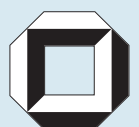
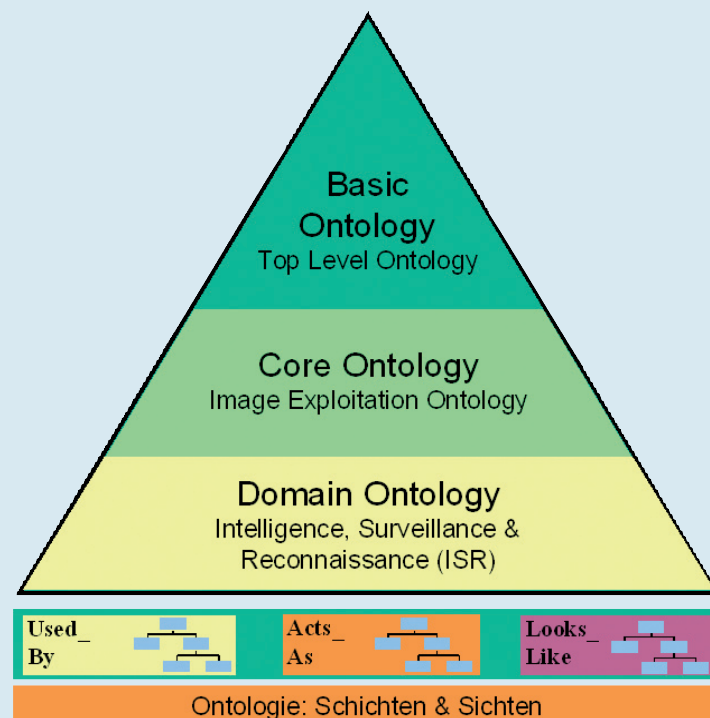


Rainer Schönbein

Agenten- und ontologiebasierte Software-Architektur zur interaktiven Bildauswertung



Rainer Schönbein

**Agenten- und ontologiebasierte Software-Architektur
zur interaktiven Bildauswertung**

Agenten- und ontologiebasierte Software-Architektur zur interaktiven Bildauswertung

von
Rainer Schönbein



universitätsverlag karlsruhe

Dissertation, Universität Karlsruhe (TH)
Fakultät für Informatik, 2005

Impressum

Universitätsverlag Karlsruhe
c/o Universitätsbibliothek
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe
www.uvka.de



Dieses Werk ist unter folgender Creative Commons-Lizenz
lizenziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/de/>

Universitätsverlag Karlsruhe 2005
Print on Demand

ISBN 3-937300-98-8

Agenten- und ontologiebasierte Software-Architektur zur interaktiven Bildauswertung

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

der Fakultät für Informatik
der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)

genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Inform. Rainer Schönbein

aus

Bochum – Wattenscheid

Tag der mündlichen Prüfung: 25. November 2005

Erster Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Steusloff

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dillmann

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner wissenschaftlichen Tätigkeit als Leiter der Abteilung Interoperabilität und Assistenzsysteme (IAS) im Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB) in Karlsruhe.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. rer. nat. Steusloff für die Betreuung der Arbeit und die von ihm gewährten Freiräume. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. R. Dillmann vom Institut für Technische Informatik (ITEC) der Universität Karlsruhe für die Übernahme des Koreferats und das der Arbeit entgegengebrachte Interesse.

Ein großes Dankeschön schulde ich auch meinem ehemaligen Institutsleiter Herrn Dr. H. A. Kuhr und meinem ehemaligen Abteilungsleiter Dr. W. Schumacher für ihre Unterstützung.

Bei allen meinen Kollegen aus der Abteilung IAS bedanke ich mich für zahlreiche wertvolle Hinweise und fachliche Diskussionen. Insbesondere danke ich D. Mühlenberg, F. Reinert und E.-J. Blum für ihre Unterstützung bei der Systementwicklung. Dieser Dank schließt auch meine ehemaligen Diplomanden und Praktikanten ein. Alle Kollegen sorgten für ein stets angenehmes, kreatives und produktives Arbeitsumfeld.

Meiner Sekretärin Frau. H. Hoffmann danke ich für das Durchsehen des Manuskriptes und für ihre Unterstützung bei der Dokumenterstellung.

Spezieller Dank gilt meiner Frau Friederike und meinen Kindern Miriam und Till für ihr entgegengebrachtes Verständnis und ihre Toleranz.

Karlsruhe, im Dezember 2005

Rainer Schönbein

Gliederung

1	EINLEITUNG	1
1.1	MOTIVATION	1
1.2	ZIEL DER ARBEIT	3
1.3	AUFBAU DER ARBEIT	4
2	INTERAKTIVE BILDAUSWERTUNG & SOFTWARE-AGENTEN – STAND DER TECHNIK....	7
2.1	ARBEITSABLÄUFE IN DER INTERAKTIVEN BILDAUSWERTUNG	8
2.2	KOMMERZIELLE BILDAUSWERTUNGSSYSTEME UND FORSCHUNGSANSÄTZE	15
2.3	SW-ARCHITEKTUR INTERAKTIVER BILDAUSWERTUNGSSYSTEME	18
2.4	BILDBEGLEITDATEN, KOLLATERALDATEN UND REFERENZINFORMATIONEN	22
2.5	BENUTZUNGSOBERFLÄCHEN ZUR INTERAKTIVEN BILDAUSWERTUNG	29
2.6	ANWENDUNGEN VON SW-AGENTEN ZUR INTERAKTIVEN BILDAUSWERTUNG	31
3	BENUTZERPROBLEME	37
3.1	DEFIZITE BEI DER INTERAKTIVEN BILDAUSWERTUNG.....	37
3.2	GRENZEN HEUTIGER SYSTEME - MANGELNDE INTEROPERABILITÄT	39
3.3	VORTEILE UND PROBLEME DES AGENTENANSATZES	41
4	SOFTWARE-ARCHITEKTUR ZUR AGENTENBASIERTEN BILDAUSWERTUNG	43
4.1	BILDAUSWERTUNG ALS DIENSTLEISTUNG	43
4.2	ADAPTIVE BENUTZUNGSOBERFLÄCHEN UND INTERFACE-AGENTEN	45
4.3	AGENTEN ZUR INFORMATIONS- UND DATENBESCHAFFUNG.....	47
4.4	AGENTEN ZUR UNTERSTÜTZUNG DER BILDAUSWERTUNG	49
4.5	VERMITTLUNGSAGENTEN UND DIENSTE.....	52
4.6	KOSTEN-NUTZEN-MODELL	57
5	ONTOLOGIEN ZUR UNTERSTÜTZUNG DER BILDAUSWERTUNG	65
5.1	DEFINITIONEN DER ONTOLOGIE.....	66
5.2	EINTEILUNGEN UND ANWENDUNGEN VON ONTOLOGIEN.....	69
5.3	METHODEN, SPRACHEN UND WERKZEUGE	79
5.4	ENTWURF EINER ONTOLOGIE FÜR DIE BILDGESTÜTZTE FERNERKUNDUNG	89
6	PROTOTYPISCHE REALISIERUNG / FALLSTUDIE FERNERKUNDUNG.....	119
6.1	SZENARIEN	119
6.2	ARCHITEKTUR DES PROTOTYPEN.....	125
6.3	ONTOLOGIE UND WISSENSBASIS – ONTOLOGIE-DEMONSTRATOR	127
6.4	AGENTEN UND DIENSTE	133
6.5	BEWERTUNG DES PROTOTYPEN	139
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	145
7.1	ANSATZ UND ERGEBNIS.....	146
7.2	ZUKÜNFTIGE ARBEITEN.....	148
A	VERZEICHNISSE	151
A.1	LITERATUR	151
A.2	ABBILDUNGEN UND TABELLEN	169
A.3	BEGRIFFE.....	173
A.4	INDEX	175
B	ANHANG	178
B.1	UML-MODELLE (NUR IN DER ELEKTRONISCHEN FASSUNG ENHALTEN).....	178

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die schnellen technologischen Fortschritte im Bereich von Sensoren und Rechnern und die Vertiefung der theoretischen Basis bei der Interpretation von Bildern führte in den letzten Jahren zu einer erheblichen Ausweitung der Möglichkeiten einer Rechnerunterstützung menschlicher Bildauswerter. Die Zielvorstellung einer automatischen Bildauswertung wurde aber nicht in allen Anwendungsgebieten erreicht. Sind sowohl im Bild auszuwertende Objekte als auch Objekt- und Aufnahmeumgebungen vollständig definiert, können automatische Verfahren eingesetzt werden. Dies gilt z.B. bei der bildgestützten Fertigung im Bereich der Robotik. Auch bei der Auswertung variabler Objekte in definierter Umgebung wie bei der Qualitätskontrolle durch fortgeschrittene Sichtprüfsysteme oder bei definierten Objekten in variablen Umgebungen wie bei der Verkehrsüberwachung sind automatische Auswertungen weitgehend erreichbar. In vielen Anwendungsbereichen, insbesondere in der Medizin, bei der Fernerkundung und bei der Aufklärung und Überwachung lässt sich diese Vorstellung allerdings in absehbarer Zeit nicht verwirklichen. In diesen Anwendungsbereichen, die das Betrachtungsgebiet dieser Arbeit abstecken, sind unbekannte (undefinierte) Objekte in nicht modellierter (undefinierter) Umgebung auszuwerten. Dies ist das Einsatzgebiet der interaktiven Bildauswertung. Hier müssen Fähigkeiten und Erfahrungen des Menschen mit den Möglichkeiten von Sensoren und Rechnern geeignet kombiniert werden um eine effektive und effiziente Bildauswertung zu ermöglichen. Dabei muss der Mensch die letzte Entscheidung über das Auswertergebnis und damit auch die Verantwortung für dieses Ergebnis behalten.

Fortschrittliche interaktive Lösungen unter Nutzung automatischer Komponenten für Teilfunktionen bieten auch in diesem Bereich neue Möglichkeiten für Anwendungen der interaktiven Bildauswertung. Neben den auch schon in der Vergangenheit vorhandenen Funktionen zur Verbesserung der Bilddarstellung gewinnen jetzt zunehmend Verfahren zur teilautomatischen und Möglichkeiten zur kooperativen Bildauswertung an Bedeutung. Die gestiegenen Anforderungen und das Vordringen automatischer Hilfen zur Beherrschung der Datenflut erfordern dabei begleitende Fortschritte in der Interaktion des Benutzers mit einem zukünftigen maschinellen Assistenten. Die im Auswerteprozess beteiligten Menschen sind mit hochkomplexen Automatismen und beschleunigten Abläufen konfrontiert, die nur mit präzise zugeschnittenen Interaktionstechniken beherrschbar sind und damit nutzbringend eingesetzt werden können. Der rasche Zugriff auf weltweit verfügbare Informationen und die zunehmende globale Vernetzung von Maschinen und Experten an unterschiedlichen Orten werden die Arbeitsabläufe bei der interaktiven Bildauswertung deutlich verändern, erfordern aber auch ein gemeinsames Verständnis zwischen den Beteiligten. Dazu müssen Prozesse und Ressourcen der Bildauswertung ebenso wie die in den Bildern abgebildeten Objekte mit ihren Eigenschaften, Zuständen und Aktivitäten interoperabel beschrieben werden. Die Beschreibungen müssen dabei das aufgaben- und nutzerbezogene Interesse und Situationsverständnis unterschiedlicher vernetzter Teilnehmer berücksichtigen. Die Lösung dieser Interoperabilitäts-Problematik ist eine entscheidende Voraussetzung zur erfolgreichen Nutzung der Netzwerk-Technologie.

