffslogik, welche weitgehend entkoppelt sein sollten, um sie bei Bedarf austauschen zu können. Soll eine existierende Applikation auf die verteilten Informationen zugreifen, so ist die Datenzugriffs-Schicht auszutauschen und die Integrationsbausteine des Baukastens als „virtuelle“ Datenquelle zu verwenden (Transparenz des Speicherortes). Die Zugriffe auf die lokale Datenbank sind durch Zugriffe auf die durch die Kooperationsplattform zur Verfügung gestellte virtuelle Datenquelle zu ersetzen.

5.10.1 Erläuterung der Phase 5b anhand des Anwendungsbeispiels

Anhand des Anwendungsbeispiels wird zunächst kurz eine neu entwickelte Applikation und anschließend ein neu entwickelter Service vorgestellt. Die Entwicklung selbst war nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Neue entwickelte Applikation

Im Rahmen der Kooperationen zwischen A und B wird ein interdisziplinäres Produkt erstellt, das mechanische Bauteile, elektrotechnische Komponenten und Software-Module enthält. Die vorhandenen Applikationen (z. B. MCAD, ECAD) sind spezialisierte Lösungen für ihre Domäne und erlauben keine integrierte Sicht, da einige Konzepte nicht Teil des semantischen Modells der Applikation und damit nicht abbildbar sind (vgl. Abschnitt 4.2). Die neue Applikation soll eine domänenorientierte, integrierte und semantisch kohärente Sicht auf die relevanten Informationen ermöglichen. In der zugrunde liegenden Referenzontologie sind die Begrifflichkeiten und semantischen Abhängigkeiten entsprechend der jeweiligen Domäne beschrieben. Durch die Anwendung des Systembaumusterplans ist diese Semantik (durch die semantischen Interpretationen) auch für die Instanzdaten auswertbar. Von der Komplexität des verteilten Zugriffs kann durch die Verwendung der Systembausteine abstrahiert werden. Somit konnte man sich bei der Implementierung auf die Visualisierung der Informationen konzentrieren. Die entwickelte Applikation erlaubt die Visualisierung einer mechanischen, elektronischen und Software-orientierten Produktstruktur über einfache Navigation auf Relationsebene. Hierbei können die Strukturen in den verschiedenen Domänen unterschiedlich sein. Die eigentliche Intelligenz befindet sich hierbei nicht im Client, sondern in der semantischen Interpretation auf der Serverseite: Der Client übergibt die Kontextinformationen Domäne (Elektronik, Mechanik, Software) und kulturelles System (z.B. Deutschland, China) und erhält die entsprechende Elemente in der jeweiligen Nomenklatur sowie die entsprechenden Strukturinformationen. Durch diesen Ansatz wird explizit die Tatsache unterstützt, dass Elemente kultur- und domänenspezifische Namen (Instanznamen, Sachnummern) haben können. Dieses Beispiel zeigt wie durch den Ansatz die Komplexität der Applikations-Entwicklung verringert werden konnte, die von

- *Verteilungsaspekte von Daten kümmern*
- *kulturellen und*
- *domänenspezifischen*

Aspekten abstrahiert werden konnte.

Neu entwickelter Service

Die Entwicklung eines neuen Service wird am Beispiel eines Dienstes zur Generierung einer interdisziplinären Stückliste (siehe Abschnitt 5.1) veranschaulicht. Das MCAD-System CATIA kann lediglich eine mechanische und das ECAD-System Altium nur eine elektronische Stückliste generieren.

Die mechanischen und elektronischen Konzepte sowie deren Beziehungen untereinander sind in der Kooperationsontologie semantisch beschrieben. Durch die semantischen Interpretation kann dieses Wissen auf die System-Elemente des Produktes übertragen werden, was die Komplexität des zu lösenden Problems verringert. Beispielsweise ermöglicht dies eine domänenübergreifende Sicht auf das Produkt.

Durch die Realisierung des transparenten Zugriffs auf die relevanten Informationen (hier: interdisziplinäre Produktstruktur) kann der Implementierungsaufwand entscheidend reduziert werden. Beispielsweise kann nun auf Algorithmen zur Erzeugung der Stückliste zurückgegriffen werden, wie sie in PDM- und CAD-Systemen verwendet werden. Im Rahmen des Forschungsprojektes ImportNET konnte somit ein Service implementiert werden, der eine Stückliste mit mechanischen und elektronischen Komponenten erzeugt.

5.11 Phase 6: Aufbau und Test der Kooperationslösung

In dieser finalen Phase wird, basierend auf den in den vorangegangenen Phasen spezifizierten Konfigurationen der Integration und Adaption der beteiligten IT-Systeme, die Gesamtarchitektur spezifiziert und mit Hilfe einer EAI-Software in der Kooperation implementiert. Im Rahmen des Systembaumusterplans wird eine semantisch kohärente Beschreibung der kooperationsrelevanten Prozesse (bzw. Workflows), Services und Artefakte (Datenmodell) abgeleitet. Weiterhin werden auf Basis existierender Ansätze die semantischen Abbildungsregeln zwischen den Modellen der beteiligten Systeme bestimmt. Damit steht der Input für die im Rahmen des Kooperationsprojektes verwendete EAI-Software zur Verfügung.

Bei einer Aufnahme eines neuen Partners in die Kooperation ist in dieser Phase die Gesamtarchitektur anzupassen, indem die in der vorherigen Analyse-Phase spezifizierte Konfiguration in die Gesamtlösung integriert wird. Der Aufbau einer Gesamtarchitektur für (mehrstufige) Kooperationsprojekte wird im nachfolgenden Abschnitt erläutert.

Die Verwendung der Systembausteine ermöglicht die Erstellung einer skalierbaren, den Gegebenheiten der Kooperation angepassten Kooperationslösung. Wie in allen IT-

Integrationsprojekten folgt der Implementierungsphase eine Testphase. Die Vorgehensweise unterscheidet sich dabei nicht, weshalb an dieser Stelle auf die entsprechende Literatur (z. B. [Enge-06]) verwiesen wird.

5.11.1 Erstellung der Gesamtarchitektur

Analog zu dem Algorithmentechnik-Prinzip „Teile- und Herrsche“ werden die gefundenen Teillösungen zu einer Gesamtlösung zusammengesetzt: Es wird, ausgehend von jedem zu integrierenden/adaptierenden Software-System, für jede betroffene organisatorische Einheit (Abteilung, Zweigwerk, Unternehmen, Virtuelles Unternehmen, Joint Venture, Zulieferer) der beteiligten Partner untersucht, ob eine lokale interne Kopplung (partnerinterne Kooperationsplattform) erfolgen soll. Hierbei sind organisatorische (Verwendung innerhalb mehrerer Kooperationsprojekte), interkulturelle und sicherheitspolitische Fragestellungen relevant. Auf diese Weise entsteht rekursiv die Gesamtarchitektur, wobei der letzte „Vereinigungsschritt“ die Kopplung an die gemeinsame Kooperationslösung der Hauptpartner darstellt. Je nach Art und Größe des Kooperationsprojektes entsteht eine beliebig vielschichtige hierarchische Struktur. Bild 5-40 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Gesamtarchitektur für ein hierarchisches Kooperationsprojekt. Für jede interkulturelle Kooperationslösung ist eine Kooperationsontologie definiert, welche die für diese Kooperation relevante Semantik beschreibt.

An dieser Stelle wird deutlich, dass nicht die gesamten Daten über eine gemeinsame Kooperationsplattform ausgetauscht und verwaltet werden, sondern nur diejenigen, die aufgrund der Gesamtprojektstruktur erforderlich sind. Der Baukastenansatz ermöglicht auf diese Weise eine Reduktion der Komplexität der zu erstellenden Gesamtlösung, was den Erfolg des gesamten Kooperationsprojektes signifikant erhöht und die Kosten reduziert. Die Gesamtarchitektur kann je nach Art und Struktur (Zulieferer, Unterauftragnehmer etc.) des Kooperationsprojektes eine oder mehrere Kooperationslösungen enthalten. Je nach Größe des Gesamtprojektes kann eine von einem „Hauptpartner“ zu leistende Aufgabe selbst wieder ein Kooperationsprojekt mit mehreren Zulieferern sein. Die gesamte Struktur ist für den einzelnen Partner nicht sichtbar, da die einzelnen Bausteine beliebig ersetzt werden können. Für den Multi-Datenquelle-Management-Baustein einer Kooperationslösung ist es nicht erkennbar, ob sich hinter der Adapter-Schnittstelle ein Adapter mit einem direkt gekoppelten IT-System (z. B. PDM-System) oder selbst wieder eine Kooperationslösung befindet.

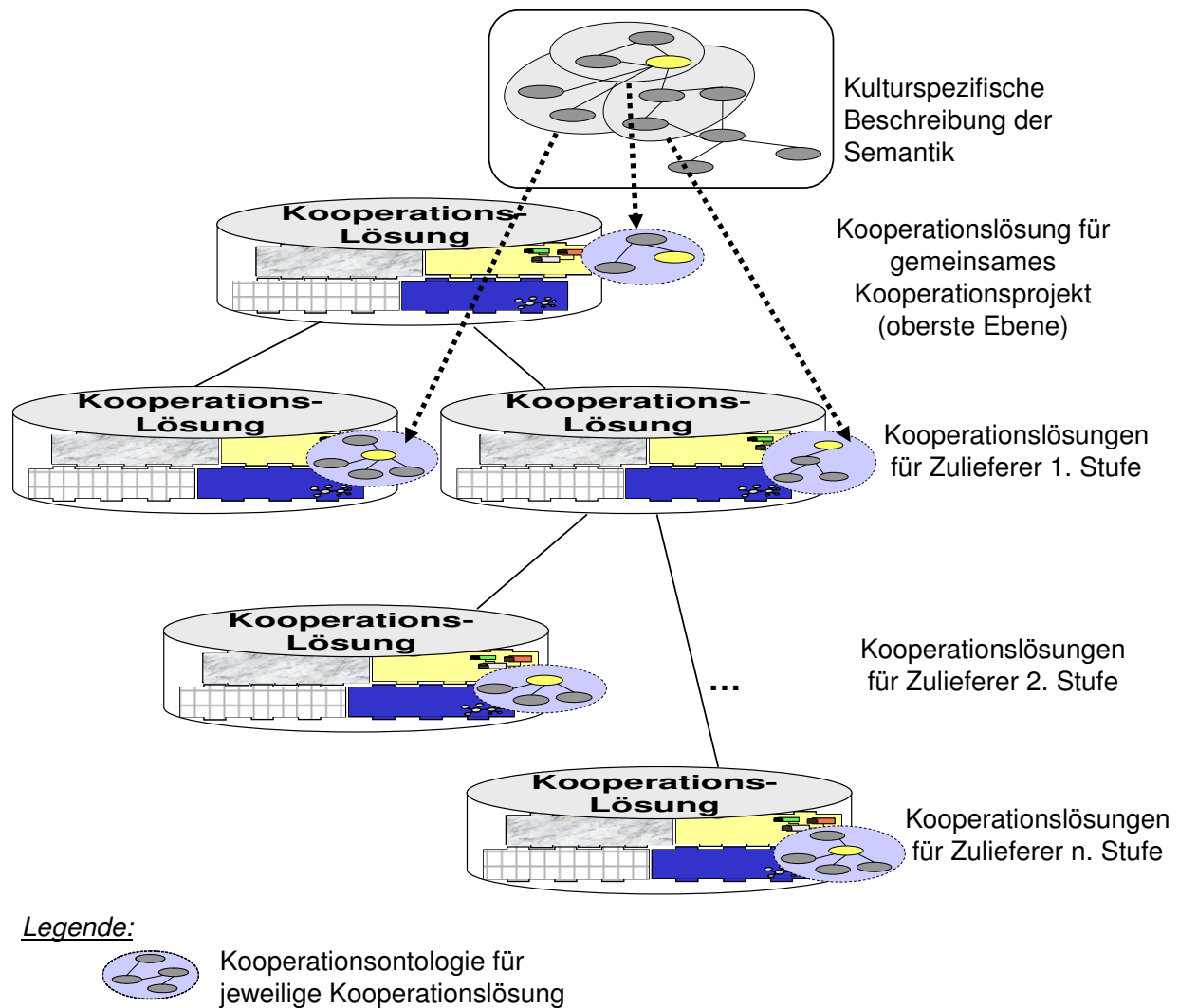


Bild 5-40: Prinzipieller Aufbau einer "Gesamtarchitektur" eines hierarchischen Kooperationsprojektes

Bei netzartigen Kooperationen sind zunächst Teilkooperationen zu identifizieren, welche durch eine Kooperationslösung verbunden werden sollen. Ein Partner kann dadurch (theoretisch) an mehreren Kooperationslösungen beteiligt sein, wobei die Aufteilung so vorgenommen werden sollte, dass dies möglichst vermieden wird.

Dies bedeutet auch, dass die Gesamtarchitektur nicht notwendiger Weise zu einem beliebigen Zeitpunkt fixiert ist, sondern sie kann sich dynamisch ändern. Durch die Verwendung des Systembaukastens können die Lösungen entsprechend den Anforderungen der interkulturellen Kooperation skaliert werden. Den größten Aufwand stellt hierbei die Implementierung der Adapter zu den externen Systemen dar, falls diese nicht bereits vorhanden sind.

5.11.2 Erläuterung der Phase 6 anhand des Anwendungsbeispiels

Die Gesamtarchitektur der (hierarchischen) Kooperationslösung ist an der Zulieferstufe orientiert. Bild 5-41 stellt dies mit Fokus auf die Kooperationen A und B schematisch dar. Die Zulieferer erster Stufe (z.B. CAD/CAM) und das leitende Unternehmen (hier: SIASUN) werden über die Kooperationslösung A integriert. Die Kooperationslösung B unterstützt die unternehmensübergreifenden Prozesse der Kooperationspartner CAD/CAM, PILON, TAOSOFT und CHINET. Aus der Sicht der (übergeordneten) Kooperation A stellt die Kooperationslösung B ein zu integrierendes externes System mit einer eigenen Semantik (beschrieben durch die Kooperationsontologie B) dar.

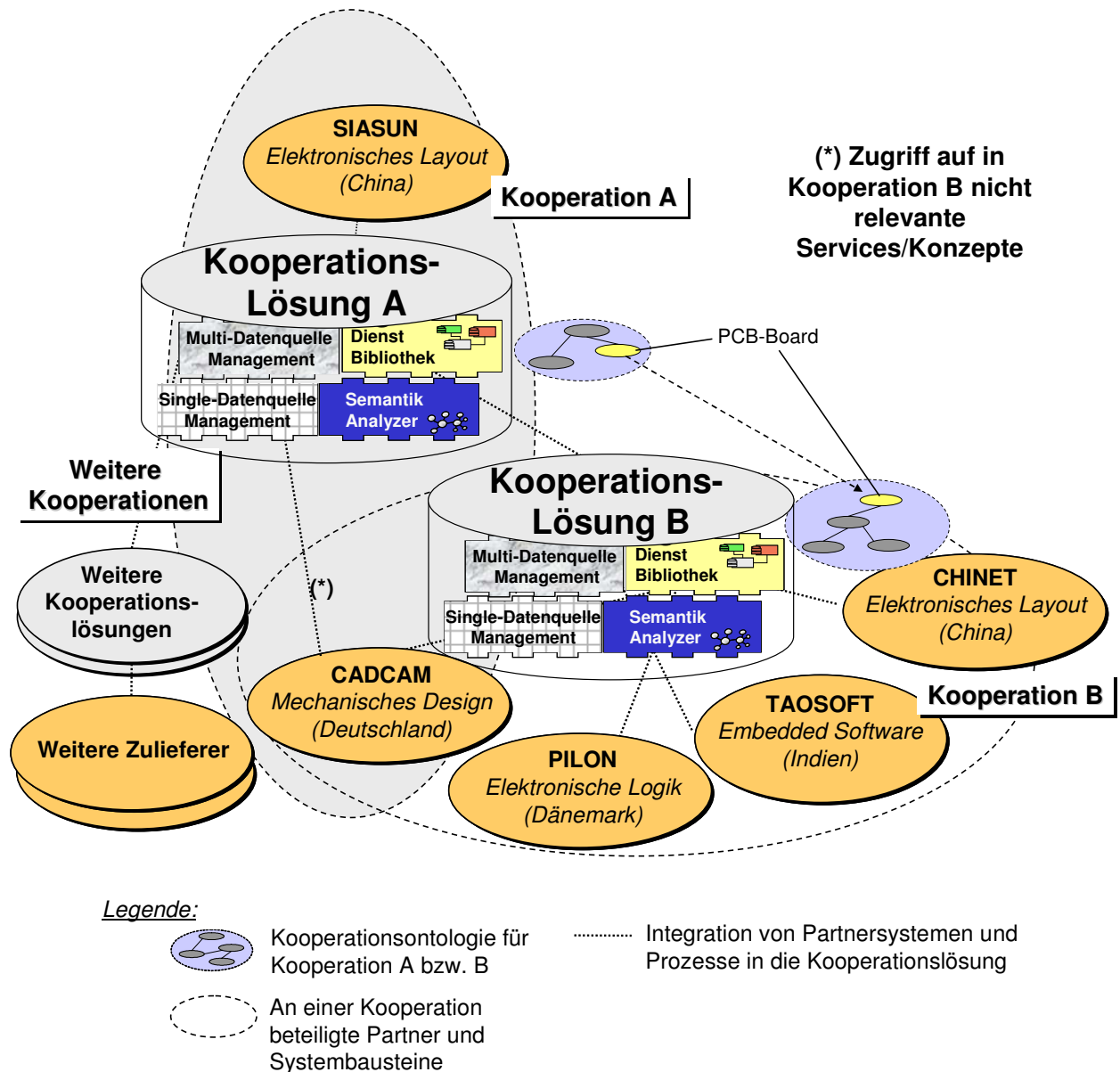


Bild 5-41: Gesamtarchitektur der Kooperationslösung zur Unterstützung der (mehrstufigen) Kooperation zur Entwicklung des mobilen Roboters mit Fokus auf die Kooperationen A und B

In der Kooperation A wird nur der Teil der Informationen betrachtet, der auf dieser Ebene noch relevant ist. Durch die Zerlegung der Gesamtkomplexität in kleinere Einheiten kann insgesamt eine Komplexitätsreduktion erreicht werden. Aus der Sicht der Kooperation A erscheint beispielsweise das PCB-Board (einschließlich der Komponenten) des Kommunikations-Switch als ein System-Element, während in der Kooperation B weiter detailliert wird. Hierbei werden in der Kooperationslösung die gleichen Systembausteine (in unterschiedlicher Konfiguration) verwendet, wobei die unterschiedliche kulturabhängige Semantik (und Prozesse) durch die Kooperationsontologie parametrisiert wird. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, dass für die Kooperation A Services / Konzepte (bzgl. CAD/CAM) relevant sind, die in der Kooperation B nicht relevant waren. In diesem Fall wird das entsprechende System von CAD/CAM als weiteres externes System betrachtet. Dies wird im Bild durch die mit () markierte Beziehung zwischen CAD/CAM und der Kooperationslösung visualisiert.*

6 Konzeptverifikation und Implementierung

Zur Unterstützung des in Kapitel 5 beschriebenen Systembaumusterplans und zur Verifikation des Konzepts wurde ein Softwarewerkzeug (OntoConnect) entwickelt. Im Rahmen dieses Kapitels werden zunächst die grundsätzliche Architektur und die Grundfunktionen des Softwarewerkzeugs vorgestellt. Anschließend wird auf Basis des Anwendungsbeispiels gezeigt, wie OntoConnect den Systembaumusterplan unterstützt. Abschließend werden zwei weitere Validierungsbeispiele in den Bereichen Produktion und Simulationsdatenverwaltung dargestellt. Abschließend findet eine Aufwands- und Nutzenbetrachtung des Konzepts statt.

6.1 Softwarewerkzeug zur Automatisierung des Systembaumusterplans

Zur Unterstützung und Automatisierung der Phasen des Systembaumusterplans wurde das Softwarewerkzeug OntoConnect entwickelt. Das Werkzeug stellt automatisiert die benötigten Informationen zur Parametrisierung der Systembausteine zur Verfügung (Kooperationsontologie etc.). Bild 6-1 zeigt den hierfür relevanten Input und Output des Werkzeugs.

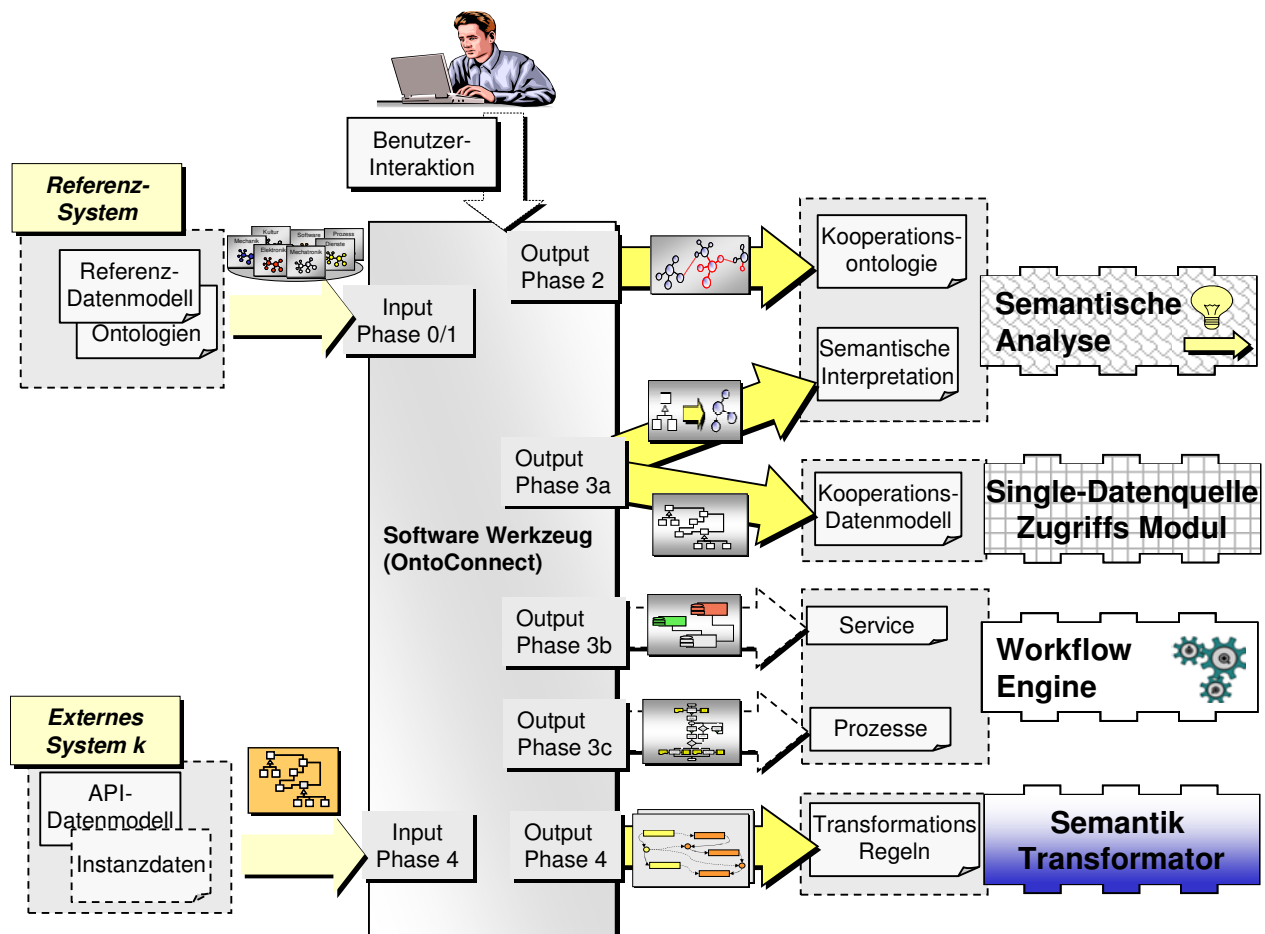


Bild 6-1: Input und Output des Softwarewerkzeugs OntoConnect

Dieses Werkzeug benötigt als Input die Spezifikationen der Referenzontologie, des Referenzdatenmodells (optional) sowie das API-Datenmodell der zu integrierenden Datenquellen. Als Output liefert das Werkzeug folgende Resultate:

- Kooperationsontologie
- Kooperationsdatenmodell
- Transformationsregeln zwischen dem Kooperationsmodell and den externen Systemen

Die Ableitung der Standard Prozess- und Service Beschreibungen kann durch externe Werkzeuge (siehe Abschnitt 5.7) bereitgestellt werden, sodass dies in diesem Prototyp nicht umgesetzt wurde (gestrichelte Output-Pfeile). Der Zugriff auf die benötigten Informationen kann auf Basis von XML-Dateien oder über Direktzugriff über die Schnittstelle der ice.NET-Plattform erfolgen. Die modulare Modellierung der Zugriffsschicht erlaubt die Erweiterung für andere Datenquellen. Durch die bereitgestellten XML-Schnittstellen ist OntoConnect (wie der Systembaumusterplan) unabhängig von der verwendeten EAI-Technologie einsetzbar.

6.1.1 Architektur des Softwarewerkzeugs

Bild 6-2 zeigt die grundlegende Architektur des Softwarewerkzeugs. Der Aufbau des Werkzeugs folgt dem bekannten Drei-Schichten-Architektur Konzept, also der Unterteilung in Präsentations-, Applikations- und Datenschicht.

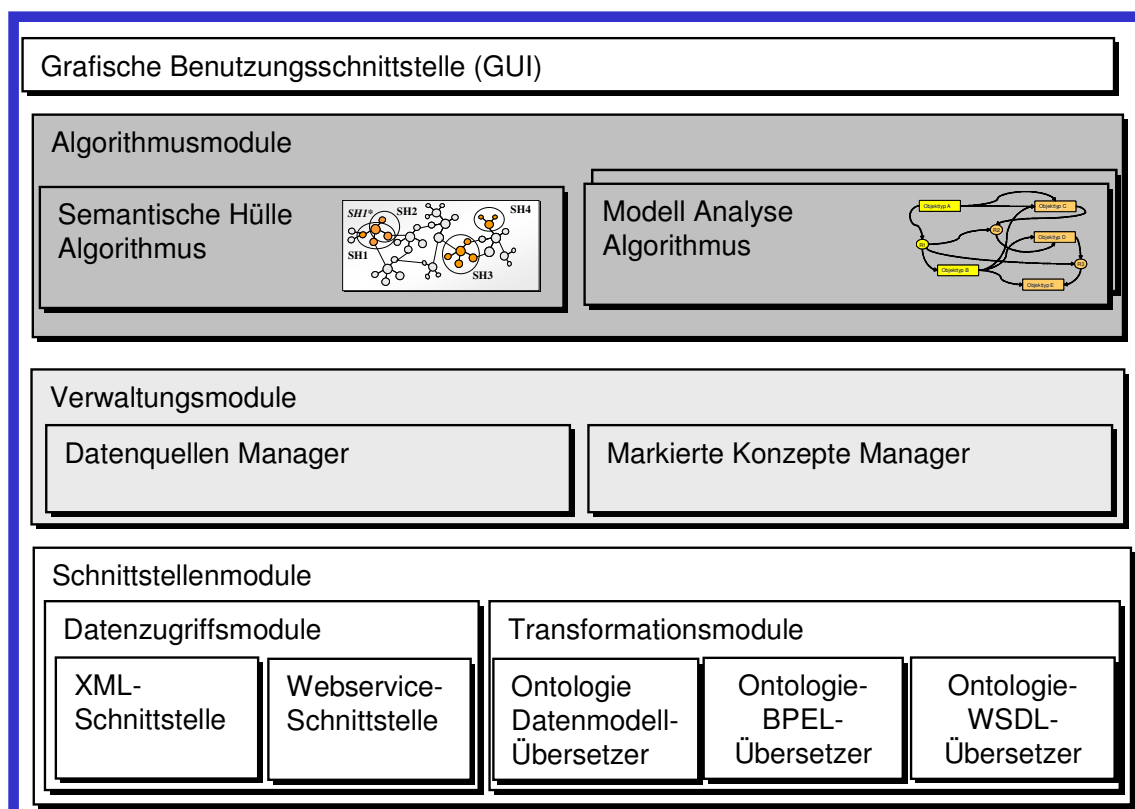


Bild 6-2: Architektur des Softwarewerkzeugs OntoConnect

Die Module der Applikationsschicht können in Steuerungs-, Algorithmen- und Verwaltungsmodule eingeteilt werden. Die Verwaltungsmodule bilden die Schnittstelle zur Datenschicht und verwalten die benötigten Datenstrukturen. Die Schnittstellenmodule realisieren den Zugriff sowie Import und Export von Modell- und Instanzdaten. Der Zugriff auf Modell- und Instanzdaten kann über die XML-Schnittstelle bzw. über eine Webservice Schnittstelle erfolgen. Die Transformationsmodule realisieren die Übersetzung der Ontologie in Standardrepräsentationen. Die Schnittstellenmodule verwenden hierbei teilweise bestehende Funktionalität der ice.NET Software.

Die Kommunikation des Benutzers mit dem Softwarewerkzeug erfolgt über eine grafische Benutzungsschnittstelle (GUI). Da in den verschiedenen Phasen des Systembaumusterplans unterschiedliche Funktionen und Daten benötigt werden, ist die GUI initial je Phase anders aufgebaut. In jeder Phase stehen so dem Anwender genau die grafischen Elemente (Sichten auf Daten und Dialoge) zur Verfügung, die für die entsprechenden Aktionen benötigt werden. Diese vordefinierten Konfigurationen der GUI können vom Anwender angepasst werden. Insgesamt stehen sieben Sichten-Konfigurationen zur Verfügung:

- Sichten-Konfiguration „Kultur“ (Phase 0) zur Bestimmung des kulturellen Abstands und des passenden kulturellen Systems (Zielgruppe: Domänenexperten)
- Sichten-Konfiguration „Artefakt“ (Phase 1a) zur Bestimmung der essentiellen Konzepte auf Basis einer vorgegebenen Teileklassifikation sowie Produkt-Templates und Funktionsstrukturen (Zielgruppe: Domänenexperten)
- Sichten-Konfiguration „Prozess/Service“ (Phase 1b) zur Bestimmung der essentiellen Konzepte auf Basis der Prozess-Spezifikation (Zielgruppe: Domänenexperten)
- Sichten-Konfiguration „Setup“ (Phase 2) zur automatisierten Ableitung der zusammenhängenden Kooperationsontologie sowie manuellen Nachbereitung (Zielgruppe: Ontologie- und Datenmodellierungsexperten, Domänenexperten)
- Sichten-Konfiguration „Transformation“ (Phase 3) zur Transformation der Kooperationsontologie in Standardrepräsentationen (Datenmodell, Prozesse und Services) (Zielgruppe: Ontologie- und Datenmodellierungsexperten, Domänenexperten)
- Sichten-Konfiguration „Integration“ (Phase 4+5) zur Bestimmung der semantischen Mappingregeln zwischen dem semantischen Modell der interkulturellen Kooperation und den zu integrierenden externen Systemen. Weiterhin wird Funktionalität zur Auswahl der Integrationsvariante bereitgestellt (Zielgruppe: Ontologie- und Datenmodellierungsexperten, Domänenexperten)
- Sichten-Konfiguration „Kooperation“ (Ausführungsphase der Kooperation) zur Darstellung des semantischen Modells sowie der Instanzdaten für die interkulturelle Kooperation.

Die entsprechenden Sichten-Konfigurationen werden in den nachfolgenden Abschnitten (6.2.1 bis 6.2.7) näher beschrieben. Die Implementierungs- und Validierungsphase erfolgen gemäß bestehender Ansätze für Integrationsprojekte (siehe [Enge-06], [Horn-04]). Deshalb wird diese Phase nicht dargestellt.

6.1.2 Implementierung des Werkzeugs

Die Implementierung des Softwarewerkzeugs erfolgte in Form eines Prototyps auf Basis der Open-Source-Entwicklungsplattform Eclipse. Das verwendete Eclipse-GUI-Plugin bietet einige Basisfunktionen wie einfaches Anlegen von grafischen Elementen und Sichten-Konfigurationen. Die Entwicklung erfolgte auf folgender Konfiguration:

- Es wurde Version 3.2 der Eclipse-Entwicklungsumgebung für die Programmiersprache Java eingesetzt.
- Die Java-Implementierung basiert auf dem Java Development Toolkit (JDK) in der Version 1.5.

Zur Visualisierung der Ontologie sowie der Instanzdaten wurde die vom Forschungszentrum Informatik in Karlsruhe (FZI) bereitgestellte Open-Source-Implementierung eines Touch-Graphs (siehe [MoMV-02]) verwendet.

6.1.3 Haupt-Menüleiste des Werkzeugs

Da das Werkzeug als Forschungsprototyp entwickelt wurde, wurde Englisch als Applikationssprache in der GUI verwendet. Gerade im Hinblick auf die Unterstützung interkultureller Kooperationen empfiehlt sich in einer nächsten Ausbaustufe die Erweiterung auf mehrere Applikationssprachen. Bild 6-3 zeigt das Hauptmenü des Softwarewerkzeugs OntoConnect. Dieses Menü ist in jeder Sichten-Konfiguration aufrufbar. Über den Menüpunkt „File“ können die Menüeinträge „Import“ und „Export“ ausgewählt werden. Diese ermöglichen das Importieren und Exportieren von Prozess- und Datenmodell-Spezifikationen. Die im Rahmen des Systembaumusterplans benötigten Algorithmen können über die entsprechenden Menüeinträge des Menüs „Algorithm“ aufgerufen werden. Über einen weiteren Menüeintrag im Menü Algorithm können die Einstellungen (Properties) für die Algorithmen vorgenommen werden.

Das Hauptmenü „Window“ erlaubt den Aufruf (vordefinierter) Sichten-Konfigurationen (Menüpunkt: Open Perspective) und einzelner Sichten (Menüpunkt: Show View...). Bei der Auswahl einer Sichten-Konfiguration wird die Konfiguration angezeigt, die zur Unterstützung der nachfolgenden Phase des Systembaumusterplans dient (hier: „Setup“). Über den Eintrag „other...“ können alle sieben Konfigurationen ausgewählt werden.

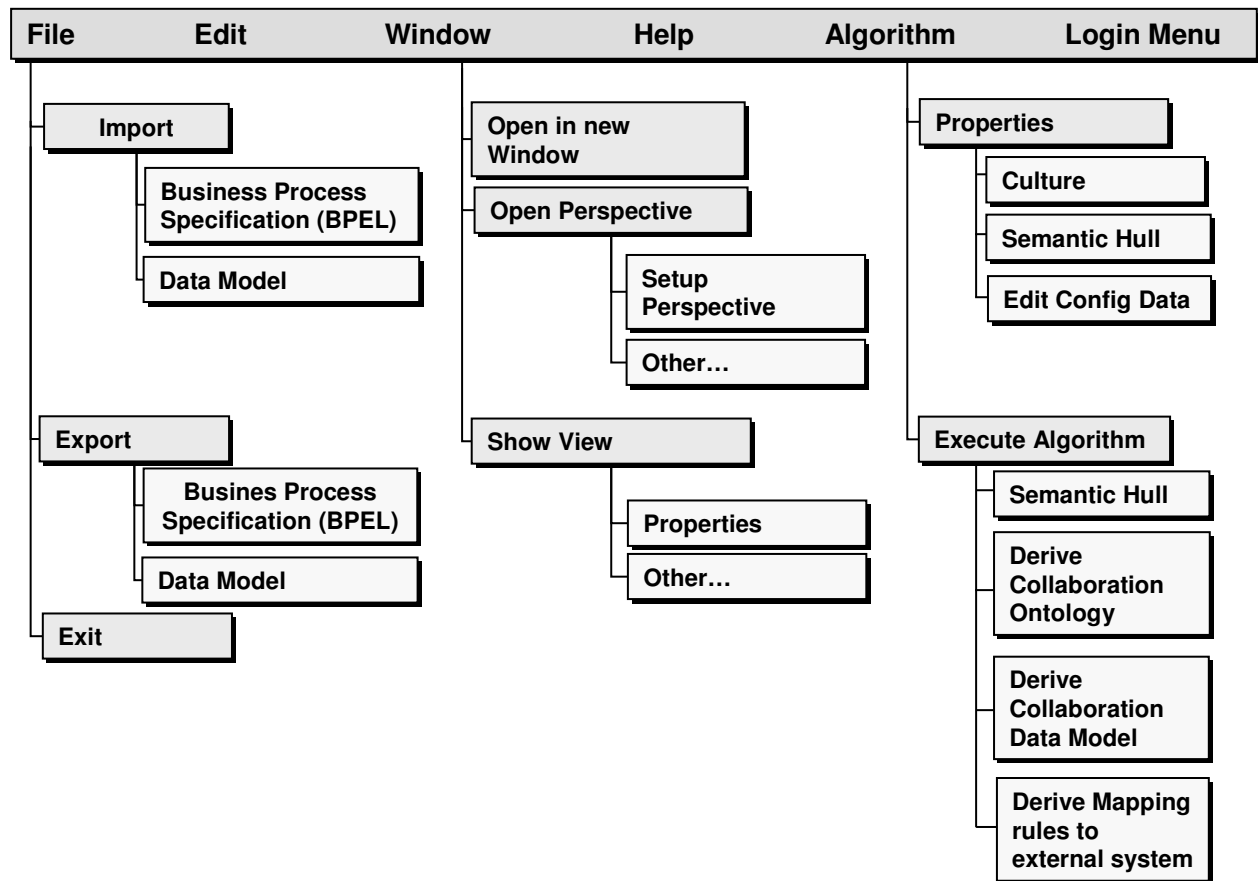


Bild 6-3: Menü-Leiste des Softwarewerkzeugs OntoConnect

6.1.4 Anpassung des Werkzeugs an Referenzontologie

Für die Erfüllung der Aufgabe muss dem Werkzeug die Semantik der Ontologie teilweise bekannt sein. Dies ist insbesondere für die Darstellung der Normteilbibliothek, Funktionsstruktur etc. der Fall, d.h. das Werkzeug besitzt ein „internes Modell“. Bevor das Werkzeug benutzt werden kann, muss der Anwender definieren, wie der entsprechende Sachverhalt in der Ontologie modelliert ist. Hierzu können im Werkzeug die Konzeptnamen und Relationsnamen (z.B. Beziehung zwischen Bauteil und Funktion, Konzeptname für Bauteil) festgelegt werden. Hierbei wird eine entsprechende Struktur erwartet, die Benennung ist variabel. In einer weiteren Ausbaustufe des Werkzeugs könnte man eine beliebige n:m Abbildung zwischen dem internen Modell des Werkzeugs und der Ontologie durch eine Oberfläche unterstützen.

6.2 Beschreibung der Funktionalität des Werkzeugs anhand des Anwendungsbeispiels

Um die Anwendung eines effizienten Informationsmanagementsystems zur Unterstützung unternehmensübergreifender interkultureller Kooperationen zu veranschaulichen und zu validieren, wird das in Abschnitt 5.1 eingeführte Anwendungsbeispiel verwendet. Im Kapitel 5 wurde die Anwendung des Systembaumusterplans auf das Anwendungsbeispiel erläutert. In

diesem Abschnitt wird nun anhand von Screenshots gezeigt, wie das Softwarewerkzeug On-toConnect die einzelnen Phasen des Setups für die Kooperationslösung unterstützt. Zur Veranschaulichung des Nutzens wird in Abschnitt 6.3 der Einsatz eines auf den Systembausteinen basierenden Systems skizziert.

6.2.1 Kultur-Sichten-Konfiguration (Phase 0)

Die Kultur- oder Konsortium-Sichten-Konfiguration unterstützt Phase 0 des Systembaumusterplans (siehe Abschnitt 5.3). Bild 6-4 zeigt einen Screenshot der Sichten-Konfiguration, basierend auf dem in Abschnitt 5.1 eingeführten Anwendungsbeispiel mit den Kooperationspartnern CADCAM, CHINET, PILON und TAOSOFT.

Die Sichten-Konfiguration enthält Sichten und Dialoge zur Spezifikation der Mitglieder der Kooperation (Sicht (1)), Darstellung von Länder-Informationen (Sicht (2), z. B. Hofstede-Dimensionen) und zur Darstellung der Ergebnisse der kulturellen Analyse (3, z. B. optimales kulturelles System, kultureller Abstand innerhalb des Konsortiums).

Für jeden Kooperationspartner sind einige kooperationsrelevante Daten zu spezifizieren, die im Laufe des Systembaumusterplans bzw. im Rahmen der durchzuführenden Kooperation relevant sind. Die zu spezifizierenden Daten sind beispielsweise der Firmensitz, in der Kooperation beteiligte Mitarbeiter sowie die zu integrierenden externen Softwaresysteme. Diese Informationen müssen für jede Kooperation bekannt sein, sodass hierdurch kein zusätzlicher Aufwand entsteht. Die Festlegung der zu integrierenden Systeme sowie der beteiligten Mitarbeiter kann auch in einer späteren Phase erfolgen. Weiterhin können die Angaben später noch modifiziert werden.