Die Fortschritte in der Bildauswertung beruhen im Wesentlichen auf weiterentwickelter Technik für bildgebende Sensoren mit höherer Auflösung bei fortgeschrittener Miniaturisierung, verringertem Energiebedarf und erweiterten Spektralbereichen. Neben der Sensortechnik war die Steigerung von Datenübertragungs- und -verarbeitungsleistung entscheidend für eine Reihe von neuen Möglichkeiten in der interaktiven Bildauswertung.

Vor allem im Bereich der Fernerkundung, Aufklärung und Überwachung, in der Medizintechnik, aber auch im Privathaushalt mit Aufkommen kostengünstiger Digitalkameras und elektronischer Bildbearbeitung sind neue Möglichkeiten entstanden. Doch sieht sich der Nutzer eines interaktiven Bildauswertungssystems nicht nur mit diesen neuen Möglichkeiten konfrontiert, sondern darauf aufbauend häufig auch mit gestiegenen Anforderungen.

So werden im Bereich der Aufklärung und Überwachung Informationen zu beobachteten Objekten benötigt, die erst durch die gestiegene Auflösung gewonnen werden können. Nur durch gemeinsame Nutzung unterschiedlicher Spektralbereiche können Forderungen bzgl. Wetterunabhängigkeit (SAR – Synthetic Aperture Radar) und detaillierten Objektbeschreibungen bei der Luft- und Satellitenbildauswertung erfüllt werden. Unterschiedliche Objektzustände und Aktivitäten erfordern Nutzung von Infrarot- und Bewegtziselsensoren. Häufig ist die Aktualität der Information eine wichtige Vorgabe für die Bildauswertung, so dass der Zeitdruck bei der Bildauswertung trotz gesteigerter Rechen- und Datenübertragungsleistung einen wichtigen Faktor beim Design operationeller Bildauswerteanlagen darstellt. Die einzelnen auszuwertenden Szenen können dabei eine Größenordnung von 12 x 240 MPixel (ca. 3 GB auszuwertende Szene von einem Infrarot Zeilensensor bei der Luftbildaufklärung) umfassen. Moderne Satellitensensoren liefern Bilddaten in der Größenordnung von 1 GByte pro Bild. Auch in der Medizin können zu betrachtende Tomografieaufnahmen etliche hundert Megabyte umfassen (ECCET 2003). Im Umfeld der Nachrichtengewinnung, Aufklärung und Überwachung stehen den Benutzern dazu häufig nur wenige Minuten zur rechtzeitigen Generierung und Verteilung der Ergebnisse zur Verfügung.

Um das Wirkungsvermögen leistungsfähiger Sensoren voll auszuschöpfen sind Anstrengungen erforderlich, die in den Sensorbildern verborgenen relevanten (direkte und indirekt ableitbare) Informationen rasch und vollständig auszuwerten und verständlich in eine handlungsbe gründende Aussage umzusetzen. Die hierzu erforderlichen Systeme, die die Vielfalt der Signale ebenso berücksichtigen wie die weltweite Verfügbarkeit der Daten und Informationen, erfordern einen ganzheitlichen Systemansatz, vom Sensorsignal bis zur Berichtserstellung und –verteilung. Die interaktive Bildauswertung bleibt dabei eine komplexe Aufgabe, die erfahrene Auswerter erfordert. Von ihnen wird Wissen über eine große Anzahl von beobachtbaren Objekten verlangt, die in verschiedenen Ansichten und unterschiedlichem Kontext, zum Teil unter ungünstigen Bedingungen, dargestellt werden. Der Auswerter hat die Bilder möglichst genau und schnell auszuwerten, über die Auswerteergebnisse einen Bericht zu erstellen und diesen gegebenenfalls an Auftraggeber weiterzuleiten. Die Arbeit des Bildauswerters ist geprägt durch konzentrierte visuelle Aufmerksamkeit auf das auszuwertende Bildmaterial. Bei allen notwendigen Arbeitsschritten sollte der Auswerter so wenig wie möglich gezwungen sein sich vom Bild abzuwenden und seine visuelle Aufmerksamkeit einem anderen Gegenstand zuzuwenden.

Daher sind die in konventionellen Bildauswertungssystemen angebotenen, stark hierarchisch strukturierten Menüsysteme für die Auswertung unvorteilhaft. Auch die direkte Manipulation kommt hier an ihre Grenzen. Intuitiv verständliche Visualisierungen durch geeignete Symbole (Ikonen) und die dazu gehörigen objektorientierten Interaktionen sind für die Breite der Aufgabenstellung in der interaktiven Bildauswertung mit unterschiedlichsten Bildauswerteverfahren, die nicht nur von der Aufgabenstellung abhängig sind, sondern auch von Sensorparametern, Aufnahmegeometrien und Bildinhalten, kaum realisierbar. Neben der Erwartungskonformität bildet die Zuverlässigkeit und Kontrollierbarkeit der teilautomatischen Unterstützungsfunktionen aber eine wesentliche Voraussetzung für einen möglichen Einsatz dieser Verfahren. Dieses muss im Design der Benutzungsoberfläche verstärkt berücksichtigt werden.

Die steigende Vielfalt von Endgeräten sowie von Sensoren in unterschiedlichsten Spektralbereichen mit verschiedensten Bildformaten und deren adäquate Nutzung stellen weitere Herausforderungen für die Systementwickler dar. Dabei können sowohl auszuwertende Sensordaten als auch Auswertebereiche und Zusatzdaten über Netzwerke ausgetauscht werden. Neben der verteilten kooperativen Bildauswertung wird so eine Reihe von zusätzlichen netzwerkgestützten Dienstleistungen im Bereich der Bildauswertung ermöglicht. Dabei können Rechenleistung (Hochleistungsrechner) und spezielle Auswertungsalgorithmen zur Datenaufbereitung, -konvertierung oder automatischen Mustererkennung, ebenso genutzt werden wie der interaktive Beratungsmodus mit Expertensystemen oder das Consulting von Spezialisten mit Fach- oder Objektexpertise, wie bei der Zweitbefundung in der Telemedizin. Diese Form der Ressourcennutzung ermöglicht ein effizientes Dienstleistungssystem zur Unterstützung der interaktiven Bildauswertung und damit auch eine zukünftige Kosten-Nutzen-Optimierung.

1.2 Ziel der Arbeit

In dieser Arbeit soll ein Wirkungsverbund von Dienstleistungen für die interaktive Bildauswertung systematisiert und, ebenso wie die Assistenzfunktionen, als agentenbasiertes System konzipiert werden. Im Rahmen eines Bildauswertungssystems kann zwischen Benutzungs- oder Schnittstellen-Agenten, Vermittlungs- und Ressource-Agenten unterschieden werden. Eine besondere Herausforderung stellt die Entwicklung von Benutzungs-Agenten dar. Diese vermitteln zwischen Benutzer, Bildauswerter und dem netzwerkweiten „virtuellen“ Bildauswertungssystem, welches die Bildauswertung als Dienstleistung ebenso umfasst wie die Kommunikation und Ressourcenverwaltung, und berücksichtigen sowohl Benutzerprofile als auch unterschiedlichste Endgeräte. Eine weitere Einsatzmöglichkeit für SW-Agenten ist die Parallelisierbarkeit von teilautomatischen Bildauswertungsanwendungen, die eine effiziente Ressourcenverwaltung voraussetzt. Vermittlungs-Agenten stellen dann die Verbindung zwischen Dienstanforderung und Dienstangebot her. Dabei ist eine gemeinsame „Begriffswelt“ der Dienstleister und Dienstanforderer notwendig, die in einer Ontologie festgelegt werden muss. Die Ontologie muss ebenfalls Informationen bzgl. der Nutzen und Kosten der Dienste enthalten. Diese sind entscheidend für eine Kosten-Nutzen-Optimierung, die von einem entsprechenden Vermittlungs-Agenten bei der Auswahl von Diensten und bei einer Zerlegung in Teilaufgaben vorgenommen werden kann.

Ziel dieser Arbeit ist der Entwurf und die prototypische Realisierung einer netzwerkgestützten, agenten- und ontologie-basierten SW-Architektur für Systeme zur interaktiven Bildauswertung. Dies beinhaltet eine agentenbasierte Benutzungsoberfläche für den Bildauswerter, einem wichtigen Schritt auf dem Weg zu einem lernenden elektronischen persönlichen Bildauswerteassistenten. Dabei sollen folgende Assistenzfunktionen mittels Agenten definiert werden:

- Ständige Suche nach neuen Daten und Informationen, z.B. Anschauungsmaterial im Auswertungsverbund (Intranet) und im Internet über Schlüsselwörter und Texte in verteilten Datenbanken und automatische Generierung von Hinweisen auf neu vorliegende Informationen;
- Automatische Anpassung der Benutzungsoberfläche an die Aufgabenstellung und Geräte des Benutzers, dies beinhaltet auch die Anpassung der zur Verfügung gestellten Dienste;
- Möglichkeit zur parallelen Auswertung des Bildes mit verschiedenen Verfahren und Vergleich der Ergebnisse zur Auswahl des am Besten geeigneten Verfahrens;
- Optimierung des Einsatzes von Diensten zur Auswertung im Hinblick auf Kosten und Zeitbedarf;
- Vermitteln von Experten und Ressourcen im Auswertungsverbund;

- Nutzerfreundliche Einbindung von automatischen Bildauswertungsverfahren und –ressourcen.

Eine entscheidende Komponente bildet die anwendungsspezifische Ontologie. Diese umfasst sowohl Konzepte des Diskursbereichs, Beschreibungen von Diensten, Dienstleistern und Verbindungen als auch Kosten-Nutzen-Aspekte. Mit dieser Systemarchitektur soll

- der Zugriff auf Informationen aus heterogenen, verteilten Systemen vereinfacht und beschleunigt,
- der Benutzer bei der Bildauswertung entlastet,
- ein Vermittlungsdienst zu Spezialisten (Mensch oder SW-Agent) angeboten,
- eine automatische Anpassung an Nutzer und unterschiedliche Endgeräte ermöglicht,
- die Überfrachtung der Benutzungsoberfläche mit speziellen Funktionen vermieden

und damit die Qualität und Geschwindigkeit der Bildauswertung verbessert werden. Einen wichtigen Aspekt bildet das Kosten-Nutzen-Modell. Gestützt auf dieses Modell wird eine Kosten-Nutzen-Optimierung durch den flexiblen Einsatz von Agenten und deren Fähigkeiten sowie die angebundenen Dienste durchgeführt.