Die Berechnungen für die kulturelle Analyse (3) erfolgen auf Basis des in Abschnitt 4.4.2.2 hergeleiteten kulturellen Abstandsmaßes für Kooperationspartner. Hierbei werden die in [Hofs-03] veröffentlichten Werte der Hofstede-Dimensionen verwendet. Das optimale kulturelle System wird sowohl für alle verfügbaren kulturellen Systeme (3a) als auch für die innerhalb der Kooperation vertretenen Kulturen berechnet (3b). Hierzu wird die zu betrachtende Grundmenge entsprechend eingeschränkt. Der innere kulturelle Abstand (3c) ist ein Anhaltspunkt für die Unterschiedlichkeit der innerhalb der Kooperation beteiligten Kulturen und damit ein Maß dafür, inwiefern kulturellen Aspekten innerhalb der Kooperation Beachtung geschenkt werden sollte. Zur Unterstützung des Anwenders erfolgt eine Bewertung des Wertes durch Einteilung in eine der drei Kategorien „extrem hohes Risiko“ (engl.: extremely high risk), „mittleres Risiko“ und „kleines Risiko“ für kulturbedingte Probleme aufgrund der kulturellen Diversität. Bei Veränderungen in der Zusammensetzung des Konsortiums (Partner verlässt Konsortium bzw. ein neuer Partner kommt hinzu) werden die Ergebnisse neu berechnet.

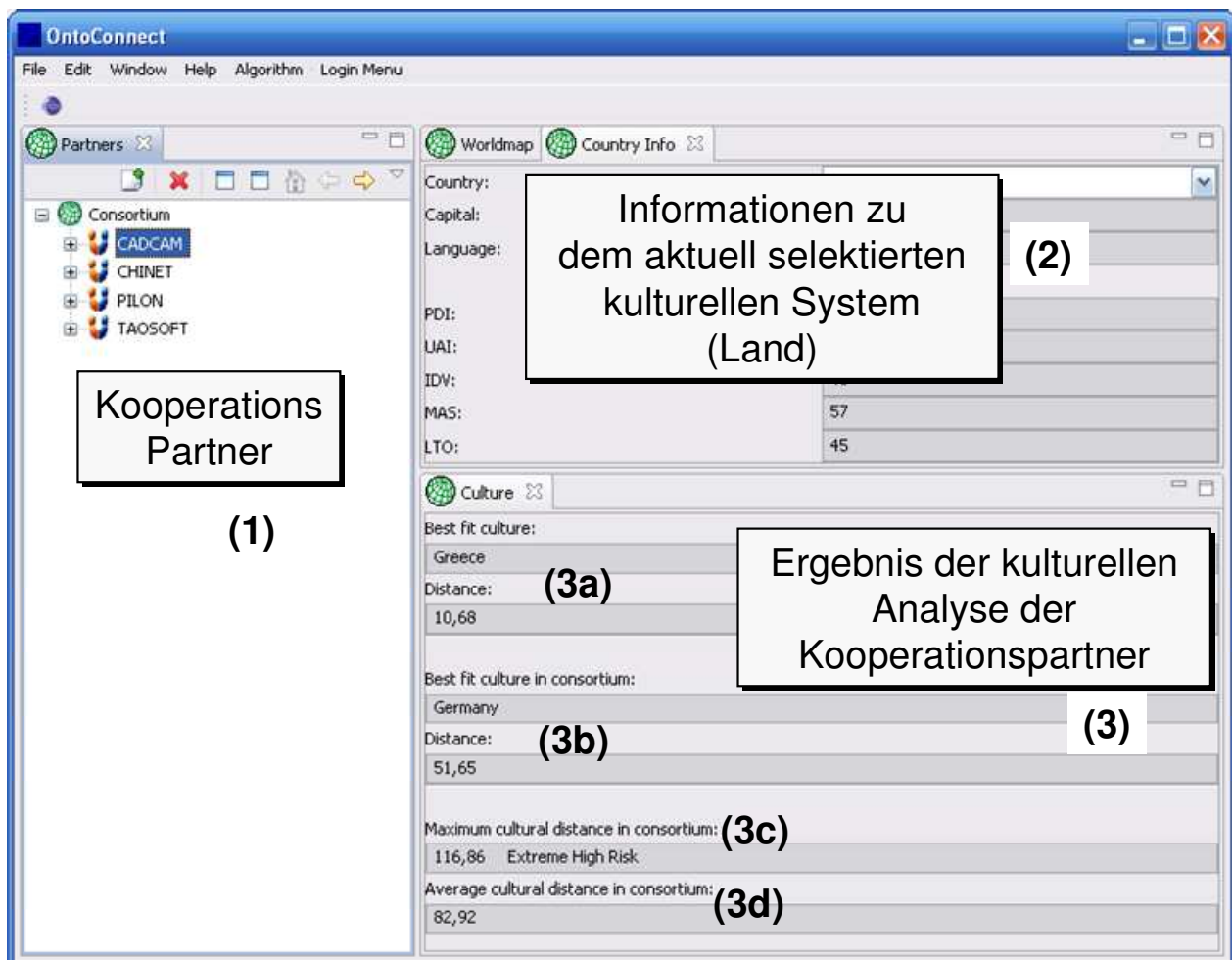


Bild 6-4: Screenshot der Kultur- Sichten-Konfiguration

Über einen Dialog („Kulturelle Einstellungen“) kann der Benutzer, die für die Berechnung der Ergebnisse notwendigen Einstellungen vornehmen. Entsprechend den Standardeinstellungen werden zur Berechnung des kulturellen Abstands alle Werte der Hofstede-Dimensionen gleich stark gewichtet. Über einen weiteren Dialog kann die Gewichtung der Hofstede-Dimensionen verändert werden.

Durch die Gewichtung der einzelnen Partner kann dem Aspekt Rechnung getragen werden, dass einige Partner im Rahmen der Kooperation eine wichtigere Rolle spielen (z. B. OEM) als andere (vgl. Abschnitt 4.4.2.2). In der vordefinierten Belegung sind alle Partner gleich gewichtet. Dies kann ebenfalls über den Dialog angepasst werden.

Der Wert für die Hofstede Dimension „Long Time Orientation“ (LTO) ist nicht für alle Landeskulturen (kulturellen Systeme) bekannt (vgl. [Hofs-01]). Sollte der Wert für ein im Konsortium vertretenes kulturelles System nicht bekannt sein, wird standardmäßig der Durchschnittswert der im Konsortium beteiligten kulturellen Systeme verwendet, wobei der Wert jeder Kultur gleich gewichtet ist. In den Einstellungen kann eine hiervon abweichende Gewichtung angegeben werden.

6.2.2 Artefakt-Sichten-Konfiguration (Phase 1a)

Die Artefakt-Sichten-Konfiguration (siehe Bild 6-5) unterstützt die Bestimmung der essentiellen Artefakt-Konzepte der Referenzontologie (Phase 1 des Systembaumusterplans) basierend auf vordefinierten Produkt-Templates und / oder der System-Element Klassifizierung (siehe Abschnitt 5.4.1). Die Sichten-Konfiguration soll die an der Kooperation beteiligten Ingenieure bei der Spezifikation der groben Produktstruktur (konzeptionelle Produktstruktur) für das zu entwickelnde Produkt unterstützen. Im Hintergrund werden die entsprechenden Konzepte als „essentiell“ markiert.

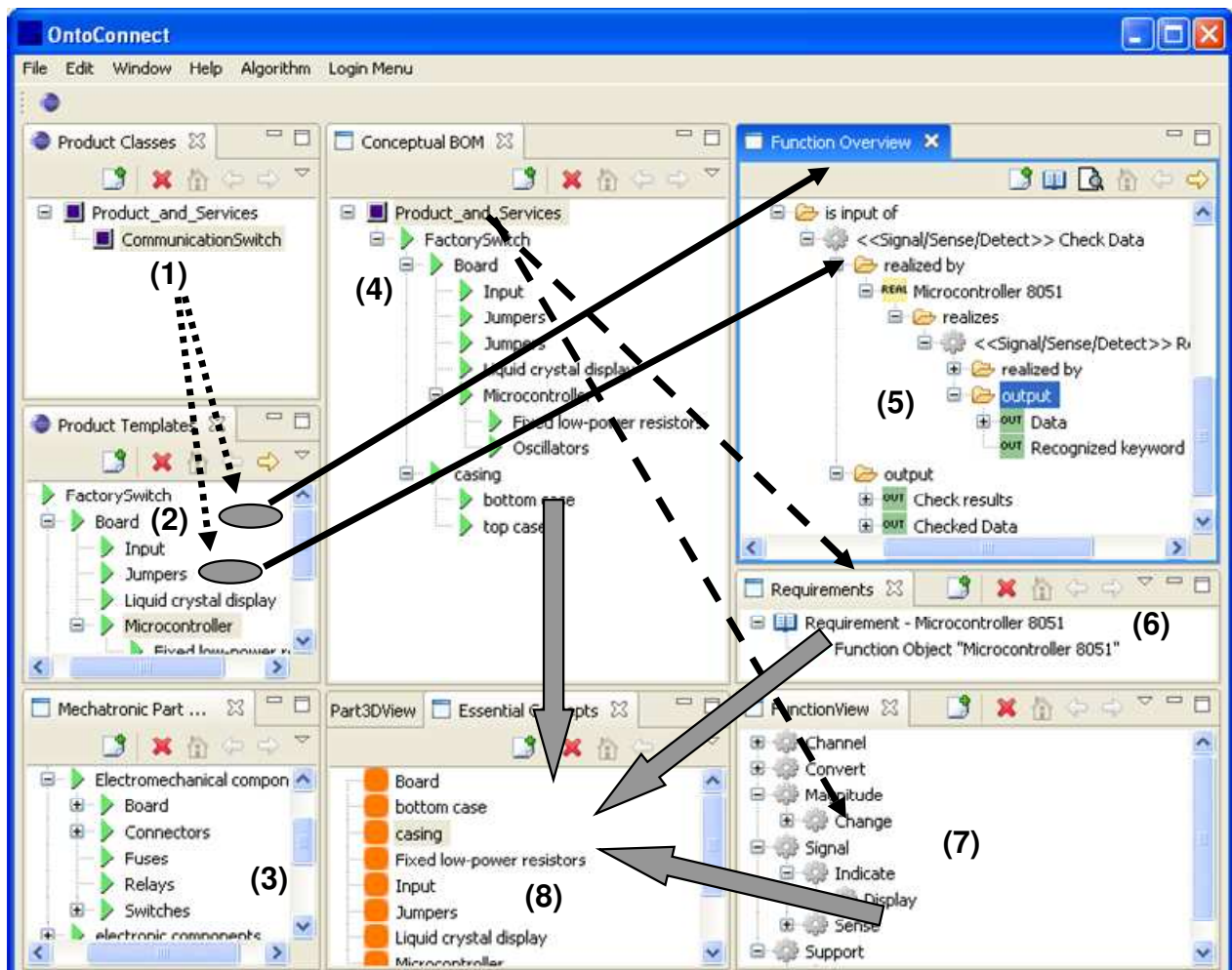



Bild 6-5: Artefakt-Sichten-Konfiguration

Zur Erfüllung der Aufgabe enthält die Sichten-Konfiguration folgende Sichten:

- (1) Darstellung der Produkt und Service Klassifikation basierend auf dem UNO-Standard UNSPC⁵⁶ (vgl. [UNSP-07]). In dieser Sicht werden die Produkte und Service entsprechend des Standards in einer Baumstruktur dargestellt
- (2) Visualisierung der vordefinierte Produkt-Templates für die in Sicht (1) ausgewählte Produktklasse (bzw. in Sicht (3) ausgewählten System-Element-Klasse). Die Sicht zeigt vordefinierte Produkt-Templates (z.B. des OEM) in einer Baumstruktur. Zu jedem Produkt-Template kann eine Funktionsflussstruktur (Sicht (5)) definiert sein.
- (3) Darstellung einer System-Element-Klassifikation basierend auf Standards oder Veröffentlichungen. Die Sicht zeigt in einer Baumstruktur die System-Element-Klassen. Über eine im Kontextmenü angebotene Option bzw. über eine Schaltfläche kann eine weitere System-Element-Klasse erzeugt und in den Klassifikationsbaum eingefügt werden.
- (4) Repräsentation der Grobproduktstruktur bzw. konzeptionellen Produktstruktur für das in der Kooperation zu entwickelnde Produkt.
- (5) Übersicht über vordefinierte Funktionsflussstrukturen für die in Sicht (2) dargestellten Produkt-Templates.
- (6) Auflistung der Anforderungen des in Sicht (4) (oder Sicht (3)) ausgewählten System-Elements. In dieser Sicht werden die Anforderungskategorien sowie die Einheiten entsprechend den in der Kooperation vertretenen kulturellen Systemen (Land) ausgewählt (z.B. Meter, Inch).
- (7) Übersicht über Funktionen, die mit dem in Sicht (4) (oder Sicht (3)) ausgewählten System-Element in Beziehung stehen. D. h. Auflistung der Funktionen, die von dem System-Teil realisiert bzw. kontrolliert werden bzw. für welches es Input oder Output Funktionsobjekt ist.
- (8) Auflistung der aufgrund der bisherigen Spezifikation als „essentiell“ markierten Konzepte.

In jeder Sicht kann über das Kontextmenü bzw. das „Erzeuge“-Symbol () die ggf. vordefinierte Struktur manipuliert werden. Dabei wird die darunterliegende Referenzontologie entsprechend verändert.

Der Aufbau der konzeptionellen Produktstruktur kann produktstrukturgetrieben oder funktionsgetrieben (siehe Abschnitt 5.4.1) erfolgen. Typischerweise beginnt die Spezifikation der konzeptionellen Produktstruktur gemäß des produktstrukturgetriebenen Ansatzes mit der Auswahl der entsprechenden Produkt-Klasse in der Produkt- und Service-Klassifikation

⁵⁶ Der UNSPC (United Nations Standard Products and Services Code, siehe <http://www.unspc.org>) stellt einen offenen und globalen Branchenübergreifenden Standard für die Klassifizierung von Produkten und Dienstleistungen (Services).

(Sicht (1)). Entsprechend dieser Auswahl werden die für diese Produkt-Klasse vordefinierten Produkt-Templates angezeigt (Sicht (2)).

Die Abbildung zwischen der Funktionsflussstruktur und dem (hierarchischen) Produktstruktur-Template erfolgt zunächst auf Basis des in Abschnitt 5.4.1.1 vorgestellten Algorithmus. Dies kann vom Anwender manuell nachbearbeitet werden.

Der Ingenieur kann nun basierend auf den Produkt-Templates oder der Teileklassifikation (Sicht (3)) die konzeptionelle Produktstruktur (Sicht (4)) aufbauen, indem er per „drag and drop“ die System-Elemente nach Sicht (4) zieht. Für ein in Sicht (2) bis (4) ausgewähltes System-Element werden die Anforderungen (Sicht (6)) sowie die in Beziehung stehenden Funktionen (Sicht (7)) angezeigt. Jedes System-Element kann (theoretisch) im Rahmen eines anderen Produktes unterschiedliche Funktionen haben. Sollte mehr als ein Produkt-Template für eine Produktklasse verfügbar sein, so muss angegeben werden, welches Template als „Referenz“ verwendet werden soll. Die Anzeige der Funktion erfolgt entsprechend des als „Referenz“ markierten Produkt-Templates.

Der funktionsgetriebene Ansatz beginnt mit der Festlegung der zu erfüllenden Funktion (Sicht (7)). Die Modellierung der Funktion erfolgt hierbei auf Basis der Funktionsverben. Im Rahmen dieser Arbeit (d. h. in der verwendeten Referenzontologie) wurden die Funktionsverben nach NIST verwendet, da diese im Gegensatz zum Ansatz von LANGLOTZ [Lang-00] nicht auf die Domäne Maschinenbau beschränkt sind. Über eine Suchfunktion kann nach (in Produkt-Templates verwendeten) System-Elementen gesucht werden, die die gewünschte Funktion erfüllen. Wie bereits mehrfach erwähnt, ist die Unterstützung des Konstruktionsprozesses keinesfalls Fokus der Arbeit, weshalb die bereitgestellten Funktionalitäten bzgl. der Unterstützung des Konstruktionsprozesses sehr rudimentär sind und vorrangig dem Ziel der Phase 1 des Systembaumusterplans genügen, die essentiellen Konzepte zu bestimmen.

6.2.3 Prozess- und Service-Sichten-Konfiguration (Phase 1b)

Die Prozess und Service-Sichten-Konfiguration (siehe Bild 6-6) unterstützt ebenso wie die Artefakt-Sichten-Konfiguration die Phase 1 des Systembaumusterplans, also die Spezifikation der essentiellen Konzepte. Hier werden die essentiellen Konzepte über die Spezifikation der gemeinsamen Kooperationsprozesse bestimmt. Die Festlegung gemeinsamer Prozesse muss in Rahmen jeder Kooperation erfolgen, sodass dieser Schritt keinen zusätzlichen Aufwand darstellt. Der Algorithmus zur Markierung eines Konzeptes als „essentiell“ wird durch den Benutzer angestoßen. Hierbei werden sowohl die Ergebnisse der Artefakt- und der Prozess-Sichten-Konfiguration einbezogen.

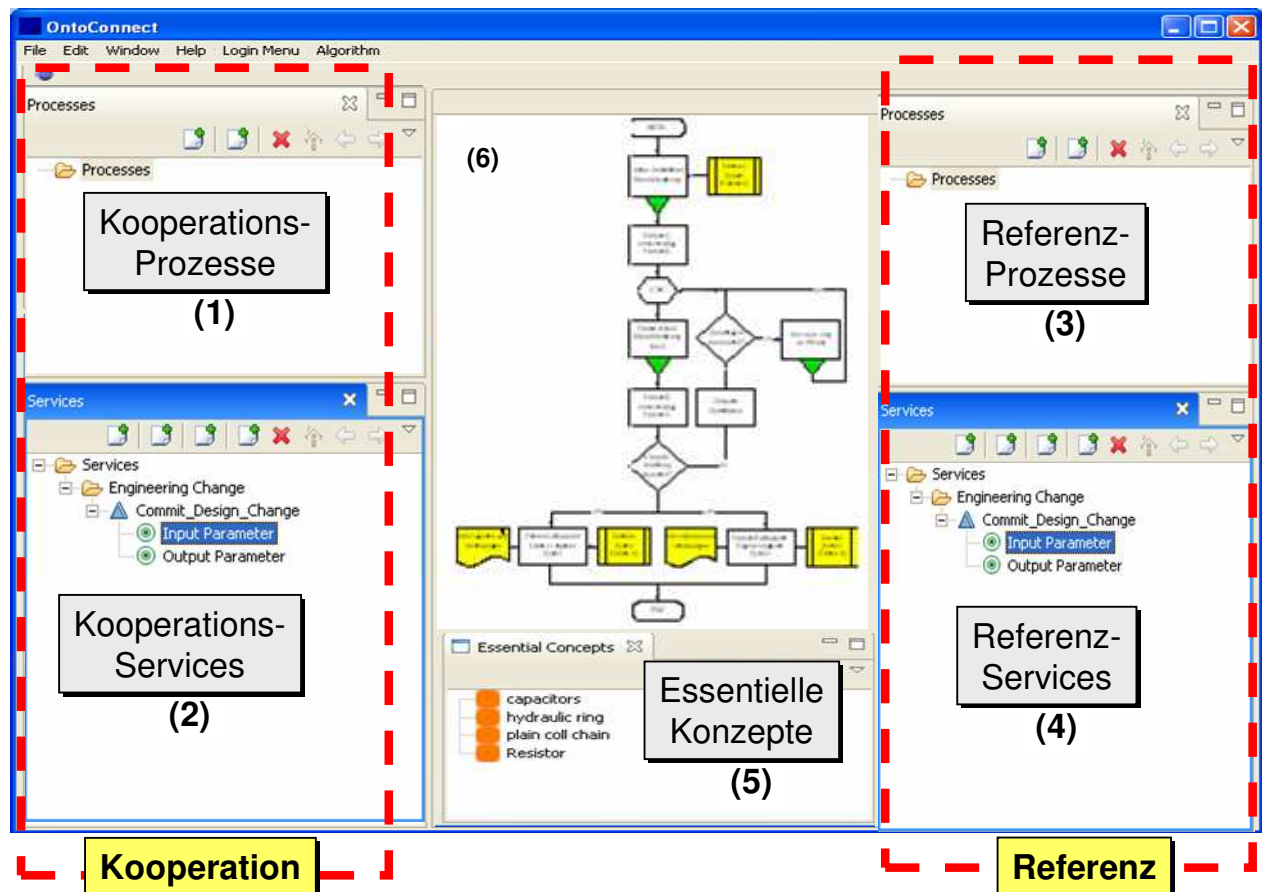


Bild 6-6: Prozess- und Service-Sichten-Konfiguration

Die Spezifikation der Prozesse und Dienste kann durch Verwendung von verfügbaren Werkzeugen erfolgen. Da es nicht Teil der Arbeit war, die Funktionalitäten eines bestehenden Werkzeugs nachzubilden, ist die Erstellung über OntoConnect nur auf ein Minimum reduziert.

In der Prozess- und Service-Sichten-Konfiguration stehen vier Sichten für die Spezifikation der Prozesse und Services zur Verfügung: Kooperations-Prozesse (1), Kooperations-Services (2), Referenz-Prozesse (3) und Referenz-Services (4). Sicht (5) zeigt die Konzepte, die aufgrund der bisherigen Aktionen in der Phase 1 als essentiell markiert sind. Stehen keine Referenzprozesse zur Verfügung, so wird in Sicht (3) nichts angezeigt und die Spezifikation der Kooperations-Prozesse muss vollständig manuell erfolgen. Zur Erleichterung der Navigation können Prozesse in Kategorien (z. B. Änderungsprozesse) eingeordnet werden. Die Einteilung in Prozess-Kategorien wird weder von BPEL- noch von BPMN-Standards unterstützt. Deshalb sind die Kategorien vom Anwender manuell anzulegen und die Prozesse entsprechend zuzuordnen. Ist dies nicht gewünscht, so können die Prozesse auch ohne Kategorie angelegt werden.

Die Prozess-Sicht erlaubt dem Anwender, durch die Prozess-Kategorien (falls vorhanden) zu den einzelnen Prozess-Spezifikationen zu navigieren. Die Darstellung der Prozesse basiert auf dem BPEL-Metamodell. Die GUI orientiert sich hierbei an der Repräsentation in existieren-

den Werkzeugen zur BPEL-Bearbeitung (z. B. Eclipse BPEL-Designer). Für jeden Prozess werden neben den durchzuführenden Aktivitäten auch die beteiligten Rollen und die im Prozessablauf benötigten Services angezeigt. In der Kooperations-Sicht kann angegeben werden, welcher Partner und welche (externe) Anwendung den jeweiligen Service zur Verfügung stellt. Die Referenz-Prozesse können per „drag-and-drop“ von Sicht (3) nach Sicht (1) verschoben werden. Hier können sie dann entsprechend angepasst werden.

Ähnlich wie bei den Prozessen besteht auch bei den Services die Möglichkeit diese über Kategorien zu strukturieren. Neben dem Service-Namen werden in der Service-Sicht (Sicht (2) bzw. Sicht (4)) die Input- und Output-Parameter angezeigt. Diese Parameter sind Konzepte (in der Regel Artefakte) der Referenzontologie.

Beim Anlegen neuer Services kann der Anwender die entsprechenden Konzepte (Artefakte) für die Spezifikation des Input und Output aus dem Ontologie-Dialog (siehe Bild 6-7) auswählen. Das Anlegen eines neuen Service wird in der Regel nicht vom Ingenieur, sondern vom IT-Experten durchgeführt.

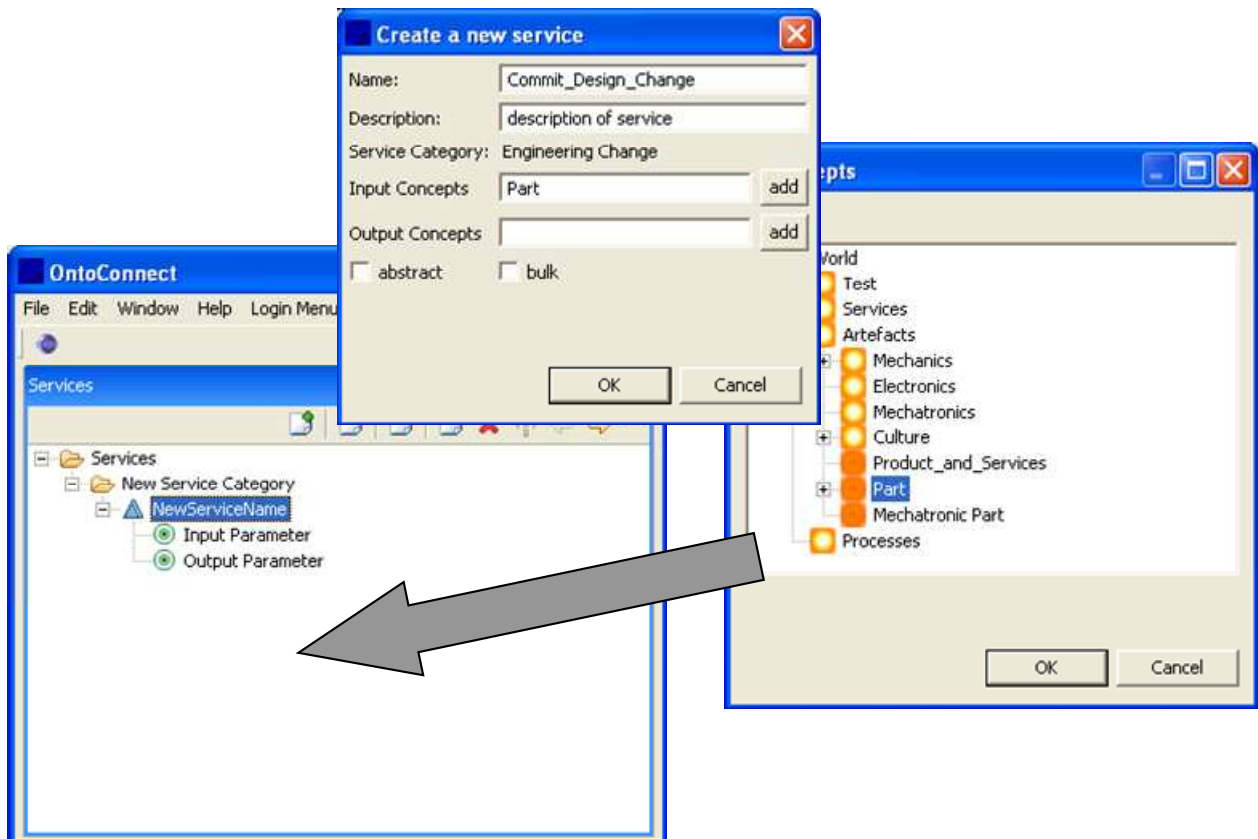


Bild 6-7: Service Sicht (links) und Dialoge zum Anlegen von Services (Mitte) und Auswahl der Konzepte als Input/Output der Services (rechts)

Zur Bestimmung essentieller Konzepte auf Basis der Prozessspezifikation (siehe Abschnitt 5.4.2) wird die „Prozess- und Service“-Sichten-Konfiguration (siehe Abschnitt 6.2.3) verwen-

det. Im beschriebenen Anwendungsbeispiel (siehe Abschnitt 5.4.2.2) wird der Referenzprozess zur Modifikation des PCB-Boards in den ECAD- und MCAD-Systemen modifiziert.

Der System-Ingenieur wählt in der Prozess-Übersicht zunächst die Prozess-Kategorie „Engineering Change“ (Konstruktionsänderung) aus. Danach selektiert er den Prozess „ECAD-MCAD-Collaboration“ und übernimmt ihn in die „Kooperations-Prozesse“. Sollte die Prozess-Kategorie noch nicht existieren, wird sie angelegt. Da der Prozess ein Unterprozess des generischen Engineering-Change-Prozesses ist, wird der Benutzer (Systemingenieur) gefragt, ob er den (die) übergeordneten Referenz-Prozess(e) auch als Kooperationsprozess übernehmen möchte. Der Systemingenieur führt die Anpassung des Referenzprozesses durch (Änderung der Prozess-Ablaufreihenfolge) und aktualisiert die Menge der essentiellen Konzepte.

6.2.4 Setup-Sichten-Konfiguration (Phase 1d und 2)

Die Setup-Sichten-Konfiguration (siehe Bild 6-8) unterstützt die automatisierte Bestimmung der Kooperationsontologie, basierend auf einer Menge als essentiell markierter Konzepte der Referenzontologie (Phase 2 des Systembaumusterplans, siehe Abschnitt 5.5). Die Menge der essentiellen Konzepte kann in dieser Sichten-Konfiguration zunächst manuell verändert werden, indem Konzepte manuell hinzugefügt bzw. entfernt werden (Phase 1d des Systembaumusterplans). Da die Artefakt- bzw. Prozess- und Service-Sichten-Konfiguration die darunterliegende Ontologie für den Domänen-Experten (Maschinenbau- bzw. Elektronik-Ingenieur) verbergen soll, erfolgt die manuelle Nachbearbeitung der Menge der essentiellen Konzepte erst in dieser Sichten-Konfiguration.

Die Sichten-Konfiguration enthält Sichten zur grafischen und strukturellen Darstellung der Referenz- und Kooperationsontologie (Sichten (1), (2) und (3)) inklusive Details zu ausgewählten Konzepten (Sichten (4), (5) und (6)). Weiterhin gibt es mehrere Sichten zur Anzeige von Zwischenergebnissen des Algorithmus zur automatisierten Bestimmung der Kooperationsontologie (Sichten (7),(8) und (9)).

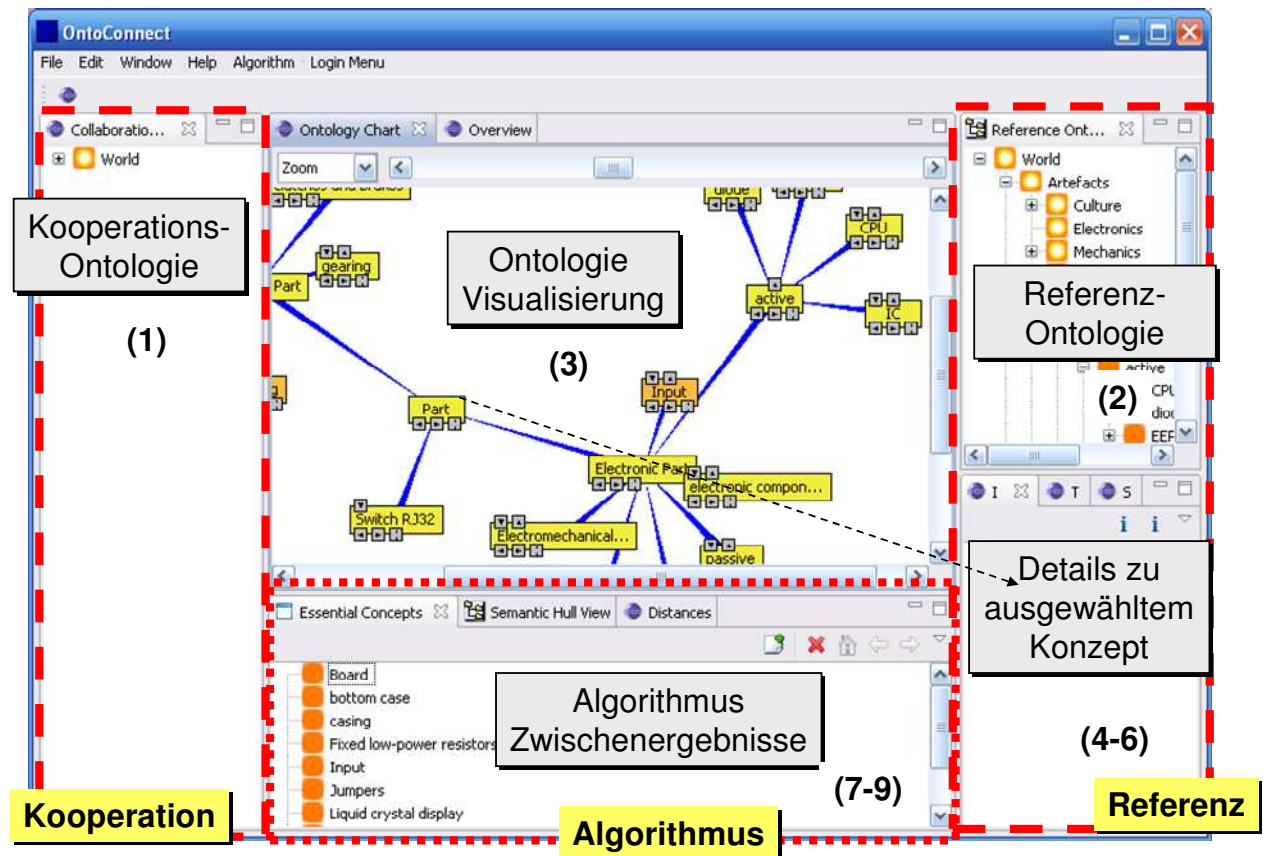


Bild 6-8: Setup-Sichten-Konfiguration

Es gibt jeweils eine Sicht zur Darstellung der Referenz- (Sicht (2)) bzw. Kooperations-Ontologie (Sicht (1)). In diesen Sichten werden die Domänen und die darin enthaltenen Konzepte gezeigt. Die Navigation der Konzepte ist entsprechend der Hierarchiebeziehung, d. h. ein Konzept wird in der ersten Ebene in seiner Domäne dargestellt, wenn sein Ober-Konzept in einer anderen Domäne liegt oder kein Ober-Konzept definiert wurde. Im Gegensatz zu einer Listendarstellung erhält man auf diese Weise eine strukturierte Sicht der einzelnen Domänen, wobei die in der Ontologie verwendeten Klassifizierungen (z. B. Funktionsverb, Produkt und Service, System-Element) durch diese Darstellung weiterhin sichtbar sind.

Das Ontologie-Diagramm (Sicht (2)) ermöglicht eine Visualisierung der Ontologie mittels eines Touch-Graphs⁵⁷ (siehe Bild 6-9). Hierbei wurde eine Open-Source-Implementierung⁵⁸ als Grundlage verwendet, die von der Abteilung Wissensmanagement (WIM) am Forschungszentrum Informatik (FZI) in Karlsruhe entwickelt wurde. Die Hierarchiebeziehung wird durch eine in Richtung Oberkonzept verjüngende Kante dargestellt (z. B. Kanten zwischen dem Konzept „electronic component“ und dessen Unterkonzepten „Diodes“, „Oscillators“ etc. An-

⁵⁷ Ein Touch-Graph dient zur Visualisierung (komplexer) Netzstrukturen, die es erlaubt selektiv Knoten einzublenden. Die neu eingblendeten Knoten positionieren sich automatisch so, dass sie keine der bisher eingblendeten Knoten überdecken.

⁵⁸ <http://www.fzi.de/wim/publikationen.php?id=1172>

dere Relationstypen zwischen Konzepten werden als Pfeile dargestellt. Hierzu wurde die bestehende Open-Source-Implementierung erweitert.

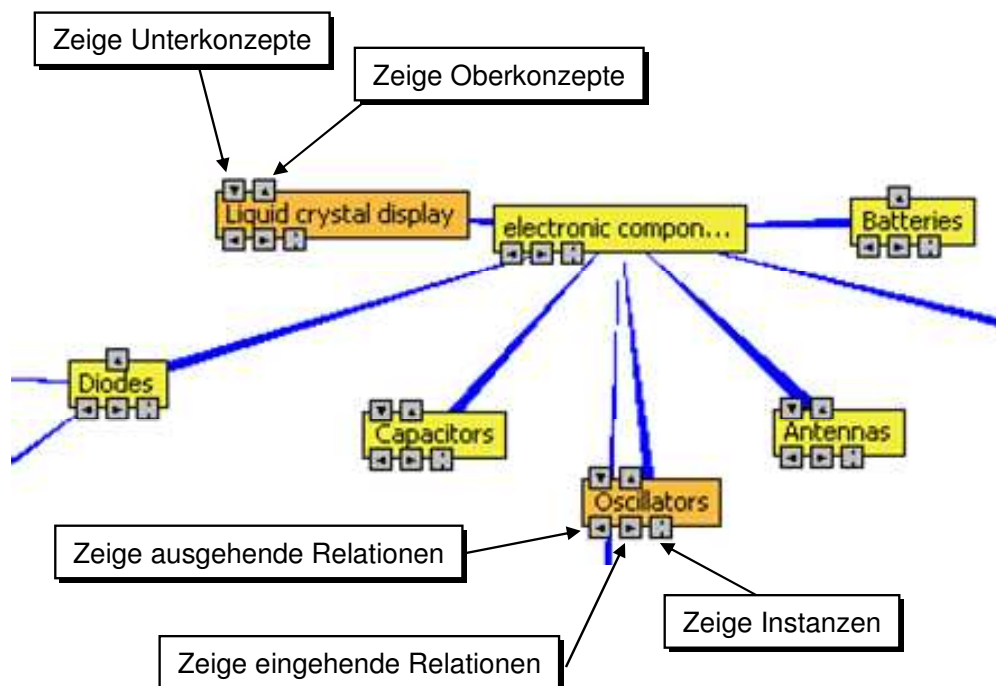


Bild 6-9: Visualisierung einer Ontologie mittels TouchGraph

Jeder Konzept-Knoten im Graph besitzt Knöpfe, um dessen Unter- und Oberkonzepte sowie die über ein- bzw. ausgehende Relationen verbundene Konzepte angezeigt werden können. Weiterhin besteht die Möglichkeit die zu einem Konzept in einer Datenquelle vorhandenen Instanzdaten anzuzeigen. Durch entsprechende Einfärbung der Konzept-Knoten kann die Menge der essentiellen Konzepte visualisiert werden. Im dargestellten Beispiel sind „Oscillators“ und „Liquid crystal display“ als relevant markiert.

Die Sichten 4-6 zeigen die Beschreibung (Sicht (4)), Synonyme (Sicht (6)) sowie kulturspezifische Semantik (Sicht (5)) bzgl. der in der Kooperation vorhandenen kulturellen Systeme. Ein Konzept kann bzgl. unterschiedlicher kultureller Systeme jeweils eine andere Bedeutung haben. Die Beschreibung (Semantik) des Konzeptes wird bzgl. des in Phase 0 ausgewählten kulturellen Referenz-Systems dargestellt. Die von dieser Semantik abweichende Beschreibung wird in Sicht (5) dargestellt. Das Konzept „released“ (bzw. freigegeben) kann auf diese Weise im Kontext der kulturellen Systeme Deutschland (kulturelles Referenz-System), USA und China definiert werden. Sollte es keine kulturell bedingte abweichende Beschreibung für ein Konzept geben, enthält diese Sicht lediglich die verfügbaren Übersetzungen. Es besteht auch die Möglichkeit, die Beschreibung in der jeweiligen Sprache des kulturellen Systems darzustellen. Dies wurde allerdings in dieser Version nicht realisiert. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die unterschiedliche Terminologie innerhalb verschiedener Domänen zu visualisieren. Das Konzept „System-Element“ entspricht dem Begriff „Part“ in der Domäne Maschinenbau, „Component“ in der Domäne Elektronik und „Module“ in der Domäne Software (Sicht (6)). Im Werkzeug kann die Domänen-Sicht und das kulturelle System eingestellt wer-

den. Auf diese Weise können in der Ausführungsphase die Instanzdaten entsprechend der entsprechenden Terminologie dargestellt werden.