1.3 Aufbau der Arbeit

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Konzept wurde im Hinblick auf die zivile Fernerkundung erstellt. Aufgabenstellung, aber auch die Probleme der Benutzer sind übertragbar auf die Bundeswehr. Dies gilt insbesondere, da das Aufgabenspektrum der Bundeswehr im Ausland innerhalb Deutschlands von zivilen Organisationen wahrgenommen wird. Ein wichtiges Beispiel stellt hier der Bereich des Katastrophenmanagements dar. Somit bezieht diese Arbeit langjährige Erfahrungen bei der Entwicklung und Inbetriebnahme der Luftbildauswertestationen der Bundeswehr mit den unterschiedlichen Ausprägungen für Luftwaffe, Heer, Marine und Nachrichtendienste ein. Insbesondere wurden die Aspekte Anforderungen und Probleme der Benutzer in einer Reihe grundlegender Forschungsarbeiten untersucht. Anforderungen bzgl. der Architektur und speziell der Interoperabilität ergeben sich durch die kooperierenden gemeinsamen Einsätze der einzelnen Teilstreitkräfte, treten aber vor allem bei der Integration der Systeme in einen europäischen Verbund oder bei partnerschaftlichen Einsätzen der NATO, UNO oder entsprechender Organisationen auf. Die neuen Einsatzkonzepte für die Bundeswehr und die darauf ausgerichteten neuen Strukturen erfordern eine zunehmende Vernetzung der Systeme. Diese Entwicklung wurde auch in den USA unter dem Thema „Network Centric Warfare“ angestoßen. Durch die verschiedenen Netzwerkpartner mit unterschiedlichen Aufgaben und Informationen treten aber auch neue Verständnisprobleme zu Tage, zu deren Lösung in dieser Arbeit beigetragen wird. Aufgrund des generischen Ansatzes dieses Konzepts ergibt sich eine Vielzahl weiterer möglicher Anwendungen im Bereich der interaktiven Bildauswertung auf die an verschiedenen Stellen hingewiesen wird.

Kapitel 2 stellt zunächst die Anforderungen an interaktive Bildauswertungssysteme zusammen und gibt einen Literaturüberblick über Bildauswertungs- und Agentensysteme. Ausgehend von einer Analyse der Arbeitsabläufe werden Möglichkeiten der rechnergestützten Assistentenfunktionen aufgezeigt und nach Aufgabenstellung strukturiert. Die Betrachtung kommerzieller Bildauswertungssysteme und verschiedener Forschungsansätze wird durch vertiefende Ausführungen zur SW-Architektur interaktiver Bildauswertungssysteme ergänzt. In diesem Kapitel werden auch die Begriffe Bildbegleitdaten, Kollateraldaten und Referenzinformationen definiert und erläutert, die im Hinblick auf geeignete Objektmodelle wichtige Beiträge liefern.

Der Umgang mit diesen Daten sowie der Zugriff auf Assistenzfunktionen bilden wichtige Aspekte bei der Betrachtung der Benutzungsoberflächen zur interaktiven Bildauswertung. Im Weiteren werden in diesem Kapitel in der Literatur beschriebene Fähigkeiten und mögliche Anwendungen von SW-Agenten zur interaktiven Bildauswertung dargestellt.

Die Probleme der Benutzer bei der Anwendung interaktiver Bildauswertungssysteme bilden den Gegenstand von Kapitel 3. Dabei werden Defizite und Grenzen heutiger Systeme betrachtet. Auch diese Problematik wird im Hinblick auf den möglichen Einsatz von SW-Agenten diskutiert.

Kapitel 4 stellt dann das Konzept für ein Betriebsmodell zur netzwerkorientierten, agentenbasierten Bildauswertung vor. Dabei werden Informationen und Dienstleistungen vom jeweiligen Anbieter beschrieben und im Netzwerk angeboten. Vermittlungsinstanzen vergleichen Kundenanfragen und Angebote im Netzwerk, gestützt auf Kundenvorgaben und Kosten-Nutzen Informationen. Geeignete Dienste zur Befriedigung einer Kundenanfrage werden daraus vermittelt, Teilergebnisse zusammengeführt und dem Kunden geeignet präsentiert. Das Kapitel beschreibt das Systemkonzept, den Entwurf von Agenten zum Aufbau und zur Anpassung der Benutzungsoberflächen, zur Informations- und Datenbeschaffung, zur Unterstützung der Bildauswertung sowie zur Vermittlung der Dienstleistungen basierend auf einem neu entwickelten Kosten-Nutzen-Modell.

Den inhaltlichen Schwerpunkt dieser Arbeit bildet die in Kapitel 5 dargelegte Ausführung zu einer mehrstufigen, auf Schichten und Sichten basierenden Ontologie für die Fernerkundung. Eine gemeinsame Ontologie, die ein standardisiertes Vokabular definiert und damit eine semantische Schnittstelle zwischen den Netzwerkteilnehmern bildet, ist die Basis der Kommunikation zwischen Kunden und Anbietern. Hier werden die wesentlichen Konzepte „Person“, „Organisation“, „Information“, „Dienst“, „Ort“, „Zeitdauer“ sowie Konzepte aus der Anwendungsdomäne modelliert. Eine besondere Rolle spielen dabei auch die Beziehungen zwischen den Objekten. Diese Beziehungen dienen zur Modellierung unterschiedlicher Sichten auf Objekte, die auch bei der automatischen Anpassung der Benutzungsoberflächen an die Aufgabenstellung der jeweiligen Benutzer eine entscheidende Rolle spielen. Der Entwurf der Ontologie berücksichtigt zusätzlich Aspekte des Kosten-Nutzen-Modells. Einleitend beinhaltet dieses Kapitel einen Überblick über Definitionen, mögliche Anwendungen sowie über Methoden und Werkzeuge zum Aufbau und zur Implementierung von Ontologien.

Kapitel 6 beschreibt die prototypische Realisierung des Konzepts für den Anwendungsbereich der Fernerkundung. Zunächst wird der Systementwurf detaillierter erläutert. Ausgehend von der Gesamtarchitektur wird die Beziehung zwischen Ontologie und Wissensbasis dargestellt. Nutzer-Profile, Benutzungsoberflächen, ausgewählte Dienste zur Unterstützung der Bildauswertung sowie der Vermittlungsdienst werden detaillierter vorgestellt. Dabei werden die Ansätze zur Kosten-Nutzen-Optimierung erläutert. Architektur, Benutzungsoberflächen und realisierte SW-Agenten werden anhand von ersten Erfahrungen mit Nutzern der Systeme diskutiert und bewertet.

Kapitel 7 fasst die Arbeiten zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche Ergänzungen. Dabei werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit, das Modell einer mehrstufigen Ontologie im Bereich der Fernerkundung, das Kosten-Nutzen-Modell und das generische Konzept der agentenbasierten Architektur noch einmal verdichtet dargestellt. Anhang A enthält die Zusammenstellung der verwendeten Literatur und Erläuterungen zu einigen zentralen Begriffen.

Detailliertere Informationen zu implementierten Architekturkomponenten in Form von UML-Diagrammen werden in Anhang B dargestellt. Der Anhang B ist nur in der elektronischen Version auf beiliegender CD und in der „Online-Version“ enthalten.

2 Interaktive Bildauswertung & Software-Agenten – Stand der Technik

Die nachfolgenden Absätze geben zunächst einen Überblick über Arbeitsabläufe bei der interaktiven Bildauswertung und leiten daraus funktionale Anforderungen für die Rechnerunterstützung der menschlichen Bildauswerter ab. Kommerzielle Bildauswertungssysteme und Forschungsansätze werden daraufhin auf ihre Unterstützungsleistung untersucht. Den Schwerpunkt bilden dabei Systeme zur Luft- und Satellitenbildauswertung. Neben der Aufklärung und Überwachung als Grundlage sicherheitspolitischer und militärischer Entscheidungen im strategischen, operativen und taktischen Rahmen sind Überwachung von Klimaveränderungen und Umweltverschmutzung auf Land und See, Unterstützung des Katastrophenmanagements, Verkehrsbeobachtung und -lenkung, Planung und Überwachung von Landverbauung, Erntevorhersagen, Überwachung und Aufspüren von Mineral- und Ölvorkommen sowie von Wasserreserven und Planung von Telekommunikationsverbindungen nur einige Einsatzfelder eines stark wachsenden Technologiefeldes. Einen umfangreichen Überblick zu Anwendungen der Luft- und Satellitenbildauswertung in der Fernerkundung findet man in *Albertz 2001* und in *Monmonier 2002*. Einsatzmöglichkeiten zur Landschaftserfassung werden in *Koukal 2001* beschrieben. Zusätzlich zu diesen auf Kartographie und Topographie aufbauenden Anwendungen liegen auch in der Medizin, Biologie und der Luft- und Weltraumüberwachung wichtige Wachstumsmärkte für die interaktive Bildauswertung. Mitentscheidende Gesichtspunkte für einen effektiven und effizienten Einsatz von interaktiven Bildauswertungssystemen sind Verfügbarkeit und Zugriff auf Referenzinformationen und die Gestaltung der Benutzungsoberfläche. Die folgenden Abbildungen 2-1 und 2-2 stellen Beispiele zu Anwendungsgebieten der interaktiven Bildauswertung dar.

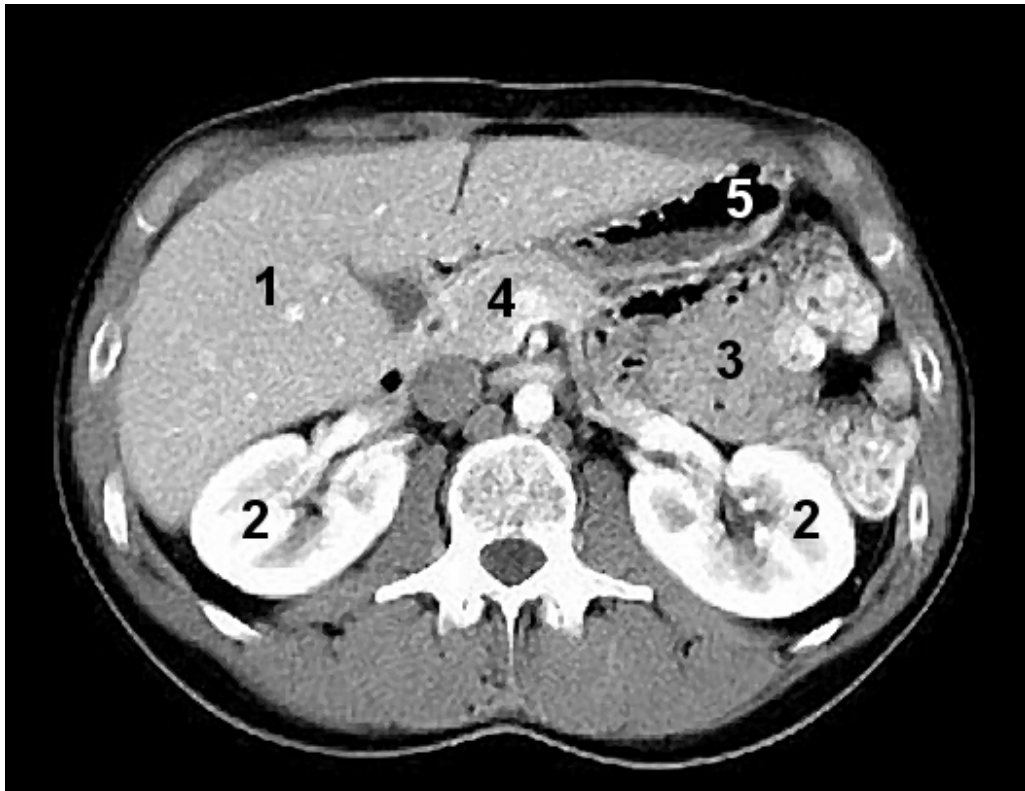


Abbildung 2-1: CT-Aufnahme des Abdomen (1 – Leber, 2 - linke und rechte Niere, 3 – Milz, 4 – Bauchspeicheldrüse, 5 – Magen) (<http://www.anatomie1.med.uni-erlangen.de>).



Abbildung 2-2: Beispiel zur interaktiven Bildauswertung aus dem Bereich „Militärische Aufklärung und Überwachung“ (Quelle: FAS.ORG). Schadensfeststellung an der Raffinerie „Novi Sad“ nach Bombardierung im Kosovo-Konflikt (Mai 1999). Eine Aufgabe der interaktiven Bildauswertung ist neben der Schadensfeststellung die Analyse des Grades der Aufgabenerfüllung – die Anlage für eine vorgegebene Zeit außer Betrieb zu setzen unter Minimierung so genannter Kollateralschäden.

Der das Kapitel abschließende Literaturüberblick zum Thema SW-Agenten zeigt unterschiedliche Definitionen, Eigenschaften und Fähigkeiten von SW-Agenten auf. Besondere Beachtung wird dabei der Rolle von SW-Agenten in der Mensch-Maschine-Kommunikation gewidmet. Lernfähigkeit und Mobilität sind weitere wichtige Aspekte zukünftiger SW-Agenten, die auch im Bereich der Bildauswertung von großem Interesse sind. Die Beschreibung von Forschungsansätzen zum Einsatz von SW-Agenten bei der interaktiven Bildauswertung führt die Unterkapitel zur interaktiven Bildauswertung und zu SW-Agenten zusammen.

2.1 Arbeitsabläufe in der interaktiven Bildauswertung

Die Entwicklung einer Architektur für Bildauswertungssysteme erfordert die Betrachtung des gesamten Geschäftsprozesses „Interaktive Bildauswertung“, der von der Entgegennahme eines erteilten Auswerteauftrages bis zur Übergabe des resultierenden Produktes, eines Ergebnisberichtes oder aufbereiteten Bildes reicht. Dies wird durch die externen Schnittstellen des Prozesses illustriert (Abb. 2-3).

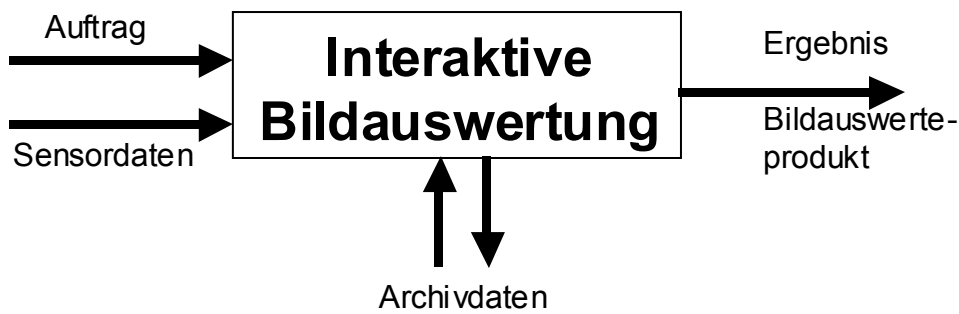


Abbildung 2-3: Interaktive Bildauswertung – Externe Schnittstellen (1).

Analysiert man diesen Prozess im Detail, so ergibt sich das in Abb. 2-4 dargestellte Ablaufdiagramm. Die einzelnen Aufgaben können dabei von verschiedenen Personen oder auch nur einer Person in verschiedenen Rollen wahrgenommen werden. Dies hängt vom Datenaufkommen, Zeitdruck und Personalbestand der *Organisationseinheit Auswertung* ab.

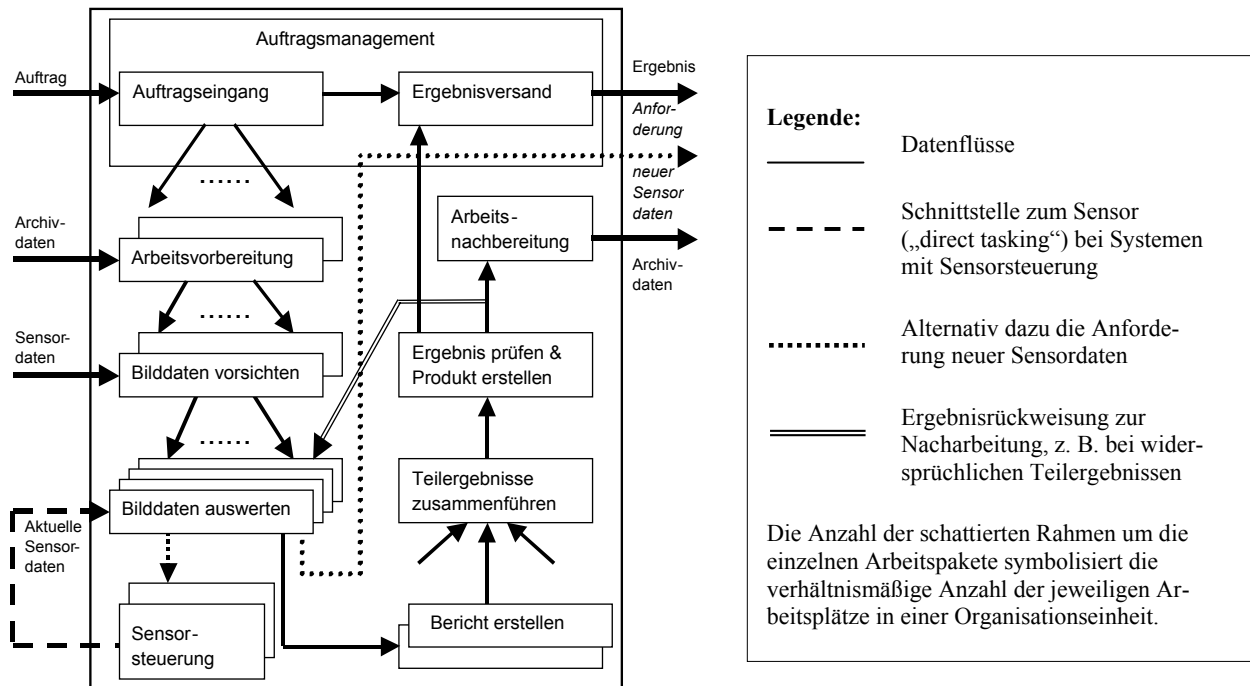


Abbildung 2-4: Arbeitsabläufe bei der interaktiven Bildauswertung. Externe Schnittstellen (2).

Ebenso ist die Anzahl der Arbeitsplätze zur Arbeitsvorbereitung, Datenvorsichtung, Datenauswertung, Sensorsteuerung, Berichtserstellung sowie zum Auftragsmanagement je nach Einsatzgebiet und Aufgabenstellung der Organisationseinheit variabel. Allgemein sind die überwiegende Anzahl der Arbeitsplätze im Bereich der Bilddaten-Auswertung anzusiedeln, während im Bereich Auftragsmanagement nur wenige Arbeitsplätze, primär aus Redundanzgründen gedoppelt, anzusiedeln sind. Häufig unterteilen sich die Arbeitsschritte in der Bilddatenauswertung in die Phasen Segmentierung, Merkmalextraktion und Klassifikation. Besteht die Möglichkeit der direkten Einflussnahme auf den Sensor, so kann diese Sensorsteuerung auch Bestandteil des Prozesses „Interaktive Bildauswertung“ werden. Dies empfiehlt sich allerdings nur bei kurzen Reaktionszeiten des Sensorsystems, da das neue Sensormaterial un-

mittelbar in die Auswertung übernommen werden soll. Anwendungen existieren in der Medizin, z.B. Ultraschall-Untersuchungen und im Überwachungsbereich mit stationären oder mobilen Sensorsystemen. Im Fall längerer Reaktionszeiten, wie sie bei der Veränderung von Satellitenbahnen oder Flugwegen der Aufklärungsflugzeuge resultieren, ist eine Missionsplanung durchzuführen, die aufgrund ihrer Komplexität außerhalb der Bildauswertung angesiedelt ist. Von der Bildauswertung werden Datenanforderungen an diese spezialisierten Planungs- und Steuerungssysteme abgesetzt. Diese Datenanforderungen gehen entsprechend in die Missionsplanung ein. Dabei ist die interaktive Bildauswertung in einem Gesamtablauf von der Formulierung des Informationsbedarfs, über Planung der Informationsgewinnung, Sensordatenaufnahme, Sensordatenübermittlung, interaktive Auswertung, Ergebnisdatenübermittlung bis zur Entscheidung über entsprechende Handlungen und deren Auslösung eingebettet (Abb. 2-5).



Abbildung 2-5: Bildauswertung als Bestandteil des Geschäftsprozesses „Informationsmanagement“. (Foto zur 3D-Bildauswertung aus COBALT (Geisler & Eck 2002), Tafelbild aus Beschreibung von Heyewall (www.heyewall.de)).

Ist das Datenaufkommen hoch und gestattet der Zeitdruck bis zur Vorlage eines Ergebnisses keine sequentielle Bearbeitung des Materials, so kann parallel an verschiedenen Aspekten gearbeitet werden. Mögliche Aufteilungen ergeben sich nach verschiedenen Gesichtspunkten:

Räumlich:

Zuordnung unterschiedlicher Koordinatenbereiche oder bei großflächigen Anlagen (z.B. Flughäfen, Häfen, ausgedehnte Industrieanlagen) entsprechender Teilanlagen zu verschiedenen Auswertern. Diese **gebietsbezogene** Form der Aufteilung bietet sich von der Anwendung her an, erfordert aber, dass das Sensormaterial aufgeteilt und/oder kopiert werden muss.