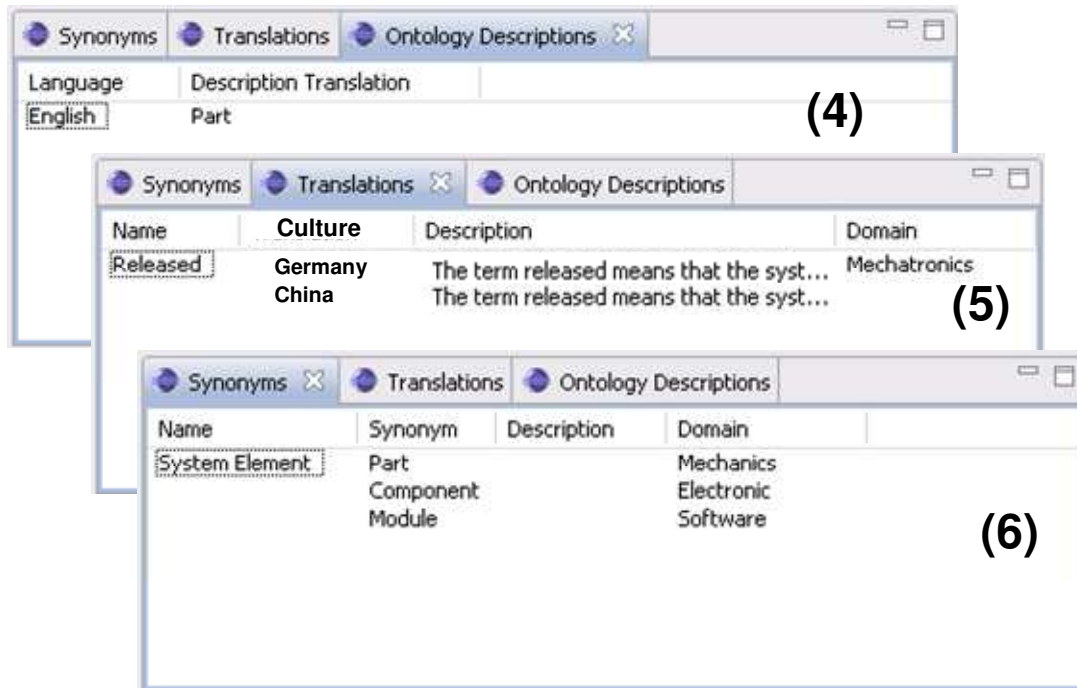


Bild 6-10: Sichten (4)-(6) zur kulturabhängigen Beschreibung der Konzepte System Element und released

In den Sichten 7-9 (siehe Bild 6-11) werden Zwischenergebnisse für den Algorithmus zur automatisierten Ableitung der zusammenhängenden Kooperationsontologie dargestellt. Ausgehend von der initialen Menge der essentiellen Konzepte (Sicht (7)) werden die semantischen Hüllen berechnet (Sicht (8), siehe Abschnitt 4.4.3.1) und entsprechend deren semantischen Abständen vereinigt (siehe Abschnitt 5.5). Sollten nach Abschluss des automatisierten Schrittes nicht alle semantischen Hüllen vereinigt sein, können die semantischen Hüllen entsprechend der Abstandswerte (Sicht (8)) manuell verbunden werden (siehe Abschnitt 5.5). Die Elemente der semantischen Hüllen können entsprechend den als essentiell markierten Konzepten im Ontologie-Diagramm eingefärbt werden, sodass der Ablauf des Algorithmus visuell nachvollzogen werden kann. Die Elemente der semantischen Hüllen werden in die Menge der essentiellen Konzepte übernommen, sodass nach Abschluss des Verfahrens die Menge der essentiellen Konzepte gleich der Kooperationsontologie ist.

Die initiale Menge der essentiellen Konzepte (abgeleitet aus der Artefakt- Prozess- Spezifikation bzw. Textanalyse) kann vom Anwender manipuliert werden (letzter Schritt der Phase 1 des Systembaumusterplans), indem Konzepte entfernt bzw. hinzugefügt werden. Das Hinzufügen von in Sicht (3) ausgewählten Konzepten in die Menge der essentiellen Konzepte kann entweder über „drag-and drop“ oder das Kontextmenu erfolgen. Sollten keine Konzepte auf Basis der Schritte 1a, 1b oder 1c markiert sein, so kann die Definition der essentiellen Konzepte manuell erfolgen.

Bild 6-11 zeigt die Menge der essentiellen Konzepte vor und nach der Durchführung der Phase 2 des Anwendungsbeispiels. Im Gegensatz zur Phase 1 wird diese Phase von einem Modellierungsexperten begleitet, der die erforderliche manuelle Überarbeitung des Modells übernimmt.

Nun werden die Zusammenhangskomponenten in der Menge der essentiellen Konzepte bestimmt und deren semantische Hüllen berechnet. Anschließend wird der semantische Abstand zwischen den Hüllen berechnet. Die semantischen Hüllen sowie deren Abstandswerte sind ebenfalls in Bild 6-11 dargestellt. Es wurden acht semantische Hüllen identifiziert.

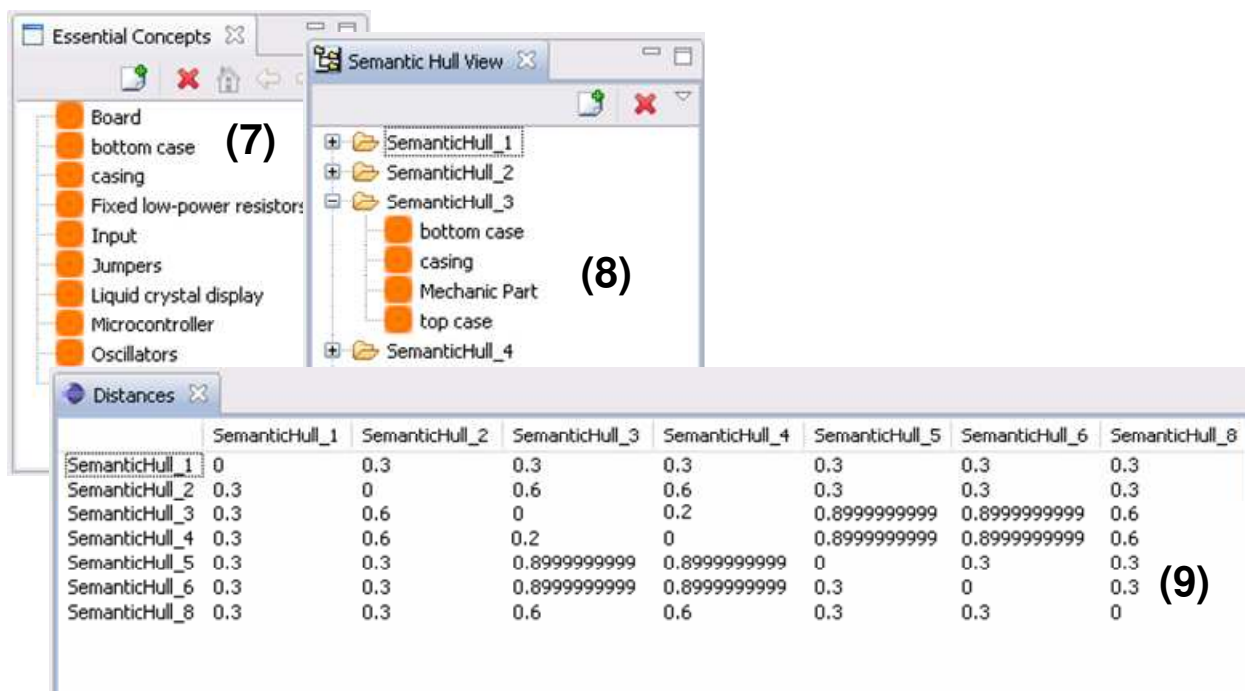


Bild 6-11: Semantische Hüllen und deren semantischer Abstand

Im letzten automatisierten Schritt werden die semantischen Hüllen mit einem Abstand kleiner $x = 0,01$ sowie die semantischen Hüllen mit einem Abstand $x < v < y$ über deren kürzesten Weg verbunden. Da die Grenze y der Standardeinstellung entspricht und die Referenzontologie zusammenhängend ist, konnten in diesem Schritt alle semantischen Hüllen verbunden werden. Das Ergebnis ist also eine semantische Hülle, die Kooperationsontologie. Sollten nach Abschluss des Verfahrens mehrere semantische Hüllen übrig bleiben (Referenzontologie nicht verbunden), so müssen diese vom Modellierungsexperten manuell verbunden werden. Hierzu muss er neue Ontologierelationen (und ggf. Konzepte) einfügen.

6.2.5 Transformations-Sichten-Konfiguration (Phase 3)

Die Transformations-Sichten-Konfiguration (siehe Bild 6-12) unterstützt die Transformation in Standardrepräsentation (siehe Abschnitte 5.6 und 5.7). Da die Transformation der Prozesse- und Services automatisch über ein Menü erfolgt, gibt es hierfür keine spezifischen Sichten in

der Sichten-Konfiguration. Die Sichten-Konfiguration unterstützt somit vorrangig die Ableitung des Kooperationsdatenmodells aus der Kooperationsontologie (Phase 3a). Bei dieser Transformation werden die Artefakte des anwendungsorientierten semantischen Modells (Kooperations-Ontologie) in das implementierungsorientierte Modell (Kooperations-Datenmodell) überführt.

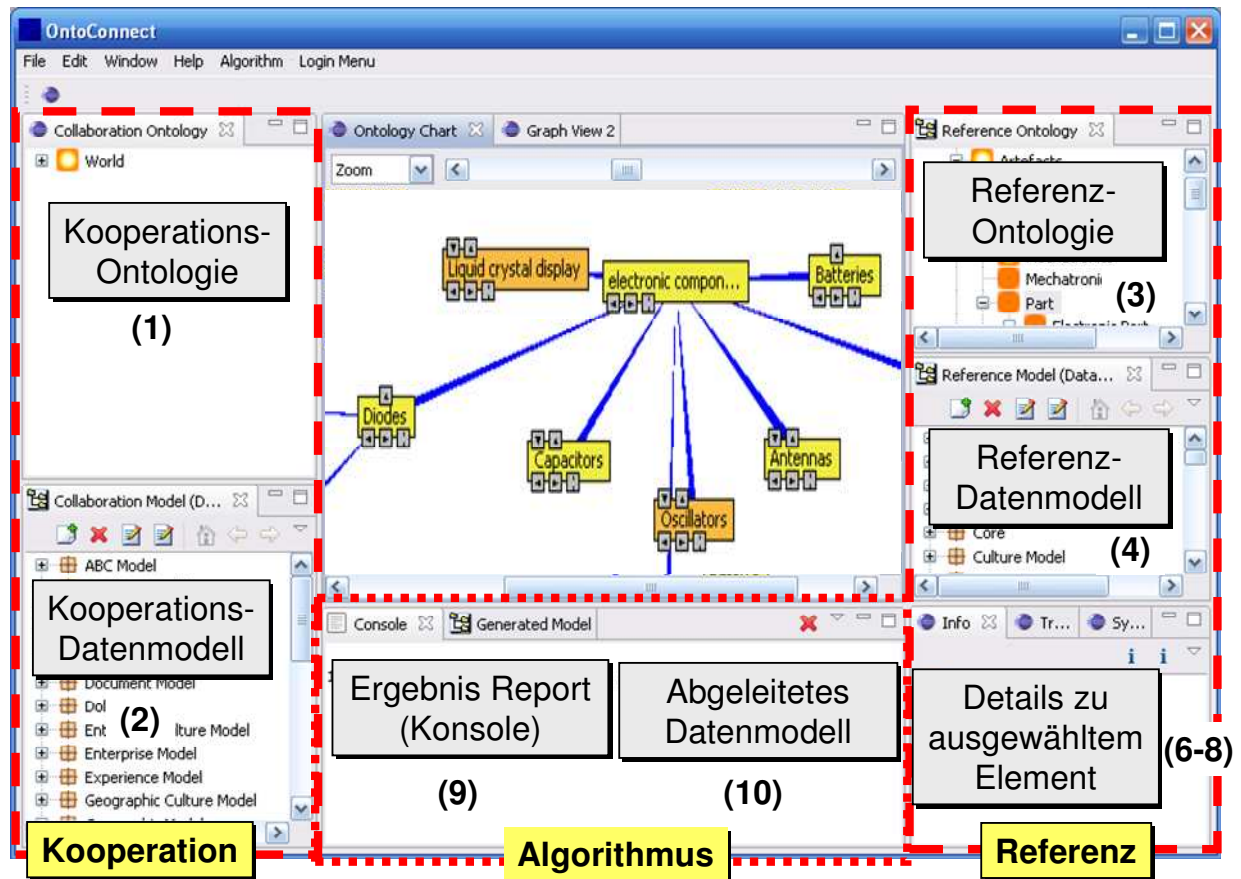


Bild 6-12: Transformations-Sichten-Konfiguration

Die Sichten-Konfiguration enthält Sichten zur Darstellung der Referenz- (Sicht (3)) und Kooperationsontologie (Sicht (1)) sowie des Kooperationsdatenmodells (Sicht (2)). Gemäß dem Systembaumusterplan kann optional ein Referenzdatenmodell vorhanden sein. Dementsprechend ist Sicht 4 zur Darstellung des Referenzdatenmodells optional. Des Weiteren enthält die Sichten-Konfiguration das Ontologie-Diagramm (Sicht 5) zur Visualisierung der Ontologie und Instanzdaten. Die Sichten (6), (7) und (8) erlauben die Darstellung von Details zu dem ausgewählten Element wie im vorherigen Abschnitt beschrieben. Hierbei kann es sich um ein Konzept, ein Datenmodellelement oder eine Instanz handeln. Ist das ausgewählte Element kein Ontologie-Element, so werden in den Sichten „Kultur“ und „Synonym“ die Angaben zu dem zugehörigen Ontologie-Element dargestellt.

Die Sichten (9) und (10) erlauben die Visualisierung des Ergebnisses der Algorithmen zur Bestimmung des Kooperationsdatenmodells, wobei je nach Ausgangssituation (Existenz eines Referenzdatenmodells) ein anderer Algorithmus zum Einsatz kommt. Sicht 10 zeigt die vom

Algorithmus generierten Datenmodell-Elemente und Sicht (9) zeigt in Form von Konsolen-Ausgaben Auswertungen des Algorithmus, wie z. B. Anzahl erzeugter Modell-Elemente, Anzahl (unverbundener) Teildatenmodelle etc.

Die Datenmodell-Sicht (Sichten (2), (4) und (5) siehe Bild 6-13) orientiert sich an der Darstellung im ice.NET-Studio. Es werden die Packages sowie die darin enthaltenen Modellelemente (Objekttypen, Attributtypen und Relationstypen) angezeigt. Zu jedem Modellelement wird zusätzlich dessen semantische Interpretation bzgl. der Ontologie (Konzept, Ontologie-Relationstyp) angezeigt. Die semantische Interpretation kann sich hierbei auf das Konzept oder (über Bedingungen an Attributwerte der konkreten Instanz) auf dessen Subkonzepte beziehen. Beispielsweise entspricht der Objekttyp „Part“ dem Konzept „Part“. Ein Objekt der Klasse Part wird semantisch als eine Instanz des Sub-Konzepts (z. B. „Screw“) interpretiert, falls im Attribut „Type“ der Name des Subkonzepts oder eine mögliche Übersetzung (z. B. „Schraube“) bzw. Synonym steht. Die semantischen Interpretationen können manuell definiert oder im Verlauf des Algorithmus abgeleitet werden. Existiert ein Referenzdatenmodell, so sind die semantischen Interpretationen zwischen den Referenzontologie- und Referenzdatenmodell-Elementen manuell zu definieren. Über zusätzliche Dialoge können Datenmodellelemente angelegt, gelöscht oder bearbeitet werden. Der Aufruf der Dialoge kann über das Kontextmenü oder Symbole in der Menüleiste erfolgen.

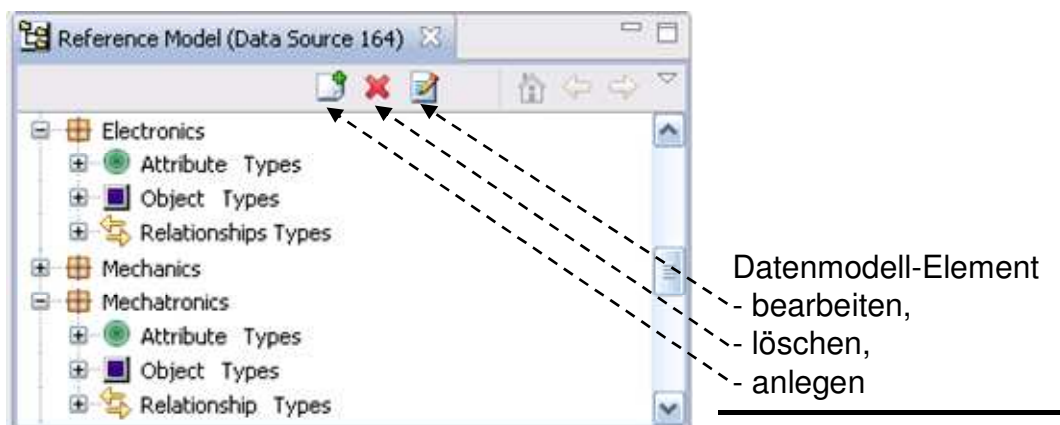


Bild 6-13: Sicht zur Darstellung von Datenmodellelementen

Zur Realisierung der automatisierten direkten Ableitung der Datenmodellelemente („ohne Referenzdatenmodell“) aus der Kooperationsontologie sind vom Anwender verschiedene Einstellungen vorzunehmen (siehe Abschnitt 5.6.1), wie die Ontologie-Elemente im Datenmodell repräsentiert werden sollen:

- Das Konzept *c* wird als Objekttyp *o* repräsentiert.
- Das Konzept *c* wird als Objekttyp *o* repräsentiert, wobei die Unterkonzepte keine Entsprechungen als Objekttypen im Datenmodell besitzen. Die Instanzen dieses Konzepts sind Instanzen des Objekttyps *o* mit dem entsprechenden Attributwert. Diese Einstellung kann rekursiv sein.

- Das Konzept c wird als Attributwert des Oberkonzeptes realisiert, das in der Vererbungshierarchie am nächsten bei c ist und als Objekttyp repräsentiert wird.
- Die Ontologie-Relation r wird als Relationstyp repräsentiert.
- Die Ontologie-Relation r wird als Objekttyp repräsentiert.

Diese Einstellung kann über einen Dialog („Edit Concept“ bzw. „Edit OntoRelation“) gesteuert werden. Erfolgt diese Einstellung in der Referenzontologie, so wird diese bei der Ableitung der Kooperationsontologie (Phase 2) beibehalten, kann aber in der Kooperationsontologie überschrieben werden. Auf diese Weise können bewährte Einstellungen für weitere Kooperationen wiederverwendet werden. Diese Einstellungen werden in einer separaten Datei gespeichert, sodass es für eine Referenzontologie verschiedene Einstellungen geben kann.

Die Ableitung des Kooperations-Datenmodells erfolgt im Anwendungsbeispiel direkt aus der Kooperationsontologie (ohne Referenzdatenmodell). Der Anwender (z. B. Systemingenieur) startet den Algorithmus zur Bestimmung des Kooperationsdatenmodells über das Hauptmenü (siehe Abschnitt 6.1.3). Der Modellierungsexperte kontrolliert mit Hilfe der Datenmodell-Sicht das abgeleitete Kooperations-Datenmodell. Da das Modell auf einer ice.NET-Instanz erzeugt wurde, kann alternativ ice.NET-Studio verwendet werden, um eine UML basierte Repräsentation des erzeugten Modells zu erhalten.

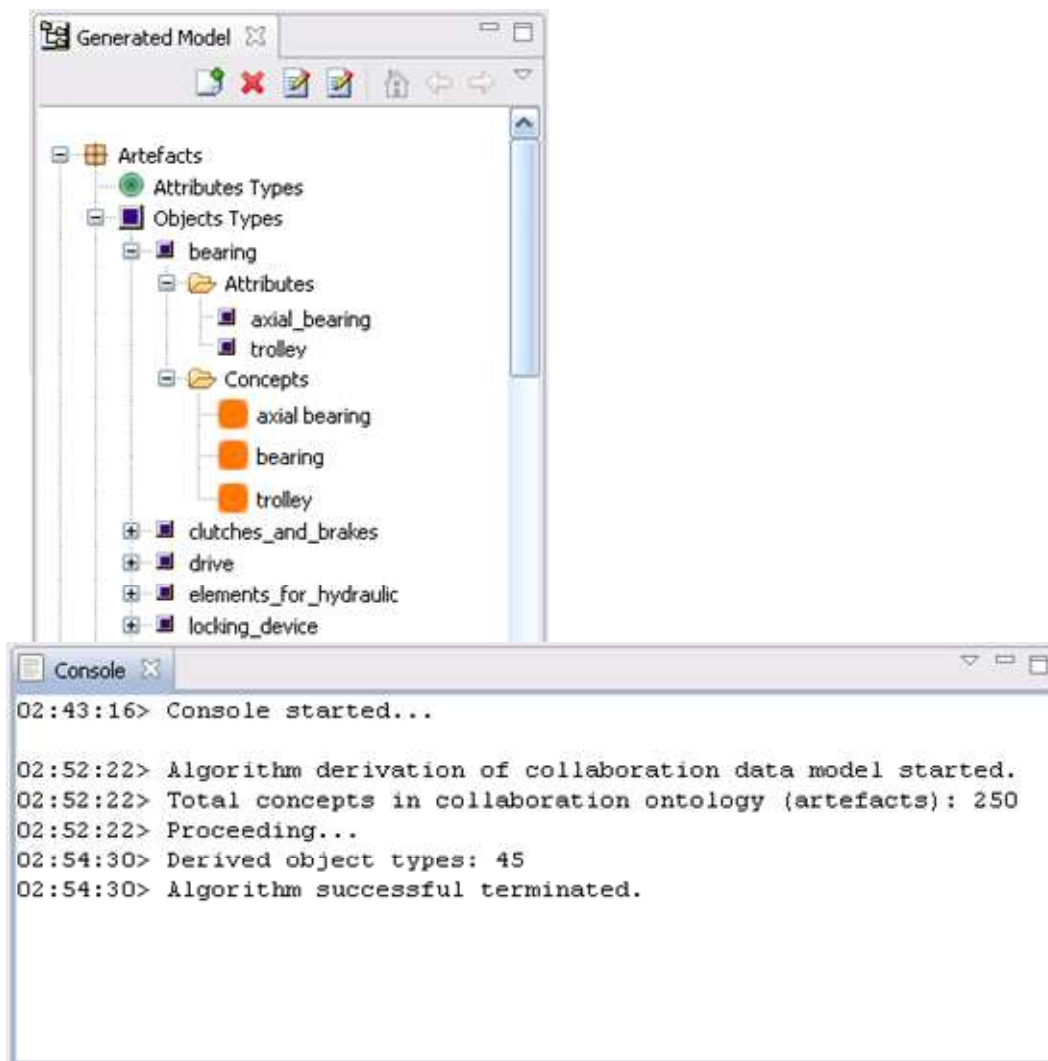


Bild 6-14: Darstellung des abgeleiteten Kooperationsdatenmodells und Konsole-Ausgabe im Softwarewerkzeug OntoConnect

Der Systemingenieur speichert über die Export-Option des Softwarewerkzeugs die WSDL-basierte BPEL-Repräsentation sowie die Service-Spezifikation.

6.2.6 Integrations-Sichten-Konfiguration (Phase 4 + 5)

Die Integrations-Sichten-Konfiguration (Bild 6-15) unterstützt Phasen 4 und 5 des Systembaumusterplans. Hierbei werden (semi-)automatisiert Abbildungsregeln zwischen dem Kooperationsdatenmodell und dem Datenmodell des zu integrierenden externen Systems abgeleitet, wobei bestehende Algorithmen verwendet werden (siehe Abschnitt 3.5, Anhang C). Auf Basis der Abbildungsregeln wird eine Analyse der externen Datenquelle durchgeführt. Hierbei wird u. a. der semantische Überdeckungsgrad der externen Datenquelle mit der Kooperationsinstanz bestimmt und auf Basis der Analyse eine Integrationsvariante (siehe Abschnitt

5.9) vorgeschlagen. Die Instanzdaten und das Datenmodell der externen Datenquelle können über die definierte XML-Schnittstelle auf eine ice.NET-Server-Instanz importiert werden. Auf diese Instanz kann dann von OntoConnect aus über Webservices zugegriffen werden. Die Integrations-Sichten-Konfiguration enthält Sichten (siehe Bild 6-15) zur Darstellung der Modell- und Instanzdaten bzgl. der Kooperation und des zu integrierenden externen Systems (Phase 4) sowie die Ergebnisse der Analyse zur Auswahl der Integrationsvariante (Phase 5).

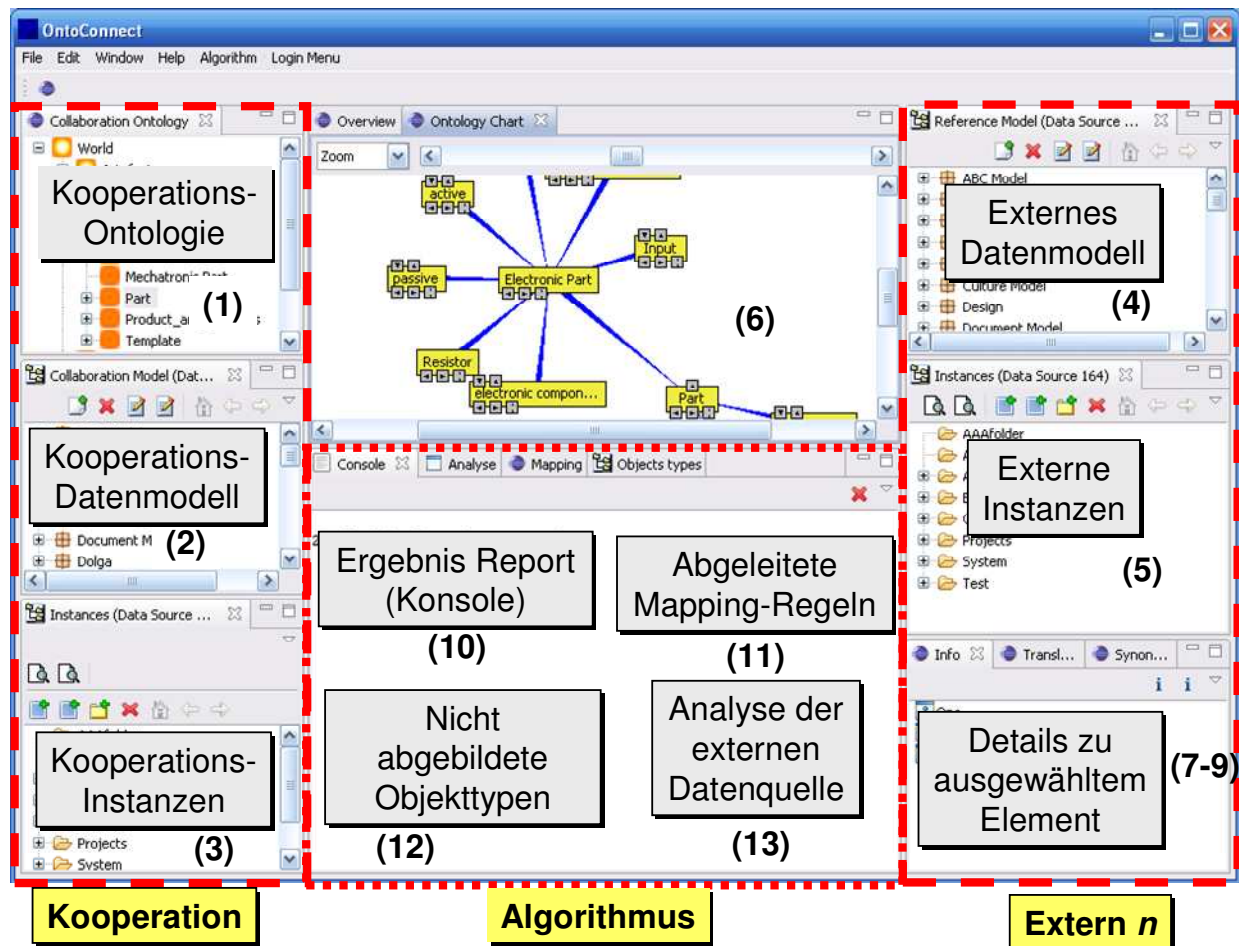


Bild 6-15: Integrations-Sichten-Konfiguration

6.2.6.1 Unterstützung der Phase 4

Die Sichten zur Darstellung der Instanzdaten (siehe Bild 6-16) können ausgeblendet werden, falls in der Setup-Phase nicht auf Instanzdaten zugegriffen werden kann. Die entsprechende Sicht ist ebenfalls angelehnt an die Darstellung in ice.NET-Studio. Neben den Attributen der Instanzen wird allerdings noch das zugehörige Konzept angezeigt. Die Anzeige in den Sichten „Interpretation (bzw. Übersetzung) bezüglich kooperationsrelevanter kultureller Systeme“ (Sicht (8)) und „Synonyme“ (Sicht (9)) wird entsprechend dem zugeordneten Konzept angepasst.

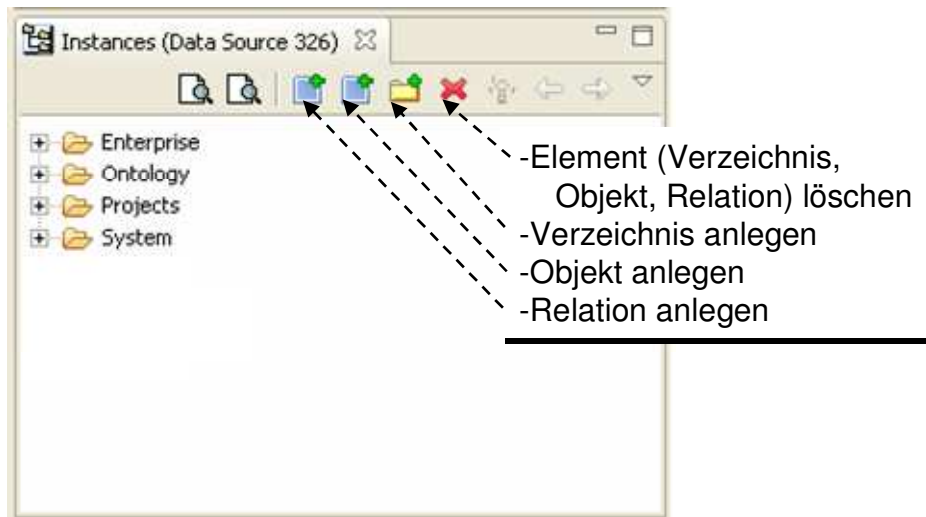
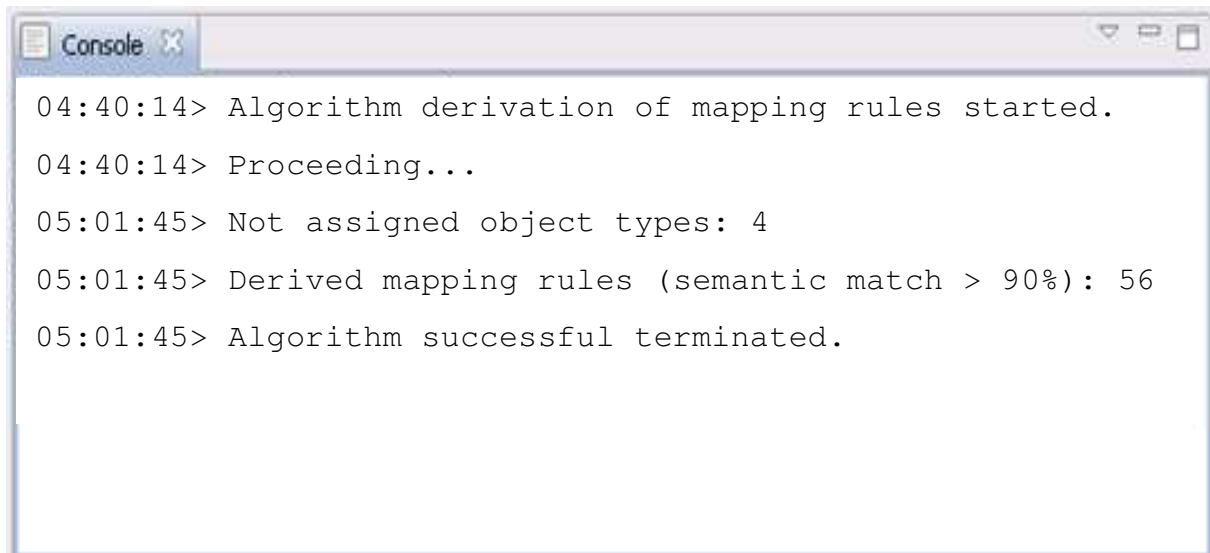


Bild 6-16: Sicht zur Darstellung der Instanzdaten

Über die Konsole (Sicht (10)) können Ergebnisse des Algorithmus zur Bestimmung der Mapping-Regeln sowie des Analyse-Algorithmus ausgegeben werden (siehe Bild 6-17). Der Ergebnisreport enthält eine Übersicht über die generierten Regeln und Objekttypen des externen Systems, die (bisher) noch nicht auf das Kooperationsmodell abgebildet wurden. Dies kann folgende Ursachen haben:

- Die Instanzdaten dieser Objekttypen sind für die Kooperation nicht relevant. Dies erfordert keine weiteren Aktivitäten und die Objekttypen können aus der Sicht (12) entfernt werden.
- Der verwendete Algorithmus zur Ableitung der Mapping-Regeln konnte die semantische Ähnlichkeit nicht herausfinden. Hier muss der Anwender die Abbildungsregeln manuell spezifizieren.
- Das Kooperationsdatenmodell (und die Kooperationsontologie) enthält nicht alle relevante Elemente. In diesem Fall ist die Kooperationsontologie und das Kooperationsdatenmodell anzupassen und die Mapping-Regeln sind in einem weiteren Durchlauf des Algorithmus zu bestimmen.

Im Rahmen des Anwendungsbeispiels wird von CAD/CAM das PDM-System MATRIX verwendet, das selbst eine Integration zum MCAD-System CATIA V5 besitzt. Das (reduzierte) Modell von MATRIX wird über die ice.NET-XML-Schnittstelle in die entsprechende ice.NET-Instanz importiert und mittels OntoConnect angezeigt. Der Modellierungsexperte spezifiziert unter Anleitung des Domänenexperten (hier: Maschinenbau-Ingenieur von CAD/CAM) die semantische Interpretation einiger Elemente des zu integrierenden Systems bzgl. der Kooperationsontologie (siehe Abschnitt 5.8.1). Anschließend wird das Verfahren vom Modellierungsexperten gestartet. Sollten Beispieldaten in der externen Instanz vorhanden sein, so können diese (je nach Verfahren) bei der Erzeugung der Mapping-Regeln verwendet werden.



```
04:40:14> Algorithm derivation of mapping rules started.
04:40:14> Proceeding...
05:01:45> Not assigned object types: 4
05:01:45> Derived mapping rules (semantic match > 90%): 56
05:01:45> Algorithm successful terminated.
```

Bild 6-17: Darstellung der Ergebnisse des Verfahrens zur Bestimmung der Mapping-Regeln durch OntoConnect

Für die nicht abgebildeten Objekttypen muss nun manuell entschieden werden, ob sie für die Kooperation relevant sind. Ist dies der Fall, so ist manuell eine Mapping-Regel zu definieren. Hierzu wird das entsprechende Konzept im anwenderorientierten Modell (Kooperationsontologie) bestimmt. Dies kann durch den Maschinenbau-Ingenieur erfolgen, da er Experte in der Domäne ist. Basierend auf dem Konzept wird der Objekttyp gesucht, der für die Repräsentation auf Implementierungsebene zuständig ist. Sollte kein passendes Konzept existieren, so wird die Referenzontologie durchsucht und diese ggf. erweitert. Anschließend wird die Kooperationsontologie sowie das Kooperationsdatenmodell aktualisiert, sodass die Mapping-Regeln spezifiziert werden können. Im finalen Schritt der Phase überprüft der Modellierungsexperte zusammen mit dem Domänenexperten (hier: Maschinenbauingenieur), ob die gefundenen Mapping-Regeln korrekt sind.

6.2.6.2 Unterstützung der Phase 5

Das Ergebnis der Analyse des externen Systems in Bezug auf den geeigneten Integrationsgrad (Phase 5 des Systembaumusterplans) wird in Sicht 13 dargestellt. Für Test- und Validierungszwecke können die Daten des externen Systems auf die Kooperationsinstanz übertragen und dadurch eine integrierte Sicht aufgebaut werden.

Das Software-Werkzeug nutzt zwar Instanzen von ice.NET, um die Modell- und Instanzdaten der verschiedenen Systeme zu repräsentieren (siehe Bild 6-18), die gewonnenen Ergebnisse (Kooperationsontologie, Kooperationsdatenmodell, BPEL-Repräsentation der Workflows) sind jedoch unabhängig von der zu verwendenden EAI-Technologie.

Bei der Verwendung des (ice.NET-basierten) Baukastens kann der Übergang von der Setup- in die Ausführungsphase kontinuierlich erfolgen, indem die von der externen Datenquelle zu importierenden Daten über den Proxy-Webservice der Kooperationsinstanz registriert werden.

D. h. die Daten werden nicht direkt in die Kooperationsinstanz von ice.NET übertragen, sondern es wird für jedes Objekt im externen System ein Proxy-Objekt in der Kooperationsinstanz angelegt. Sollten sich nun die Daten der Objekte zur Laufzeit verändern, so wird dies in der integrierten Sicht sichtbar. Die verwendeten Instanzen (Kooperationsinstanz, Instanz der externen Systeme) können nun gleich in der Implementierungsphase verwendet werden. Jede ice.NET-Instanz spielt in diesem Fall (in der Referenzimplementierung) die Rolle des Single-Datenquelle-Management-Bausteins, wobei bei der Kooperationsinstanz zusätzlich noch der Single-Datenquelle-Management-Baustein verwendet wurde. Der Multi-Datenquelle-Management-Baustein besitzt dieselbe Schnittstelle wie der Single-Datenquelle-Management-Baustein und zusätzlich eine Proxy-Webservice-Schnittstelle zum Registrieren von Proxy-Objekten. Aus diesem Grund kann OntoConnect (bzw. alternativ ice.NET Studio) statt auf die Schnittstelle des SDMB direkt auf die Schnittstelle des MDMB zugreifen und die „integrierte Sicht“ der Kooperationsinstanz darstellen. Die Instanzen stellen somit die initiale Implementierung der Integrationslösung dar, die noch um die entsprechenden Bausteine zu erweitern ist.

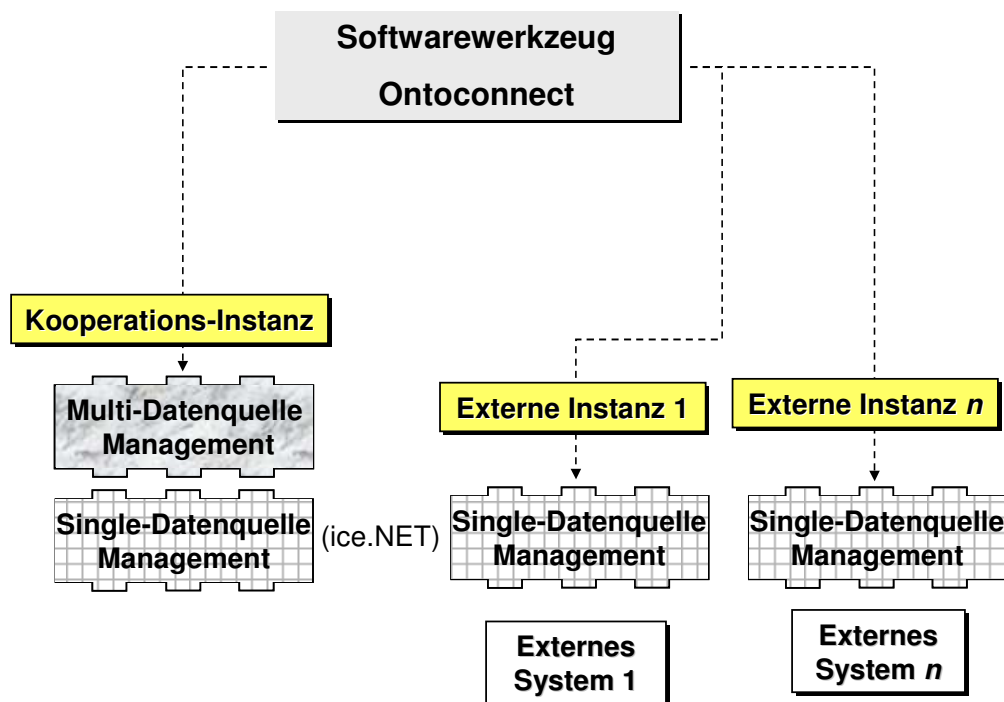


Bild 6-18: Zugriff auf verschiedene Instanz- und Modelldaten mittels OntoConnect

6.2.7 Kooperation-Sichten-Konfiguration (Ausführungsphase)

Während der Ausführungsphase der Kooperation kann die Kooperation-Sichten-Konfiguration (siehe Bild 6-19) verwendet werden, um die kooperationsrelevanten Instanzdaten (Objekte bzgl. Kooperationsdatenmodell) bzgl. der zugehörigen anwendungsorientierten Semantik (Kooperationsontologie) integriert darzustellen. Die Sichten-Konfiguration enthält Sichten zur Darstellung der Kooperationsontologie (Sicht (1)), des Kooperationsdatenmodells (Sicht (2)) und der Instanzdaten (Sicht (3)). Sicht (4) erlaubt eine Visualisierung der Instanz-

daten und deren semantische Interpretation in einem Diagramm. Es kann beispielsweise visualisiert werden, dass es sich bei einer Objektinstanz um einen „fixen Keramik-Kondensator“ handelt. Andererseits können auch alle Instanzen zu einem Konzept (z. B.: „Widerstand“, „Mikrocontroller“ oder „Welle-Nabe-Verbindung“) angezeigt werden, die in dem (zu entwickelnden) Produkt verbaut sind. Details zu den einzelnen Elementen werden in den Sichten (5)-(7) bereitgestellt. Dadurch wird der Anwender in die Lage versetzt, zu jedem Objekt dessen Bedeutung (semantische Interpretation) im Rahmen der Kooperation nachschauen zu können. Weiterhin kann er sich informieren, wie sein direkter Kooperationspartner aufgrund seines kulturellen Systems das Objekt interpretiert. Dadurch kann er entsprechende Maßnahmen ergreifen, um kulturbedingte Missverständnisse zu vermeiden. Diese Information ist in der Kooperationsontologie sowie den semantischen Interpretationsregeln hinterlegt und steht über Services jeder Anwendung (nicht nur von OntoConnect) zur Verfügung, sodass entsprechende Warnhinweise angebracht werden können, wenn Objekte verwendet werden, die in den beteiligten kulturellen Systemen unterschiedliche Semantik haben.

Beim Import der Instanzdaten in die Kooperationsinstanz können die Instanzen entsprechend der Kooperationsontologie gefiltert und somit eine Reduktion der Daten-Komplexität erreicht werden. Bei der Filterung werden nur diejenigen Instanzen übernommen, die einem Konzept in der Kooperationsontologie zugeordnet werden können. Es besteht auch die Möglichkeit, einige Konzepte auf Kooperationspartner zu beschränken. Es kann beispielsweise anhand der konzeptuellen Produktstruktur (siehe Abschnitt 6.2.2) angegeben werden, welcher Partner für die jeweiligen System-Elemente zuständig ist. Nun werden nur die entsprechenden Instanzdaten des Partners übernommen. Durch die Zuordnung eines Objektes zu einem Konzept ist der Einsatz von ontologiebasierten Wissensmanagement-Tools wie Ontobroker möglich. Es kann nun beispielsweise eine semantische Suche durchgeführt werden, die alle Schrauben bestimmt, die ein PCB-Board fixieren.

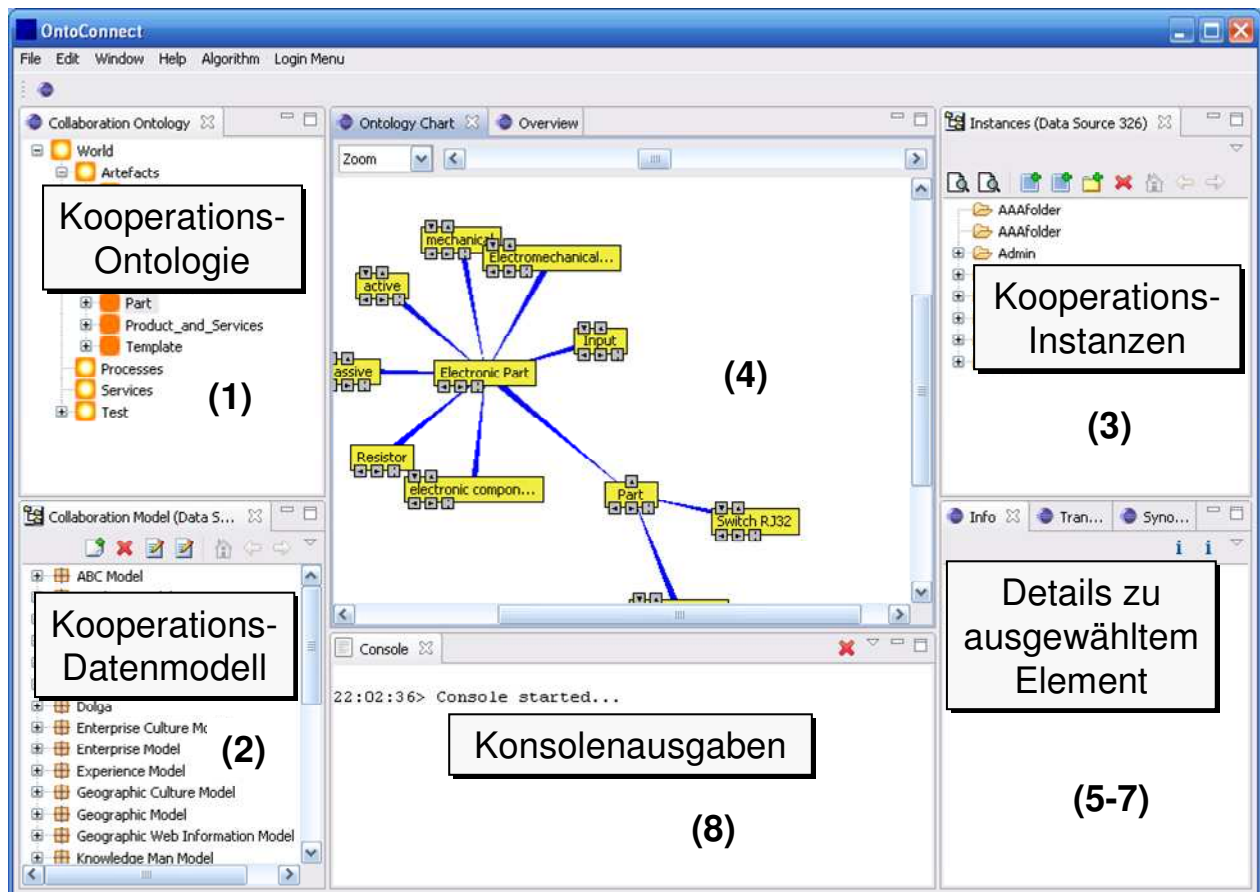


Bild 6-19: Kooperation-Sichten-Konfiguration zur Darstellung der Daten zur Laufzeit

6.3 Ausführungsphase: Einsatzbeispiele des Systems zur Laufzeit

In diesem Abschnitt soll anhand einiger Beispiele der Einsatz der Kooperationslösung der Kooperation B (siehe Bild 6-20) zur Laufzeit auf Basis einer im Rahmen von ImportNET realisierten prototypischen Implementierung dargestellt werden. Im Designprozess sind von der Seite von CAD/CAM der Projektleiter (Systemingenieur) und ein „jüngerer“ (z. B. jünger als 40 Jahre) Maschinenbau-Ingenieur (Konstrukteur) beteiligt. Von Seiten PILON ist ein Logik-Ingenieur und von CHINET ein erfahrener Layout-Ingenieur beteiligt.

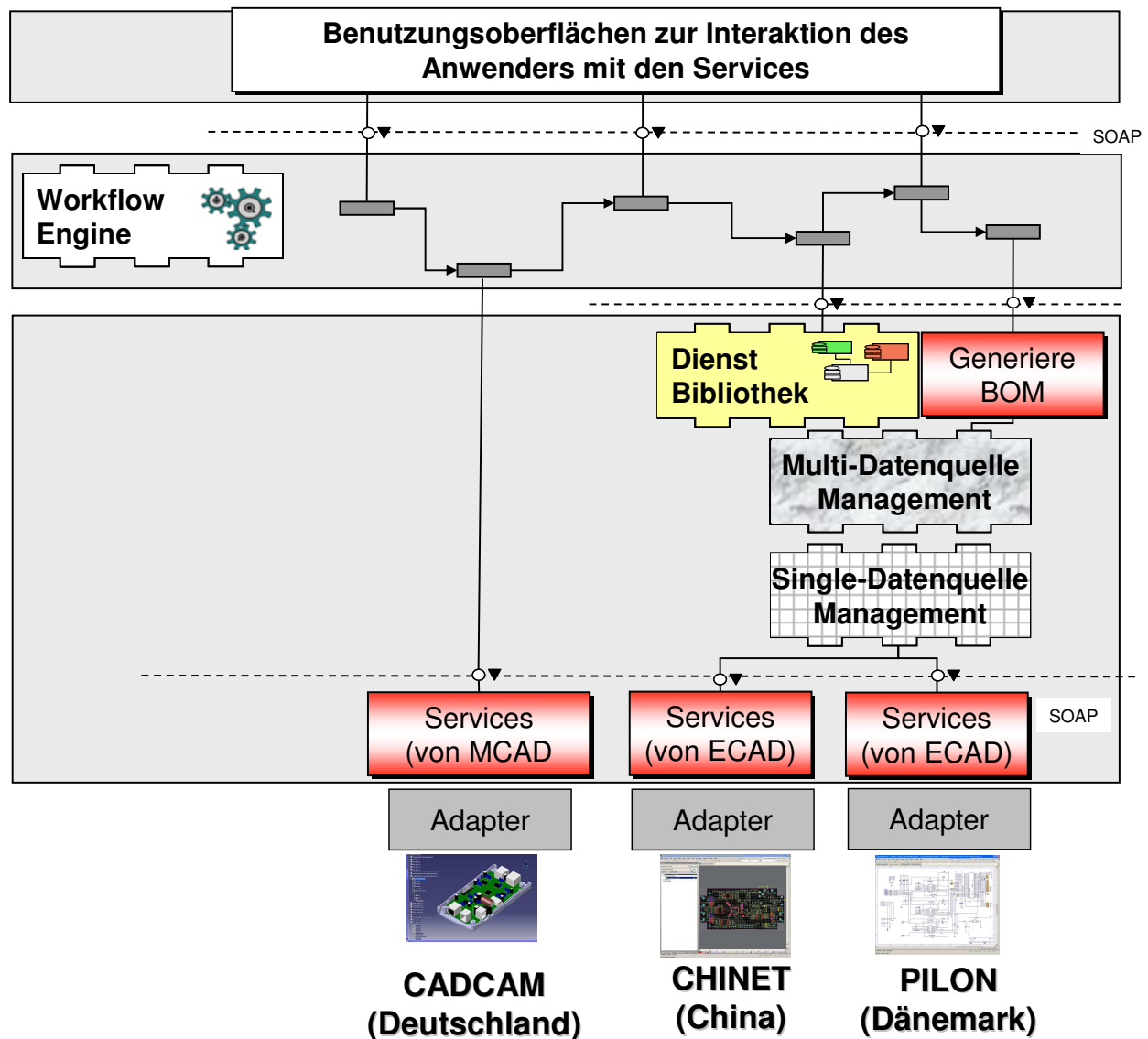


Bild 6-20: Service-orientierte Architektur für die Kooperation B

Wie bereits in Abschnitt 5.1 dargestellt, stoßen die bestehenden Prozesse und Applikationen im Bereich ECAD/MCAD-Kooperation an ihre Grenzen [Fröh-07]. Verfügbare Methoden haben beispielsweise bei der Positionsänderung von Komponenten auf dem PCB-Board Defizite. Bisherige Ansätze erlauben meist nur den vollständigen Austausch des Board-Layouts. Dadurch wird jedoch die Arbeit des Kooperationspartners aus der anderen Domäne überschrieben.

Basierend auf der semantisch kohärenten Beschreibung der Daten mittels der Kooperationsontologie wurde im Rahmen der Ausführung des Systembaumusterplans eine Kooperationslösung realisiert, die eine Verschiebung von Komponenten auf dem PCB-Board und Änderung der PIN-Belegung innerhalb eines 3D-MCAD-Systems erlaubt.

6.3.1 Unternehmensübergreifende Synchronisation von ECAD- und MCAD-Bibliotheken

Die Komponenten des PCB-Boards besitzen je nach Domäne unterschiedliche Unterscheidungsmerkmale. Während in der Elektronik-Domäne (ECAD-System) nach funktionalen Merkmalen (z.B. Widerstand etc.) unterschieden wird, erfolgt dies in der Mechanik-Domäne (MCAD-System) gemäß geometrischer Merkmale. Falls beispielsweise zwei Transceiver dieselbe Gestalt aber unterschiedliche elektronische Eigenschaften haben, werden sie in MCAD durch dasselbe Element repräsentiert. Weiterhin variieren die Komponenten-Bezeichner innerhalb der Unternehmen. Voraussetzung für ECAD-MCAD-Kooperationsprojekte ist die Synchronisation der ECAD- und MCAD-Bibliotheken der beteiligten Partner. Diese Tätigkeit wird zweckmäßig zu Beginn der Kooperation durchgeführt. Eine derartige Bibliothek kann mehrere Tausend Elemente erhalten. Basierend auf den kooperationsrelevanten Konzepten (Kooperationsontologie) kann eine Menge der wahrscheinlich verwendeten Komponenten bestimmt werden, sodass die Synchronisation nur für eine Teilmenge durchgeführt werden muss. Auf diese Weise kann der Aufwand für die Synchronisation reduziert werden. Sollten weitere Komponenten benötigt werden, können diese zur Laufzeit synchronisiert werden. Dies sollte jedoch die Ausnahme darstellen.

6.3.2 Bereitstellung des ursprünglichen Board-Layouts durch den Maschinenbau-Ingenieur

Der Designprozess beginnt mit dem Entwurf des Board-Layouts durch den beteiligten Maschinenbauingenieur (CAD/CAM) im MCAD-System CATIA. Das initiale Design enthält neben der Grundfläche der Platine vier Fixierungslöcher (Mounting Holes).

In der nachfolgenden Designphase erstellt zunächst der Logik-Ingenieur (PILON) die Schaltpläne. Hierbei legt er die Logik der zu realisierenden Schaltung sowie die Kategorie (z. B. Kondensator) und Attribute (z. B. Kapazität) der zu verwendenden elektronischen Komponenten fest. Zu einer Kategorie von Komponenten mit denselben Attributen kann es verschiedene Umrisszeichnungen (engl.: footprints) geben. Die Auswahl der konkreten elektronischen Komponente obliegt dem Layout-Ingenieur, der für die Positionierung der Komponente verantwortlich ist. Während der Layout-Ingenieur (CHINET, China) mit der Positionierung der Komponenten beschäftigt ist, wird das mechanische Design vervollständigt.

6.3.3 Änderung des Board-Layouts durch den Maschinenbau-Ingenieur / Konstrukteur

Der Maschinenbau-Ingenieur stellt fest, dass er das Design des Boards nochmals ändern muss, da der Switch ansonsten nicht korrekt im Roboter verbaut werden kann. Der Maschi-

nenbau-Ingenieur ändert das Board-Design entsprechend in CATIA und initiiert einen informellen Engineering Change Prozess⁵⁹.

Das ursprüngliche Design des Boards wurde vom System-Ingenieur an den chinesischen Partner CHINET weitergegeben. In der chinesischen Gesellschaft besteht ein stark ausgeprägtes Hierarchie- und Klassenbewusstsein, was in der konfuzianischen Philosophie begründet ist [Schm-07]. Deshalb besteht die Möglichkeit, dass der chinesische Partner das Design-Update (von dem „rangniedrigeren“ Konstrukteur) ignoriert⁶⁰. Dieses Wissen ist in der Referenzontologie hinterlegt und wurde durch die Auswahl des kulturellen Systems „China“ in die Kooperationsontologie übernommen und in den Workflow integriert. Nach der Initiierung des Prozesses wird überprüft, wer die letzte Änderung an dem System-Element durchgeführt hat und welchen Rang diese Person bekleidet. Daraufhin erhält der Maschinenbau-Ingenieur eine interkulturelle Warnmeldung, die den Sachverhalt und das potentielle Problem erläutert. Daraufhin informiert er seinen Vorgesetzten, der nun (offiziell) den Prozess initiiert. Ohne die Warnmeldung wäre die Änderung ggf. ignoriert worden. Als Konsequenz wäre erst bei der Synchronisation beider Designs festgestellt worden, dass der Layout-Ingenieur auf dem „veralteten“ Board gearbeitet hätte. Dies hätte zur Folge, dass das Layout ggf. vollständig überarbeitet werden müsste, weil die Komponenten auf dem neuen Board so nicht platziert werden können.

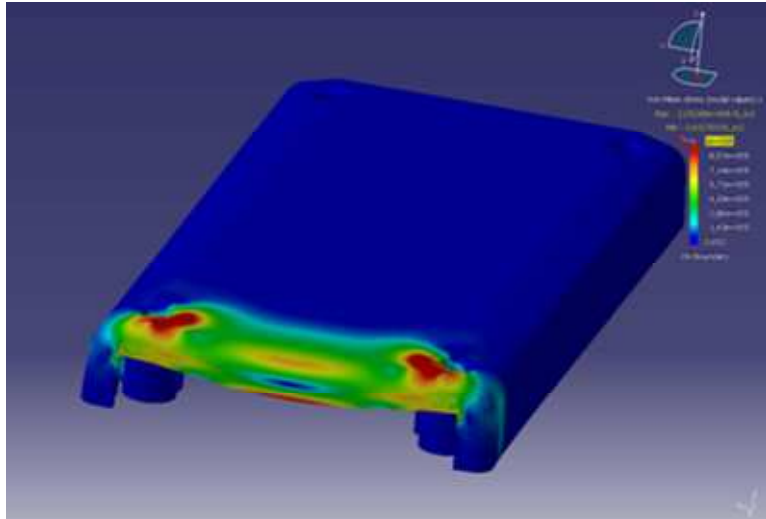
6.3.4 Positionsänderung einer Komponente auf dem Board durch den Maschinenbau-Ingenieur / Konstrukteur

Bevor der Layout-Ingenieur mit der Verlegung der Leitungen auf dem Board beginnt, erfolgt die Synchronisation des Designs. Hierbei stellt der verantwortliche Maschinenbau-Ingenieur aufgrund einer FEM-Analyse fest, dass der Switch die geforderten Anforderungen bzgl. der Stabilität (Vibration bei der Fahrt des mobilen Roboters) nicht erfüllt. Eine mögliche Lösung ist die Verschiebung der beiden Konnektoren (siehe Bild 6-21), sodass sie eine Stützfunktion ausführen. Er initiiert einen nicht formalen Change Request.

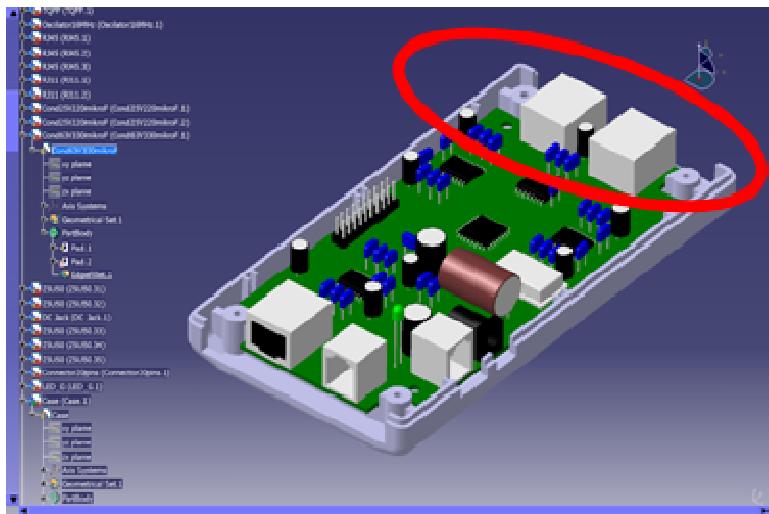
⁵⁹ Aufgrund der Prozessspezifikation ist die Zustimmung des System-Ingenieurs nicht notwendig.

⁶⁰ Ein ähnlicher realer Fall wurde im Rahmen des Forschungsprojektes ImportNET identifiziert. An der Kooperation waren damals Firmen aus England, China und Indien beteiligt. Aus rechtlichen Gründen dürfen die beteiligten Firmen nicht näher genannt werden.

FEM-Analyse des Switch zeigt Problem mit der Stabilität



Lösung: Verschiebung der Konnektoren zur Stabilisierung



Verschiebung der Konnektoren wird automatisch in ECAD durchgeführt

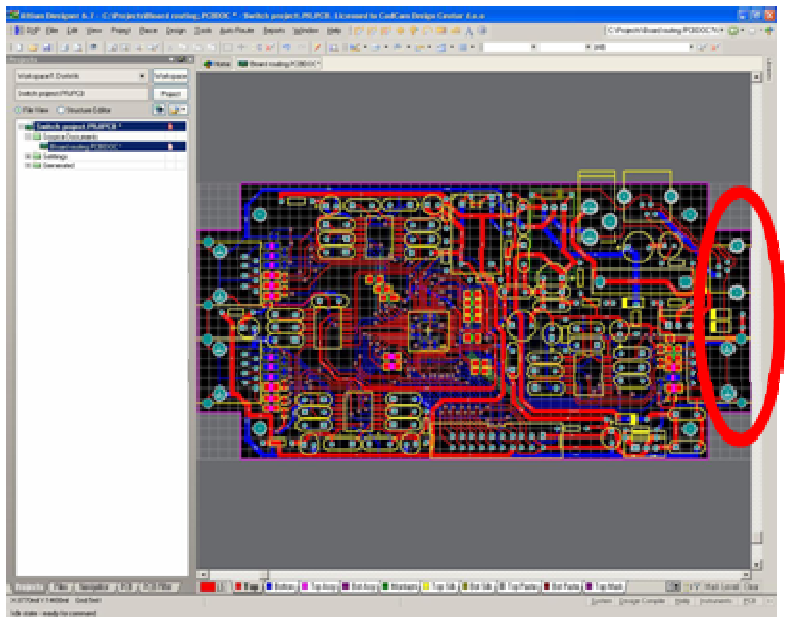


Bild 6-21: Verschiebung elektronischer Komponenten im MCAD-System und Propagierung ins ECAD-System

Aus dem starken Klassen- und Hierarchiebewusstsein der chinesischen Kultur lässt sich auch der Respekt vor dem Alter ableiten, der in China viel stärker verankert ist als in der westlichen Welt (siehe [Schm-07]). Alter wird gleichgesetzt mit Erfahrung und Entscheidungsbezugnis. Die Konnektoren wurden ursprünglich vom (erfahrenen) chinesischen Ingenieur platziert. Durch die Änderungsanfrage würde der „junge“ Konstrukteur die Arbeit des erfahrenen Ingenieurs modifizieren. Dies könnte vom chinesischen Ingenieur als Affront verstanden werden, selbst wenn die eigentliche Ursache für die Änderung eine maschinenbauliche Zwangsbedingung ist und somit keine Kritik an der Arbeit des chinesischen Mitarbeiters beabsichtigt ist. Durch die Auswahl des kulturellen Systems „China“ in der Phase 0 wurde dieses Wissen ebenfalls in die Kooperationsontologie und schließlich in die Ausführung des Workflows übernommen.

Analog zur Modifizierung des Board-Layouts erhält der Konstrukteur von der GUI eine kulturelle Warnmeldung, welche die Situation erläutert. Daraufhin erläutert er entweder dem chinesischen Ingenieur ausführlich (und behutsam) die Umstände der erforderlichen Änderung, um keine Missverständnisse aufkommen zu lassen, oder er informiert den System-Ingenieur und bittet ihn dies zu übernehmen.

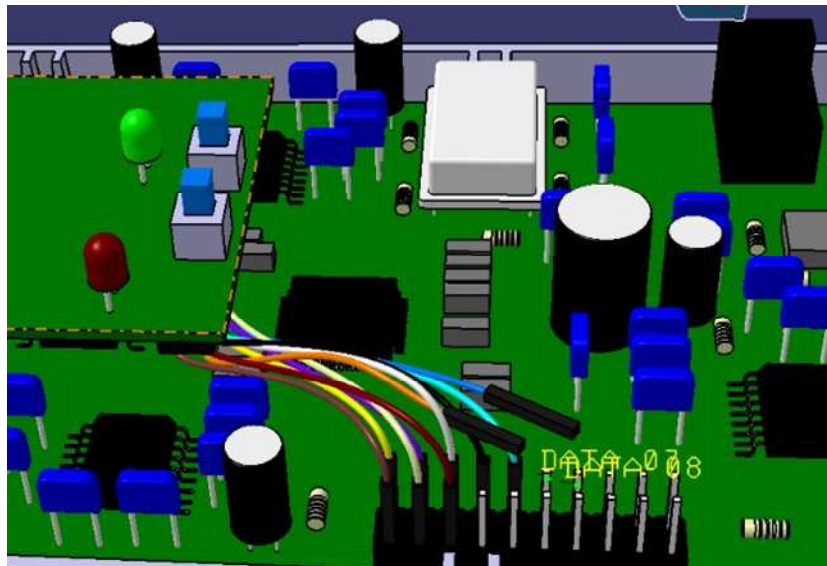
Der chinesische Ingenieur stimmt dem Change Request zu und es wird ein Bereich definiert, den der Konstrukteur nutzen darf, um die Konnektoren zu platzieren. Dies stellt eine sogenannte „Keep-out Area“ aus der Sicht des Layout-Ingenieurs (und eine „Keep-in-Area“ aus der Sicht des Konstrukteurs dar). Dadurch kann der chinesische Layout-Ingenieur parallel weiter arbeiten. Nun platziert der Konstrukteur die Konnektoren neu und führt erneut eine FEM-Analyse durch. Nachdem er mit dem Ergebnis zufrieden ist, stößt er den ECAD-MCAD-Synchronisations-Prozess an. Der chinesische Layout-Ingenieur erhält eine Nachricht, dass das neue Design verfügbar ist. Er überprüft das Design in seinem ECAD-Werkzeug (Altium). Indem er der Änderung zustimmt, wird das Design in beiden Systemen aktualisiert.

Der Mechanik-Ingenieur erweitert die Funktionsbeschreibung der Konnektoren um die mechanische Funktion Stabilisierung. Kurz vor Produktionsstart stellt der Einkauf fest, dass Konnektoren mit gleicher elektronischer Funktionalität aber anderer Geometrie aufgrund eines Sonderangebots wesentlich günstiger sind. Daraufhin wird eine Anfrage gestellt, ob diese ausgetauscht werden können. Da der chinesische Layout-Ingenieur gerade auf Dienstreise ist, kümmert sich ein Kollege um die Anfrage. Als er die Konnektoren austauschen möchte, stellt er fest, dass die Konnektoren eine (nicht erwartete) mechanische Funktion erfüllen. Deshalb gibt er die Anfrage an seinen deutschen Kooperationspartner weiter. Dieser stellt fest, dass die Konnektoren mit der veränderten Geometrie die Stabilisierungsfunktion nicht mehr erfüllen und rät von der Änderung ab. Durch den unternehmensübergreifenden Zugriff auf das Wissen des Mechanik-Ingenieurs, der die zusätzliche Funktion modelliert hat, konnte ein schwerwiegender Fehler vermieden werden.

6.3.5 Änderung der PIN-Belegung

Auf der Oberseite des Switch befindet sich ein LED-Display (mit zugehörigem PCB-Board), das von einem Zulieferer bezogen wird. Das PCB-Board des Displays muss mit dem Mikrocontroller auf dem (Haupt)-PCB-Board verbunden werden. Hierzu führt der Maschinenbau-Ingenieur eine Simulation der Steckverbindungen durch. Dabei stellt sich heraus, dass die mitgelieferten Kabel zu kurz sind (längere Kabel sind in diesem Modell nicht verfügbar). Eine Lösung wäre, die PIN-Belegung zu vertauschen. Das verwendete mechanische CAD-Systeme (hier: CATIA) stellt eine 3D-Kabelsimulation bereit. Derzeit verfügbare kommerzielle mechanische CAD-Systeme können jedoch keine PIN-Belegungen anzeigen oder verändern, da diese Konzepte nicht Teil des den Systemen zugrunde liegenden semantischen Modells sind (vgl. Abschnitt 5.10.1). Aus demselben Grund kann ein elektronisches CAD-System (hier: Altium) keine 3D-Kabelsimulation durchführen.

Problem:
Kabel des PCB-Boards
des LED-Displays an der
Oberseite des Gehäuses
können nicht mit dem
PCB-Board verbunden
werden



Lösung: Modifizierung der
PIN-Belegung am
Microprozessor

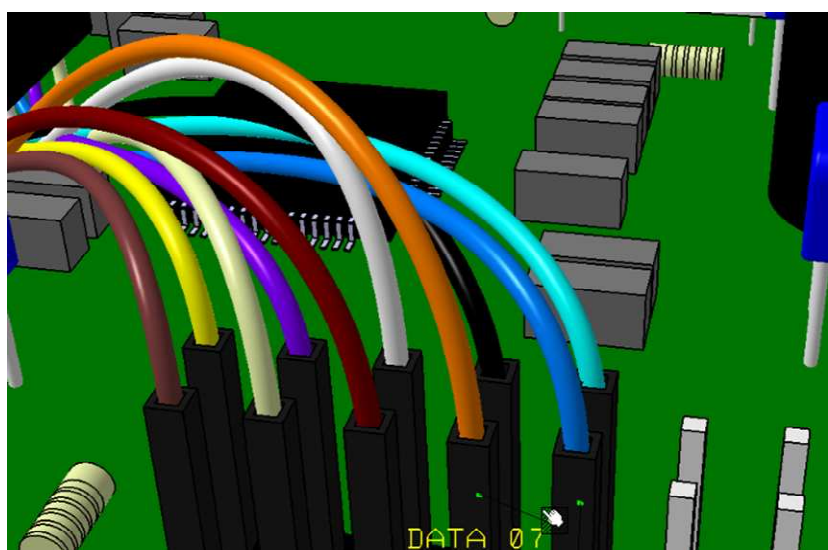


Bild 6-22: Änderung der PIN-Belegung

Durch die semantisch kohärente Repräsentation des gesamten Produktes auf Basis der Kooperationsontologie (bzw. Kooperationsdatenmodell mit der semantischen Interpretation der Datenmodellelemente bzgl. der Kooperationsontologie) und der Systembausteine kann dieses Problem gelöst werden. Über Plug-ins im mechanischen CAD-System können die zusätzlichen Informationen für den Anwender angezeigt werden (PIN-Belegung). Durch die Änderung der PINs wird auch die Netzliste geändert, welche die PIN-Belegungen verwaltet.

Der Konstrukteur initiiert einen informellen Change Request, in welchem er die Situation genau erläutert, um kulturbedingte Konflikte zu vermeiden. Daraufhin ändert er die PIN-Belegung in seinem MCAD-System. Anschließend stößt er den Synchronisationsprozess an. Der chinesische Mitarbeiter erhält eine Nachricht und aktualisiert die Sicht in seinem System. Er akzeptiert die Änderung. Bevor die Änderung vollständig abgeschlossen werden kann, ist jedoch die Software zu ändern, da diese sonst den Mikrocontroller mit der alten PIN-Belegung ansteuern würde. Nachdem die entsprechende Änderung durch den Software-Ingenieur durchgeführt wurde, wird die Änderung angenommen.

6.3.6 Erzeugung einer interdisziplinären Stückliste

Vor dem Start der Produktion ist noch die Stückliste zu generieren. Wie in Abschnitt 5.10.1 beschrieben wurde, ist hierfür die kohärente semantische Beschreibung der relevanten Informationen (hier: System-Elemente der Produktstruktur) durch die Kooperationsontologie wesentlicher Bestandteil der Bereitstellung der entsprechenden Funktionalität.

6.4 Weitere Validierungsbeispiele

In diesem Abschnitt werden zwei weitere Validierungsbeispiele aus dem Bereich der Simulationsdatenverwaltung (siehe 6.4.1) und Fertigung (siehe 6.4.2) vorgestellt. Hierbei wurden Teile des Systembaumusterplans eingesetzt.

6.4.1 Anwendung im Bereich Simulationsdatenverwaltung: SimPDM

Die Verwaltung von Produktstrukturen, Stücklisten und CAD-Dokumenten erfolgt heute bei vielen Unternehmen synchronisiert in PDM-Systemen. Demgegenüber findet die Verwaltung von Simulationsdaten (z.B. CAE- oder FEM-Daten), die von den CAD-Daten abgeleitet werden, derzeit nicht synchron im gleichen PDM-System statt. Dadurch sind die Beschaffungs- und Abgleichprozesse langsam und fehleranfällig. Beispielsweise arbeitet dadurch die Simulationsabteilung manchmal mit veralteten CAD-Dokumenten, sodass die Simulationsergebnisse nicht verwendet werden können.

Die Projektgruppe SimPDM hat zum Ziel, die Erzeugung und Nutzung von Simulationsdaten durch Integration der CAE-Daten und -systeme in bzw. an die PDM-Systeme der Produktdatenverwaltung zu beschleunigen und abzusichern. Im Rahmen der ProSTEP-Arbeitsgruppe SimPDM wurden Referenzprozesse sowie Services und ein Datenmodell (siehe Bild 6-23) zur

Verwaltung von Simulationsdaten (Finite Elemente Methode (FEM), Mehrkörpersimulation (MKS)) in einem PDM-System entwickelt und im Rahmen einer VDA- sowie ProSTEP/iViP-Empfehlung veröffentlicht [SIMP-08]. Als Anwendungsfälle wurden die Crashsimulation (durch Anwendung der FEM), Lastfallanalyse (durch Anwendung der MKS) und Strömungssimulation (durch Anwendung von FEM auf Fluide (CFD⁶¹)) betrachtet. Es wurde zunächst ein Datenmodell zur Beschreibung der Simulationsdomäne (FEM, MKS, CFD) erstellt. Anschließend wurden diese Datenmodelle im SimPDM-Datenmodell harmonisiert. Dementsprechend ist dieses Modell sehr generisch und für Domänen-Experten nicht einfach zu verstehen, da die ihnen bekannten (domänenspezifischen) Konzepte durch allgemeine Bezeichnungen ersetzt wurden. Zur Erstellung der „Best Practice“ und Überprüfung des Modells sollte anhand eines Simulationstools die Abbildungsfähigkeit auf das SimPDM-Modell verifiziert werden.

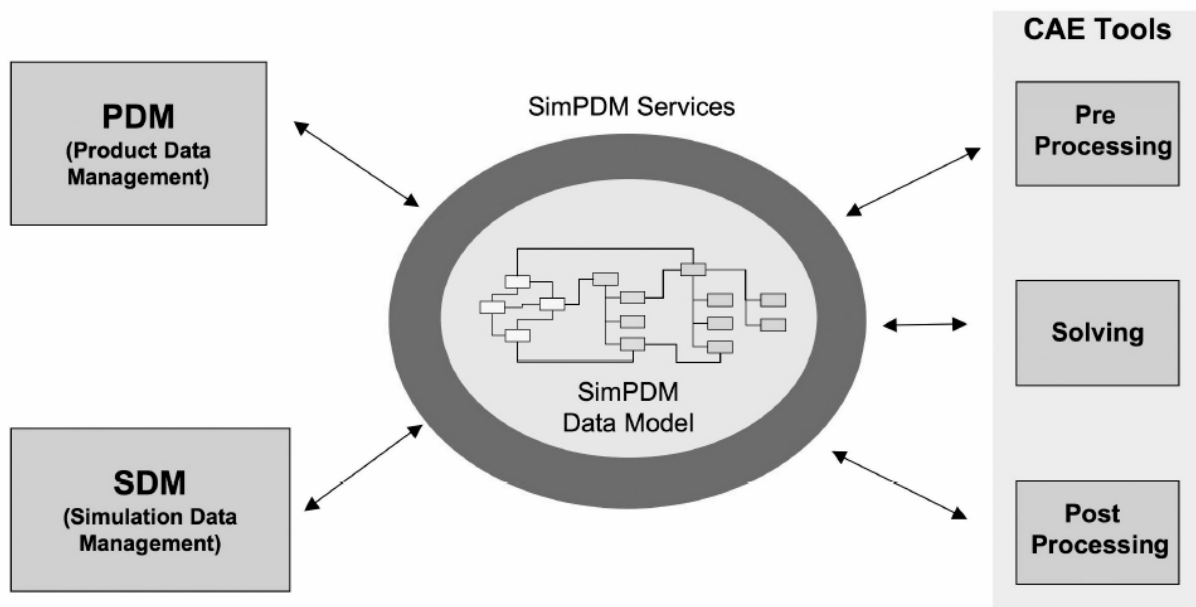


Bild 6-23: SimPDM Datenmodell und Services nach [SIMP-08]

Als Simulationstool wurde ADAMS/Car und als PDM-System wurde eine Erweiterung des von der PD Tec AG entwickelten ice.NET verwendet. Als Demonstrator war das Einlesen der ADAMS/Car-Datenbank sowie das semantische Mapping auf das SimPDM-Modell (in XML-Repräsentation) zu realisieren. Dies wurde am IMI unter Verwendung des Systembaumusterplans realisiert. Hierbei wurde das SimPDM-Datenmodell als Referenzdatenmodell und die simulationsdomänenspezifischen Datenmodelle als Referenzontologien verwendet. Die Spezifikation der semantischen Interpretation der Datenmodellelemente bzgl. der Ontologie erfolgte manuell für ausgewählte Objekttypen. D. h. im Gegensatz zum Anwendungsbeispiel (siehe

⁶¹ CFD: Computational fluid dynamics (deutsch: Numerische Strömungsanalyse)

Abschnitt 6.2 sowie Kapitel 5) wurde der Systembaumusterplan mit einem Referenzdatenmodell und nicht zusammenhängenden Referenzontologien ausgeführt (siehe Abschnitt 5.6.2).

In diesem Projekt waren zwei Abteilungen (Fahrwerkkonstruktion, Simulation) eines Automobil-Unternehmens beteiligt, welche die Datenbank zur Verfügung stellten. Die verwendeten Referenzontologien beinhalten keine Spezifikation der Prozesse und Dienste, sodass dies entsprechend der VDA-Richtlinie durchgeführt wurde (Phase 1). Anschließend erfolgte die Ableitung der Kooperationsontologie, wobei hierbei die Konzepte eliminiert wurden, die ausschließlich für Finite-Elemente-Analyse und Strömungssimulation verwendet werden (Phase 2).

Anschließend erfolgte die Ableitung des Kooperationsdatenmodells auf Basis des SimPDM-Datenmodells (Referenzdatenmodells) und der Kooperationsontologie (Phase 3). Nun wurden vom Simulationsingenieur einige semantische Interpretationen zwischen dem ADAMS/Car-Datenmodell und der Kooperationsontologie definiert. Hierbei war von entscheidendem Vorteil, dass er die Elemente auf ihm verständliche Konzepte der MKS-Domäne abbilden konnte und nicht auf das generische SimPDM-Datenmodell. Daraufhin erfolgte die Ableitung der semantischen Mapping-Regeln (Phase 4). Hierbei konnte ein wesentlicher Teil der Objekttypen automatisch auf das SimPDM-Modell abgebildet werden. Bild 6-24 zeigt einige Abbildungsregeln zwischen dem ADAMS/Car - und dem SimPDM-Modell. Es zeigte sich hierbei allerdings, dass die semantische Zuordnung teilweise nicht das erwartete Ergebnis lieferte, was auch darin begründet ist, dass das SimPDM-Modell nicht eindeutig ist und derselbe Sachverhalt auf unterschiedliche Weise modelliert werden kann. Später wurde von PD Tec entsprechend des Systembaumusterplans die Kooperationslösung zur Synchronisation von Simulations- und PDM-Daten realisiert (Phase 5 und 6).

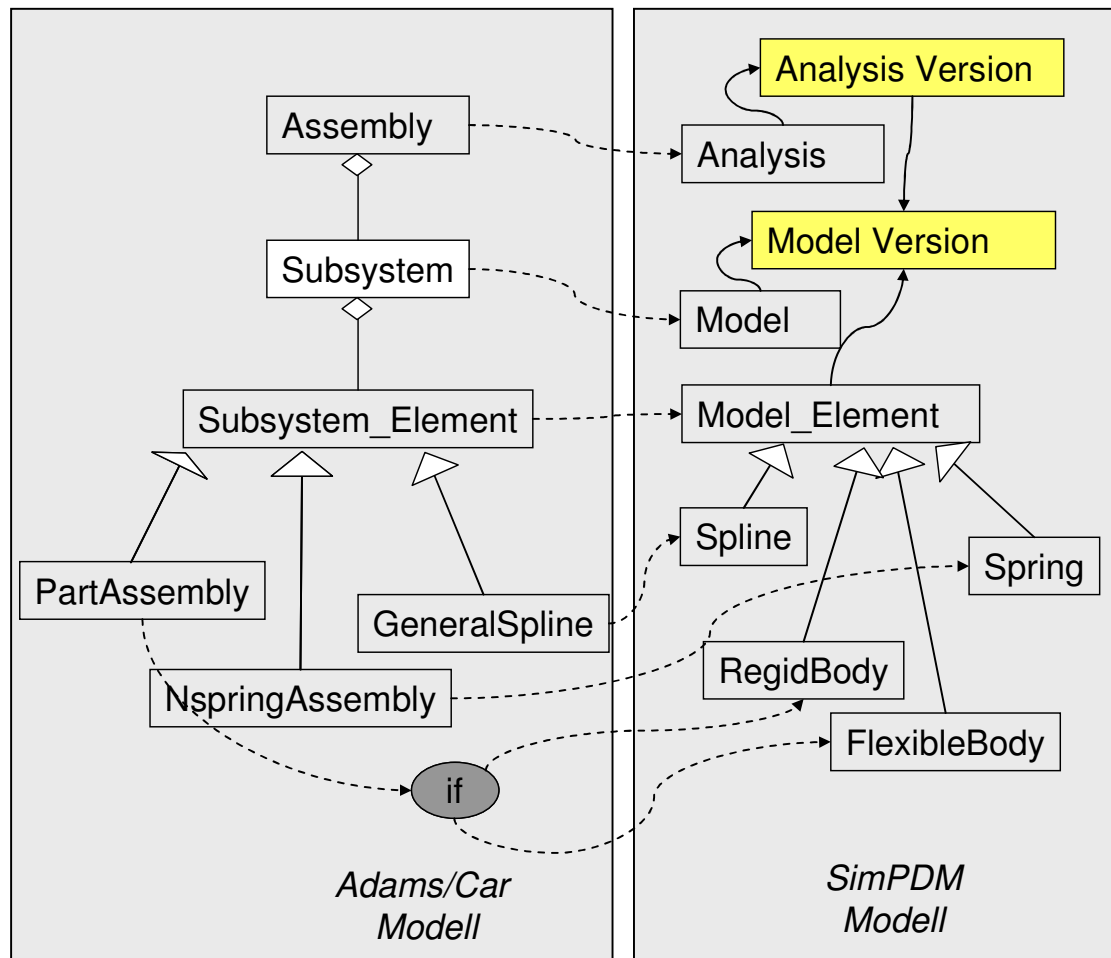


Bild 6-24: Abbildungsregeln zwischen ADAMS/Car- und SimPDM-Modell

Dieses Beispiel zeigt die Anwendbarkeit des Systembaumusterplans, falls eine Kooperationsontologie und ein Referenzdatenmodell sowie das Datenmodell des externen Systems gegeben sind.