Dies ist bei analog vorliegendem Sensormaterial kritisch. Eine vollständige Digitalisierung mit maximaler Auflösung mit dem Vorteil des anschließenden parallelen Zugriffs ist zeitaufwendig. Bei dieser Form der Aufteilung ist es zweckmäßig, objektspezifische Fachleute einzusetzen, die eine möglichst gute geistige Vorstellung (inneres Modell) von den abgebildeten Objekten und der ablaufenden Prozesse haben. Diese **objektspezifische** Aufteilung kann auch als eigene Aufteilungsmöglichkeit angesehen werden und ist wenn möglich den anderen vorzuziehen. Eine Ausbildung der „Objekt-Spezialisten“ bzgl. der Charakteristik der unterschiedlichen Sensoren ist dabei aber unverzichtbar. Eine Kombination der räumlichen mit der objektspezifischen Aufteilung ist bei geschickter Vorsicht mit entsprechender Zerlegung der Daten möglich.

Spektral:

Zuordnung unterschiedlichem Sensormaterials der gleichen Szene (nur bei multispektralen Aufnahmen), z.B. optisch, infrarot, bildgebendes Radar (SAR) zu verschiedenen Auswertern. Dies ist naheliegend, da häufig das Bildmaterial auf unterschiedlichen Datenträgern vorliegt. Der Vorteil, des ausgeprägteren inneren Modells, welches sich durch verschiedene Ansichten immer detaillierter beim Auswerter ausbildet, geht bei dieser Form der Aufteilung verloren. Allerdings können hier sensorspezifische Spezialisten eingesetzt werden; so bei der Interpretation von Röntgen- und Ultraschallbildern in der Medizin. Diese Form der Aufteilung erfordert entsprechende Aufmerksamkeit bei der Zusammenführung der Teilergebnisse, da je nach Sensorcharakteristik nicht alle Objekte in jedem Sensorbild abgebildet werden.

Temporal:

Eine Aufteilung des Sensormaterials nach zeitlichen Gesichtspunkten auf verschiedene Auswerter ist in der Regel nicht sinnvoll, da der Zusammenhang zeitlicher Abläufe bei der Aufteilung verloren ginge und ein „Eindenken“ in die Szene an jedem Arbeitsplatz notwendig wäre.

Genauigkeit:

Außer zur Erhöhung des Durchsatzes bei der Bildauswertung kann auch der Wunsch nach gesteigerter Genauigkeit bei der Bildauswertung zu entsprechender Aufteilung des Bildmaterials führen. Dabei kann grob zwischen kooperativer Auswertung („Teamwork“, „Auswertekonferenz“) mit parallelen Auswerte-Aktivitäten und zweistufiger sequentiellen Auswertung („Primär- und Sekundärauswertung“) unterschieden werden. Die Vor- und Nachteile verschiedener Team-Organisationen bei der Auswertung von Bildern aus Aufklärungsdrohnen werden schon in *Mutschler 1980* diskutiert.

Neben den Möglichkeiten zur Aufteilung auf verschiedene Arbeitsplätze zeigt das Ablaufdiagramm 2-4 einen weiteren wichtigen Aspekt der interaktiven Bildauswertung auf. Der Zugriff auf und die Aktualisierung der Referenzdatenbasen in entsprechenden Archiven sind wichtige Arbeitsschritte, die die Bearbeitung der Aufträge effektiver und effizienter ermöglichen und darüber hinaus mögliche Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Geschehnissen überhaupt erst aufzeigen. Daher kann man „Interaktive Bildauswertung“ auch als wichtigen Teil eines „Informationsmanagements“ beschreiben, mit dem Kern der Generierung von Informationen aus Daten. Informationsmanagement umfasst dabei die Aspekte Informationsgewinnung, Informationsaufbereitung und Informationsauswertung, Informationsverdichtung, Informationsverteilung / -übermittlung, Informationshaltung und Informationszugriff.

Anhand der Beschreibung der einzelnen Aufgaben werden in dieser Arbeit die Definitionen entsprechender rechnergestützter Assistenzfunktionen aufgezeigt und nach Aufgabenstellung strukturiert (Tabelle 1). Die Funktionen zur Bilddaten-Auswertung und Berichtserstellung werden in Tabelle 2 weiter untergliedert.

Aufgabe	Funktionen
Auftragsmanagement	<ul style="list-style-type: none"> • Entgegennahme und Auswertung von Aufträgen • Buchführung, Zustandsaktualisierung • Prioritätenvergabe für Aufträge • Ressourcenmanagement (Personal, Rechner, Speicher, Material) • Zuordnung Personal zu Aufträgen (Erteilen interner Aufträge) • Überwachung der Arbeitsfortschritte • Interne Kommunikation • Versand / Übergabe der Ergebnisse
Arbeitsvorbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • Entgegennahme interner Aufträge • Anlegen / Bereitstellung einer „Vorgangsmappe“ • Recherche bzgl. relevanter Information in internen und externen Archiven / Netzen (z.B. Patientenakte, Kartenmaterial, ältere Aufnahmen der gleichen Szene, Beschreibungen möglicher Objekte, Berichte ehemaliger Auswertungen) • Weiterleitung der „Vorgangsmappe“ an Vorsichtung und Auswertung
Bilddaten vorsichten	<ul style="list-style-type: none"> • Entgegennahme der Vorgangsmappe • Durchsicht der Informationen (Aufbau eines inneren Modells) • Entgegennahme des Bildmaterials • Durchmustern des Bildmaterials • Reduktion auf interessierende (beauftragte) Bereiche • Abschneiden überstehender und/oder unauffälliger Bereiche • Detektion und Markierung auffälliger Bereiche • Zeitliche / Räumliche Referenzierung, z. B. (grobe) Georeferenzierung • Reduktion des Bildmaterials auf auffällige Bereiche („Regions of Interest“ - ROI) • Weiterleitung des reduzierten Materials an Auswerter
Bilddaten auswerten	<ul style="list-style-type: none"> • Detektion von Objekten, Lokalisierung (Koordinatenzuordnung) • Klassifikation (grob: Typklassen-, fein: Typzuordnung) • Identifizierung eines Objektes, Zählen von Objekten • Analyse des Objektzustandes, insbesondere Änderungen • Kommunikation und Kooperation mit weiteren Auswertern, • Anwendung von Bildbearbeitungs-, Bildverarbeitungs- und teilautomatischer Bildauswertefunktionen • Überwachung: Verfolgung von Objekten • Aggregation von Daten verschiedener Sensoren (räumlich, zeitlich, spektral) • Überlagerungen z.B. mit Objektmodellen, verschiedenen Karten aus geographischen Informationssystemen (GIS) • Referenzierung (in feinerer Auflösung)
Sensorsteuerung	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung von Position, Betrachtungswinkeln, Vergrößerungsstufen, Abtastraten, Sensorspektrum etc. • Änderungen der Sensorparameter und entspr. Planungshilfen • Teilautomatische Zielverfolgung (Aufschalten des Sensors) • Auslösen der Sensordatengewinnung (Ein-/Ausschalten)
Bericht erstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Editieren eines Ergebnisformulars und/oder –dossiers • Auswahl geeigneter Formulare (zur rechnergestützten Berichtser-

Aufgabe	Funktionen
	<ul style="list-style-type: none"> stellung) in Abhängigkeit vom Auftrag, • Verfassen von Freitextanmerkungen • Aufbereiten und annotieren (beschriften) von Bildmaterial (Übersichtsbilder, Ausschnittvergrößerungen, Grafiken statistischer Auswertung) • Überlagerung mit Grafiken (Symbolen und Texten)
Teilergebnisse zusammenführen	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenstellen der Teilberichte und eventueller Ausschnittsbilder zu einem Auswerteprodukt, z.B. Bericht, Meldung, Poster, kurze Bildfolge (Videoclip)
Ergebnis prüfen und Produkt erstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Formale Prüfung ob Auftrag und Ergebnis zusammenpassen • Prüfung ob Widersprüche in einzelnen Teilergebnissen (ggfs. Zurückweisungen an Auswerter) auftreten
Arbeitsnachbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • Aktualisieren der Referenzdatenbestände (Archivdaten) <ul style="list-style-type: none"> ○ Objektspezifische Akten / Patientenakten ○ Objekttypenbeschreibungen

Tabelle 1: Aufgaben und Funktionen bei der interaktiven Bildauswertung.

Werkzeuge	Funktionen
Visualisierung	<ul style="list-style-type: none"> • Anzeige von Raster-, Vektor- und alphanumerischen Daten • Bilddarstellung auf einem oder mehreren Bildschirmen • Bildfolgenanzeige mit Steuerung (Start, Stopp, Vor, Zurück) und einstellbarer Darstellungsgeschwindigkeit • Variable Bildformate • Parallele, synchronisierte Darstellung von Bildern und Karten in verschiedenen Fenstern und/oder auf verschiedenen Bildschirmen • Multiple Überlagerungsebenen für Bilder, Karten, Annotationen • Wechselbilddarstellung mit variabler Bildwiederholrate • Unabhängige Wechselbilddarstellung für die Überlagerung • Unterstützung einer Stereo-Bilddarstellung • Einstellmöglichkeiten für Kontrast, Helligkeit, Farbe • Unabhängiges Dimmen für Bilder und Überlagerungen • Zoomfunktion mit Interpolation der Pixelwerte • Vergrößerung mit Replikation der Pixelwerte • „Lupe“ über Bild verschiebbar • Bildverschieben im Fenster (Bildschirm) • Hintergrund der Bilddarstellung verschieben • Bilder drehen (möglichst stufenlos), Bereiche ausschneiden • Automatisches Drehen in einstellbare Vorzugsrichtung • Histogramm-Normalisierung, Pseudofarbdarstellung, Farbtabellemanipulation • Darstellung von Alarmgebieten, Zuordnung von Alarmtönen oder Text bzw. Sprachausgaben • Raster-Darstellung unterlegen • Visualisierung von Markierungen (interaktiver oder automatischer, z.B. auffälliger, fehlerhafter Objekte)