6.4.2 Anwendung im Bereich Produktion: KOBAS-Projekt

Im Rahmen des Forschungsprojektes KOBAS⁶² wurden verschiedene Anwendungen entwickelt, die Services bereitstellen, die an den Anforderungen der Maschine und des Kunden (Fertigungsunternehmen) angepasst werden. Die Zielgruppe der im Rahmen von KOBAS entwickelten Lösung sind zunächst Maschinenhersteller, die mit Hilfe der bereitgestellten KOBAS-Software ihre Maschine beim Kunden optimal konfigurieren können. Die bereitge-

⁶² Ziel des EU-Forschungsprojektes KOBAS (Knowledge Based Customized Services for Traditional Manufacturing Sectors Provided by a Network of High Tech SMEs) war die Bereitstellung eines Software-Frameworks für intelligente Fertigungsmaschinen in verschiedenen Domänen wie Metallindustrie, Korkindustrie und Holzindustrie.

Öffentliche Webseite des Projektes: <http://www.kobasproject.com>. Das Projekt wurde innerhalb des 6. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission gefördert. Die Projektlaufzeit war vom 01.06.2004 bis 30.05.2007

stellten Services erlauben beispielsweise die Erzeugung von CNC-Code aus 3D-Geometrie, Kinematik-Simulation der Maschine, Planung der Maschinenbelegung, Wartung (Ausfall-Warnungen (basierend auf geleisteten Arbeitsstunden auf Maschine), Ausfallüberwachung), Maschinen-Konfiguration für Fertigung und Planung (siehe Bild 6-25). Je nach Maschine und Kunde werden nur bestimmte Services benötigt. Jede Installation der KOBAS-Lösung auf einer Maschine kann theoretisch eine neue Applikationslogik erfordern. Dies ist insbesondere der Fall, da die Software für Maschinen unterschiedlicher Domänen zum Einsatz kommen kann.

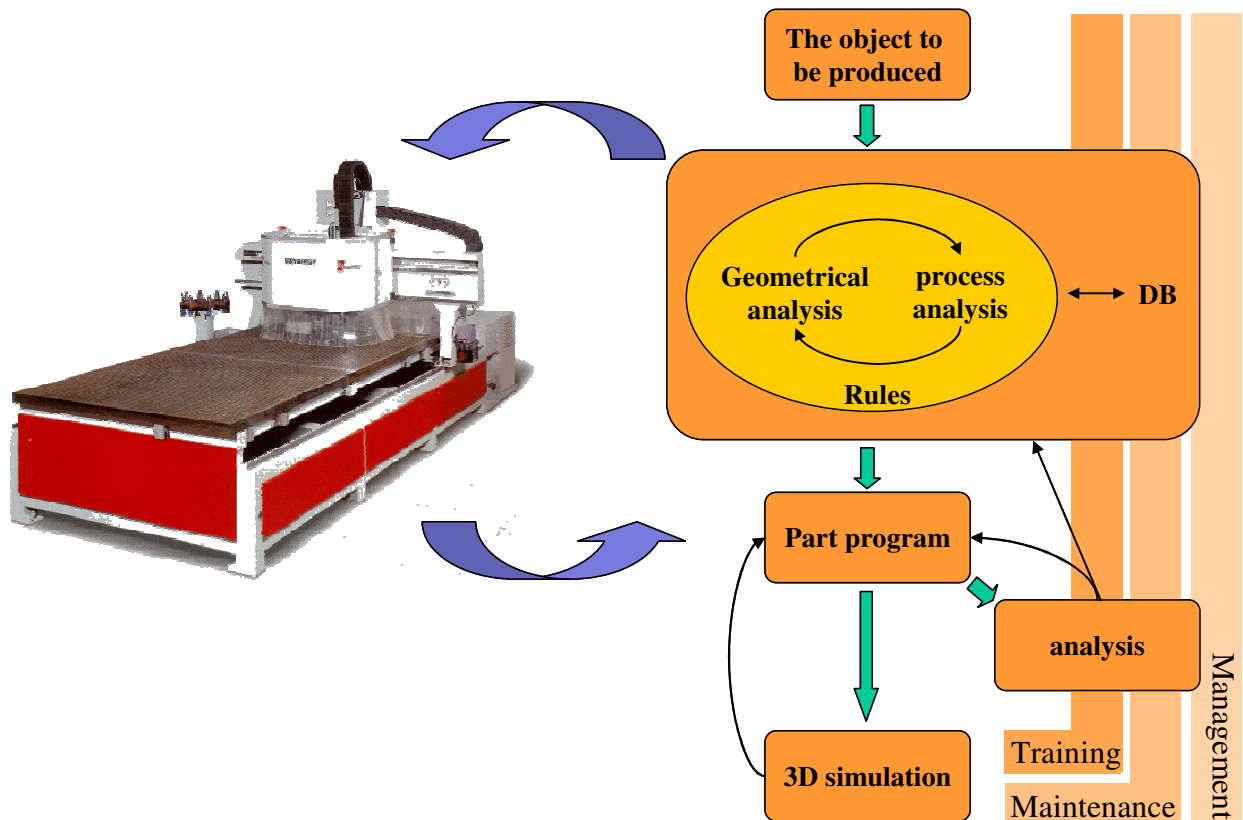


Bild 6-25: Steuerung einer Maschine durch angepasste intelligente Software [KOBAS-04]

Um zu verhindern, dass der Source-Code entsprechend angepasst werden muss, wurde ein regelbasierter Ansatz (siehe Abschnitt 2.3.3) gewählt, um die spezielle Applikationslogik festzulegen. Hierbei wird die Logik durch einige Regeln spezifiziert, die je nach den Gegebenheiten beim Kunden in der Setup-Phase angepasst wird. Die Beschreibung der Regeln erfolgt mit Hilfe eines objektorientierten Ansatzes (siehe Bild 6-26). Die Spezifikation einer Regel besteht aus den drei Teilen Deklaration der verwendeten Objekte (und deren Objekttyp), Bedingung der Regel („if“ bzw. „wenn“-Block) sowie deren Folgerung („then“ bzw. „dann“-Block). Es können bei einer Anfrage rekursiv mehrere Regeln aufgerufen werden, sodass auch komplexe Algorithmen auf diese Weise beschrieben werden können.

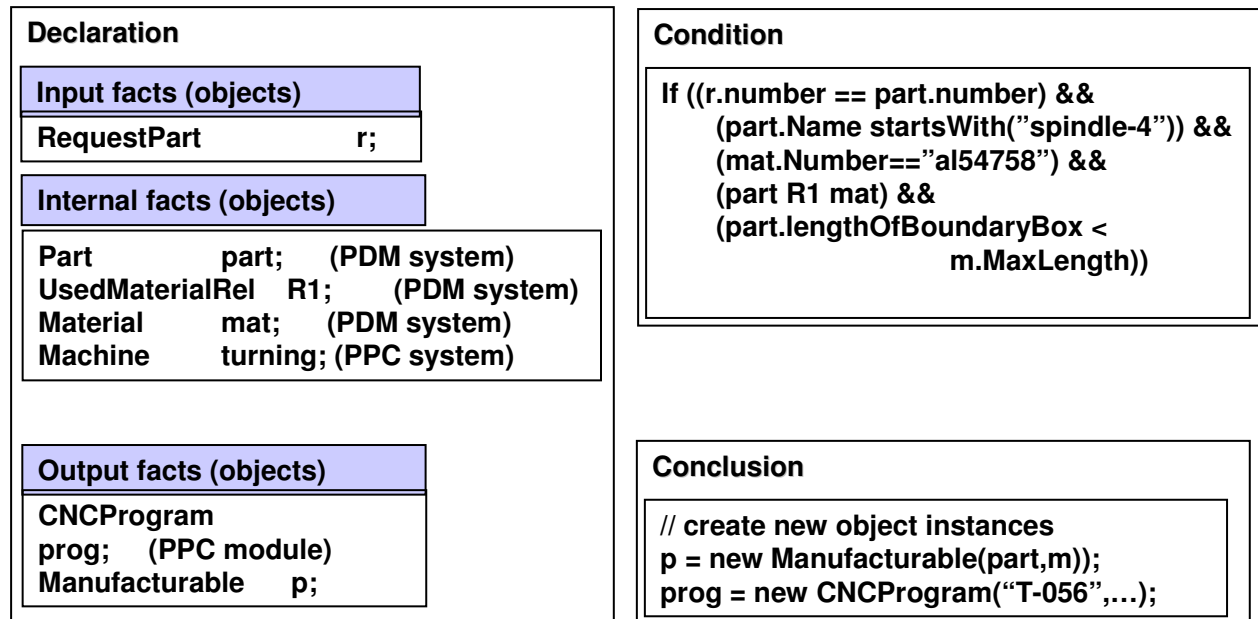


Bild 6-26: Objektorientierter Ansatz zur Beschreibung von Regeln nach [OvMK-06]

Es gibt verschiedene objektorientierte regelbasierte Inferenzmaschinen, die meist auf Java-Objekten arbeiten (z. B. JESS [Frie-03], JRules [Wund-06], Drools [Mach-06], JEOPS [JEOP-08] or Rules4J [Ru4J-06]), wobei im Rahmen von KOBAS die Open-Source-Regelbasis Drools [Mach-06] verwendet wurde. Die Spezifikation des Datenmodells, das jeder Regelbasis zugrunde liegt, erfolgt auf Basis des (generischen) objektorientierten Metamodells. Eine Anfrage an die Regelbasis erfolgt über eine XML-Spezifikation, sodass die tatsächlich verwendete Inferenzsoftware nach außen transparent ist.

Die beispielhafte Spezifikation einer Regel in Bild 6-26 zeigt, dass die KOBAS-Software hierbei ggf. auch auf Daten in externen Systemen des Kunden (z. B. PPS/ERP- oder PDM-System) zugreifen muss. Bild 6-27 zeigt den Zusammenhang zwischen KOBAS-Anwendungen, der Regelbasis und externen Systemen beim Endkunden. Die Ausführung des variablen Teils der Anwendungen wird durch die Regelbasis gesteuert, die über eine geeignete Integrationsvariante auf die Instanzdaten der externen Systeme zugreift (siehe Abschnitt 5.9). Eine objektorientierte Regelbasis besteht aus einer Menge von Regeln sowie Instanzdaten, die einem Datenmodell zugrunde liegen (siehe Bild 6-27), wobei eine Regelbasis theoretisch von mehreren Anwendungen genutzt werden kann. Im Rahmen von KOBAS ist eine Regelbasis einer Anwendung zugeordnet und beschreibt deren Applikationslogik. Die Instanzdaten können hierbei Objekte externer Systeme oder KOABAS-Anwendungen sein.

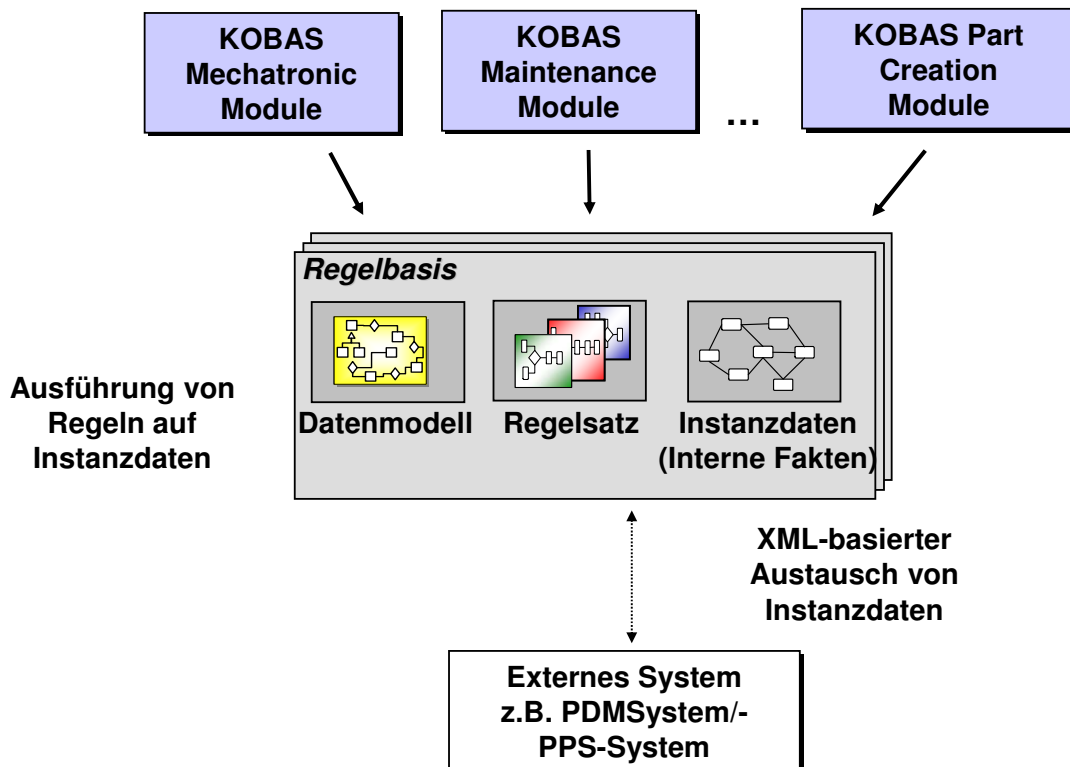


Bild 6-27: Zusammenhang zwischen KOBAS-Anwendungen, der Regelbasis und externen Systemen beim Endkunden nach [MaKr-07]

Für KOBAS existiert ein Referenzdatenmodell (spezifiziert in XML), wobei die Anwendungen ein Teildatenmodell für die Bereitstellung ihrer Funktionalität und die Spezifikation der zugehörigen Regeln benötigen. Je nach Auswahl der Regeln kann das Teildatenmodell variieren. Im Rahmen der Installation beim Endkunden sind die relevanten externen Systeme zu spezifizieren und die relevanten Konzepte innerhalb des externen Systems zu identifizieren. Als Ergebnis der Installationsphase ist das Datenmodell für die Maschine (und Endkunden) sowie die semantischen Abbildungsregeln zwischen den externen Systemen und dem Datenmodell zu bestimmen. Hierzu kann der im Rahmen der Arbeit vorgestellte Systembaumusterplan (siehe Kapitel 5) verwendet werden.

Da für eine Maschine nur Anwendungen und keine Kooperationspartner semantisch zu integrieren sind, kann die Bestimmung des kulturellen Systems (Phase 0) entfallen.

Zunächst werden anhand einer Prozessanalyse die benötigten Services spezifiziert und die essentiellen Konzepte bestimmt (Phase 1b+c, siehe Abschnitt 5.4). Ist die Klasse des zu fertigenden Bauteils von Bedeutung (z. B. Auswahl der idealen Maschinenkonfiguration zur Fertigung eines Bauteils), so können die zu fertigenden System-Element-Klassen ausgewählt werden (Phase 1a, siehe Abschnitt 5.4.1). Basierend auf der initialen Menge der Konzepte wird die Maschinenontologie (entspricht der Kooperationsontologie im Systembaumusterplan) abgeleitet (Phase 2, siehe Abschnitt 5.5). Dies stellt die Grundlage für die Bestimmung des Maschinen-Datenmodells (entspricht dem Kooperationsdatenmodell) in der nachfolgenden Phase dar (Phase 3a, siehe Abschnitt 5.6). Daraufhin werden die Abbildungsregeln zu den

semantischen Modellen der externen Systeme (Phase 4, siehe Abschnitt 5.8) bestimmt [MaKr-07]. Auf Basis der Abbildungsregeln und den Randbedingungen (Zugriffshäufigkeit etc.) wird die Integrationsvariante bestimmt (Phase 5, siehe Abschnitt 5.9) und die Softwarelösung implementiert (Phase 6). Dieses Beispiel zeigt, dass der in der Arbeit vorgestellte Ansatz neben der Produktentwicklung auch für Anwendungen in der Produktion einsetzbar ist.

6.5 Betrachtung von Aufwand und Nutzen

Zur Verdeutlichung des Nutzens der Arbeit erfolgt in diesem Abschnitt eine Aufwand- und Nutzenanalyse. Hierbei fließen die Ergebnisse der beschriebenen Validierungsbeispiele in die Analyse ein. Die angegebenen Werte sind meist Schätzwerte, die auf Befragung der beteiligten Projektpartner basieren.

6.5.1 Aufwandsabschätzung

Durch die Bereitstellung des Softwarewerkzeugs OntoConnect können große Teile des Systembaumusterplans automatisiert werden. Die manuellen Tätigkeiten sind weitgehend auf Aktivitäten wie die Spezifikation unternehmensübergreifender Prozesse beschränkt, die zu Beginn jeder (unternehmensübergreifenden) Kooperation (siehe z. B. HORNBERG [Horn-04] oder ENGEL [Enge-06]) erforderlich sind. Die Phasen 2-5 werden automatisiert durchgeführt, sodass auf diese Weise der Aufwand zur Durchführung des Systembaumusterplans insgesamt sehr gering gehalten werden kann.

Es wird damit gerechnet, dass die Einarbeitungszeit für Domänenexperten (Phase 1) und IT-Experten (Phase 2-5) in die Methode und das Softwarewerkzeug jeweils 1-2 Personentage (PT) dauert. Ist das externe Modell der zu integrierenden Anwendung nicht bekannt bzw. explizit als UML-Modell verfügbar, so muss dies ebenfalls manuell erfolgen. Da dies allerdings innerhalb bei „herkömmlichen Vorgehensweisen“ ebenfalls durchzuführen ist, stellt dies keinen zusätzlichen Aufwand dar. Im Rahmen des SimPDM-Projektes lag der Aufwand für den Aufbau des Datenmodells für die ADAMS/Car-Datenbank bei zwei Personentagen.

6.5.2 Nutzenabschätzung

Nachdem im vorherigen Abschnitt eine Aufwandsabschätzung durchgeführt wurde, erfolgt nachfolgend eine Nutzenabschätzung. Hierbei werden die Erfahrungen der vorgestellten Validierungsbeispiele zusammengefasst.

Nutzen durch effizienten Aufbau einer Kooperationslösung mittels EAI-Technologie

Der Systembaumusterplan stellt eine Anleitung zum effizienten Aufbau der Kooperationslösung mittels EAI-Technologie dar.

Entsprechend des Systembaumusterplans wird zunächst die einheitliche semantische Beschreibung der kooperationsrelevanten Prozesse, Services und Artefakte in einem semanti-

schen Modell (Kooperationsontologie) abgeleitet. Die Bestimmung der Kooperationsontologie (Phasen 1 und 2, siehe Abschnitt 5.4 und 5.5) erfolgt semi-automatisch durch den Einsatz des Softwarewerkzeugs OntoConnect und stellt somit kaum manuellen Aufwand dar (siehe Abschnitt 6.5.1). Im Gegensatz zum manuellen Aufbau einer Ontologie aus Referenzontologien kann somit Aufwand eingespart werden.

Bisher waren Services, Prozesse und Artefakte zumindest in getrennten Modellen repräsentiert (z. B. UML-Klassendiagramm, BPMN-Spezifikation etc.). Die Ableitung in die jeweilige Standardrepräsentation erfolgt automatisiert (Phase 3, siehe Abschnitt 5.6 und 5.7), sodass fast der gesamte Aufwand zur manuellen Synchronisation dieser Modelle eingespart werden kann.

Durch die Kombination von existierenden Ansätzen zur automatisierten Bestimmung von Abbildungsregeln zwischen semantischen Modellen (Phase 4, siehe Abschnitt 5.8) und ontologiebasierter Spezifikation von semantischer Ähnlichkeit durch die Anwendung des Teile-und-Herrsche-Ansatzes kann die Güte der abgeleiteten Abbildungsregeln verbessert werden. Im Vergleich zu der alleinigen Anwendung der existierenden Verfahren können je nach Güte der Kooperationsontologie und der definierten semantischen Interpretationen ca. 20% mehr korrekte Abbildungsregeln gefunden werden.

In der letzten Phase vor der Implementierung wird die Integrationsvariante auf Basis von verschiedenen Kennzahlen vorgeschlagen. Dadurch können Mehrkosten durch die Auswahl einer teureren Variante vermieden werden.

Nutzen durch effiziente Entwicklung von Services / Applikationen durch Bereitstellung eines semantisch kohärenten Modells mit transparenter Sicht auf kooperationsrelevante Daten

Bei der Entwicklung von Services / Applikationen, die zur Erfüllung ihrer Funktion auf Daten zugreifen müssen, die in externen Systemen verteilt sind, besteht das Problem, dass die Daten im semantischen Modell des entsprechenden Systems bereitgestellt werden. Im Rahmen der Implementierung muss eine Abbildung in das semantische Modell der zu entwickelnden Applikation abgebildet und integriert werden. Weiterhin muss bei der Entwicklung der Anwendung bekannt sein, in welchen Systemen welche Informationsobjekte liegen, und dies entsprechend verwaltet werden. Durch die Bereitstellung des transparenten semantisch kohärenten Modells und der transparenten Sicht (durch die Systembausteine) kann von der Lokation der Daten abstrahiert werden. Weiterhin kann der Service in anderen Kooperationen (mit anderen externen Systemen) erneut eingesetzt werden, ohne die Software entsprechend anpassen zu müssen.

Nutzen durch unternehmensübergreifendes Wissensmanagement und gezielten Know-how-Schutz

Die Beschreibung der kooperationsrelevanten Daten, Services und Prozesse erlaubt deren maschinelle semantische Interpretation und damit den Einsatz ontologiebasierter Inferenztechnologien (siehe Abschnitt 3.2.4). Hierdurch kann beispielsweise die Volltextsuche durch semantische Suchanfragen auf den relevanten Daten ersetzt werden, was die Suche effizienter

gestaltet. Beispielsweise könnte nach einer Person in der Kooperation mit gewissen Fähigkeiten gesucht werden, um eine Frage eines Kooperationspartners zu beantworten. Weiterhin könnte effizient nach (bestehenden) System-Elementen (z. B. Bauteile) gesucht werden, die bestimmte (funktionale) Anforderungen erfüllen und bereits bei einem Kooperationspartner erstellt wurden. Dadurch könnte der Entwicklungsaufwand entsprechend reduziert werden. Dies ist allerdings nur ein mögliches Nutzenpotential, wobei deren Ausschöpfung von den beteiligten Kooperationspartnern abhängt, nämlich inwiefern diese bereit sind, ihr Wissen zu teilen. Durch die semantische Beschreibung der Artefakte haben die Projektpartner eine bessere Kontrolle, welche Informationen dem Partner zur Verfügung gestellt werden sollen. Dadurch ist eine wachsende Bereitschaft zu einem unternehmensübergreifenden Wissensmanagement zu erwarten.

Nutzen durch einheitliche Semantik innerhalb der Kooperation und Berücksichtigung kultureller Eigenarten

Ein Ergebnis des Systembaumusterplans ist die semantisch kohärente Beschreibung von Prozessen, Services und Artefakten auf Basis der Kooperationsontologie. Durch die einheitliche Semantik werden das gemeinsame Verständnis der Kooperationspartner verbessert und Potentiale für Missverständnisse verringert. Dies ist gerade bei interdisziplinären und/oder interkulturellen Kooperationen ein wesentlicher Faktor zur effizienteren Zusammenarbeit.

Andererseits erlaubt die Modellierung des kulturell bedingten unterschiedlichen Verständnisses von Begriffen in der Ontologie (z. B. unterschiedliches Verständnis des Status „released“ bzw. „freigegeben“ in China und in Deutschland), dass die Kooperationspartner bei der Durchführung der Prozesse durch entsprechende Software aktiv auf potentielle Probleme aufmerksam gemacht werden. Dies trifft auch auf die Modellierung kultureller Werte (z. B. ausgeprägtes Hierarchiedenken) innerhalb der Kooperation zu, die im Verlauf der Kooperation zu kulturbedingten Konflikten führen können.

Der entstehende Nutzen ist die Vermeidung von Problemen, die evtl. auftreten können, und ist somit relativ schwierig zu quantifizieren. Mit dem kulturellen Abstand der Projektpartner im Konsortium erhöht sich auch die Gefahr eines kulturbedingten Problems und damit das (fiktive) Nutzenpotential. Durch derartige Probleme kann die Kooperation gefährdet werden bzw. gänzlich scheitern. Dementsprechend können diese Probleme je nach Situation (Projektumfang) sehr hohe Kosten verursachen, die sogar im Konkurs eines beteiligten Unternehmens münden können (speziell bei KMU). Beispielsweise wurde im Rahmen von ImportNET ein Fall recherchiert (siehe Abschnitt 6.3.3), bei dem durch die Nichtbeachtung des Updates einer Zeichnung aufgrund des ausgeprägten chinesischen Hierarchiedenkens der Produktionsstart um sechs Wochen verschoben werden musste, wodurch das Produkt nicht wie geplant auf der Messe vorgestellt werden konnte. Die entstandenen Kosten (und Ertragseinbußen) wurden hier auf mehrere Zehntausend Euro geschätzt. Bei der Größe der beteiligten Unternehmen ist dies etwa 15% der gesamten Jahrespersonalkosten (bei einer geplanten Projektdauer von drei Monaten).

Für eine genaue Bestimmung des Nutzenpotentials sind umfangreiche statistische Erhebungen notwendig. Diese konnten jedoch im Rahmen der Arbeit nicht durchgeführt werden. Umfragen bei den beteiligten Unternehmen im Forschungsprojekt ImportNET ergaben ein durchschnittliches Nutzenpotential von 10%-20% (je nach kulturellem Abstand der Kooperationspartner) des gesamten Kooperationsaufwandes. Diese Einschätzung berücksichtigt die Tatsache, dass eine Kooperation auch vollständig scheitern kann.

<i>Nr</i>	<i>Beschreibung des Nutzenpotentials</i>	<i>Geschätztes Einsparungspotential</i>
1	Bereitstellung eines Systembaumusterplans zum Aufbau einer EAI-basierten Kooperationslösung	10 % des Aufwands zur Realisierung der Kooperationslösung
1a	<ul style="list-style-type: none"> Systematische Bestimmung des Workflows und Vermeidung von Synchronisation von Prozess, Service und Artefakt Beschreibung 	<ul style="list-style-type: none"> Ersparnis: ca. 5 PT Gemeinsames Verständnis der Kooperationspartner
1b	<ul style="list-style-type: none"> Automatisierte Generierung von Abbildungsregeln durch Kombination von bestehenden Algorithmen und ontologiebasierten Spezifikation von Abbildungsregeln 	Ersparnis für die Integration eines externen Systems: <ul style="list-style-type: none"> Im Gegensatz zur manuellen Spezifikation: 30% Im Gegensatz zu automatisierten Verfahren: 20% mehr korrekte Abbildungsregeln
1c	<ul style="list-style-type: none"> Bereitstellung von Kriterien zur Auswahl der Integrationsvariante 	Vermeidung von nicht angepasster Realisierung und damit verbundenen Zusatzkosten (qualitativ)
2	Effiziente Implementierung von Services, die zur Erfüllung ihrer Funktion auf verteilte Informationen zugreifen	10-30% des Aufwands zur Entwicklung des Services (abhängig von der Komplexität der relevanten Daten und den externen Systemen)
3	Grundlage für unternehmensübergreifendes ontologiebasiertes Wissensmanagement geschaffen	5-10% des Aufwands jedes Kooperationspartners (abhängig vom semantischen Überdeckungsgrad).
4	Vermeidung von (kulturbedingten) Missverständnissen durch semantisch einheitliche Beschreibung kooperationsrelevanter Aspekte sowie Formalisierung kulturabhängiger Unterschiede	10-20% des Gesamtaufwands der Kooperation (abhängig vom kulturellen Abstand der Kooperationspartner)

*Tabelle 3: Übersicht der Nutzenpotentiale*⁶³

⁶³ Die angegebenen Werte beziehen sich auf Schätzwerte der im Forschungsprojekt ImportNET beteiligten Projektpartner.

Ausblick und Potentiale für Weiterentwicklungen

Der Systembaumusterplan geht von der Annahme aus, dass das API-Datenmodell des externen Systems in einer geeigneten Repräsentation vorliegt. Trifft dies nicht zu, so ist dieses manuell anzulegen, bevor die Abbildungsregeln automatisiert erzeugt werden können. Für zukünftige Forschungsarbeiten ergibt sich die interessante Fragestellung, ob es aufgrund der Analyse der API des Fremdsystems möglich ist, das API-Datenmodell des externen Systems zu bestimmen. Hierzu könnten beispielsweise Verfahren der künstlichen Intelligenz eingesetzt werden.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass der vorgeschlagene Algorithmus zur automatisierten Ableitung des Kooperationsdatenmodells aus der Referenzontologie noch einige manuelle Korrekturen erfordert. In diesem Kontext ist ebenfalls der Einsatz von Verfahren aus der künstlichen Intelligenz oder weiteren Heuristiken zu untersuchen.

Die initiale Bestimmung der essentiellen Konzepte erfolgt im Rahmen des Systembaumusterplans unter anderem durch im Konstruktionsprozess durchgeführte Tätigkeiten. Hierbei wurde die Möglichkeit der funktionsorientierten Wiederverwendung von PCB-Board-Komponenten angerissen. In weiteren Forschungstätigkeiten könnte das Nutzenpotential des Ansatzes genauer analysiert und eine Methodik hierfür spezifiziert werden. Weiterhin wäre die Fragestellung nach der Verwaltung und Wiederverwendung von Tests zur Überprüfung einer Funktion eine interessante Fragestellung.

7 Zusammenfassung

Die voranschreitende Globalisierung der Märkte und damit steigender Konkurrenzdruck und Dynamik zwingen Unternehmen, sich auf ihre Kernkompetenzen zu konzentrieren und verstärkt Kooperationen einzugehen. Dies stellt oft die einzige Möglichkeit dar, dem gestiegenen Kostendruck Stand zu halten und eine Verkürzung der Entwicklungszyklen zu realisieren. Die Notwendigkeit zur unternehmensübergreifenden Kooperation ist auch mit der Tatsache verbunden, dass heutige Produkte verstärkt elektronische Komponenten sowie Steuerungssoftware enthalten, was zu einem Anstieg der Produktkomplexität führt und interdisziplinäre Entwicklungsteams erfordert. Diese Randbedingungen zwingen insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen, Kooperationen einzugehen. Damit ist der Erfolg eines Unternehmens eng mit der Fähigkeit verknüpft, unternehmensübergreifende Kooperationen flexibel aufzubauen und effizient durchzuführen.

Die enge Zusammenarbeit über Unternehmensgrenzen hinweg erfordert eine unternehmensübergreifende Betrachtung der Geschäftsprozesse, um die Nutzenpotentiale entlang der gesamten Wertschöpfung verwerten zu können und Reibungsverluste zu vermindern. Zur effizienten Durchführung unternehmensübergreifender Prozesse ist der Einsatz moderner IT-Technologie unabdingbar.

Kooperationen sind hierbei oft nicht mehr auf ein Land beschränkt, sondern erfolgen global. Somit stellt die jeweilige Landeskultur einen wesentlichen Faktor bei Kooperationen dar. Aufgrund der Diversität der beteiligten Kulturen erwächst ein unterschiedliches Verständnis über Artefakte und durchzuführende Geschäftsprozesse innerhalb einer Kooperation. Hierbei entstehen kulturbedingte Probleme häufig unbewusst: Dem an der Kooperation beteiligten Mitarbeiter ist oft nicht klar, dass sein Gegenüber bzgl. der aktuellen Situation (Prozessschritt, betrachtetes Artefakt) ein unterschiedliches Verständnis hat bzw. haben könnte.

Bisherige Ansätze zum Aufbau einer unternehmensübergreifenden Kooperationslösung für dynamische, flexible interkulturelle Entwicklungspartnerschaften weisen folgende Defizite auf:

- Die existierende EAI-Software ist vom technologischen Standpunkt aus betrachtet hinreichend, um die technologischen Herausforderungen einer unternehmensübergreifenden Kooperations-Lösung zu unterstützen. Es fehlt jedoch ein geeignetes Vorgehensmodell zum Aufbau einer SOA-konformen Kooperationslösung [EIRO-08], insbesondere im Bereich Collaborative Engineering.
- Für den Aufbau einer Kooperationslösung ist es erforderlich, die unternehmensübergreifenden Prozesse und Artefakte entsprechend den Gegebenheiten der Kooperation angepasst zu spezifizieren. Hierzu bieten bisherige Ansätze keine Hilfestellung zur automatisierten Bestimmung der minimal notwendigen Informationsmenge und damit Komplexitätsreduzierung.

- Bestehende Forschungsansätze im Bereich interkultureller Entwicklungspartnerschaften bieten den Ingenieuren kaum *aktive* Unterstützung bei der Durchführung der Kooperation. Weiterhin wird der Aufbau eines gemeinsamen Verständnisses der für die Kooperation relevanten Aspekte nicht systematisch unterstützt.

Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit ein generischer Baukastenansatz zum Aufbau einer Kooperationslösung für interkulturelle Entwicklungsprojekte entwickelt. Der Baukasten enthält Systembausteine und ein Vorgehensmodell (Systembaumusterplan) zum Aufbau einer Kooperationslösung. Der Systembaumusterplan wird durch ein Softwarewerkzeug unterstützt, das ebenfalls im Rahmen dieser Arbeit konzipiert wurde. Die Kooperationslösung genügt dem SOA-Paradigma, wobei der Systembaumusterplan grundsätzlich auf bestehende EAI-Technologien angewendet werden kann. Hierzu wurde von den bestehenden EAI-Technologien abstrahiert und diese entsprechend deren Funktionalitäten modularisiert. Diese werden durch Integrationsbausteine im Systembaukasten repräsentiert. Zur schnellen Bereitstellung der im Produktentwicklungsprozess benötigten Funktionalitäten wurden Service-Bibliotheken als weitere Systembausteine definiert, die auf den Integrations-Bausteinen aufsetzen. Durch die Kombination mit Wissensmanagement-Bausteinen kann die technische Basis für ein ontologiebasiertes Wissensmanagement geschaffen werden. Der Systembaumusterplan ist in mehrere Phasen unterteilt und stellt den zentralen Punkt des Lösungskonzeptes dar.

Der Systembaumusterplan sieht die automatisierte Entwicklung eines den Kooperationspartnern gemeinsamen semantischen Modells zur semantisch kohärenten Beschreibung der kooperationsrelevanten Aspekte Prozesse, Software-Services und Artefakte vor. Das semantische Modell wird in Form einer Ontologie (Kooperationsontologie) repräsentiert. Eine Ontologie beschreibt das gemeinsame Verständnis eines Wissensbereichs, das zwischen Personen oder Anwendungen geteilt wird [Fens-00] und stellt damit die Grundlage für das gemeinsame Verständnis über kulturelle Grenzen hinweg dar. Der Aufbau der Kooperationsontologie wird weitgehend automatisiert durchgeführt. Der manuelle Aufwand wird durch die Integration in den Konstruktionsprozess bzw. Spezifikationsprozess der Geschäftsprozesse minimiert.

Im Lösungskonzept wird zwischen dem für den Domänenexperten verständlichen anwendungsorientierten semantischen Modell (Kooperationsontologie) und dem implementierungsorientierten semantischen Modell (Kooperationsdatenmodell) unterschieden. Die Kooperationsontologie ist semantisch reicher und kann vom Domänenexperten verstanden werden, während das Kooperationsdatenmodell nur die für die Implementierung relevante Semantik enthält und dadurch abstrakter ist. Der Übergang zwischen den Modellen wird durch den Systembaumusterplan beschrieben und automatisiert.

Im Rahmen des Systembaumusterplans werden die erforderlichen Parameter für den Aufbau einer EAI-basierten Kooperationslösung automatisiert bestimmt. Diese berücksichtigen die Gegebenheiten der Kooperation und erlauben eine angepasste Kooperationslösung. Für die Integrationsbausteine (modularisierte EAI-Software) ist dies die Definition des Kooperationsdatenmodells, das nur die für die Kooperation notwendigen Elemente enthält. Weiterhin stellen die Festlegung der relevanten Services und die Spezifikation der ausführbaren Prozessbeschreibung (in BPEL) sowie die Spezifikation der Abbildungsregeln zwischen dem Koopera-

tionsdatenmodell und dem Schnittstellen-Datenmodell externer Systeme (z. B. PDM-System) weitere Parameter für die Integrationsbausteine dar. Die Abbildungsregeln werden hierbei automatisiert generiert, wobei dies durch die Kombination bestehender Verfahren mit ontologiebasierten Ansätzen effizient durchgeführt werden kann. Der Vorschlag einer geeigneten Integrationsvariante (online, offline) und die damit verbundene Baustein-Konfiguration für die zu integrierenden externen Systeme erfolgt auf Basis einer semantischen Analyse. Die im Rahmen der Kooperationslösung benötigten Service-Bausteine werden aus der Spezifikation der relevanten Services abgeleitet.

Das Datenmodell und die ausführbare Prozessbeschreibung werden durch im Systembaumusterplan beschriebene Verfahren automatisiert aus der Kooperationsontologie abgeleitet. Als Grundlage für die Bereitstellung eines unternehmensübergreifenden ontologiebasierten Wissensmanagements wird neben der Kooperationsontologie ein Regelsatz bereitgestellt, der die semantische Interpretation einer Instanz durch den Wissensmanagement-Baustein ermöglicht.

Zur Ableitung des gemeinsamen semantischen Modells (Kooperationsontologie) werden zunächst wesentliche Konzepte in einer Referenzontologie identifiziert. Anschließend wird eine *semantische Hülle* berechnet, die eine definierte Umgebung um das Konzept enthält. Die Bestimmung der Kooperationsontologie erfolgt durch die Verbindung der semantisch ähnlichen Hüllen. Hierzu wurde, basierend auf existierenden Ansätzen, eine Ähnlichkeitsmetrik definiert, die eine Abstandsmessung erlaubt. Die manuelle Bestimmung essentieller Konzepte erfolgt hierbei integriert in den Konstruktions- und Prozessspezifikationsprozess, sodass kein zusätzlicher manueller Aufwand entsteht.

Im Rahmen der Arbeit können mehrere Nutzenpotentiale identifiziert werden. Der Systembaumusterplan ermöglicht den effizienten Aufbau einer an die Randbedingungen der Kooperation (z.B. Dauer der Kooperation, Realisierungskosten, unternehmensübergreifende Geschäftsprozesse) angepassten, EAI-basierten Kooperationslösung. Dadurch wird der Realisierungsaufwand (Zeit und Kosten) reduziert. Die reduzierte Zeit und Kosten für den Aufbau der Kooperationslösung erhöht die Zahl der möglichen Kooperationen des Unternehmens, was sich positiv auf die Wettbewerbsfähigkeit auswirkt.

Das Lösungskonzept beinhaltet ein Verfahren zur automatisierten Bestimmung der kooperationsrelevanten Konzepte (Kooperationsontologie). Darauf aufbauend erfolgt die semantische Filterung der nicht kooperationsrelevanten Daten. Dies führt zu einer Verbesserung des Know-how-Schutzes und zur Verringerung der Datenkomplexität. Die semantischen Interpretationen stellen hierzu eine Verbindung zwischen dem implementierungsorientierten und anwenderorientierten semantischen Modell her. Dies erlaubt die semantische Interpretation der Instanzdaten als Konzept der Kooperationsontologie, wodurch die Grundlage für unternehmensübergreifendes ontologiebasiertes Wissensmanagement geschaffen wird. Dadurch können Synergieeffekte zwischen Partnern entlang der Wertschöpfungskette besser ausgenutzt werden. Beispielsweise können nun semantische Suchanfragen (z.B. nach ähnlichen Bauteilen) auf dem Datenbestand durchgeführt werden. Dies war aufgrund der Kurzfristigkeit der Kooperationen bisher meist auf unternehmensinterne Anwendungen beschränkt. Die automatisierte Generierung von Abbildungsregeln zwischen den semantischen Modellen externer

Partnersysteme und der Kooperationslösung führt zu einer wesentlichen Aufwandsreduktion bei der Integration dieser Systeme.

Die Vermeidung von (kulturbedingten) Missverständnissen wird durch semantisch einheitliche Beschreibung kooperationsrelevanter Aspekte sowie Formalisierung kulturabhängiger Unterschiede unterstützt. Beispielsweise kann ein Ingenieur durch Überwachung des Workflows auf kulturell problematische Situationen aufmerksam gemacht werden. Abschließend soll an dieser Stelle bemerkt werden, dass der *Mensch* der entscheidende Faktor bei der Durchführung interkultureller Kooperationen bleibt. Gegenseitiges Vertrauen und Sympathie als Basis einer erfolgreichen Kooperation sind nicht durch Rechnerunterstützung zu realisieren, sondern müssen aufgebaut werden. Es kann nur versucht werden, das Vertrauen nicht durch kulturbedingte Missverständnisse zu gefährden.

Anhang A: Grundlagen

A.1 Überblick synonym verwendeter Begriffe im Kontext Baukastenansatz

	Begriff	Übergeordneter Begriff	Elemente	Gesamtheit
Nasvytis [Nasv-53]	Baukastenbauweise	Verfahren	Gegenstände, Elementvorrat	Komplexionen
Borowski [Boro-61]	Baukastensystem	Ordnungsprinzip	Bausteine	Dinge
Biegert [Bieg-71]	Baukastenbauweise	Gestalterisches Vorgehen	Bausteine	Erzeugnisse
Roth [Roth-00]	Baukastentechnik	Konstruktionstechnik	Bausteine	Funktionselemente
Ehrlenspiel [Ehrl-95]	Baukasten	Kombinationssystem	Bausteine	Produkte, Gesamtfunktion
Pahl und Beitz [PaBe-07]	Baukasten(-system)	-	Bausteine	Gesamtfunktion, Funktionsstrukturen
Kohlhase [Kohl-97]	Baukastensystem	Bauweise	Bausteine	Baukastenprodukte, Produktvarianten
Fichau & Franke [FiFr-02]	Baukastensystem	-	Bausteine	Produktvarianten
Jeschke [Jesc-97]	Baukastensystem	Bauweise	Bausteine	Produkte
Vorliegende Arbeit	Baukastensystem	-	(System-) Bausteine	Kooperationslösung

Tabelle 4: Übersicht über synonym verwendete Begriffe nach [Jesc-97] und [Renn-07].

A.2 Überblick über Arten von Baukästen

Pahl und Beitz [PaBe-07]		Borowski [Boro-61]		Biegert [Bieg-71]
Muss-Baustein	Grund-Baustein grundlegend. Immer wiederkehrend, allgemein	Groß-Baustein unerlässlich für Aufbau eines voll funktionsfähiges Grunderzeugnisses		Basis-Baustein unerlässlich für Aufbau eines voll funktionsfähiges Grunderzeugnisses
	Hilfs-Baustein verbindend, anschließend	Klein-Baustein	Füge-Baustein keine Angaben	Zubehör-Baustein verleiht Grunderzeugnis zusätzliche Funktionalität
Kann-Baustein	Sonder-Baustein besonders, ergänzend, erweiternd		Ausrüstungs-Baustein nicht funktionsfähiger Grundkörper, Funktionalität wird durch Kleinbausteine erreicht	
	Anpass-Baustein zum Anpassen andere Systeme oder Randbedingungen, z. T. maßlich festgelegt		Zubehör-Baustein funktionsfähiger Grundkörper (Funktionalität wird durch Kleinbausteine erreicht, die Großbausteine verbinden), Bild des fertigen Erzeugnisses wird durch Großbausteine bestimmt	
	Nicht-Baustein nicht vorhersehbar, auftragsbezogen	Nicht-Baustein an Kundenwünsche angepasst		Nicht-Baustein an Kundenwünsche angepasst
	-	gleichberechtigte Bausteine verschiedene alternativ einsetzbare Bausteine zur Funktionserfüllung		substitutionale Bausteine verschiedene alternativ einsetzbare Bausteine zur Funktionserfüllung
	-	bevorzugte Bausteine nur ein Baustein zur Funktionserfüllung		nicht substitutionale BSt. nur ein Baustein zur Funktionserfüllung
	-	-		elementare Bausteine Einzelteil
	-	-		aggregierte Bausteine Baugruppe

Tabelle 5: Überblick über Arten von Bausteinen (BSt.) nach [Jesc-97] und [Renn-07]

Die Tabelle 5 wurde wörtlich auch [Renn-07] übernommen. In der Tabelle 4 wurde die letzte Zeile entsprechend angepasst.

A.3 Grundlagen der Graphentheorie

In diesem Abschnitt werden einige grundlegende Begriffe und Algorithmen der Graphentheorie vorgestellt, die im Konzeptkapitel verwendet werden. Die rechnerinterne Repräsentation von netzartigen Strukturen erfolgt durch Graphen. Ein Graph besteht aus Knoten (engl.: vertex), die über Kanten (engl.: edge) verbunden sind. Ist die Navigation zwischen den Knoten nicht immer in beiden Richtungen möglich, so wird ein ungerichteter Graph verwendet, ansonsten ein gerichteter Graph. Die Darstellung eines gerichteten Graphs erfolgt über Pfeile. Ein ungerichteter Graph lässt sich als Spezialfall eines gerichteten Graphen auffassen, nämlich als ein gerichteter Graph, bei dem die Kanten stets in beide Richtungen verlaufen. Dann können die Richtungsangaben auch weggelassen werden [Dies-06]. So erfolgt beispielsweise in GPS-Systemen die Hinterlegung der zugrunde liegenden Straßenkarten in Form eines Graphen. In diesem Fall stellen Orte oder Kreuzungen die Objekte des Graphs und Verbindungen dieser Orte (z. B. in Form von Straßen) die Beziehungen dar.

Es besteht die Möglichkeit Kanten mit einem Gewicht zu belegen. In diesem Fall wird der Graph als gewichteter Graph bezeichnet. Ein typischer Anwendungsfall ist die Beschreibung von Entfernungen zwischen verschiedenen Orten. Hierbei sind zwei Orte (repräsentiert durch Knoten) über eine Kante verbunden, wobei das Kantengewicht die Entfernung angibt. Die Weglänge ist die Summe der Kantengewichte, die auf dem Pfad besucht werden. Zur Bestimmung des kürzesten Weges zwischen zwei Knoten (z. B. Hamburg und Karlsruhe) wurden verschiedene Algorithmen entwickelt: Der von Dijkstra [Dijk-59] vorgestellte Algorithmus löst das Problem mit dem Aufwand von $O(n^2)$ Schritten⁶⁴, wobei n die Anzahl der Knoten ist. Der Floyd-Algorithmus berechnet mit Komplexität von $O(n^3)$ die kürzesten Wege von allen Knoten zu allen anderen Knoten (im Graph).

Nachfolgend werden in Anlehnung an DIESTEL [Dies-06] formale Definitionen der verwendeten Begriffe angegeben, insofern dies für das weitere Konzept relevant ist:

Definition (Graph): Ein (gerichteter) Graph ist ein Paar $G = (V, E)$, hierbei ist V eine endliche Menge von Knoten (engl.: vertex) und $E \subseteq V \times V$ eine Relation auf V , die Menge der Kanten (engl.: edge). Wird durch eine Gewichtsfunktion $f: E \rightarrow \mathbb{R}$ jeder Kante $e \in E$ ein Wert (Gewicht) zugeordnet, so heißt G gewichteter Graph.

Definition (Pfad und zusammenhängender Graph): Sei $G = (V, E)$ ein Graph. Eine Folge $\langle v_1, \dots, v_k \rangle$ von Knoten heißt ein Pfad (oder Weg) wenn $e_i = (v_i, v_{i-1})$, $i = 1, 2, \dots, k$ in der Menge der Kanten enthalten ist. Ist G gerichtet so heißt ein Weg auf dem zugehörigen ungerichteten Graphen (also der Graph, der entsteht, wenn man jede gerichtete Kante durch eine

⁶⁴ Zur Aufwandsabschätzung von Algorithmen wird meist das O-Kalkül verwendet. Hierbei bedeutet $O(f(n))$, dass der Aufwand höchstens Proportional zur Funktion $f(n)$ wächst (abhängig von der Eingabemenge n). [Goos-97]

ungerichtete Kante ersetzt) *Semiweg*, falls mindestens eine Kante entgegen ihrer Richtung durchlaufen wird.

Ein ungerichteter Graph heißt *zusammenhängend*, wenn für jedes Paar von Knoten innerhalb des Graphen mindestens ein Weg existiert. Ein gerichteter Graph heißt *schwach zusammenhängend*, wenn es zwischen zwei Knoten immer einen *Semiweg* gibt. Existiert sogar ein *Pfad*, so heißt der Graph *stark zusammenhängend*.

Enthält ein Graph G' nur Knoten und Kanten eines Graphen G , so wird G' als *Teilgraph* bezeichnet. Hierbei muss G' nicht zusammenhängend sein.

Definition (Teilgraph): Ein Graph $G' = (N', E')$ ist ein *Teilgraph* eines Graphen $G = (N, E)$ genau dann wenn $N' \subseteq N$ und $E' \subseteq E$.

Für jeden zusammenhängenden (ungerichteten) Graphen existiert mindestens ein Teilgraph, der ein Baum ist und alle dessen Knoten enthält [Dies-06]. Dieser Baum wird als *Spannbaum* (auch *spannender Baum* oder *Gerüst* genannt; englisch: *spanning tree*) bezeichnet. Ein spannender Baum in einem gewichteten Graph heißt *minimal*, wenn kein anderer Spannbaum in demselben Graphen mit geringerem Gewicht existiert. Er wird dann als *minimal spannender Baum* (MSB) des Graphen bezeichnet. Dieser kann beispielsweise mit dem Algorithmus von KRUSKAL oder dem Algorithmus von PRIM ermittelt werden. Letzterer ist der effizientere und besitzt die Laufzeit von $O(|V|\log|V|+|E|)$. [Dies-06]

A.4 Grundlagen des Konstruktionsprozesses

Das Ziel der Arbeit ist der effiziente Aufbau einer Kooperationslösung für interkulturelle Entwicklungspartnerschaften. Dies soll teilweise eingebettet in den Konstruktionsprozess erfolgen. Hierbei werden einige vereinfachende Annahmen getroffen, die ein Großteil der auftretenden Fälle, nicht aber alle Sonderfälle berücksichtigen. Deshalb werden in diesem Abschnitt die konstruktionsmethodischen Grundlagen nur soweit beschrieben, wie sie im Rahmen der Erläuterung des Konzepts von Bedeutung sind. Für weitergehende Erläuterungen wird der interessierte Leser auf die einschlägige Literatur verwiesen.

A.4.1 Grundlegender Ablauf des Konstruktionsprozesses

Die Konstruktionsmethodik stellt einen reichen Fundus an Methoden und Regeln bereit, die das systematische Vorgehen im Konstruktionsprozess in Form von Vorgehensmodellen beschreibt [Geba-01]. Um innerhalb des Konstruktionsprozesses eine durchgängige Rechnerunterstützung zu gewährleisten, wurde dieser in vier Modellierungsphasen, nämlich der Anforderungsmodellierung, Funktionsmodellierung, Prinzipmodellierung und Gestaltmodellierung, unterteilt (VDI 2210).

Anforderungsmodellierung

In dieser Modellierungsphase wird die rechnerinterne Abbildung der Produktinformationen ermöglicht, die in der Aufgabenabklärungsphase des Konstruktionsprozesses entstehen. Die Aufgabenklärung legt das Produktverhalten fest. Ein wesentlicher Aspekt der Anforderungsmodellierung ist die Bereitstellung der Produkthanforderungen für die betroffenen Problemlösungsvorgänge auf den weiteren Konkretisierungsstufen des Konstruktionsprozesses [Klög-93].

Funktionsmodellierung

Im Rahmen der Funktionsmodellierung erfolgt die Beschreibung der Funktionsweise des Produkts. Die rechnerinterne Beschreibung der technischen Produktfunktionen erfordert die Möglichkeit, unterschiedliche Abstraktionsstufen zu unterscheiden.

Prinzipmodellierung

Innerhalb der Prinzipmodellierung werden die entsprechenden physikalischen, chemischen oder biologischen Effekte, die in formaler Beziehung zu den modellierten Funktionsgrößen stehen, zugeordnet. Effekte sind an bestimmte, stoffliche Strukturen gebunden, den so genannten Effekttägern. Durch die Verbindung der einzelnen Effekttäger entsteht ein dem Wirkprinzip entsprechendes Gebilde, das als Wirkstruktur oder Effektkettenstruktur bezeichnet wird [Geba-01].

Gestaltmodellierung

Die Phase der Gestaltmodellierung definiert die Gestalt eines Produktes durch Form, Art, Dimension und Anordnung der technischen Gebilde [Geba-01]. Basierend auf den in den vorangegangenen Modellierungsphasen festgelegten Eigenschaften und Strukturen erfolgt hier die Spezifikation der geometrischen Produktbeschreibung [Kunz-02].

In der Praxis wird der Konstruktionsprozess (Maschinenbau) oft nicht in der beschriebenen Form durchgeführt. Meist entfallen die Phasen Funktionsmodellierung und Prinzipmodellierung bzw. finden „implizit“ im Kopf des Konstrukteurs statt. Der Hintergrund ist, dass der größte Teil der zu entwickelnden Produkte Änderungskonstruktionen und keine Neukonstruktionen sind. Zu Beginn der Produktentwicklung ist bereits die wesentliche Produktstruktur mit deren Baugruppen bekannt.

In der Elektrotechnik (und Informatik) ist dagegen die Spezifikation der Funktion weit verbreitet. Deshalb könnte gerade im Bereich interdisziplinärer Produktentwicklung die explizite Spezifikation der Funktion ein geeignetes Bindeglied darstellen. Aus diesem Grund werden im folgenden Abschnitt die Ansätze der Funktionsmodellierung und Gestaltmodellierung näher betrachtet.

A.4.2 Funktionsmodellierung

In der Literatur sind verschiedene Arten von Funktionen und Funktionsstrukturen bekannt [Rude-98]. KOLLER spricht von Elementarfunktionen [Koll-98], ROTH beschreibt Soll-, Ist- und Trägerfunktionen [Roth-00] und arbeitet die Funktionsstruktur auf Basis der Produktaufgabenstruktur aus. GIERSE verwendet Funktionen und Funktionsstrukturen für Kostenbewertungen [Gier-84]. Die Ansätze der Funktionsmodellierung der Universität Karlsruhe entstanden am RPK⁶⁵ und basieren weitgehend auf den Modellen von ROTH, die im Rahmen von Dissertationen erweitert wurden. LANGLOTZ entwirft eine Klassifikation von Funktionen bestehend aus Nutzfunktionen, Störfunktionen, Folgefunktionen sowie Kompensationsfunktionen und verwendet diese zur Verbesserung der Lösungsfindung [Lang-00]. Im internationalen Umfeld konzipierten TOMIYAMA und YOSHIKAWA das Funktion/ Verhalten/ Zustand-Modell (FBS-Modell), das durch CHANDRASKARAN und GOEL zu einem Struktur-Verhalten-Funktionsmodell (SBF-Modell) erweitert wurde. Im Gegensatz zum Modell von TOMIYAMA und YOSHIKAWA ist das SBF-Modell so konzipiert, dass sowohl abstrakte als auch erdachte Beschreibungen physikalischer Prinziplösungen spezifiziert werden können. Der Kern beider Ansätze ist die integrale Spezifikation eines Objekts auf Basis einer vernetzten Substantiv-Verb Struktur.

Es gibt mehrere Ansätze zur Definition einer Funktion (z. B. [Roth-00]). Nach PAHL UND BEITZ beschreibt eine Funktion den gewollten „*Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen*“ [PaBe-07].

⁶⁵ RPK: Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion. Das Institut wurde im Jahre 2006 in Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI) umbenannt.

Funktionsmodellierungsprozess

Wie bereits im Abschnitt A.4.1 dargestellt, ist das Ziel der Funktionsmodellierung die Definition aller Funktionen, die ein Produkt zu erfüllen hat, sowie der Modellierung ihres funktionalen Zusammenhangs [Rude-98]. Funktionen können hierbei in Gesamt-, Teil-, Haupt- und Nebenfunktionen unterschieden werden. Die Gesamtfunktion wird aus der Aufgabenstellung hergeleitet und beschreibt die Gesamtheit aller Funktionen, die ein Produkt realisiert bzw. realisieren soll. Teilfunktionen lassen sich durch die Aufteilung einer übergeordneten Funktion gewinnen. Diese sind dadurch hierarchisch geordnet und können entweder eine Hauptfunktion oder eine Nebenfunktion darstellen. Eine Hauptfunktion beschreibt den Hauptzweck eines Produkts, die anderen Funktionen werden als Nebenfunktionen bezeichnet [Kunz-02]. Die zur Gesamtfunktion eines technischen Produkts gehörenden Teilfunktionen können in einer hierarchischen Ordnung strukturiert werden. Eine derartige Struktur wird Produktaufgabenstruktur genannt [Loss-97].

Neben der Produktaufgabenstruktur eines Produktes können die Teilfunktionen auch in einer, die wesentlichen Stoff-, Signal- und Energieflüsse beschreibenden Flussanordnung, der so genannten Funktionsflussstruktur, angeordnet werden [KrMa-07]. Diese Vorgehensweise beinhaltet in den meisten Fällen bereits eine Lösungsvorfixierung. Insofern ist sie weniger als eine Formalisierung der Aufgabenstellung zu betrachten, als dass sie die Funktionsweise des Produktes beschreibt. Deshalb können für die Funktionsstruktur Varianten gebildet werden, die verschiedene alternative Funktionsflüsse eines Produktes bei gleichbleibender Hauptfunktion beschreiben [Hube-94]. Für das zu entwickelnde Konzept steht die Wiederverwendung bestehender Lösungen und weniger die Konkretisierung der Aufgabenstellung im Vordergrund. Weiterhin sind die Beschreibungen in der Elektrotechnik ebenfalls flussorientiert. Deshalb sind für die Arbeit nur Funktionsstrukturen von Bedeutung.

Funktionsstrukturen

Es werden zwei grundlegende Typen von Funktionsstrukturen unterschieden, nämlich die allgemeine und die spezielle Funktionsstruktur. Die allgemeine Funktionsstruktur basiert auf den drei allgemeinen Größen Material, Energie und Information sowie einer limitierten Anzahl an allgemeinen Operationen. Die spezielle Funktionsstruktur kann aus der allgemeinen abgeleitet werden, wobei im ersten Schritt die allgemeinen Größen durch spezielle Werte konkretisiert werden [Kunz-02].

Die allgemeine Funktionsstruktur repräsentiert den funktionalen Zusammenhang des Gesamtproblems und repräsentiert das funktionale Modellieren eines technischen Systems durch allgemeine Funktionen auf abstrakter Ebene. ROTH hat erarbeitet, dass jede technische Evolution durch eine neue Erfindung in den Bereichen Stoff bzw. Materie, Energie und Information hervorgebracht wurde [Roth-00]. Dementsprechend definiert HUANG eine allgemeine Funktion als eine Funktion,

„deren Funktionsgrößen Material, Energie und Information sind und aus Kombination mit den allgemeinen Funktionsverben gebildet werden können“ [Huan-02].

Im Hinblick auf die Verknüpfung der entsprechenden Größen mit allgemeinen Funktionsverben variieren die Autoren hinsichtlich der Verben und ihrer Anzahl [Rude-98]. Insbesondere der Übergang zwischen den allgemeinen und speziellen Funktionsstrukturen ist dabei methodisch oft nicht eindeutig. Das National Institute for Standards and Technology (NIST) hat im Rahmen von Forschungsarbeiten alle wissenschaftlich relevanten Vorgehensweisen zur Funktionsmodellierung verglichen und klassifiziert. Auf Basis dieser Analyse wurden von HIRTZ [HMSW-02] Taxonomien im Hinblick auf den Übergang von der allgemeinen (abstrakten) Ebene zur speziellen (konkreten) Ebene entwickelt und dadurch eine funktionale Basis geschaffen. Vor dem Hintergrund der Abbildung bestehender Systeme bzw. entwickelter Produkte mit Flussstrukturen, bietet diese Klassifizierung den umfangreichsten Ansatz für die Modellierung auf allgemeiner Ebene und den anschließenden Übergang zu speziellen Funktionen.

A.4.3 Gestaltmodellierung

Der Übergang von der Wirkstruktur zum Gestaltmodell ist durch zwei Schritte gekennzeichnet: Zuordnen eines Materials und Formgebung der äußeren Geometrie des Bauteils. Die Formgebung der äußeren Gestalt wurde sehr gut durchdrungen, und ist in grundlegenden Richtlinien in der Literatur beschrieben [PaBe-07]. Als Lösungsansammlungen in der Gestaltmodellierung werden Norm- und Wiederholteilbibliotheken eingesetzt. Der bekannteste Vertreter ist die ISO 13584 ⁶⁶Parts Library (kurz: P-Lib), welche verschiedene DIN-Normen (z. B. DIN 4000, DIN 4001 und DIN 66304) verwendet und auf andere Bereiche wie z. B. Elektrotechnik erweitert. Die grundlegende Idee der Nomenklaturen ist, dass eine Komponente mit den technischen Parametern nicht definiert werden kann, ohne den Anwendungsbereich der Komponentenfamilie zu kennen. Hierfür wurde in ISO 13584-42 ein *data dictionary* entwickelt, das eine Klassifikationshierarchie der Komponentenfamilien und einen Satz von Vorlagen (Ausprägungen) zur Beschreibung der technischen Eigenschaften enthält. In P-Lib werden Funktionen im Sinne mathematischer Funktionen beschrieben, wobei die Berechnung der technischen Parameter nicht in den Konstruktionsprozess integriert ist. Vielmehr ist P-Lib auf die Beschreibung der Gestalt und technischer Parameter fixiert [Mich-02].

⁶⁶ Siehe http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/

A.5 Kulturdimensionen nach Hofstede

Die von [Hofs-01] gefundenen Dimensionen werden in der folgenden Tabelle detailliert erläutert⁶⁷:

<i>Dimension</i>	<i>Bedeutung und Beispiele aus der Arbeitswelt</i>
Machtdistanz (MDD)	<p>Das Ausmaß, bis zu dem in einer Gesellschaft Mitglieder einer Organisation oder Institution eine ungleiche Machtverteilung akzeptieren und erwarten. Das Maß an ungleicher Machtverteilung wird sowohl von Personen in Machtpositionen als auch unterstehenden Personen gut geheißen.</p> <p><i>Gesellschaft mit hoher MDD:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Hierarchie bedeutet existentielle Ungleichheit - zentrale Organisation - Mitarbeiter erwarten Anweisungen - Autokratie <p><i>Gesellschaft mit niedriger MDD:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Hierarchie bedeutet Ungleichheit aus funktionalen Gründen - dezentrale Organisation - wenig Überwachung - Mitarbeiter werden in Entscheidungen einbezogen
Individualismus vs. Kollektivismus (IKD)	<p>Das Ausmaß, wie stark in einer Gesellschaft Individuen in eine Gruppe integriert sind. Individualismus beschreibt Gesellschaften mit lockeren Bindungen zwischen Individuen, der Einzelne sorgt für sich selbst und seine unmittelbare Familie. Kollektivismus beschreibt Gesellschaften, in der ein Individuum von Geburt an stark in eine Gruppe eingebunden ist, die es schützt und Loyalität verlangt.</p> <p><i>Individualistische Gesellschaft:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Gleichbehandlung aller Mitarbeiter, Personen werden nach Fähigkeiten bewertet - Aufgabe wichtiger als zwischenmenschliche Beziehungen (Leistung, Erfolg) - Beziehung Arbeitgeber – Arbeitnehmer zweckbezogen <p><i>Kollektivistische Gesellschaft:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Unterschiedliche Maßstäbe für Mitarbeiter abhängig von ihrer Gruppenzugehörigkeit - Zwischenmenschliche Beziehungen wichtiger als Aufgabe (Harmonie) - Beziehung Arbeitgeber – Arbeitnehmer moralisch orientiert (z.T. lebenslange Beschäftigung u. Betriebstreue)

⁶⁷ Die Tabelle würde wörtlich aus [Sand-04] übernommen.

<p>Maskulinität vs. Feminität (MFD)</p>	<p>Das Ausmaß der Rollenverteilung der Geschlechter in einer Gesellschaft. In einer maskulinen Gesellschaft sind die Rollen klar voneinander abgegrenzt: Männer sollen bestimmt und materiell orientiert sein, Frauen müssen bescheidener und sensibler sein. In einer femininen Gesellschaft überschneiden sich die Rollen.</p> <hr/> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Maskuline Gesellschaft:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Leistungsorientiert - „Leben um zu arbeiten“ - Karriere besitzt hohen Wert - Durchsetzungsvermögen </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Feminine Gesellschaft:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Einfühlungsvermögen - „Arbeiten um zu leben“ - Lebensqualität besitzt hohen Wert - Anpassungsbereitschaft </td> </tr> </table>	<p><i>Maskuline Gesellschaft:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Leistungsorientiert - „Leben um zu arbeiten“ - Karriere besitzt hohen Wert - Durchsetzungsvermögen 	<p><i>Feminine Gesellschaft:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Einfühlungsvermögen - „Arbeiten um zu leben“ - Lebensqualität besitzt hohen Wert - Anpassungsbereitschaft
<p><i>Maskuline Gesellschaft:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Leistungsorientiert - „Leben um zu arbeiten“ - Karriere besitzt hohen Wert - Durchsetzungsvermögen 	<p><i>Feminine Gesellschaft:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Einfühlungsvermögen - „Arbeiten um zu leben“ - Lebensqualität besitzt hohen Wert - Anpassungsbereitschaft 		
<p>Unsicherheits- vermeidung (UVD)</p>	<p>Das Ausmaß, wie weit eine Gesellschaft Unsicherheiten und Ungewissheit toleriert. In einer Gesellschaft, die Unsicherheiten wenig toleriert, wird versucht Ungewissheiten durch strenge Regeln und Gesetze zu begrenzen; es besteht der Glaube an nur „eine Wahrheit“. In einer Unsicherheiten akzeptierenden Gesellschaft wird angestrebt so wenig Regeln als möglich einzuführen; es werden „viele Wahrheiten“ akzeptiert.</p> <hr/> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Gesellschaft mit hoher UVD:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Emotionales Bedürfnis nach Vorschriften oder Regelungen - Starre Hierarchie, Statusdenken - Verträge müssen eingehalten werden - Widerstand gegen Veränderung - Formalisierung und Standardisierung </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Gesellschaft mit niedriger UVD:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Abneigung gegenüber Vorschriften und Regelungen - flache Hierarchien, geringe Statusunterschiede - Verträge können nachbehandelt werden - Innovationsbereitschaft - Flexible Organisation und Arbeitsgestaltung </td> </tr> </table>	<p><i>Gesellschaft mit hoher UVD:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Emotionales Bedürfnis nach Vorschriften oder Regelungen - Starre Hierarchie, Statusdenken - Verträge müssen eingehalten werden - Widerstand gegen Veränderung - Formalisierung und Standardisierung 	<p><i>Gesellschaft mit niedriger UVD:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Abneigung gegenüber Vorschriften und Regelungen - flache Hierarchien, geringe Statusunterschiede - Verträge können nachbehandelt werden - Innovationsbereitschaft - Flexible Organisation und Arbeitsgestaltung
<p><i>Gesellschaft mit hoher UVD:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Emotionales Bedürfnis nach Vorschriften oder Regelungen - Starre Hierarchie, Statusdenken - Verträge müssen eingehalten werden - Widerstand gegen Veränderung - Formalisierung und Standardisierung 	<p><i>Gesellschaft mit niedriger UVD:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Abneigung gegenüber Vorschriften und Regelungen - flache Hierarchien, geringe Statusunterschiede - Verträge können nachbehandelt werden - Innovationsbereitschaft - Flexible Organisation und Arbeitsgestaltung 		
<p>Kurzfristige vs. langfristige Orientierung (KLD)</p>	<p>Das Ausmaß, in dem eine Gesellschaft eine pragmatisch-zukunftsorientierte Grundhaltung gegenüber einer dogmatisch-gegenwartsbezogenen Perspektive aufweist. Sparsamkeit und Beharrlichkeit sind vorrangige Werte in einer langfristig orientierten Gesellschaft, in einer kurzfristig orientierten Gesellschaft der Respekt vor der Tradition. Das Erfüllen sozialer Verpflichtungen und Schutz davor, sein „Gesicht nicht zu verlieren“ spielt eine wichtige Rolle.</p>		

	<p><i>Gesellschaft mit Kurzzeitorientierung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Tendenz zur absoluten Wahrheit - Ungeduld, kurzzeitige Erfolge - Abneigung gegen Fremdbestimmung, eigene Ziele dominieren - Bewahrung von Traditionen 	<p><i>Gesellschaft mit Langzeitorientierung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Viele „Wahrheiten“ - Pragmatismus - Ausdauer, langfristige Zielverfolgung - Pragmatische Anpassung von Traditionen
--	---	--

Tabelle B-1: Dimensionen nach [Hofs-01], [Pete-02]

Tabelle A-1 zeigt einige Beispiele numerischer Werte von Kulturdimensionen nach **HOFSTEDE** als Ergebnis der Faktorenanalyse:

Dimen- sionen	<i>Macht- distanz</i> (MDD)	<i>Indivdua- lismus- Kollektivi- smus</i> (IKD)	<i>Maskulinität- Feminität</i> (MFD)	<i>Un- sicherheits- vermeidung</i> (UVD)	<i>Kurzfristige- langfristige Orientierung</i> (KLD)
Land					
<i>Arabische Länder</i>	80	38	53	68	-
<i>Australien</i>	36	90	91	86	31
<i>China</i>	78	12	52	37	118
<i>Frankreich</i>	68	71	43	86	-
<i>Deutschland</i>	35	67	66	65	31
<i>Großbritan.</i>	35	89	66	35	25
<i>Indien</i>	77	48	56	40	61
<i>Japan</i>	54	46	95	92	80
<i>USA</i>	40	91	62	46	29

Tabelle B-2: Werte für Kulturdimensionen nach HOFSTEDE ausgewählter Länder aus [Hofs-93]

Anhang B: Ergänzende Algorithmus Beschreibungen

In Kapitel 5 erfolgte die Beschreibung des Systembaumusterplans einschließlich in dessen Kontext benötigter Algorithmen. Ergänzend zu dieser Beschreibung wird in diesem Kapitel für ausgewählte Algorithmen deren Spezifikation in Pseudocode angegeben.

B.1 Algorithmen zur Phase 2

Der Algorithmus zur Bestimmung einer minimalen zusammenhängenden Konzeptmenge einer Domäne besteht aus vier Teilschritten (siehe 5.5.2), wobei in diesem Abschnitt für die ersten drei Teilschritte ein Algorithmus angegeben ist.

Teilschritt 1 Bestimmung von Zusammenhangskomponenten

Im ersten Teilschritt wird analysiert, welche Konzepte aus M semantisch stark zusammenhängend sind. Diese bilden zusammen jeweils eine Zusammenhangskomponente des zu bestimmenden minimalen semantischen Netzes, das K umschließt. Hierbei werden die Kanten aus der Referenzontologie übernommen. Als Ergebnis erhält man $p \leq q$ Zusammenhangskomponenten $Z^{(1)} := \{z_1, \dots, z_p\}$, wobei $Z^{(1)}$ nur Konzepte aus K enthält. Stehen keine zwei Konzepte aus M miteinander in Beziehung, so ist $p=q$.

BerechneZusammenhangskomponenten($K, S, out Z$) {

$Z^{(1)} := \{\}$;

forall (k in M) {

$z^* := (\{k\}, \{\}); Z^{(1)} := Z^{(1)} \cup z^*$;

$v = \text{null}$; // v Zusammenhangskomponenten, die sich aus Vereinigung der
// Zusammenhangskomponenten ergibt, die k enthalten.

forall (z in $Z^{(1)} \setminus \{z^*\}$) {

if ($\exists k^* \in z^* \exists e^* \in E_R e^* = (k, R, k^*) \vee e^* = (k^*, R, k)$) {

// k ist mit einem Konzept k^* aus z^* verbunden

$K_z := K_z \cup k$;

$E_z := E_z \cup e^*$;

if ($v \neq \text{null}$) {

$v = \text{vereinigeTeilgraphen}(v, z)$;

$Z^{(1)} := Z^{(1)} \setminus z$;

} else {

$v := z$;

$Z^{(1)} := Z^{(1)} \setminus z^*$;

} else {

$v := z$;

$Z^{(1)} := Z^{(1)} \setminus z^*$;

} else {

```

    }
  }
}

```

Teilschritt 2 Ableitung der semantischen Hüllen bzgl. den Zusammenhangskomponenten

In diesem Teilschritt werden zunächst die semantischen Hüllen $SH(z_i)$ der Zusammenhangskomponenten z_1, \dots, z_p aus dem vorherigen Teilschritt abgeleitet. Die Konstruktion einer semantischen Hülle einer Konzeptmenge wurde bereits in Abschnitt 4.4.3 beschrieben, weshalb an dieser Stelle nicht mehr darauf eingegangen wird. Abschließend sind die Zusammenhangskomponenten zu identifizieren. Hierzu ist zu überprüfen, ob sich eine oder mehrere Hüllen überlappen und somit eine Zusammenhangskomponente bilden. Ist die Konzeptmenge zweier semantischer Hüllen nicht leer, so werden diese vereinigt. Die Vereinigung zweier semantischer Hüllen ist wiederum eine semantische Hülle und ist gerade die Vereinigung der Konzept- und Kantenmenge.

berechneVereinigungSemantischerHüllen($Z^{(1)}$, out $Z^{(2)}$) {

$Z^{(2)} := \{\}$

forall ($z_i^{(1)}$ aus $Z^{(1)}$) {

$z^* := \text{berechneSemantischeHülle}(z_i^{(1)});$

$Z^{(2)} := Z^{(2)} \cup \{z^*\}; v = \text{null};$

forall (z in $Z^{(2)} \setminus \{z^*\}$) {

if ($z \cap z^* \neq \{\}$) {

$z := \text{vereinigeTeilgraphen}(z, z^*);$

$Z^{(2)} := Z^{(2)} \setminus \{z^*\};$

if ($v \neq \text{null}$) {

$v = \text{vereinigeTeilgraphen}(v, z);$

$Z^{(1)} := Z^{(1)} \setminus z;$

} else {

$v := z;$

$Z^{(2)} := Z^{(2)} \setminus z^*;$

}

}

```

    }
  }
}

```

Teilschritt 3: Bestimmung einer zusammenhängenden Ontologie

Verbinde diejenigen Zusammenhangskomponenten, die aus derselben Domäne stammen (oder zumindest eine Verbindung zwischen den Domänen (in den Referenzontologien) modelliert ist). Für die Verbindung von Zusammenhangskomponenten sind folgende Probleme zu lösen:

1. Welche Zusammenhangskomponenten sollen miteinander verbunden werden?
2. Welche Konzepte sollen als Anfangs- bzw. Endpunkt des Verbindungsweges zwischen den Zusammenhangskomponenten dienen?
3. Welcher Weg soll zur Verbindung der Zusammenhangskomponenten gewählt werden?

Die Lösungsstrategie sieht vor, diejenigen Zusammenhangskomponenten miteinander zu verbinden, die den semantisch geringsten Abstand haben, oder der Abstand kleiner als eine vorgegebene Grenze (δ_{\min} , $0 < \delta_{\min} \leq 1$) miteinander zu verbinden. Als Abstandsmaß kann entweder

- (1) der absolute semantische Abstand oder
- (2) der mittlere semantische Abstand

für Konzeptmengen verwendet werden. Können aufgrund der vorgegebenen Grenze nicht alle Zusammenhangskomponenten verbunden werden, wird die Grenze um die Schrittweite $0 < \Delta < 1$ erhöht (das heißt setze $\delta_{\min}^{(n+1)} := \delta_{\min}^{(n)} + \Delta$, $\delta_{\min}^{(1)} := \delta_{\min}$ $n > 0$). Dieser Teilschritt wird so lange wiederholt, bis entweder alle Zusammenhangskomponenten verbunden oder eine gegebene Obergrenze (δ_{\max}) für den semantischen Abstand erreicht wurde. Sollte die Grenze erreicht werden, muss der Anwender entscheiden, ob der minimale Weg (mit einem größeren semantischen Abstand) verwendet werden soll oder er muss die Verbindung manuell erstellen. Es kann eine weitere Grenze $\delta_{\max}^* \leq \delta_{\max}$ angegeben werden, ab welcher nur die Zusammenhangskomponenten mit minimalem Abstand miteinander vereinigt werden.

Ist $\delta_{\max} = 1$ so wird auch ein „unendlich großer Abstand“ akzeptiert und somit sind nach diesem Teilschritt alle Zusammenhangskomponenten verbunden (die gemäß Referenzontologie nicht isoliert sind). Je nachdem, welches Abstandsmaß verwendet wird, ergeben sich unterschiedliche Lösungen für die Probleme 2+3.

B.2 Algorithmen zur Phase 3a

In diesem Abschnitt wird das Verfahren zur Ableitung der initialen Version des Kooperationsdatenmodells ($\varphi(1) = (O\varphi, R\varphi, A\varphi)$) bestehend aus zusammenhängenden disjunkten Teildatenmodellen ($\Psi(1) = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p\}$) beschrieben.

Es wird für jedes Element der Kooperationsontologie überprüft, ob eine semantische Beziehung zu einem Datenmodellelement besteht. Ist dies der Fall, so wird das Datenmodellelement übernommen und der strukturelle Datenmodell-Abschluss bestimmt. Ist das Datenmodellelement ein Relationstyp, so werden die mit diesem Relationstyp verbundenen Objekttypen als Grundlage für den strukturellen Datenmodellabschluss verwendet.

Nachdem die Datenmodellelemente abgeleitet wurden, wird überprüft, ob sie untereinander (im Referenzdatenmodell) verbunden sind. Ist dies der Fall, so wird die Relation aufgenommen und die Elemente zu einem Teildatenmodell vereinigt. Anschließend wird für jedes so gefundene Teildatenmodell der strukturelle Abschluss gebildet und überprüft, ob das entstandene Teildatenmodell mindestens ein Objekttyp eines vorher erstellten Teildatenmodells enthält oder ob es im Referenzdatenmodell eine Relation zwischen Objekttypen gibt. Ist dies der Fall, so werden die Teildatenmodelle vereinigt.

berechneInitialeTeildatenmodelle($\omega, Z^{(3)}, \Omega, \text{out } \Psi^{(1)}$) {

$\Psi^{(0)} := \{\};$

forall (k aus $Z^{(3)}$) {

$\varphi^* = (\{o_1, \dots, o_p\}, \{r_1, \dots, r_q\}) := \text{getDatenmodellelemente}(\omega, \Omega, k);$

$\Psi^{(0)} := \text{addTeildatenmodell}(\Psi^{(0)}, \varphi^*);$

}

forall (φ aus $\Psi^{(0)}$) {

$\varphi^* = (\{o_1, \dots, o_p\}, \{r_1, \dots, r_q\}) := \text{getStrukturellerAbschluss}(\omega, \varphi);$

$\Psi^{(1)} := \text{addTeildatenmodell}(\Psi^{(1)}, \varphi^*);$

}

}

```
addTeildatenmodell ( $\Psi, \varphi^*$ ){  
     $\Psi := \Psi \cup \{ \varphi^* \}$   
  
    v = null;  
  
    forall ( $\varphi$  in  $\Psi$ ){  
        if (  $O_\varphi \cap O_{\varphi^*} \neq \{ \}$   $\vee \exists e \in E_\varphi \exists o_1 \in \varphi \exists o_2 \in \varphi^* e = (o_1, o_2)$  ){  
             $\tau :=$  vereinigeTeildatenmodelle ( $\varphi, \varphi^*$ );  
             $\Psi := \Psi \setminus \{ \varphi^* \}$ ;  
            if (v  $\neq$  null){  
                v = vereinigeTeildatenmodelle(v,  $\varphi$ );  
                 $\Psi := \Psi \setminus \varphi$ ;  
            } else {  
                v :=  $\varphi$ ;  
                 $\Psi := \Psi \setminus \varphi^*$ ;  
            }  
        }  
    }  
}
```

```

berechneZusammenhaengendeOntologie( $\Omega, Z^{(2)}$ ,  $w_{\text{Dist}}$ ,  $p$ ,  $\delta_{\text{min}}$ ,  $\Delta$ ,  $\delta_{\text{max}}$ ,  $\delta_{\text{max}^*}$ ,  $\varepsilon$ , isUseAbsolutDistance, out  $Z^{(3)}$ ){
     $Z^{(3)} := Z^{(2)}$ ;
    n=0;
    while ( $\delta^{(n)} < \delta_{\text{max}}$  &  $|Z^{(3)}| > 1$ ) do{
        if (isUseAbsolutDistance){
             $Z^{(3)} := \text{berechneVereinigungViaAbsolutenAbstand}()$ ;
        } else {
             $Z^{(3)} := \text{berechneVereinigungViaMittlererenAbstand}()$ ;
        }
        n++;
         $\delta_{\text{min}}^{(n+1)} := \delta_{\text{min}}^{(n)} + \Delta$ ;
    }
}

```

Anhang C: Verfahren zum semantischen Mapping

In diesem Kapitel wird das Verfahren zum ontologiebasierten Erkennen von Abhängigkeiten zwischen dem Datenmodell des externen Systems ($X=(O_X,R_X,A_X)$) und dem Kooperations-Datenmodells ($K=(O_K,R_K,A_K)$) detailliert vorgestellt. Das Verfahren nutzt existierende Ansätze (siehe Abschnitt 3.5) und erweitert diese um die semantische Analyse auf Basis der gemeinsamen Kooperationsontologie. Die grundlegende Idee des Verfahrens ist, dass die Umgebung von Objekttypen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit semantisch äquivalent sind untersucht wird.