Markierung	<ul style="list-style-type: none"> • Markierung von Positionen, Objekten, Objektgruppen, Gebieten • Anzeige durch Text und/oder Symbole • Editieren der Markierungen (Ändern, Löschen, Neu erstellen) • Ein-/Ausschalten der Markierungsdarstellung • Verwendung verschiedener Markierungsebenen zur selektiven Ein- bzw. Ausblendung oder Überlagerung • Anpassung der Markierungen an die jeweils gewählte Auflösung der Bilddarstellung • Synchronisierte Darstellung referenzierter Markierungen • Anzeige der Zeigerposition in Koordinaten, z.B. UTM • Automatische Markierung von Alarmgebieten (vordefinierte Bildbereiche) als auch von „auffälligen“ Bereichen nach Hinweisen von automatischen Detektionsprogrammen • Automatische Markierungen bei Veränderungen in Bildern
Vermessung & Zählen	<ul style="list-style-type: none"> • Einblenden verschiedener Lineale als Vermessungshilfen • Interaktive Zählhilfen für Objekte („Notizzettel“) • Automatisches Zählen von vorgegebenen Objekten in einem Gebiet und/oder in einem Zeitintervall • Messen der Distanz zwischen zwei Punkten • Messen der Fläche in einem Rechteck, Polygon oder Ellipse • Zählen der Objekte in einem ausgewähltem Gebiet • Zählen von Objekten mit gleichen Attributen • Messen von Richtungen in Grad. • Interaktive Vorgabe von Alarmgebieten und/oder Grenzwerten
Annotation	<ul style="list-style-type: none"> • Erzeugen, Laden, Speichern, Löschen, Ändern • Unterstützung von Text, vordefinierten Symbolen, Freihandgrafiken • Multiple Überlagerungsebenen • Ändern der Darstellungsattribute der Annotationen (Grafik- und Texteingenschaften) • Einstellung der Überlagerungsreihenfolge • Unterstützung des Datenaustauschs zwischen verschiedenen Auswertungsprodukten (z.B. Kopieren eines Ausschnitts eines annotierten Bildes in das Dossier)
Unterstützungswerkzeuge	<ul style="list-style-type: none"> • Referenzierung, räumliche oder zeitliche Zuordnung von Bildern • Detektionsprogramme für spezielle Objekte • Klassifikationsvorschläge für spezielle Objekte • Zugriff auf und Suche nach Referenzdaten • Elektronische Handbücher • Entscheidungsunterstützungssysteme mit Hinweisen auf trennungswirksame Merkmale für verbleibende Kandidaten bei der Objektklassifikation

Tabelle 2: Werkzeuge zur Bilddaten-Auswertung und Berichtserstellung.

Die Tabellen stellen einige wesentliche Funktionen bzw. Werkzeuge zur Bildauswertung zusammen, die nicht alle für jede Anwendung benötigt werden. Aufgrund des breiten Einsatzspektrums von Bildauswertungsanlagen ergibt sich allerdings auch eine Reihe von anwendungsspezifischen Funktionen, die in den Tabellen nicht erfasst werden, die aber häufig für

die Auswahl eines interaktiven Bildauswertungssystem für eine spezielle Anwendung entscheidend sind.

Diese Funktionen stellen zum einen Zusammenstellungen von Basisfunktionen zur vereinfachten Bedienung dar, zum anderen werden anwendungsspezifische Algorithmen implementiert und in die Systeme integriert. Diese anwendungsspezifischen Bildauswerteverfahren sind speziell an Aufgabenstellung, Sensorparameter, Aufnahmegeometrien und mögliche Bildinhalte, d.h. Objekte und deren visuelle Attribute angepasst. Die Verfahren bilden Bausteine, die zu Verfahrensketten kombiniert werden, mit dem Ziel der weitestgehenden Automatisierung der Auswertung. In der interaktiven Bildauswertung kommen diese Bausteine bei der Entwicklung der Verfahrensketten für den zukünftigen automatisierten Einsatz zum Zuge. Anwender sind hier die Verfahrensketten-Programmierer. Zum anderen können diese Verfahren bei der interaktiven Bildauswertung zur Bilddaten-Vorsichtung eingesetzt werden um entsprechende Hinweise für den Auswerter automatisch zu erzeugen. Die zukünftige Integration von weiter automatisierten Vorgängen stellt eine besondere Herausforderung für die Verfahrensentwicklung in der Bildauswertung dar und wird entscheidend für den Markterfolg kommerzieller Systeme sein. Die Projektierung oder Konfigurierung eines Bildauswertesystems sollte dabei einfach und kostengünstig erfolgen können, aber auch genügend Flexibilität berücksichtigen um zur Laufzeit des Systems eine effektive und effiziente Anwendung des Systems zu garantieren.

Bei geeigneter Integration dieser Verfahren in den Auswerteablauf bzw. einer Anpassung der Auswerteabläufe unter Berücksichtigung der Möglichkeiten dieser Verfahren ist eine deutliche Unterstützung der Auswerter zu erwarten. Diese Werkzeuge bilden damit wichtige Komponenten eines zukünftigen elektronischen „Bildauswertungs-Assistenten“. Entscheidend ist aber nicht allein die Leistung der Verfahren. Sowohl der aktuelle als auch der in absehbarer Zeit zu erreichende Entwicklungsstand der Verfahren zeigen die durch hochgradige Spezialisierung gekennzeichnete Verwendbarkeit der Verfahren in einem Verfahrens-, Sensor- und Bilddaten- sowie einem anwendungsgebiets-spezifischen Kontext. Damit fällt der Integration der Verfahren in die Arbeitsabläufe und der Versorgung der Verfahren mit den neben dem Bild benötigten Zusatzdaten und Referenzinformationen eine wesentliche Rolle zu.

2.2 Kommerzielle Bildauswertungssysteme und Forschungsansätze

Zur Bearbeitung und Auswertung der Daten bildgebender Sensoren sind in den letzten Jahren eine Reihe von SW-Systemen entstanden, die neben der notwendigen Grundfunktionalität spezielle anwendungsspezifische Funktionen beinhalten. Die Auswahl eines geeigneten Systems für eine Aufgabenstellung ist dabei eine komplizierte Aufgabe. Sie erfordert aufgrund der Komplexität dieser Werkzeuge detaillierte Kenntnisse und viel Zeit. Häufig werden Anforderungen zu spät erkannt und daher zu wenig oder gar nicht berücksichtigt. Auch ist die spätere Nachvollziehbarkeit einer Auswahlentscheidung nicht immer gegeben. Hier müssen standardisierte Anforderungsdokumente, z.B. gemäß dem V-Modell (*Brühl & Dröschel 1995*) oder vergleichbaren System-Entwicklungsrichtlinien ergänzt werden durch Gewichtungen der einzelnen Anforderungen und später bei der Kandidatenauswahl durch den jeweiligen Grad der Anforderungserfüllung der betrachteten Kandidaten.

Zur Unterstützung bei der Auswahl dienen Nutzwertanalysen, deren Kriterien und Gewichtungsfaktoren für die jeweiligen Aufgaben angepasst werden müssen. Wichtige Kriterien sind Ergonomie, Grundfunktionen zur Bildbe- und -verarbeitung, Bildauswertefunktionen, Funktionen zur Berichtserstellung, unterstützte Datenformate, Kommunikationsfunktionen, Erweiterbarkeit und Offenheit sowie Kostenaspekte und Marktposition der Anbieter. Diese Kriterien werden weiter untergliedert, soweit sie für ein zu definierendes Zielsystem benötigt wer-

den. Eine Bewertung von Bildauswertungssystemen zur Verifikation mittels Satelliten- und Luftbildaufklärung findet sich *Peinsipp-Byma et al. 2000*. Im Folgenden ist eine kurze Übersicht über einige Themenbereiche für die Kriterien dargestellt:

- Architektur: Aufbau, Modularität, Erweiterbarkeit
(u. a. Unterstützung von HLA, CORBA, DCOM, Dot-Net (.Net),
Nutzung standardisierter Datenmodelle, z.B. ATCCIS)
- Funktionalität: Bilddarstellung & Inspektionswerkzeuge,
Bildbearbeitungsfunktionen,
Ikonische & symbolische Bildverarbeitung,
Bildauswertung, Berichtserstellung und Managementfunktionen
- Datenaustausch: Formate (Import & Export) und Schnittstellen
- Benutzungsoberfläche: Adaptierbarkeit, Konfigurierbarkeit
- Unterstützung: Hilfe-System, Beispiele, Dokumentation, „Hotline“
- Erweiterbarkeit: Einbeziehung weiterer Formate, Einbindung neuer Verfahren
Herauslösen einzelner Funktionen zur getrennten Nutzung
Anpassung der Benutzungsoberflächen (u. a. Makro-Bildung)
- Rahmenbedingungen: Preis, Verfügbarkeit, Wartung, Marktposition

Die spezifische Ausgestaltung eines Kalkulationsblattes mit den gewünschten Kriterien, dem Aufbau einer Hierarchie der Kriterien, der Vergabe von Gewichtungsfaktoren, der Markierung von Ausschlusskriterien sowie der Behandlung von Übererfüllungen bzgl. einzelner Kriterien wird in *Walther 2002* exemplarisch erläutert. Dabei werden auch einige kommerziell erhältliche Programmsysteme, z.B. Erdas Imagine von Erdas Incorporated, Halcon von MVTec Software GmbH, ELT 5500 von Paragon Imaging, Geomedia von Intergraph Deutschland, ENVI von Research Systems, ZI Imaging Products for Bentley Microstation von ZI Imaging, Paint Shop Pro, Version 7.0 von Jasc Software und Photoshop, Version 7.0 von Adobe Systems Incorporated detaillierter untersucht. Die beiden letzteren sind im eigentlichen Sinn keine Programme für die Bildauswertung sondern Bildbearbeitungsprogramme, allerdings mit einem hohen Bekanntheits- und Verbreitungsgrad. Die darin enthaltenen Bildbearbeitungsfunktionen bilden damit einen verbreiteten Standard der allgemeinen Bildbearbeitung. Diese Systeme beinhalten, verglichen mit den anderen Programmsystemen, nur die Basisfunktionen zur Auswertung von Luft- und Satellitenbildern. „Halcon“ ist ein Entwicklungssystem zur Erstellung von Programmen im Bereich des maschinellen Sehens, insbesondere für die echtzeitfähige Bildverarbeitung und wendet sich damit eher an Programmierer oder Systemintegratoren.

Die grundlegenden Komponenten zur interaktiven Auswertung von Bildmaterial, wie Bilddarstellung, Vergrößerungs- und Verkleinerungsfunktionen, Bildverschiebung, Darstellung verschiedener Ausschnitte, Überlagerung mehrerer Raster- oder Vektorschichten und Funktionen zur interaktiven Histogrammanpassung sind in allen Systemen enthalten. Die Unterstützung für georeferenzierte Bilder, inklusive Georegistrierung, Georektifizierung, sowie Bildtransformation und Bildverzerrung sind in den Programmsystemen zur Luft- und Satellitenbildauswertung vorhanden. In den Bildbearbeitungsprogrammen „Photoshop“ und „Paint Shop Pro“, sowie dem Programmsystem „Halcon“, dessen Aufgabenbereiche sich allerdings auch anders definieren, fehlen diese Funktionalitäten. Spezielle Funktionsbereiche, beispielsweise zur automatischen oder teilautomatischen Multispektral-Klassifikation, zur objektsensitiven Erkennungsunterstützung, Funktionen für die Auswertung von SAR-Bildmaterial und zur Verwendung und Erzeugung von digitalen Höhenmodellen aus geeignetem Bildmaterial, finden sich ausschließlich in den getesteten Programmsystemen der oberen Leistungsklasse (Erdas Imagine und ENVI). Mittels Skriptsprachen, Modulschnittstellen und Entwicklungs-

werkzeugen (Developer's Toolkits) sind hier auch Anpassungen und Erweiterungen der Systeme vorgesehen.