Hierbei werden zwei Objekttypen von X bzw. K als semantisch ähnlich angesehen, wenn deren abgeschlossene semantische Interpretation bzgl. der Kooperationsontologie (siehe Definition 14 in Kapitel 5.6) einen möglichst kleinen semantischen Abstand (siehe Definition in Kapitel 5.5) besitzt. Auf diese Weise müssen nur relativ kleine Datenmodelle untersucht werden, die mit einer hohen Wahrscheinlichkeit semantisch ähnlich sind. Dadurch wird der in Abschnitt 3.8 erwähnte Nachteil bestehender Verfahren umgangen weshalb mit besseren Resultaten zu rechnen ist. Der Lösungsansatz basiert auf dem „Teile-und Herrsche“ Prinzip.

Das Verfahren besteht aus fünf Schritten, die in den nachfolgenden Unterkapiteln erläutert werden. Ist das externe Modell nicht ein Datenmodell, sondern eine Ontologie, so wird zunächst das in Abschnitt 5.6.1 dargestellte Verfahren zur automatisierten Ableitung eines Datenmodells aus der Ontologie angewendet, wobei hier jedes Konzept als Objekttyp abgebildet wird. Nachfolgend werden die Datenmodelle als Graphen repräsentiert.

C.1 Schritt 0: Spezifikation semantischer Interpretationen externer Modellelemente

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht normalisierte externe Datenmodell X. • Kooperationsontologie $\Phi=(K\Phi, R\Phi, \dots)$
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Normalisierte externe Datenmodell X • Semantische Interpretation der Datenmodellelemente aus X bzgl. der Kooperationsontologie $I_X : O_X \rightarrow K_\Phi : I_X(x) = \{c_1, \dots, c_v\}$

In diesem initialen Schritt sind manuell vom Experten des zu integrierenden Systems einige semantische Interpretationen der Modellelemente bzgl. der gemeinsamen Kooperationsontologie anzugeben. Die Kooperationsontologie repräsentiert das (anwenderorientierte) gemeinsame Verständnis aller Kooperationspartner bzgl. der kooperationsrelevanten Artefakte. Bei der Erstellung der semantischen Interpretationen ist keine Kenntnis des implementierungsorientierten Kooperationsdatenmodells erforderlich.

Innerhalb des Verfahrens wird in den nachfolgenden Schritten eine Umgebung semantisch ähnlicher Datenmodellelemente untersucht. Die Bestimmung der semantischen Ähnlichkeit

erfolgt auf Basis der abgeschlossenen semantischen Interpretation des Datenmodellelementes. Hierzu muss allerdings zunächst eine semantische Interpretation modelliert sein. Dementsprechend wird ein isoliertes Teildatenmodell im Folgenden nicht betrachtet, wenn nicht mindestens für einen Objekttypen eine semantische Interpretation modelliert ist. Aus diesem Grund wird im Anschluss überprüft, ob für jedes Teildatenmodell mindestens für einen Objekttyp eine semantische Interpretation modelliert ist. Ist dies nicht erfüllt, wird dies dem Benutzer mitgeteilt. Er kann dann entweder eine semantische Interpretation modellieren oder bestätigen, dass dieses Teildatenmodell für die Kooperation nicht relevant ist. Dann wird dieses Teildatenmodell im weiteren Verlauf nicht mehr betrachtet.

C.2 Schritt 1: Normalisierung der Datenquelle

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht normalisiertes externe Datenmodell X • Normalisiertes Kooperationsdatenmodell K
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Normalisiertes externe Datenmodell X • Normalisiertes Kooperationsdatenmodell K

In diesem Schritt wird wie bei den meisten Verfahren (siehe Abschnitt 3.5) zum automatisierten Erkennen von Abbildungsregeln eine Normalisierung der Bezeichnungen der Elemente der Datenquelle durchgeführt.

C.3 Schritt 2: Startpunkte (Ankerpunkte) des Verfahrens bestimmen

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Kooperationsontologie $\Omega=(K_\Omega, R_\Omega, \dots)$ • Semantische Interpretation der Datenmodellelemente aus X und K bzgl. der Kooperationsontologie $I_X : O_X \rightarrow K_\Omega : I_X(x) = \{c_1, \dots, c_v\}$ und $I_K : O_K \rightarrow K_\Omega : I_K(k) = \{\tilde{c}_1, \dots, \tilde{c}_w\}$ • Datenmodell-Repräsentationen der Konzepte der Kooperationsontologie $R_X : K_\Omega \rightarrow O_X$: bzw. $R_K : K_\Omega \rightarrow O_K$ • Schwellenwert ε für den strukturellen Datenmodell Abstand
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Normalisierte Datenmodelle X und K • Menge von Ankerpunkt-Tupel $\{(x_1^*, k_1^*), \dots, (x_n^*, k_n^*)\} \subseteq O_X \times O_K$

Wie bereits eingangs des Kapitels erwähnt, ist eine wesentliche Idee des Verfahrens, die Umgebung (gemäß Kooperationsontologie) semantisch ähnlicher Objekttypen bezüglich der Ab-

leitung von Mappingregeln zu untersuchen. Hierzu sind zunächst die Startpunkte (Ankerpunkte) des Verfahrens zu bestimmen, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit semantisch ähnlich sind.

Dieser Schritt des Verfahrens besteht aus vier Teilschritten:

- Bestimmung der Objekttypen im Datenmodell X bzw. K , für die eine semantische Interpretation definiert ist. Das Ergebnis sind die Mengen $I(X) = \{x_1, \dots, x_a\}$ bzw. $I(K) = \{k_1, \dots, k_b\}$, wobei $I(X)$ die gesuchte Menge der Objekttypen des Datenmodells X und $I(K)$ die Objekttypen von K bezeichnet.
- Berechnung der abgeschlossenen semantischen Interpretation bzgl. der Kooperationsontologie für die Elemente aus $I(X)$ bzw. $I(K)$. Das Resultat dieses Teilschrittes sind die Konzeptmengen $ASI(x_1), \dots, ASI(x_a)$ bzw. $ASI(k_1), \dots, ASI(k_b)$.

Im Gegensatz zum Kooperationsdatenmodell (K) sind im zu integrierenden externen Datenmodell (X) nur für wenige Elemente semantische Interpretationen definiert. Die (umfangreichen) Berechnungen für das Kooperationsdatenmodell werden für jedes weitere zu integrierende System erneut benötigt. Aus diesem Grund bietet es sich an die Zwischenergebnisse zu speichern und bei Bedarf wiederzuverwenden.

- Ermittlung der semantischen Abstände der abgeschlossenen semantischen Interpretation der Objekttypen von X und K . Hierbei wird für alle Kombinationen mit einem Objekttyp aus X und K der semantische Abstand berechnet. Das Resultat ist eine Menge von $a \cdot b$ Abstandswerten $\{D_{sem}^{sym}(ASI(x), ASI(k)) \mid x \in I(X) k \in I(K)\}$.
- Festlegung der Ankerpunkt-Tupel basierend auf den Abstandswerten der ASI. In diesem finalen Schritt werden zunächst die Abstandswerte aufsteigend sortiert. Anschließend werden der Reihe nach die zugehörigen Objekttyp-Tupel (x^*, k^*) in die Ergebnismenge aufgenommen. Hierbei werden Tupel, deren Abstand größer als die vorgegebene Schranke ε ist, zunächst nicht betrachtet. Da eine Umgebung um den Ankerknoten untersucht wird, macht es keinen Sinn benachbarte Ankerpunkte in die Ergebnisliste aufzunehmen. Deshalb wird bei jedem Tupel $T=(x^*, k^*)$ überprüft, ob bereits Tupel in der Ergebnismenge existieren, die x^* oder k^* enthalten. Sei $T=(x, k^*)$ ein Tupel das k^* enthält. Dann wird überprüft, ob x im strukturellen Datenmodellabschluss von x^* mit Radius 2 enthalten ist. Ist dies nicht der Fall, so befindet sich x^* nicht in der direkten Umgebung von x und das Tupel (x^*, k^*) wird in die Ergebnismenge aufgenommen. Analog wird die Überprüfung mit x^* statt k^* durchgeführt, falls bereits ein Tupel mit x^* in der Ergebnismenge existiert. Enthält die Ergebnismenge mindestens ein Tupel für alle Objekttypen aus $x \in I(x)$, so ist dieser Teilschritt abgeschlossen. Ansonsten werden der Reihe nach die Tupel aufgenommen, die $x \in I(x)$ enthalten, wobei für jedes $x \in I(x)$ nur das erste Tupel (Tupel mit kleinstem semantischem Abstand) aufgenommen wird.

C.4 Schritt 3: Zerlegung in paarweise semantisch ähnliche Teildatenmodelle

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Normalisierte Datenmodelle X und K • Menge von Ankerpunkt-Tupel $A = \{(x_1^*, k_1^*), \dots, (x_n^*, k_n^*)\} \subseteq O_X \times O_K$ sortiert nach semantischem Abstand
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Folge κ von Objekttypen für jeden Ankerpunkt-Tupel (x_i^*, k_i^*) im jeweiligen Datenmodell: $\kappa(x_i) = \{x_1^{(i)}, \dots, x_p^{(i)}\} \subseteq O_X$ und $\kappa(k_i) = \{k_1^{(i)}, \dots, k_q^{(i)}\} \subseteq O_K$

In diesem Schritt sind die zu betrachtenden Objekttypen (Suchbereich) ausgehend vom Ankerpunkt-Tupel (x_i^*, k_i^*) festzulegen. Der Suchbereich sollte eine „sinnvolle“ Umgebung um den Objekttyp enthalten. Als „sinnvolle“ Umgebung sind die Ober- und Unterklassen sowie über Existenzrelationen verbundene Objekttypen anzusehen. Deshalb wird als Suchbereich für das Ankerpunkt-Tupel der strukturelle Datenmodell-Abschluss ($SDMA(x_i)$ bzw. $SDMA(k_i)$) mit Radius r (siehe Abschnitt 5.6) im jeweiligen Datenmodell (X bzw. K) gewählt. Nun ist noch die Frage nach der geeigneten Wahl des Radius r zu klären. Alle Suchgebiete bzgl. des zu integrierenden Datenmodells X sollten möglichst alle Objekttypen (bis auf die in Schritt 0 durch den Experten explizit ausgeschlossenen Teildatenmodelle) enthalten und sich möglichst wenig überlappen. Im Folgenden wird die Bestimmung der Suchgebiete bzgl. des Datenmodells X vorgestellt. Die Bestimmung der Suchbereiche bzgl. des Datenmodells K erfolgt analog.

Seien $x_i^* (i=1, \dots, n)$ die zum Datenmodell X gehörigen Objekttypen der Ankerpunkte-Tupel (x_i^*, k_i^*) . Die Suchgebiete ($SDMA$ zum Radius r) werden iterativ berechnet. In jeder Iteration wird der Radius vergrößert und die $SDMA$ (Suchgebiete der Ankerpunkte) neu berechnet. Das Suchgebiet im j -ten Iterationsschritt ist definiert als $S^{(j)}(x_i) = SDMA(x_i, r_0 + j)$, $j \geq 0$ wobei r_0 der initale Radius ist. Durch die Inkrementierung des Radius in jedem Schritt ($r = r_0 + j$) werden im Allgemeinen mehr Datenmodellelemente in die im $j+1$. Schritt erstellten Suchgebiete aufgenommen ($|S^{(j+1)}(x_i)| \geq |S^{(j)}(x_i)|$). Allerdings können diese bereits in anderen $S^{(v)}(x_p)$ enthalten sein, was möglichst vermieden werden sollte. Deshalb werden Suchgebiete als „final“ gekennzeichnet und deren Radius r (auch in den Folge-Iterationen) nicht mehr erhöht, wenn in einer Iteration mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Der Suchbereich verändert sich nicht gegenüber der vorherigen Iteration (d. h. $S^{(j)}(x_i) = S^{(j-1)}(x_i)$) oder
- Alle neuen Elemente waren bereits in einem Suchgebiet eines anderen Ankerpunktes enthalten (d. h. $S^{(j)}(x_i) \setminus S^{(j-1)}(x_i) \subseteq \bigcup_{v=1}^{i-1} S^{(j)}(x_v) \cup \bigcup_{v=i+1}^n S^{(j-1)}(x_v)$). Die Berechnung der

Suchgebiete der x_v mit Index $v < i$ ist bereits erfolgt, weshalb in der Überprüfung für $v < i$ $S^{(j)}$ statt $S^{(j-1)}$ betrachtet wird. Der Hintergrund für diese Bevorzugung der x_v mit Index $v < i$ ist, dass deren ASI einen geringeren semantischen Abstand zu dem ASI des entsprechenden Ankerpunktes im Datenmodell K haben.

Die Bestimmung der Suchgebiete (und damit die Wahl der Radien für die SDMA der Ankerpunkte) ist genau dann beendet, wenn alle Suchgebiete mit „final“ gekennzeichnet sind.

Im Folgenden bezeichne O_{x^*} die Gesamtmenge der Objekttypen des externen Datenmodells, die auf Objekttypen des Kooperationsdatenmodells zuzuordnen sind. Es ist das gesamte Datenmodell ohne die isolierten Teildatenmodelle, für die keine semantische Interpretation definiert wurde. Gemäß Konstruktion der Radien der Suchgebiete ist $O_{x^*} = \bigcup_{i=1}^n \kappa(x_i)$.

C.5 Schritt 4: Ableitung der Datenmodell-Transformationsregeln

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Normalisierte Datenmodelle X und K. • Folge κ von Objekttypen für jeden Ankerpunkt-Tupel (x_i, k_i) im jeweiligen Datenmodell: $\kappa_X(x_i) = \{x_1^{(i)}, \dots, x_p^{(i)}\} \subseteq O_X$ und $\kappa_K(k_i) = \{k_1^{(i)}, \dots, k_q^{(i)}\} \subseteq O_K$ • Menge von Abbildungsregeln aus vorherigen Integrationsprojekten.
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Menge von Abbildungsregeln. • Menge nicht (R) bzw. nicht vollständig (T) abgebildeter Objekttypen aus X.

In diesem zentralen Schritt sind die Transformationsregeln (siehe Abschnitt 3.5.2) für die Objekttypen aus X und K zu bestimmen. Hierzu werden der Reihe nach alle Suchraum-Tupel $\{\kappa(x_i), \kappa(k_i)\}$ für alle Ankerpunkt-Tupel (x_i, k_i) (für $i=1, \dots, n$) durchlaufen. D. h. es ist zu überprüfen wie die Objekttypen der durch die Suchgebiete repräsentierten Teildatenmodelle aufeinander transformiert werden können. Hierzu werden die in Abschnitt 3.5 beschriebenen Verfahren eingesetzt. Aufgrund des im vorherigen Abschnitt vorgestellten Verfahrens wurden folgende Vorarbeiten geleistet:

- Die abzubildenden Datenmodelle wurden in strukturell abgeschlossene (nicht notwendiger Weise disjunkte) Teildatenmodelle zerlegt.
- Die zu überprüfenden Teildatenmodelle (Suchräume) sind zu einem gewissen Grad semantisch ähnlich.

Aufgrund der Vorarbeit können die Schwachpunkte der Verfahren ausgeglichen und wesentlich bessere Resultate erreicht werden.

Bezeichne $Z(\kappa(x_i))$ die Menge der Objekttypen aus $\kappa(x_i)$, die vollständig auf das Kooperationsdatenmodell K zugeordnet sind. Der Term „vollständig zugeordnet“ bedeutet in diesem Kontext, dass für alle Attribute ($Attr(x)$) eines Objekttyps x Transformationsregeln abgeleitet wurden. Analog bezeichnet $Z(O_{X^*})$ die Menge der vollständig zugeordneten Objekttypen des externen Datenmodells X ohne die in Schritt 0 ausgeschlossenen Teildatenmodelle.

Die Menge $T(\kappa(x_i))$ bezeichne die Objekttypen, die nicht vollständig zugeordnet sind, aber für die mindestens eine Transformationsregel für ein Attribut abgeleitet wurde. Die Restmenge der Objekttypen für die keine Attribut-Transformation abgeleitet wurde, wird als $R(\kappa(x_i))$ bezeichnet. Es gilt offensichtlich folgender mengentheoretischer Zusammenhang zwischen den disjunkten Mengen R, T und Z: $\kappa(x_i) = R(\kappa(x_i)) \dot{\cup} Z(\kappa(x_i)) \dot{\cup} T(\kappa(x_i))$ ⁶⁸.

⁶⁸ Das Symbol $\dot{\cup}$ bezeichnet die disjunkte Vereinigung. D.h. die vereinigten Mengen sind disjunkt.

Bild C-1 zeigt den grundlegenden Ablauf des Verfahrens. Gemäß der vom Anwender vorgegebenen Priorisierung werden der Reihe nach die Algorithmen zur Ableitung der Transformationsregeln verwendet. Um Konflikte zwischen den Verfahren zu vermeiden, werden nur Transformationsregeln für Attribute abgeleitet, für die noch keine Transformationsregel erstellt wurde. Hierbei können sowohl schema- als auch instanzbasierte Verfahren verwendet werden, wobei letztere die Existenz von Beispieldaten voraussetzt. Hierbei werden nur die Instanzdaten bzgl. der jeweiligen Teildatenmodelle berücksichtigt.

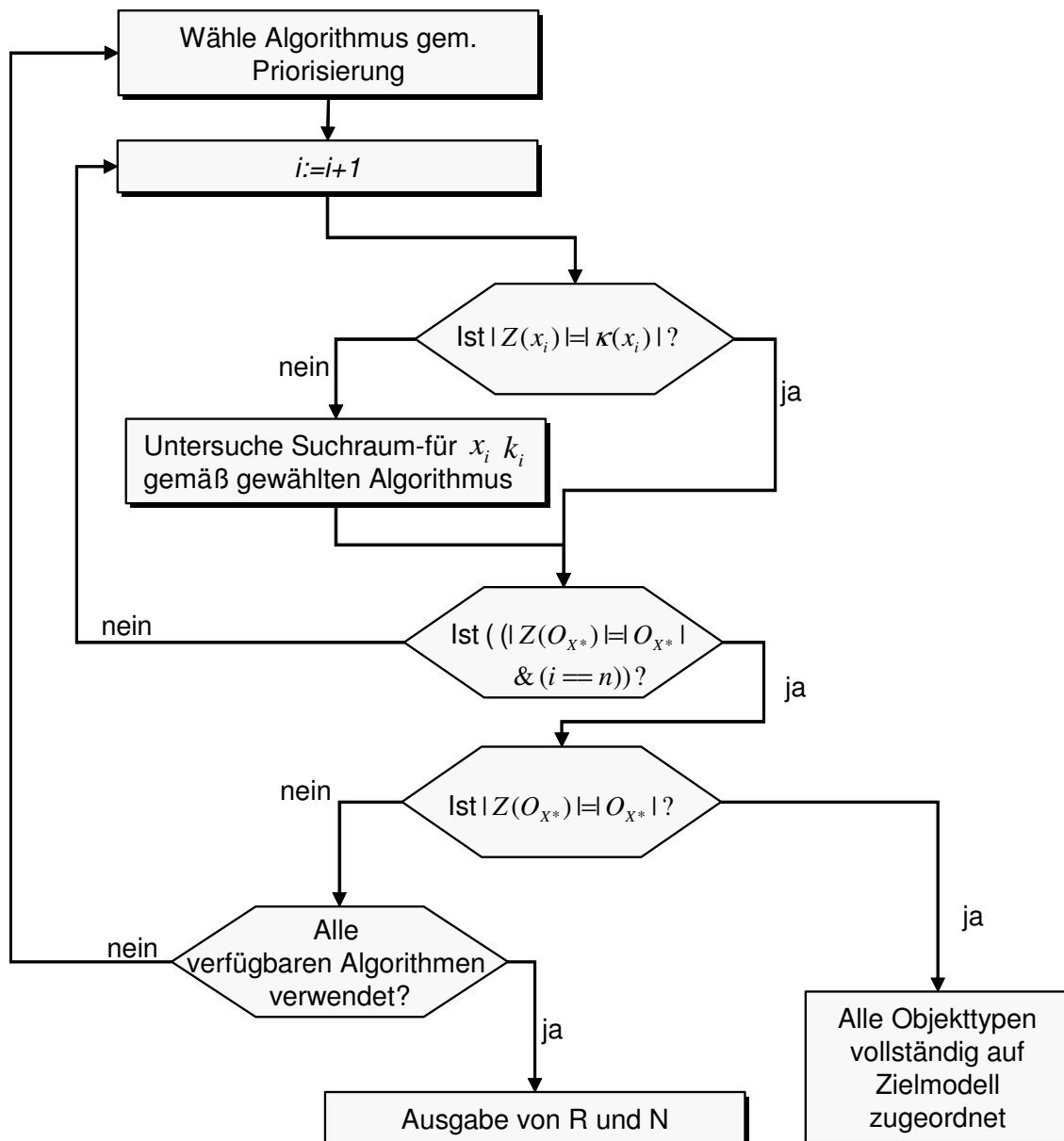


Bild C-1: Grundlegender Ablauf für Schritt 4- Ableitung der Transformationsregeln

Nach der Wahl des Algorithmus werden der Reihe nach die Teildatenmodell-Tupel $\kappa(x_i)$ und $\kappa(k_i)$ untersucht, falls noch nicht alle Objekttypen vollständig zugeordnet sind ($|Z(x_i)| = |\kappa(x_i)|$). Wurden alle Teildatenmodell-Tupel mit Hilfe des Algorithmus untersucht, aber noch nicht alle Objekttypen vollständig zugeordnet, so wird diese Iteration mit

dem Algorithmus mit der nächsthöheren Priorität erneut durchgeführt. Ist kein weiterer Algorithmus verfügbar, so werden die Transformationsregeln sowie die nicht oder unvollständig zugeordneten Objekttypen ausgegeben.

In den folgenden beiden Unterabschnitten wird eine Ausprägung des Teilschritts „Untersuche Suchraum gemäß gewähltem Algorithmus“ für einen auf dem Ansatz von ENGEL basierenden Algorithmus dargestellt. Der hier vorgestellte Algorithmus ermöglicht Strukturmapping und nutzt zusätzlich die Kooperationsontologie aus.

Grobstruktur des Algorithmus zum Ableiten von Transformationsregeln

In diesem Abschnitt wird der grobe Ablauf des Algorithmus dargestellt (siehe Bild C-2). Die Beschreibung der Systematik für die Ableitung der Transformationsregeln erfolgt im nächsten Abschnitt. Ziel des Algorithmus ist die Ableitung der Transformationsregeln für ein Teildatenmodell-Tupel $(\kappa(x_i), \kappa(k_i))$. D. h. es sind für jeden Objekttyp $x \in \kappa(x_i)$ die semantisch äquivalente(n) Objekttyp(en) $k_1, \dots, k_v \in \kappa(k_i)$ zu bestimmen und Transformationsregeln für deren Attribute zu bestimmen.

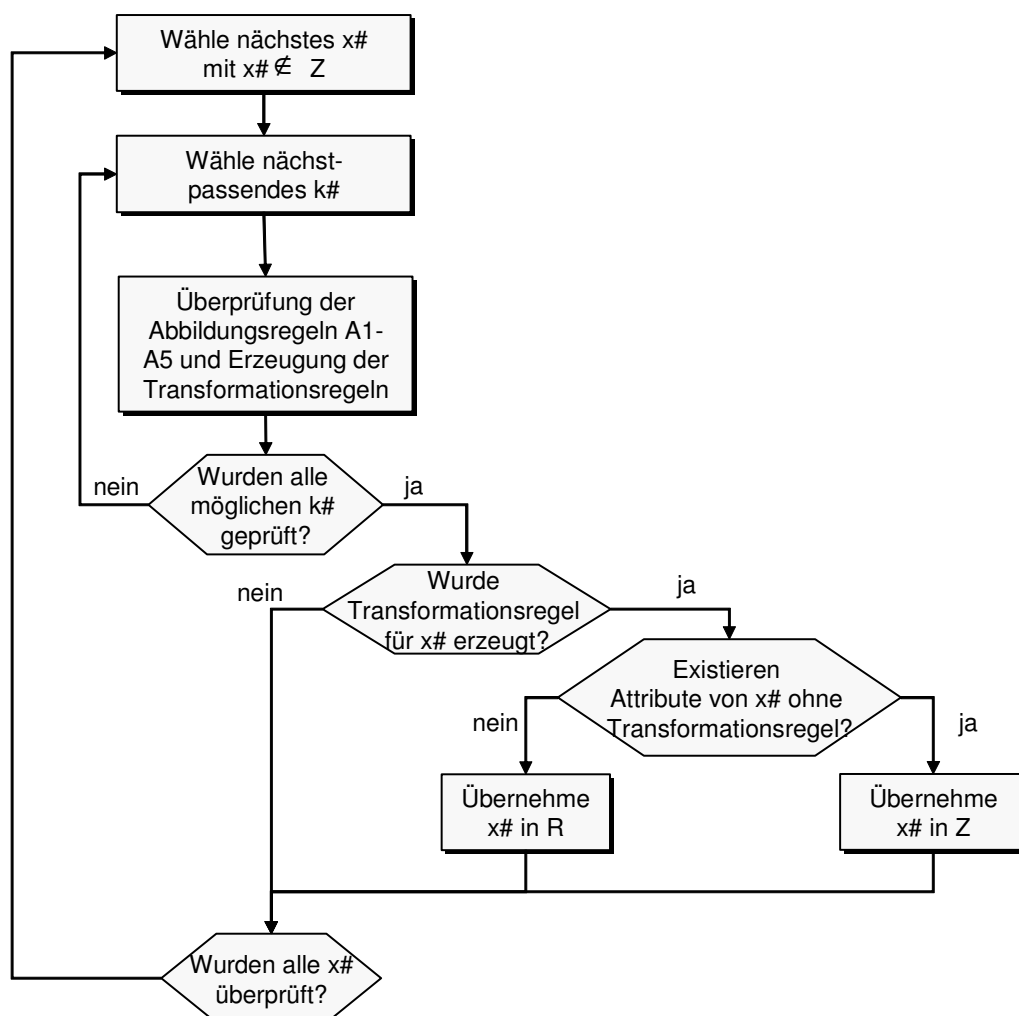


Bild C-2: Grobstruktur des Algorithmus zur Bestimmung der Transformationsregeln

Im Rahmen der Analyse des jeweiligen Teildatenmodell-Tupels werden beginnend mit den beiden Ankerpunkten x_i und k_i die Elemente gemäß einer gegebenen Abarbeitungsreihenfolge analysiert. In jedem Analyse-Schritt wird ein Objekttyp $x\#$ aus dem Suchgebiet $\kappa(x_i)$ des externen Datenmodells X sowie ein Objekttyp $k\#$ aus dem zugehörigen Suchgebiet $\kappa(k_i)$ des Kooperationsdatenmodells K betrachtet. Hierbei werden die Objekttypen (sowie deren Umgebung) mit Hilfe der Kooperationsontologie auf die Anwendbarkeit von Abbildungsregeln untersucht und Transformationsregeln abgeleitet.

Wie bei dem Verfahren von ENGEL wird ein Lösungsspeicher (siehe Bild C-3) vorausgesetzt, wobei der Zugriff auf die gespeicherten Transformationsregeln auf zwei Arten erfolgen kann:

- Basierend auf den Konzepten der Referenzontologie (und nicht der Namen der Objekttypen)
- Gespeicherte Prozessschritte, in welchen die Konzepte verwendet wurden (siehe Phase 2 des Gesamtverfahrens in Abschnitt 5.4.2)

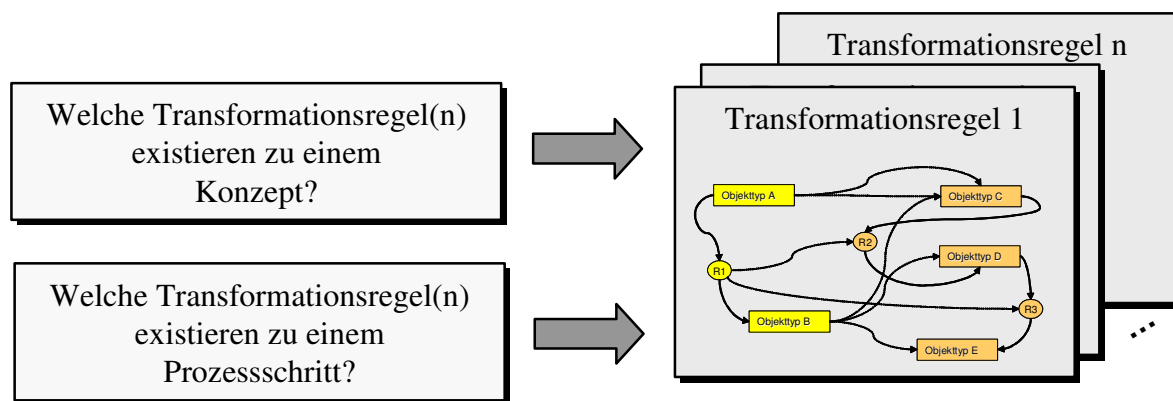


Bild C-3: Zugriff auf gespeicherte Transformationsregeln

Die semantische Abstandsmessung erfolgt auf Basis dem in Abschnitt 4.4.3.2 eingeführten semantischen Abstandsmaß.

Festlegung der Abarbeitungsreihenfolge

Ist die Abarbeitungsreihenfolge nicht durch das verwendete Verfahren vorgegeben, so wird in folgender Weise verfahren: Jedes Suchgebiet $S^{(j)}(x_i)$ (bzw. $S^{(j)}(k_i)$) entspricht einem Teildatenmodell von X (bzw. K). Zur Bestimmung der Ablaufreihenfolge innerhalb eines Suchgebietes $S^{(j)}(x_i)$ wird eine auf der Breitensuche basierende Strategie verwendet. Hierbei wird zunächst der minimal spannende Baum (siehe Abschnitt A3) des Suchgebietes bestimmt, wobei die in Tabelle 2 auf siehe S. 5 definierten Werte als Kantengewichte verwendet werden. Anschließend erfolgt der Durchlauf in Breitensuche ausgehend vom Ankerpunkt x_i .

Nun wird das Verfahren rekursiv auf die im letzten Schritt aufgenommenen Objekttypen angewendet. Objekttypen, die bereits in die Ergebnisfolge κ aufgenommen wurden, werden nicht noch einmal betrachtet. Die Abarbeitungsreihenfolge in der jeweils nächsten Ebene entspricht der Reihenfolge in welcher die Objekttypen in κ aufgenommen wurden. Der Algorithmus zur Bestimmung der Abarbeitungsreihenfolge terminiert, sobald alle Elemente des Suchgebietes $S^{(j)}(x_i)$ in die Ergebnisfolge κ aufgenommen wurden.

C.6 Schritt 5: Manuelle Nachbearbeitung

Input:	<ul style="list-style-type: none"> • Menge von Abbildungsregeln • Menge nicht (R) bzw. nicht vollständig (T) abgebildeter Objekttypen aus X:
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Menge von Abbildungsregeln • Ggf. Erweiterung des Kooperationsdatenmodells und Kooperationsontologie

Für die nicht vollständige Zuordnung kann es drei Fälle geben, die nacheinander geprüft werden (siehe Bild C-4):

- Der nicht zugeordnete Objekttyp (bzw. Attribut) ist für die Kooperation nicht relevant und es existiert deshalb auch kein entsprechender Objekttyp im Kooperationsmodell. (Fall 1)
- Der nicht zugeordnete Objekttyp ist für die Kooperation relevant, aber die semantische Entsprechung im Kooperationsdatenmodell existiert nicht. In diesem Fall muss das Kooperationsdatenmodell manuell verändert und die Transformationsregeln definiert werden. (Fall 2)
- Die angewendeten Algorithmen haben die semantische Zuordnung nicht gefunden, obwohl der entsprechende Objekttyp im Kooperationsdatenmodell enthalten ist. In diesem Fall müssen die Transformationsregeln manuell nachmodelliert werden. (Fall 3)

Diese Fälle können bei allen bekannten Verfahren zur automatisierten Ableitung von Datenmodelltransformationen auftreten. Die entscheidende Verbesserung bei dem in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz ist, dass die Analyse, um welchen Fall es sich handelt wesentlich einfacher durchgeführt werden kann.

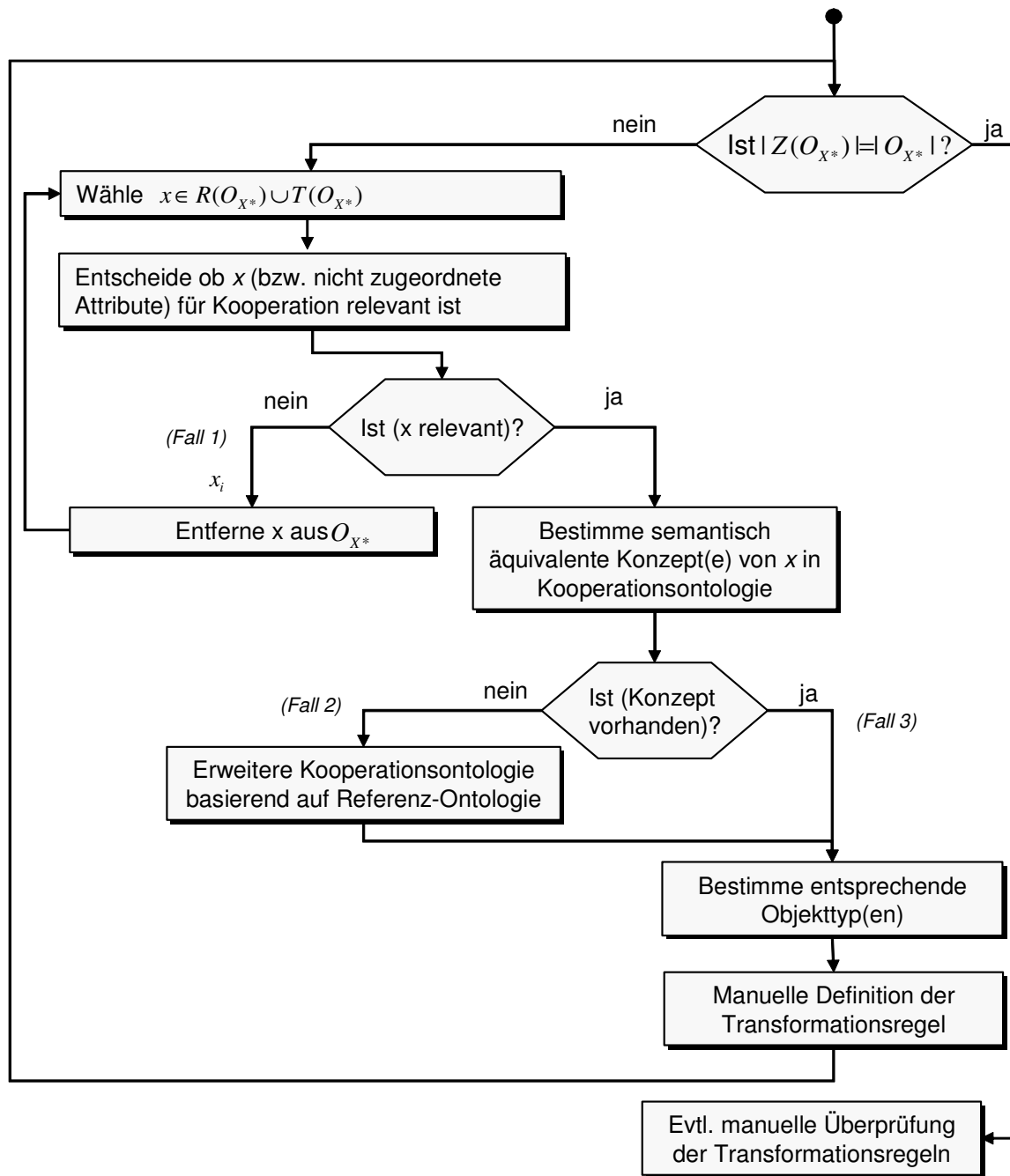


Bild C-4: Schematischer Ablauf von Schritt 6 - Manuelle Nachbereitung

Literatur

- [AaPl-94] Aamodt, A.; Plaza, E.: "Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches", AICOM 7, 1994, S. 39-59.
- [Abra-03] Abramovici, M.: " e-Engineering-Services im Produktlebenszyklus", in: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Heft 10/2003, Carl Hanser Verlag, München, 2003.
- [Adai-02] Adaindo: "Interkulturelle Kommunikation / Management". Bali, Adaindo, 2002, <http://www.adaindo.com/ger/ikk.htm> Abgerufen 10.02.2007.
- [AdHZ-04] Adam, O.; Hofer, A.; Zang, S.: "Cross-enterprise Process Orchestration – Framework", Computer Supported Activity Coordination (CASC-04), Porto, Portugal, 2004.
- [Adam-02] Adamietz, P.: "Adaption von Standardsoftwaresystemen: Ein Beitrag zur unternehmensmodellbasierten Integration von Organisation und Information". Dissertation, Uni Karlsruhe, 2002.
- [AnTr-00] Anderl, R.; Trippner, D.: "STEP - Standard for the Exchange of Product Model Data". Teubner Verlag, Stuttgart, Leipzig, 2000.
- [Apfe-99] Apfelthaler, G.: "Interkulturelles Management". Wien, Manz Verlag SchulbuchGmbH, 1999.
- [ARIS-07] Homepage der ARIS Plattform.
http://www.ids-scheer.de/de/ARIS_Software_Software/ Abgerufen am 20.10.2007.
- [ADEK-05] Arnold, V; Dettmering, H.; Engel, T.; Karcher, A.: "Product Lifecycle Management beherrschen. Ein Anwenderhandbuch für den Mittelstand". Springer-Verlag, Berlin 2005.
- [AsAS-06] Aslam, M.; Auer, S.; Shen, J.: "From BPEL4WS Process Model to Full OWL-S Ontology", In The 3rd European Semantic Web Conference (ESWC 2006), Budva, Montenegro, 2006.
- [ArSa-05] Arsanjani, A.: "Service-oriented modeling and architecture, IBM Developer-Works, SOA and Web Services"
<http://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/wssoa-design1/> Abgerufen am 10.10.2005.

- [AuMR-05] Aumüller, D.; Do, H. H.; Massmann, S. ; Rahm, E.: "Schema and ontology matching with COMA++". In Proceedings of the International Conference on Management of Data (SIGMOD), Software Demonstration, 2005.
- [BaGo-91] Bauer, G.; Friedrich L.; Goos, G.: "Informatik 1-4". Auflage. Springer-Verlag Heidelberg. 1991.
- [Baue-09] Bauer, F., L.: "Historische Notizen zur Informatik". Springer-Verlag, Heidelberg, 2009
- [Basl-03] Basler, D.: "Komponenten für SAP mit Java: Komponenten und Schnittstellenprogrammierung". Frankfurt, Software & Support, 2003
- [BeCV-04] Giunchiglia, F.; Shvaiko, P.; Yatskevich, M.: "S-Match: an algorithm and an implementation of semantic matching". In Proceedings of the European Semantic Web Symposium (ESWS), pages 61–75, 2004.
- [BeHL-01] Berners-Lee, T.; Hendler, J.; Lassila, O.: "The Semantic Web". Scientific American, May 2001.
- [Bell-08] Bell, M.: "Service-Oriented Modeling (SOA) Service Analysis, Design, and Architecture". John Wiley & Sons, 2004.
- [Bieg-71] Biegert, H.: "Die Baukastenbauweise als technisches und wirtschaftliches Gestaltungsprinzip". Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe 1971.
- [Bloo-03] Bloomberg, J.: "Principles of SOA". In: Application Development Trends, Nr. 3, Vol. 10, S. 22., 2003.
- [BGHS-05] Barske, H.; Gerybadze, A.; Hünninghausen, L.; Sommerlatte, T. (Hrsg.): "Das innovative Unternehmen". In Handbuch Technologie- und Innovationsmanagement, Wiesbaden 2005.
- [BoGa-00] Bohner, M.; Gaudlitz, J.: "e-Business and Enterprise Application Integration". White Paper, Online abrufbar unter <http://www.novadata.co.uk/Downloads/WhitePaper-e-Bizz-1.0-UK.pdf>, 2001.
- [Born-04] Born, A.: "Collaboration mit fremder Hilfe". In: Computerwoche 6/2004, S. 36, 37, Computerwoche Verlag, München, 2004.
- [Bosc-99] Robert Bosch GmbH.: "Kraftfahrtechnisches Taschenbuch." 23. Auflage, Vieweg, Braunschweig, 1999.
- [Boro-61] Borowski, K.-H.: "Das Baukastensystem in der Technik.", Springer-Verlag, Berlin, 1961.

- [BPEL-07] N.N., Business Process Execution Language for Web Services (BPEL4WS), Version 2.0: <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html> April 2007. Abgerufen am 02.02.2008.
- [BPMI-05] N.N., Business Process Modeling Notation (BPMN) Spezifikation <http://www.bpmi.org>. Abgerufen am 02.02.2008.
- [Bril-09] Brill, M.: "Parametrische Konstruktion mit CATIA V5 - Methoden und Strategien für den Fahrzeugbau", Carl Hanser Verlag, 2009.
- [Broc-02] Brockhaus, E.: "Kultur". Mannheim, Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, 2002, brockhaus.xipolis.net/suche/suche_treffer_detail.php
- [BrZh-99] Browne, Z.: "Extended and virtual enterprises – similarities and differences" In: International Journal of Agile Management Systems 1/1999, S. 30-36, Bradford: Emerald Group Publishing, 1999.
- [BuHM-96] Bullinger, H.-J.; Hartmann, R.; Marcial, F.: "Marktstudie Engineering-Data-Management-Systeme: EDM als strategischer Erfolgsfaktor im innovativen Unternehmen". In, Fraunhofer-Institut Arbeitswirtschaft und Organisation, IAO, Stuttgart, 1996.
- [CaAV-01] Castano, S.; Antonellis, V. De; Vimercati, S. De Capitani di: "Global viewing of heterogeneous data sources". IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, (13(2)):277–297, 2001.
- [CATA-08] CATALYSIS-Homepage: <http://www.catalysis.org/> Abgerufen am 20.05.2008
- [CORD-07] Homepage der Europäischen Union. http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP6_PROJ&ACTION=D&RCN=72762&DOC=4&CAT=PROJ&QUERY=1. Zuletzt Online am 15.12.2007
- [CoLP-03] Corcho, Ó.; Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A.: "Methodologies, tools and languages for building ontologies: Where is their meeting point?" Data Knowledge Eng. 46(1): 41-6 2003.
- [Culh-07] Culha, B.: "Automatisierte Positionierung von Komponenten in engen Räumen gezeigt am Beispiel von designgetriebenen Gestaltentwürfen". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 2007.
- [CzEi-00] Czarnecki, K.; Eisenecker, U.: "Generative Programming, Methods, Tools, and Applications", Addison Wesley, 2000.

- [Dahl-04] Dahl, S.: "An Overview of Intercultural Research". London, Middlesex University Business School, 2004,
http://stephan.dahl.at/intercultural/about_culture.html, online am 20.12.2007
Abgerufen am 20.01.2006.
- [Datz-04] Datz, T.: "What You Need to Know About Service-Oriented Architecture", CIO Magazine, Jan. 2004, online abrufbar unter
<http://www.cio.com/archive/011504/soa.html>
- [Dude-97] N.N.: "Duden, Fremdwörterbuch", Mannheim, Wien, Zürich: Dudenverlag, 1997.
- [Dies-06] Diestel, R.: "Graphentheorie" Auflage: 3, Springer-Verlag, 2006.
- [DoMR-02] Do, H.; Melnik, S.; Rahm, E.: "Comparison of Schema Matching Evaluations", Proc. GI-Workshop "Web and Databases", Erfurt, Oktober 2002.
- [Dörn-01] Dörner, D.: "Bauplan für eine Seele". Rowohlt Taschenbuchverlag, 2001.
- [DIP-05] N.N.: "DIP Deliverable D12.3: Report on Key Technology Issues in Current EAI", EBusiness and Knowledge Management
<http://dip.semanticweb.org/documents/D12.3-Report-on-Key-Technology-issues.pdf>
- [Dijk-59] Dijkstra, E.W.: "A Note on two Problems in Connexion with Graphs." Numerische Mathematik 1, 269-271, 1959.
- [DMDH-03] Doan, A.; Madhavan, J.; Domingos, P.; Halevy, A.: "Learning to map ontologies on the semantic web". In Proceedings of the International World Wide Web Conference (WWW), pages 662–673, 2003.
- [Dorn-97] Dorn, J.; Gottlob, G.: "Künstliche Intelligenz". Informatik-Handbuch, Carl Hanser Verlag, Wien, 1997.
- [DYNA-06] DynamOnt Methodology: "First specification of Methodology and Workbench for Dynamic Ontology Creation", DynamOnt Deliverable 201, 2006.
- [ebXML-06] Homepage von ebXML <http://www.bpmi.org>. Letzte Änderung: April 2006. Abgerufen am 02.02.2008.
- [ECR-06] VDA 4965: "Engineering Change Request" Version 2.0, Dezember 2006.
- [Ehrl-95] Ehrlenspiel, K.: "Integrierte Produktentwicklung. Methoden für die Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion.", Carl Hanser Verlag, München 1995.

- [Ehrl-04] Ehrl, A.: "Eine Integrierte Plattform für Semantische Standards und Softwarekomponenten zur Unterstützung Unternehmensübergreifender Produktentwicklungsprozesse". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 2004.
- [EIRo-08] N.N. "Enterprise Interoperability - Research Roadmap ", Version 5.0, Studie im Auftrag der Europäischen Kommission, veröffentlicht im Februar 2008.
- [EiSt-01] Eigner, M.; Stelzer, R.: "Produktdatenmanagement-Systeme". Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2001.
- [Enge-06] Engel, T.: "Ein Beitrag zur unternehmensübergreifenden Integration von Informationssystemen ". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 2006.
- [ErCo-04] N.N.: "eRoom Collaboration". Documentum, 2004, <http://www.documentum.com/solutions/collaboration/index.html>, Abgerufen am 20.01.2005.
- [Erdm-01] Erdmann, M.: "Ontologien zur konzeptionellen Modellierung der Semantik von XML", Dissertation, Institut für Angewandte Informatik und formale Beschreibungssprachen (AIFB), Universität Karlsruhe (TH), 2001.
- [EuVa-04] Euzenat, J.; Valtchev, P.: "Similarity-based ontology alignment in OWL-lite". In Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence (ECAI), pages 333–337, 2004.
- [Fens-00] Fensel, D.: "Ontologies: Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce", Springer-Verlag, 2000.
- [FeSi-98] Ferstl, O. K.; Sinz, E. J.: "Grundlagen der Wirtschaftsinformatik", Band Band 1. Oldenbourg Verlag. 1998.
- [FHDK-03] Fensel, D. v. H., F.; Ding, Y., Klein, M.; Akkermans, H.; Jeen Broekstra; Arjohn Kampman; Jos van der Meer; York Sure; Studer, R.; Krohn, U.; Davies, J.; Engels, R.; Iosif, V.; Kiryakov, A.; Lau, T.; Reimer, U.; Horrocks, I.: "On-To-Knowledge: Semantic Web Enabled Knowledge Management Web Intelligence". S. 277-299, Springer-Verlag, Berlin, März 2003.
- [Frie-03] Friedman-Hill, E.: "JESS in Action". Manning Publications Co., USA, 2003.
- [FiFr-02] Firchau, N. L.; Franke, H.-J.: "Methoden zur Variantenbeherrschung in der Produktentwicklung". In: Franke, H.-J.; Hesselbach, J.; Huch, B.; Firchau, N. L. (HRSG.): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung, S. 52-86, Carl Hanser Verlag, München 2002,.

- [Früh-08] Frühtau, V.: "Modellgetriebene Serviceprozesse", April 2008, Zugreifbar unter http://www.mid.de/fileadmin/documents/pdf/sonstige/E3_2008_April__S30f_ServicegetriebeneProzesse.pdf
- [Fröh-07] Fröhlich, A.: "ECAD/MCAD Collaboration" in *Produktdaten Journal*, Vol. 14, 1/2007.
- [FüUb-97] Fühles-Ubach, S.: "Analysen zur Unschärfe in Datenbank- und Retrievalsystemen - unter besonderer Berücksichtigung der Redundanz". Dissertation, Philosophischen Fakultät I, Humboldt-Universität, Berlin, 1997.
- [Gal-06] Gal, A.: "Why is schema matching tough and what can we do about it?". In *Journal SIGMOD Rec.*, Volume 35, Number 4 / 2006, ISSN 0163-5808
- [GaLR-00] Gausemeier, J.; Lindemann, U.; Reinhart, G., et al.: "Kooperatives Produktengineering". HNI, Paderborn, Bonifatius GmbH, 2000.
- [Geba-01] Gebauer, M.: "Kooperative Produktentwicklung auf der Basis verteilter Anforderungen". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 2001.
- [Gier-84] Gierse, F.-J.: "Begleittext zum Seminar Einsatz der Wertanalyse im Konstruktionsprozess beim Niederrheinischen Bezirksverein des VDI.". VDI-Verlag, Düsseldorf, 1984.
- [GiYS-07] Giunchiglia, F.; Yatskevich, M.; Shvaiko, P.: "Semantic Matching: Algorithms and Implementation, *Journal on Data Semantics IX*, 2007.
- [GLHE-03] Grabowski, H.; Lossack, R.-S.; Hornberg, O.: "Integriertes Framework zur Unterstützung dynamischer Produktentwicklungsprozesse". In *Zeitschrift: IndustrieManagement*, Ausgabe, 2003.
- [Goos-95] Goos, G.: "Vorlesungen über Informatik. Band 1. Grundlagen und funktionales Programmieren", Springer-Verlag, 1995.
- [Goos-97] Goos, G.: "Vorlesungen über Informatik. Band 2. Objektorientiertes Programmieren und Algorithmen", Springer-Verlag, 1997.
- [Görz-95] Görz (Hrsg), Biundo, S.; Günter, A.; Hertzberg, J.; Schneeberger, J.; Tank, W.: "Planen und Konfigurieren". Einführung in die Künstliche Intelligenz. 2. Auflage. Bonn, Addison-Wesley, 1995.
- [GoSc-01] Gora, W.; Scheid, E.: "Organisation auf dem Weg zur Virtualität". In: Gora, W. and Bauer, H. (Eds.): *Virtuelle Organisation im Zeitalter von E-Business und E-Government*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2001.

- [Grub-93] Gruber, T. R.: "A Translation Approach to Portable Ontology Specifications". In: Knowledge Acquisition, 5(2), 1993.
- [Guar-97] Guarino, N. et al.: "Semantic Matching: Formal Ontological Distinctions for Information Organization, Extraction, and Integration." In: Pazienza, Maria Teresa (Hrsg.): Information extraction. A multidisciplinary approach to an emerging information technology. International summer school SCIE-97. (= LNCS 1299.), S. 139-170, Springer-Verlag, Berlin, 1997.
- [Guar-04] Guarino, N.: "The role of ontologies for the Semantic Web (and beyond)". Technical report, Laboratory for Applied Ontology, Institute for Cognitive Sciences and Technology (ISTCCNR), 2004.
- [GuWe-00] Guarino, N., Welty, C.: "Ontological Analysis of Taxonomic Relationships." In: Laender, Alberto H. F., Stephen W. Liddle und Veda C. Storey (Hrsg.): Conceptual Modeling. Proceedings of the 19th International Conference on Conceptual Modeling, S. 210-224. Springer-Verlag, Berlin, 2000.
- [Habe-86] Habel, C.: "Prinzipien der Referentialität. Untersuchungen zur propositionalen Repräsentation von Wissen". Informatik Fachberichte 122. Springer-Verlag, Berlin, 1986.
- [Härt-07] Härtel, H.: "Implizite Informationen: Sprachliche Ökonomie und interpretative Komplexität bei Verben", Habilitationsschrift, Humboldt Universität zu Berlin, 2007.
- [Hall-87] Hall, E. T.: "Hidden differences". New York, Anchor Press/Doubleday, 1987.
- [HeRa-03] Heinemann, F.; Rau, C.: "SAP Web Application Server: Entwicklung von Webanwendungen", Galileo Press, Bonn, 2003.
- [HHKK-07] Hepp, M.; Hinkelmann, K.; Karagiannis, D.; Klein, R.; Stojanovic N.: "Semantic Business Process and Product Lifecycle Management". In: Proceedings Workshop SBPM 2007, Innsbruck, April 2007.
- [HMSW-02] Hirtz, J.; Stone, R. B.; McAdams, D. A.; Szykman, S.; und Wood, K. L.: "A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts". Research in Engineering Design, 13(2):65–82, 2002.
- [Hofs-01] Hofstede, G.: "Culture's consequences". Sage Publications Ltd., Beverly Hills, 2001.
- [Hofs-03] Homepage von Geert Hofstede. Auflistung der Werte der kulturellen Dimensionen für 74 Länder basierend auf verschiedenen Studien. http://www.geert-hofstede.com/hofstede_dimensions.php, Zuletzt aktualisiert: 2003, Online am 10.01.2007.

- [HoHG-00] Hofmann, J.; Holzschuh, G.; Gölz, A.: "Strategiestudie virtuelle Unternehmen". In, Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, 2000.
- [Horn-04] Hornberg, O.: "Collaborative Engineering in interkulturellen Entwicklungspartnerschaften - Effizientes Informationsmanagement für flexible, dynamische Produktentwicklungsprozesse". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 2004.
- [Huan-02] Huang, M.: "Funktionsmodellierung und Lösungsfindung mechatronischer Produkte", Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 2002.
- [Hube-94] Huber, R.: "Wissensbasierte Funktionsmodellierung als Grundlage zur Gestaltung in Konstruktionssystemen", Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 1994.
- [IBM-09] N.N., WebSphere Software Literatur, IBM-Homepage <http://www-01.ibm.com/software/de/websphere/literature/index.html>
- [IEC-08] N.N.: "EC 61360 - Component Data Dictionary", published by International Electrotechnical Commission
<http://std.iec.ch/iec61360/iec61360.nsf/TreeFrameset?OpenFrameSet>
- [IKT-07] IKT 2020: "Hightech Strategie für Forschung und Innovation", Studie im Auftrag des Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin, 2007
Online abrufbar unter <http://www.bmbf.de/de/9069.php>
- [Info-02] Grabowski, H.; Dillmann, R.; Kohler, N.; Schmid, D., Spath, D.; Mitarbeiter: "Informationslogistik für die internetbasierte Prozessinteraktion bei der branchenübergreifenden Kooperation. Schwerpunkt Informationslogistik an der Universität Karlsruhe", Abschlussbericht, Karlsruhe, 30.09.2002.
- [ISO-98] N.N., ISO DIS 10303-214 Core Data for Automotive Mechanical Design Process, ISO TC 184/SC4/WG3 N756 (T19), 15. September 1998.
- [iViP-01] Krause, F.; Tang, T.; Ahle, U.: "Leitprojekt Integrierte Virtuelle Produktentstehung". Fortschrittsbericht, 2001.
- [Jaho-96] Jahoda, G.: "Ansichten über die Psychologie und die "Kultur"". In "Psychologie interkulturellen Handelns". Hrsg.: Thomas A, Göttingen, Hogrefe, 1996.
- [JEOP-08] N. N.: Sourceforge Seite von JEOPS (Java based Rule Engine)
<http://sourceforge.net/projects/jeops/> (abgerufen am 20.06.2008).
- [Jesc-97] Jeschke, A.: "Beitrag zur wirtschaftlichen Bewertung von Standardisierungsmaßnahmen in der Einzel- und Kleinserienfertigung durch die Konstruktion.". Dissertation, Braunschweig: Institut für Konstruktionslehre (Hrsg.) 1997.

- [John-06] John, M.: "Semantische Technologien in der betrieblichen Anwendung". Anwenderstudie im Auftrag des BMBF und durchgeführt vom Fraunhofer Institut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik (FIRST), September 2006.
- [JBLN-01] Juric, M. B.; Basha, S. J.; Leander, R.; Nagappan, R.: "Professional J2EE EAI", Wrox Press Ltd, 2001.
- [JoCV-98] Jones, D. M.; Bench-Capon, T. J. M.; Visser, P. R. S.: "Methodologies for Ontology Development", in Proc. IT&KNOWS Conference, XV IFIP World Computer Congress, Budapest, 1998.
- [Kaib-02] Kaib, M.: "Enterprise Application Integration, Grundlagen, Integrationsprodukte, Anwendungsbeispiele". Deutscher Universitäts-Verlag, 2002.
- [Kell-02] Keller, W.: "Enterprise Application Integration - Erfahrungen aus der Praxis". dpunkt.-Verlag, Heidelberg, 2002.
- [KaFV-99] Karcher, A.; Fischer, F.; Viertlbröck, M.: "EDM/PDM-Systeme als Rückgrat der integrierten Produktentwicklung - ein modulares Einführungs- und Integrationskonzept". VDI-Berichte Nr. 1497, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1999.
- [KiLa-89] Kiefer, M.; Lausen, G.: "F-logic: a higher-order language for reasoning about objects, inheritance, and scheme". In: Proceedings International Conference on Management of Data, Orlando, 1989.
- [KOBA-04] N. N.: "KoBaS (Knowledge Based Customized Services for Traditional Manufacturing Sectors Provided by a Network of High Tech SMEs)". Description of work, 2004
- [Kohl-97] Kohlhase, N.: "Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen. Strategien, Methoden, Instrumente." VDI-Verlag, Düsseldorf 1997. (Reihe 1: Konstruktionstechnik/Maschinenelemente, Nr. 275)
- [Koll-98] Koller, R.: "Konstruktionslehre für den Maschinenbau.", 4. Auflage, Springer-Verlag, 1998
- [KrMa-07] Krappe, H; Marinov, M.: "Funktionsmodellierung in der virtuellen Produktentwicklung". CAD-CAM-Report, 2007.
- [Kläg-93] Kläger, R.: "Modellierung von Produktanforderungen als Basis für Problemlösungsprozesse in intelligenten Konstruktionssystemen". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 1993.

- [KLAS-05] Grabowski, H. (Hrsg.); Weißkopf, J.; Kusumah, I.; Mahl, A.; Guldi, A.; et. al.: "Unternehmensspezifisches Klassifikationssystem zur effizienten Datenverwaltung (mit Anwendungsszenarien aus der Praxis)." Abschlußbericht des Verbundprojektes "Klassifikationssysteme automatisiert erstellen" (KLAUSTER), Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe, 2005.
- [Klim-03] Klimesch, C.: "Ein Beitrag zur prozessgetriebenen Informationslogistik durch kontextorientiertes domänenübergreifendes Wissensmanagement". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 2003.
- [Klue-07] Klueckmann, J.: " In 10 Schritten zur Business-Driven SOA ", veröffentlicht am 04. Februar 2007 bei BPM-Netzwerk.de (Adresse: <http://www.bpm-netzwerk.de/articles/70>)
- [KrKr-03] Kroll, P.; Kruchten, P.: "The Rational Unified Process Made Easy: a practitioner's guide to the RUP". Addison-Wesley. 2003.
- [Kunz-02] Kunze, H.: "Ein Beitrag zur Gewinnung von Funktionen für mechanische Produkte aus 3D-CAD-Gestaltmodellldaten". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 2002.
- [Lang-00] Langlotz, G.: "Ein Beitrag zur Funktionsstrukturierung innovativer Produkte". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 2000.
- [Lang-05] Lang, K.-P.: "Konstruktion betriebswirtschaftlicher Standard-Anwendungssysteme aus Anwendungselementen". Dissertation, Rechts- und Wirtschaftswissenschaften, Universität Darmstadt, 2005.
- [LiCl-00] Li, W.-S; Clifton, C.: "A tool for identifying attribute correspondences in heterogeneous databases using neural networks ". Data & Knowledge Engineering archive, Volume 33, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 2000.
- [LiGB-05] Lippe, S.; Greiner, U., Barros, A.: "A Survey on State of the Art to Facilitate Modelling of Cross-Organisational Business Processes ", Proceedings. 11th Conference Business, Technologie, and Web in Karlsruhe, 1. März 2005.
- [LeKL-93] Lee, J. H.; Kim, M. H.; Lee, Y. J.: "Information Retrieval Based on Conceptual Distance in IS-A Hierarchies". PUBLISHER of Documentation(40:2), 1993.
- [Lope-99] Lopez, L.: "Overview of Methodologies for building ontologies", Proc. of IJCAI-99, workshop KRR5, Schweden, 1999.
- [Loss-97] Lossack, R.-S.: "Konstruktionsarbeitsräume als Grundlage zur Integrierten Produktmodellierung". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 1997.

- [MaBR-01] Madhavan, J.; Bernstein, P.; Rahm, E.: "Generic schema matching with Cupid". In Proceedings of the Very Large Data Bases Conference (VLDB), S. 49–58, 2001.
- [Mach-06] Machacek, J.: "Pro Drooms: Declarative Programming with Java." APress, USA, 2006.
- [MaDH-03] Madhavan, J.; Domingos P.; Halevy, A.: "Learning to map ontologies on the semantic web". In Proceedings of the International World Wide Web Conference (WWW), pages 662–673, 2003.
- [MaKr-07] Mahl, A.; Krikler, R.: "Approach for a rule based system for capturing and usage of knowledge in the manufacturing industry" In Zeitschrift Journal of Intelligent Manufacturing (JIM), Heft Volume 18, Number 4/ August 2007, Springer-Verlag, 2007.
- [MaSOa-07] Mahl, A.; Semenenko, A.; Ovtcharova, J.: "An approach for building intercultural and cross-domain virtual organizations" In Proceedings of 2nd Conference of Changeable Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 07) 22.-24. Juli 2007, Toronto, Ontario, Canada, 2007
- [MaSOB-07] Mahl, A.; Semenenko, A.; Ovtcharova, J.: "Virtual organisations in cross-enterprise and cross-domain engineering" In Proceedings of Eighth IFIP Working Conference on Virtual Enterprises September 10-12, Guimarães, Portugal, 2007.
- [MaSOc-07] Mahl, A., Semenenko, A.; Ovtcharova, J.: "An approach to support cross-domain engineering in intercultural virtual organisations" In Proceedings of Cost Effective Automation in Networked Product Development and Manufacturing Conference IFAC CAE 2007, October 2-5, Monterrey, N.L. Mexico, 2007.
- [Maso-02] Masolo, C. et al.: "WonderWeb Deliverable D17. The WonderWeb Library of Foundational Ontologies. Preliminary Report". 15.8.2002.
<http://wonderweb.semanticweb.org/deliverables/D17.shtml>
- [McSZ-01] McIlraith, S. A.; Son, T., C.; Zeng, H.: "Semantic Web Services". IEEE Intelligent Systems, March/ April 2001.
- [MaPl-04] N.N.: "The Matrix PLM Platform". 2004,
http://www.matrixone.com/matrixonesolutions/plm_platform.html, Abgerufen am 20.10.2007.
- [Mich-02] Michelis, A.: "Aufbau von integrierten Lösungsspeichern für die Produktentwicklung im Maschinenbau", Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Shaker-Verlag, Karlsruhe, 2002.

- [MMSV-02] Maedche, B.; Motik, A.; Silva, N.; Volz, R.: "MAFRA - A MApping FRamework for Distributed Ontologies". In Proceedings of the International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW), pages 235–250, 2002.
- [MOF2-07] OMG-Homepage für die Meta Object Facility Core Specification (Version 2) http://www.omg.org/technology/documents/formal/MOF_Core.htm. Abgerufen am 20.12.2007.
- [MoMV-02] B. Motik, A.; R. Volz : "A Conceptual Modeling Approach for building semantics-driven enterprise applications". Proceedings of the First International Conference on Ontologies, Databases and Application of Semantics (ODBASE-2002), Springer-Verlag, LNAI, California, USA, 2002.
- [MoOU-00] Mogel, H., Ohler, P., Urban, C. (2000). Psychologie und Informatik – Wie können diese beiden Disziplinen voneinander profitieren? In: Rimane, R. (Hrsg.). Gedanken zur Zeit: Festschrift anlässlich des 60. Geburtstages von Herrn Prof. Dr. Bernd Schmidt. Erlangen: SCS - European Publishing House. 159-188.
- [Muth-03] Muth, M.: "Collaborative Engineering - Der Schlüssel für einen effizienten Entwicklungsprozess". In Conference Proceedings: ProSTEP iViP Symposium 2003, Rüsselsheim, Deutschland, 2003.
- [Myer-02] Meyerson, M. J.: "Enterprise Application Integration". 2d ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2002.
- [Nasv-53] Nasvytis, A.: "Die Gesetzmäßigkeiten kombinatorischer Technik", Springer-Verlag, 1953 (Wissenschaftliche Normung, Reihe 3)
- [NeSa-05] Neumann, G.; Sacaleanu, B.: "Experiments on Robust NL Question Interpretation and Multi-layered Document Annotation for a Cross–Language Question/Answering System". Erschienen in "Multilingual Information Access for Text, Speech and Images", Springer-Verlag, 2005.
- [NoKI-02] Noy, N., Klein, M.: "Ontology evolution: Not the same as schema evolution." Knowledge and Information Systems, 2002.
- [NoGu-06] Noy, N. F.; McGuinness, D. L.: "A Guide to Creating Your First Ontology", Stanford University, http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101-noy-mcguinness.html Online am 30.05.2006.
- [Olev-07] Online Verwaltungslexikon:
<http://www.olev.de/uv/untkultur.htm> (Abgerufen am 21.06.2007)

- [OMG-00] PDM-Enabler-Spezifikation 1.3 vom 01.12.2000. Veröffentlicht auf <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/2000-12-01>
- [ONTO-07] Homepage: Ontobroker:
<http://www.ontobroker.de/> (Abgerufen am 10.10.2007)
- [Open-07] Homepage OpenPDM
<http://www.prostep.de/de/solutions/openpdm/loesung/> Abgerufen am 22.12.2007.
- [ORAC-06] N.N.: "Oracle Fusion Architecture and Oracle Fusion Applications", Whitepaper, 2006, Online zugreifbar unter http://www.oracle.com/industries/financial_services/fusion-architecture-wp.pdf
- [OvMK-06] Ovtcharova, J.; Mahl, A.; Krikler, R.: "Approach for a Rule Based System for Capturing and Usage of Knowledge in the Manufacturing Industry" in Knowledge Enterprise: Intelligent Strategies in Product Design, Manufacturing, and Management, Springer-Verlag, Proceedings of PROLAMAT 2006, IFIP TC5 International Conference, June 15-17, Shanghai, China, 2006.
- [Ovtc-07] Ovtcharova, J.: "Vorlesung - Virtual Engineering I und II". WS 07/08, Universität Karlsruhe (TH), 2007.
- [PaBe-07] Pahl, G., Beitz, W.: "Konstruktionslehre-Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung". Springer-Verlag, 7. Auflage, 2007.
- [Patz-89] Patzak, G.: Systemtheorie und Systemtechnik im Projektmanagement; GPM, Gesellschaft für Projektmanagement: Handbuch Projektmanagement I/89, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1989.
- [Pauw-01] Pauwels, M.: "Interkulturelle Produktentwicklung: Produktentwicklung mit Wertanalyse und interkultureller Kompetenz"; Dissertation; Universität Siegen, 2001.
- [Peis-06] Peisl, R.: "Geschäftsprozessmanagement mit IBM WebSphere", Whitepaper, online abrufbar unter ftp://ftp.software.ibm.com/software/emea/de/websphere/WP-BPM-R_Peisl.pdf
- [Perl-04] Perlitz, M.: "Internationales Management", Lucius & Lucius Verlag, Stuttgart 2004.
- [Pete-02] Peterson, M. F.: "Culture Dimension Toolbook". Florida, Florida Atlantic University, 2002,
www.collegeofbusiness.fau.edu/mgt/intbusns/peterson/Cutlure%20Dimension

- [PDTe-08] Dokumentation zu ice.Net. Verfügbar unter www.pdtec.de. Dokumentversion von Januar 2008. Online am 10.02.2008.
- [PDTn-02] N.N.: "PDTnet – Product Data Technology and Communication in an OEM and Supplier Network - Joint Development Project within the Automotive Industry". ProSTEP Symposium 2002, Rüsselsheim, 2002.
- [PDTn-03] N.N.: "PDTnet Abschlussbericht", 2003, online abrufbar unter http://www.prostep.org/fileadmin/user_upload/ProSTEPiViP/Standard-Infos/PDTnet_Project/PDTnet_Projekt_Abschlussbericht_FINAL.pdf
- [PDX-01] N.N.: " Product Definition Exchange". <http://xml.coverpages.org/ni2001-11-13-a.html>
- [Poll-96] Polly, A.: "Methodische Entwicklung und Integration von Produktmodellen". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 1996.
- [Pocs-00] Pocsai, Z.: "Ontologiebasiertes Wissensmanagement für die Produktentwicklung". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Shaker-Verlag, Karlsruhe, 2000.
- [Quil-68] Quillian, M "Semantic Memory", Semantic Information, MIT Press, 1968
- [RaMB-89] Rada R.; Mili H.; Bicknell E.; Bletner M.: "Development and Application of a Metric on Semantic Nets." IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics(19:1), 1989.
- [Renn-07] Renner, I.: " Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil ". Dissertation, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Universität München, 2007.
- [ReSt-04] Reichert, M.; Stoll, D.: "Komposition, Choreographie und Orchestrierung von Webservices - ein Überblick", EMISA Forum, Band 24, Heft 2, 2004, S. 21-32
- [RiHa-05] Richter, J. P.; Haller, H.: "Service Oriented Architecture". In: Informatik Spektrum, Ausgabe 10/2005.
- [Ritt-05] Ritter, H. S., 2005, <http://www.autokiste.de/start.htm?site=/psg/0412/3770.htm>, Abgerufen am 03.02.2005.
- [RoEg-03] Rodriguez M. A.; Egenhofer M.J.: "Determining Semantic Similarity Among Entity Classes from Different Ontologies". IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (15:2), Februar, 2003.
- [Roth-00] Roth, K. H.: "Konstruktionslehre". Springer-Verlag, 3. Auflage., 2000.

- [Ru4J-06] Rules4J-Homepage:
<http://www.rules4j.com> (Abgerufen am 08.01.2006)
- [Rude-98] Rude, S.: "Wissensbasiertes konstruieren". Shaker-Verlag, als ms. gedr. edition, 1998
- [SAAH-02] Schreiber, G. ; Akkermans, H. ; Anjewierden, A. ; de Hoog, R.; Shadbolt, N.; de Velde, W. V.: "Wielinga, B.: Knowledge Engineering and Management - The CommonKads Methodology". A Bradford Book - MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England, 2002.
- [Sail-01] Sailer, M.: "Anforderungen, Entwicklung und Trends im Bereich Enterprise Application Integration (EAI)". In: Rüter, M. (Hrsg.): Die Supply Chain im Zeitalter von E-Business und Global Sourcing, S. 207-220, Schriften des ALB-HNI-Verlages, Paderborn, 2001
- [Sand-05] Sander, M.: "Konzept zur Unterstützung interkultureller Herausforderungen mittels Portaltechnologien". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 2005.
- [Sche-97] Schein, E. H.: "Organizational culture and leadership". San Francisco, Jossey-Bass, 1997.
- [Schm-02] Schmidt, M.: "Eine Architektur zur Integration von Groupware und Wissensmanagement". Diplomarbeit, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2002
- [Schm-03] Schmidt, A. P.: "Überleben im digitalen Zeitalter". Graz: Nausner & Nausner Verlag, Graz, 2002.
- [Schm-07] Schmitt, S.: "Wer Emotionen zeigt hat in China verloren". HANDELSBLATT, Donnerstag, 8. März 2007.
- [ScRL-04] Scheitza, A, Rösch, O; Loew, R.: "Kulturelle Unterschiede im Arbeitsleben". Studienbrief, Technische Fachhochschule Wildau, 2004.
- [Schn-03] Schneider, S.: "Enterprise Application Integration im Bankenbereich", 2003, online abrufbar unter: http://www.iaw-frankfurt.de/Archiv/ITEntwicklungen_Bankenbereich/SwenSchneider.pdf, 2003.
- [Schü-98] Schüppler, D.: "Informationsmodelle für überbetriebliche Prozesse", Dissertation, Universität Münster, Lang, Paris, Wien, 1998.
- [Schw-05] Shwabe, T.: "Kulturelle Unterschiede im internationalen Vergleich unter Heranziehung des Beispiels Daimler Chrysler - Ein Vergleich zwischen Deutschland und den USA ", Grin-Verlag, 2005.

- [ScGa-03] Schönherr, M.; Gallas, B. E.: "Komponentenbasiertes EAI-Framework unter Einsatz und Erweiterung von Web Services". Konferenz Wirtschaftsinformatik, Dresden, 2003.
- [SGHZ-02] Scheer, A.-W.; Griebler, O.; Hans, S.; Zang, S.: "Geschäftsprozessmanagement – The 2nd wave". In: Information Management & Consulting, Sonderausgabe 2002, S. 9-15, Saarbrücken: imc information multimedia communication AG, 2002.
- [ShEu-05] Shvaiko, P.; Euzenat, J.: "A Survey of Schema-based Matching Approaches". In Proceedings of "2nd European semantic web conference (ESWC'05)"
- [SIMU-08] Homepage simus-systems: <http://www.simus-systems.com>, online am 15.06.2008.
- [SIMP-08] ProSTEP/iViP: "Recommendation-Simulation Data Management Integration of Simulation and Computation in a PDM Environment (SimPDM)"; PSI 4, Version 1.0, 2008.
- [SnTK-02] Snell, J.; Tidwell, D.; Kulchenko, P.: "Webservice-Programmierung mit SOAP". O'Reilly, Köln, 2002.
- [SoWi-98] D'Souza, D. F.; Wills A. C.: "The CatalysisSM Approach", Addison Wesley 1998.
- [SOAP-07] Homepage: SOAP-Spezifikation von W3C <http://www.w3.org/2007/04/REC-soap12-part0-20070427-errata.html>
- [SPAL-03] Spall, A.: "Die SAP NetWeaver Komponenten", Dezember 2003, online veröffentlicht: <http://www.oio.de/sap-netweaver-components.htm>
- [SpKr-97] Spur, G.; Krause, F. L.: "Das virtuelle Produkt". Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1997.
- [SPLM-04] N.N.: "mySAP Product Lifecycle Management". Walldorf, SAP AG, 2004, <http://www.sap.com/solutions/plm/>, Abgerufen am 20.10.2005
- [Staa-02] Staab, R.: "Wissensmanagement mit Ontologien und Metadaten." In: Informatik-Spektrum, Volume 25, Number 3 / Juni 2002 (S. 194-209), 2002.
- [Stah-02] Stahel, von W. A.: "Statistische Datenanalyse. Eine Einführung für Naturwissenschaftler", 4. Auflage 2002, Vieweg, Braunschweig.
- [Stat-04] N.N.: "Ad Hoc Befragung über Unternehmenskooperationen" Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2004.

- [Stau-99] Staub, G.: "Komponentenbasierte Entwicklung und Implementierungen von Produktmodellen als Basis für interoperable Ingenieursanwendungen". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 1999.
- [StMa-02] Studer, R.; Maedche, A.: "Interoperable Anwendungssysteme.", Vorlesung. AIFB, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2002.
- [Stra-04] Straube, Frank: "e-Logistik - Ganzheitliches Logistikmanagement". Berlin, Springer-Verlag, 2004.
- [Tack-96] Tack, W.: "Entscheidungstheorie". In Strube, G., Becker, B., Freksa, C., Hahn, U., Opwis, K., Palm, G. (Hrsg.) Wörterbuch der Kognitionswissenschaft, Klett-Cotta. 144-145, Stuttgart, 1996.
- [ThNa-07] Thang, H. Q.; Nam, V. S.: "XML Schema Automatic Matching Solution", International Journal of Computer Systems Science and Engineering Volume 1, Number 1 / 2007 ISSN 1307-430X
- [Thom-96] Thomas, A.: "Psychologie interkulturellen Handelns". Göttingen, Hogrefe-Verlag, 1996.
- [Tver-77] Tversky A.: "Features of Similarity". Psychological Review, 1977, p. 327-352, 1977.
- [Trae-93] Traeger, Dirk: "Einführung in die Fuzzy-Logik", Teubner-Verlag, Stuttgart 1993.
- [Trip-99] Trippner, D.: "DV-Schnittstellen". Vorlesungsfolien, RPK, Universität Karlsruhe, 1999.
- [Trip-02] Trippner, D.: "Vorgehensmodell zum Management von Produktdaten in komplexen, dynamischen Produktentwicklungsprozessen". Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Shaker-Verlag, 2002.
- [TrWo-03] Trompenaars, F.; Wooliams, P.: "A new framework for managing change across cultures". In Journal of Change Management, Volume 3, Nummer 4, May 2003 pp. 361-375.
- [UNSP-07] Homepage von UNSPC (The United Nations Standard Products and Services Code): <http://www.unspsc.org/> Abgerufen am 20.12.2007.
- [Urba-05] Urban, Christoph: "Das Referenzmodell PECS-Agentenbasierte Modellierung menschlichen Handelns, Entscheidens und Verhaltens", Dissertation, Fakultät für Mathematik und Informatik, Universität Passau, 2005.

- [Usch-96] Uschold, M.: "Building Ontologies: Towards a Unified Methodology", in: Proceedings of the 16th Annual Conf. of the British Computer Society Specialist Group on Expert Systems, Cambridge, UK, 1996]
- [UsGr-04] Uschold, M., Gruninger, G: "Ontologies and semantics for seamless connectivity". SIGMOD Record, 33(4):58–64, 2004.
- [Vajn-01] Vajna, S.: "Approaches of Knowledge Based Design". In: 19th CAD-FEM Users Meeting 2001, International Congress on FEM Technology, Berlin
- [VaPo-98] Vajna, S., Podehl, G." Durchgängige Produktmodellierung mit Features ". In : CAD-CAM REPORT Nr. 3, 1998.
- [VaZS-05] Vanderhagen, D.; Zang, S.; Scheer, "A.-W.:Interorganisationales Geschäftsprozessmanagement" durch Modelltransformation in: Scheer, A.-W. (Hrsg.):Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Saarbrücken: Institut für Wirtschaftsinformatik, 2005.
- [VDI-99] Verein Deutscher Ingenieure VDI (Hrsg.): "VDI-Richtlinie 2219, Datenverarbeitung in der Konstruktion - Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen", Entwurf. Düsseldorf: VDI-Verlag, November 1999.
- [VDA-06] Verein Deutscher Automobilindustrie (Hrsg): "VDA-Empfehlung 4965, Engineering Change Management (ECM) ", Verband der Automobilindustrie. Download unter http://www.vda.de/de/publikationen/publikationen_downloads/detail.php?id=382
- [Voss-03] Voß, J.: "Begriffssysteme- Ein Vergleich verschiedener Arten von Begriffssystemen und Entwurf des integrierenden Thema-Datenmodells ", Studienarbeit, Humboldt Universität zu Berlin, 2003.
- [W3C-07] Homepage: Webservice Activity von W3C <http://www.w3.org/2002/ws/>
- [Wagn-03] Wagner, K., Fraunhofer IAO: Präsentation „Competence-based Collaboration in SEEM“; Collaboration@work Workshop; Juni 2003, Brüssel, Belgien
- [Wagn-06] Wagner, K., H. veröffentlicht auf der Homepage http://www.fb10.uni-bremen.de/linguistik/khwagner/semantik/wissen.htm#_ftnref2. Online am 20.06.2006.
- [WiMü-06] Witte, R.; Mülle, J.: "Text Mining: Wissensgewinnung aus natürlichsprachigen Dokumenten" Interner Bericht 2006-05, Fakultät für Informatik, Universität Karlsruhe, ISSN 1432-7864

- [WiRW-01] Winkeler, T.; Raupach, E.; Westphal, L.: "Enterprise Application Integration als Pflicht vor der Business-Kür". In: Information Management & Consulting. 16/2001, S. 7 – 16.
- [Wint-07] Winter, C.: "Was NetWeaver wirklich bietet", erschienen in der Computerwoche 03/2007.
- [Wint-09] Winter, A. "Microsoft BizTalk Server 2009 im Überblick", MS4E, Amstetten, <http://www.ms4e.com/fileadmin/whitepaper/BizTalk2009.pdf>. Online am 03.07.2009.
- [Wund-06] Wunderlich, L.: "Java Rules Engines. Entwicklung von regelbasierten Systemen", entwickler.press, 2006.
- [WoWe-03] Wolf, R.; Weiss, M.: "Enterprise Application Integration: Wie aus Spaghetti ein funktionierender Workflow wird". Computerwelt, 11/2003, Online-Ausgabe: <http://www.computerwelt.at/detailArticle.asp?a=78961&n=22>
- [WSDL-01] Homepage Webservice Description Language v. 1.1, 2001
<http://www.w3.org/TR/wsdl>
- [WVSN-01] Wache, H.; Vögele, T.; Visser, U.; Stuckenschmidt, H.; Schuster, G.; Neumann, H.; Hübner, S.: "Ontology-based integration of information - a survey of existing approaches", in: Stuckenschmidt, H. (Hrsg.): Proceedings of the IJCAI-01 Workshop on Ontologies and Information Sharing, Seattle, Washington, USA, 2001.
- [Zimm-93] Zimmermeyer, G.: "Mastering Product Data Technology as a Fundamental Contribution to Competitiveness and Efficient Cooperation between Manufacturers and their Suppliers". In: VDI-Berichte, 1993.
- [ZHWI-07] N.N.: "Supply Chain and Operations Management, Logistik", www.zhwin.org/zhwin1/doku/hit.asp?ID=267. Online am 20.10.2007