Forschungsansätze in den neunziger Jahren (z.B. KIBASX - Konfigurierbares, interaktives Bildauswertesystem, basierend auf X Window, entwickelt im Fraunhofer IITB, *Schönbein 1989*) stellten die Trennung zwischen Dialog und Anwendung mittels grafischen, objektorientierten Dialogkomponenten und Nutzung spezialisierter Bildauswerterechner in den Mittelpunkt. Die Dialog- und Anwendungsprogramme lassen sich auf verschiedenen Rechnern eines Netzwerkverbundes ausführen. Anpassungen und Erweiterungen sind mittels komfortabler Dialogprogramme mit geringem Aufwand möglich. Grundlegende Komponenten dieser Arbeiten sind heute Bestandteile kommerzieller Luft- und Satellitenbildauswertestationen. Die Trennung von Dialog und Anwendung hat sich nicht zuletzt aufgrund der weiten Verbreitung der Internet-Technologie mit der zugrunde liegenden Client-Server-Architektur durchgesetzt.

Aktuell bilden Aspekte der Parallelisierbarkeit von Bildauswertungsalgorithmen auf verschiedene Prozessoren einen der Forschungsschwerpunkte (siehe z.B. *May et al. 2000*). Dabei stehen aber Standardprozessoren im Vordergrund, die Verwendung speziell entwickelter Hardware ist nur noch in Ausnahmefällen zu beobachten. SW-seitig kann zwischen Anwendungen mit interner Kooperation verschiedener Bildauswertungsverfahren mit einheitlicher gemeinsamer Sicht auf die Diskurswelt und Anwendungen mit externer Kooperation verschiedener Algorithmen zum „verteilten Sehen“ mit komplementären Sichten unterschieden werden (*Oswald et al. 1999*).

Weiterhin werden ausgefeiltere Objektmodelle entworfen (Modellbasierte Bildauswertung), die zunehmend eine Unterstützung bei der interaktiven Bildauswertung in Form von Detektions-, Lokalisierungs- und Klassifikationshilfen liefern. Auch die Forschungsarbeiten zur Merkmalsbasierten Bildauswertung entwickeln sich weiter in Richtung detektierbarer robuster Merkmale insbesondere unter Nutzung multispektraler Daten.

Der Aufbau und Nutzen netzwerkweit verfügbarer anwendungsübergreifender gemeinsamer Objektmodelle wird erst in Ansätzen untersucht. Eine Weiche in diese Richtung stellen die Arbeiten am ATCCIS-Modell (Army Tactical Command and Control Information System, http://www.mip-site.org/ATCCIS/ATCCIS_Home.htm) und dem darauf aufbauenden NCDM (NATO Corporate Data Model). Hier wird ansatzweise ein anwendungsübergreifendes Datenmodell (Land C2 Information Exchange Data Model, LC2IEDM) für alle Elemente definiert, die auf einem Gefechtsfeld auftauchen können. Andere Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf die Entwicklung von Kommunikationssprachen um den Informationsaustausch auf ein höheres semantisches Niveau zu bringen. Dazu gehören auch die Arbeiten an AIGA (<http://aiga.cs.gmu.edu>). AIGA ist eine skalierbare, flexible, agentenbasierte Architektur für die Bildverarbeitung und Verarbeitung geospazialer Informationen. Die Architektur unterstützt die Zusammenarbeit und Wiederverwendung durch die Definition mehrerer Agenten und eine kombinierte Wissenskodierungs- und Agentenkommunikationssprache, genannt I-XML. Skalierbarkeit und Wiederverwendung werden durch die Nutzung einer kollaborativen Kommunikationsstruktur erreicht. Die Agenten kommunizieren nicht direkt miteinander, sondern die gesamte AIGA-Zusammenarbeit läuft über einen gemeinsamen Speicherplatz, der die I-XML-Dateien enthält. Dieser Ansatz vereinfacht das Systemdesign und erleichtert Zusammenarbeit und Informationsverteilung unter (Gebiets-)Experten. Der Agentenansatz ermöglicht zusätzlich die umfassende Verteilung und Parallelisierung der gesamten Anwendung (*Nolan et al. 2001*). Allerdings fehlen auch bei AIGA die expliziten Modelle der Objekte aus der Anwendungsdomäne. Damit können Bildauswertungsdienste nur syntaktisch beschrieben

werden, eine spezifische Anpassung an anwendungsbezogene Objektmodelle ist nicht vorgesehen. Dieses verdeutlichen auch Arbeiten zu lernenden wissensbasierten Systemen für die Bildanalyse (Rost 2000, Blömer 2003).

Bei der Analyse zeigt sich, dass noch erhebliche Anstrengungen in der Bildauswertung bei der Definition gemeinsamer expliziter Objektmodelle oder zumindest zur Erlangung eines gemeinsamen Objektverständnisses zu leisten sind. Einen Beitrag dazu liefert die vorliegende Arbeit. Auf die Forschungsrichtung „Einsatz von SW-Agenten zur Bildauswertung“ wird in Kapitel 2.7 näher eingegangen.

Neben der Benutzungsoberfläche stellen die Erweiterungsmöglichkeiten von Bildauswertungsanlagen um neue Verfahren und somit die Architektur der Systeme ein entscheidendes Kriterium für den möglichen Einsatz dieser Systeme dar. Daher wird die SW-Architektur interaktiver Bildauswertesysteme im Folgenden noch einmal vertieft dargestellt.

2.3 SW-Architektur interaktiver Bildauswertungssysteme

In Anlehnung an den IEEE STD 610.12 beschreibt eine SW-Architektur ein System durch die Darstellung seiner Komponenten, der Aufgaben der Komponenten, der Beziehungen zwischen den Komponenten und der Regeln und Bedingungen unter denen die Komponenten interagieren. Der Detaillierungsgrad der Beschreibung hängt von der Aufgabenstellung der Beschreibung ab. Ein Auswertungszentrum kann dabei als eine Komponente eines Aufklärungsnetzwerkes aufgefasst werden. Aber auch ein Arbeitsplatzrechner kann eine Komponente eines Auswertezentrums darstellen. Die Beschreibung der Aufgaben kann von der allgemeinen Gesamtaufgabe, z.B. „Bericht erstellen“ bis zur detaillierten Programmaktion auf unterster SW-Ebene reichen. Auch die Beziehungen zwischen Komponenten können in Form allgemeiner Darstellungen, wie z.B. Organigrammen bis hin zu detaillierten Aufstellungen der Protokolle und Kommunikationsfrequenzen beschrieben werden. Das gilt auch für die Regeln und Bedingungen, die von Festlegungen des Email-Standards bis zur allgemeinen Einsatzdoktrin der Komponenten reichen können.

Zur Beschreibung der SW-Architektur dienen Rahmenkonstrukte („Frameworks“), die verschiedene Sichtweisen auf ein Programmsystem zur Verfügung stellen (Abb. 2-6, *NC3S 2001 und NC3TA 2003 – NATO Consultation, Command & Control Systems*). Dabei werden unterschiedliche Sichten unterschieden:

Operationell: Die operationelle Sicht auf ein System beinhaltet eine Beschreibung der Aufgaben und Aktivitäten, der organisatorischen und operationellen Elemente und der Informationsflüsse. Diese „fachliche Sicht“ erfolgt aus dem Blick eines **Nutzers** auf ein System und spiegelt sich in strukturierten Anwenderforderungen wider. Daten werden in einem „**logischen** Datenmodell“ beschrieben.

System: Die Systemsicht stellt eine Beschreibung und Identifikation des Systems und seiner Komponenten und deren Verbindungen dar. Hier findet sich in der Regel eine hierarchische Zerlegung eines Systems in Architekturelemente (Segmente, HW/SW-Einheiten). Des Weiteren werden hier die Anforderungen bzgl. der Verbindungen und Performance beschrieben. Die Systemsicht beschreibt ein System aus Sicht der Entwickler (Ingenieure, HW-/SW-**Entwickler**). Daten werden in einem „**physikalischen** Datenmodell“ beschrieben.

Technisch: Die technische Sicht beschreibt die zu unterstützenden Standards, Formate und Regeln, sowie die Anordnung, Verbindungen und Abhängigkeiten der Kompo-

nenen. Bezüglich der Daten findet man hier Vorschriften für die zu unterstützenden **Formate**. Diese Sicht dient zur Beschreibung der **Konformität** eines Systems bzgl. entsprechender Anforderungen.

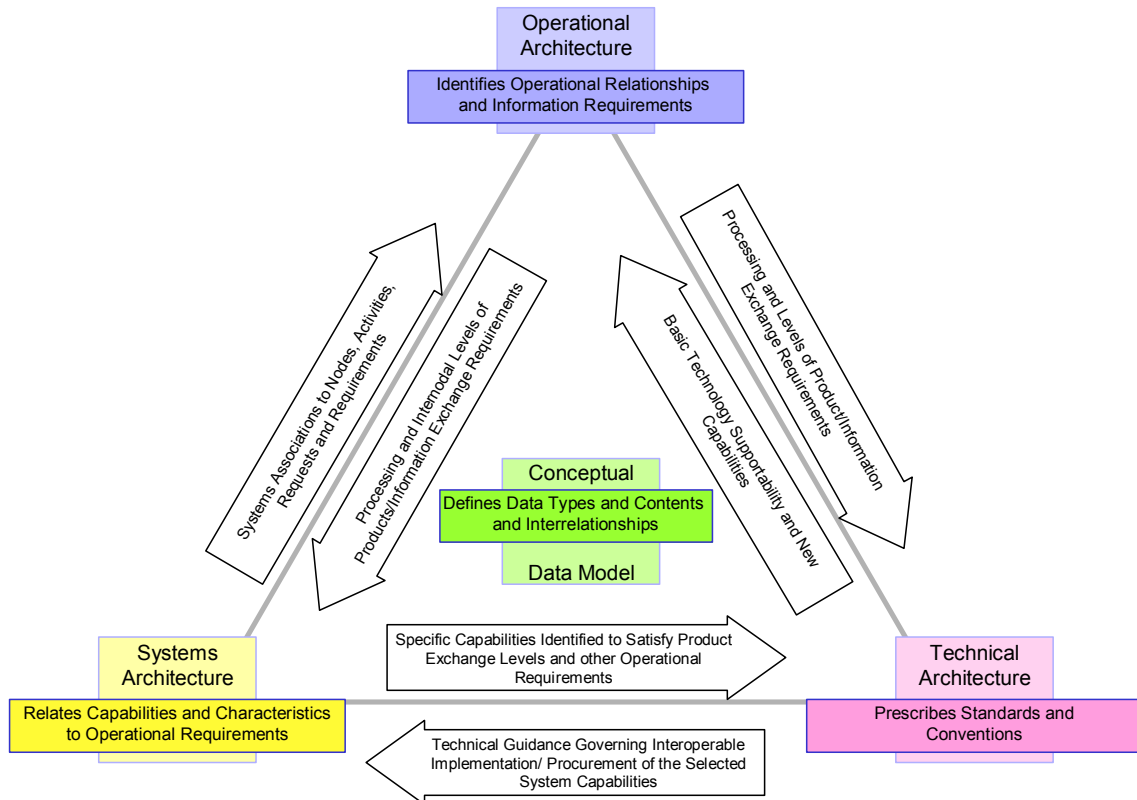


Abbildung 2-6: Architektur-Sichten und ihr Zusammenhang aus NC3S 2000.

Allen Sichten ist ein globales konzeptuelles minimales Datenmodell unterlagert, in dem die Daten und deren Formate definiert werden. Zu jeder Sicht können “Architekturprodukte” in Form von konzeptuellen Beschreibungen, Diagrammen und Tabellen erstellt werden. Architekturbeschreibungen lassen sich je nach Verwendungszweck zuschneiden (“Tailoring”), so dass nicht immer alle Architekturprodukte für ein System existieren. Insbesondere für die System-Sicht existieren weitere untergeordnete Sichten, z.B. “physikalische Sicht” zur Beschreibung der HW-Anteile und deren physikalische Schnittstellen oder eine “Prozess Sicht” zur Beschreibung der Verteilung und Verbindungen zwischen SW-Prozessen. Häufig verwendet wird auch ein 3-Schichten-Modell in dem Präsentationsschicht zur Zuordnung der nutzernahen Anteile, Applikationsschicht – enthält die Anwendungslogik – und Datenhaltungsschicht – beschreibt Datenbanken, Dateisysteme und Archive – unterschieden werden. Bei netzwerkbasierenden Systemen werden zusätzlich noch Kommunikationsschicht und Datenzugriffsschicht eingeführt. Abb. 2-7 zeigt als Beispiel die Architektur eines verteilten Archivsystems zur Unterstützung der interaktiven Bildauswertung (Müller et al. 2001). Die explizite Zerlegung der Programmsysteme in verschiedene Schichten erhöht die Flexibilität bei der Auswahl / Entwicklung und bei evtl. späterem notwendigem Austausch der Basis-Komponenten oder einzelner Funktionen. Als weit verbreitete allgemein gültige Beschreibungssprache findet UML (*Unified Modelling Language*, Booch et al. 1999) Verwendung.

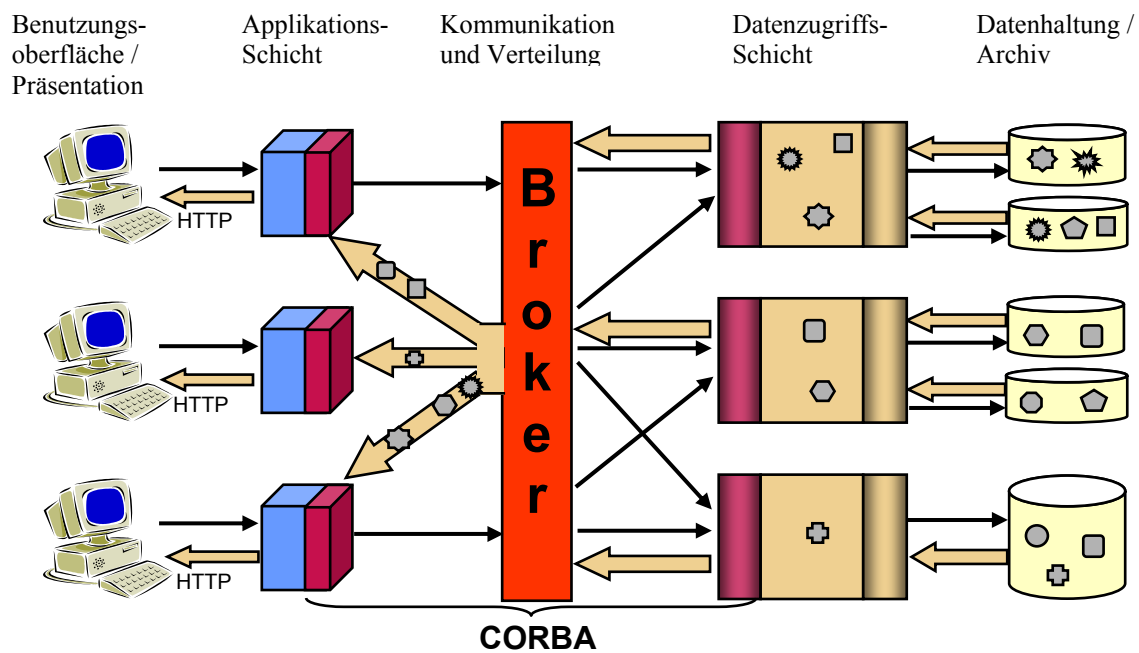


Abbildung 2-7: Modell einer 5-Schichten Architektur für ein physikalisch verteiltes Archiv basierend auf CORBA (Common Object Request Broker Architecture) (Müller et al. 2001, Fowler 1997).

Bei einer Untersuchung der Architekturen kommerzieller Systeme zeigt sich die Abgrenzung dieser Systeme gegeneinander. Größere Hersteller bieten komplexe Produktfamilien mit verschiedenen aufeinander aufbauenden Modulen an. Eine der bekanntesten Produktfamilien ist das System ERDAS (Abb. 2-8) der Firma Erdas Incorporated. Zu den Einsatzbereichen von ERDAS zählen u. a. Stadt- und Regionalplanung, Rohstoffexploration, Geologie, Forstwirtschaft, Geographie, Geodäsie, Kartographie und Photogrammetrie (www.geosystems.de).

Einzelne Funktionen lassen sich in der Regel nicht herauslösen und getrennt erwerben. Offenheit besteht häufig nur in der Möglichkeit zur Installation von (kostenpflichtigen) Produkt-Upgrades. Insbesondere ist die Nutzung eines Moduls von einem anderen Anbieter nicht vorgesehen. Zwar existieren für Bilder Format-Konventionen, aber schon bei den Bildbegleitdaten zeigen sich die systemspezifischen Unterschiede. Einheitliche produktübergreifende Programmschnittstellen existieren bisher nur in Forschungsansätzen (Abb. 2-9 & 2-10, CORBA basierte Bildauswertung). Dabei wird häufig auf dem CORBA-Standard der OMG aufgebaut (<http://www.corba.org/>). CORBA bietet eine standardisierte offene Kommunikationsarchitektur und unterstützt damit die Nutzung verteilter heterogener Systeme. Damit können Anwendungsprogramme über die Grenzen von Programmiersprachen, Rechnern und Betriebssystemen hinweg interoperabel gestaltet werden. Durch diese Standardisierung bietet CORBA eine geeignete Basis für Kommunikation und Datenaustausch zwischen verschiedenen Anwendungen und damit auch für Angebot und Nutzung von Diensten. Alternative Konzepte für eine Kommunikationsstruktur wie „.NET“ sind stärker abhängig vom Betriebssystem und schränken daher mögliche Kommunikationspartner ein. Aufbauend auf CORBA unterstützt der J2EE-Standard (Java 2 Plattform, Enterprise Edition) die Erstellung verteilter, mehrschichtiger Anwendungen mittels modularer Komponenten. Entsprechende J2EE-Entwicklungsumgebungen bieten „Application Server“ (z.B. Bea Weblogic (www.bea.com), IBM Websphere (www.ibm.com), JBoss (www.jboss.org)). Diese stellen verschiedene standardisierte betriebssystem-unabhängige Dienste für die Komponenten bereit, die der Entwickler ansonsten selbst implementieren müsste. Damit wird die Erstellung von skalierbaren und plattformunabhängigen Anwendungen deutlich vereinfacht.

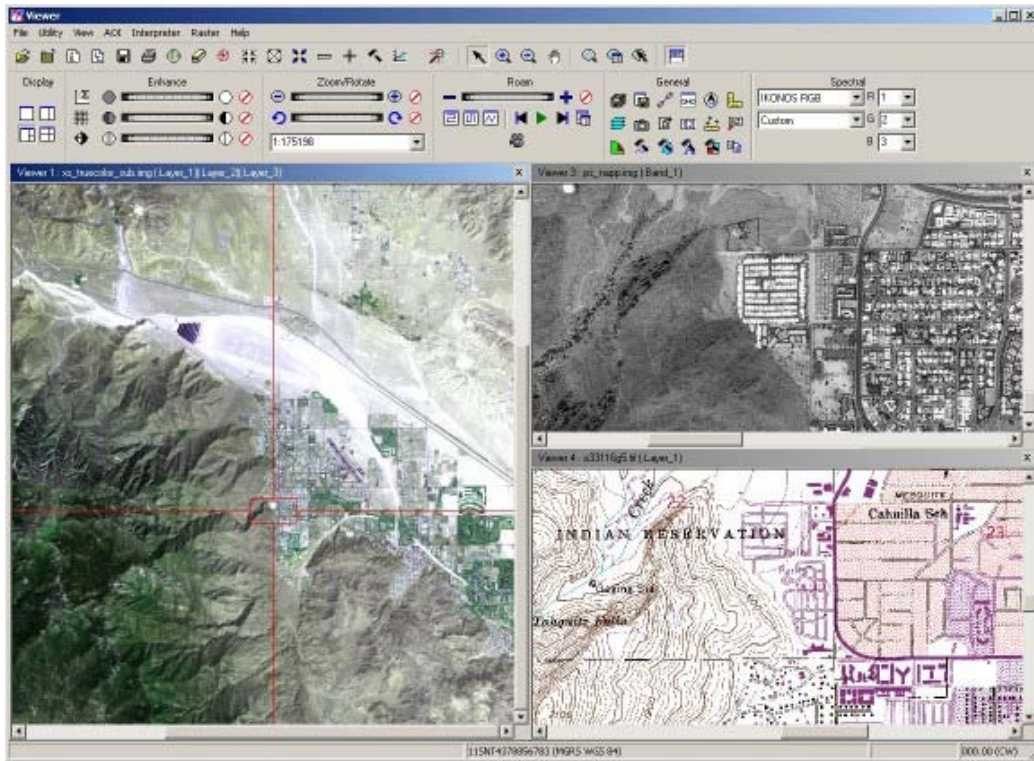


Abbildung 2-8: ERDAS Imagine Benutzungsoberfläche (<http://www.geosystems.de/>).

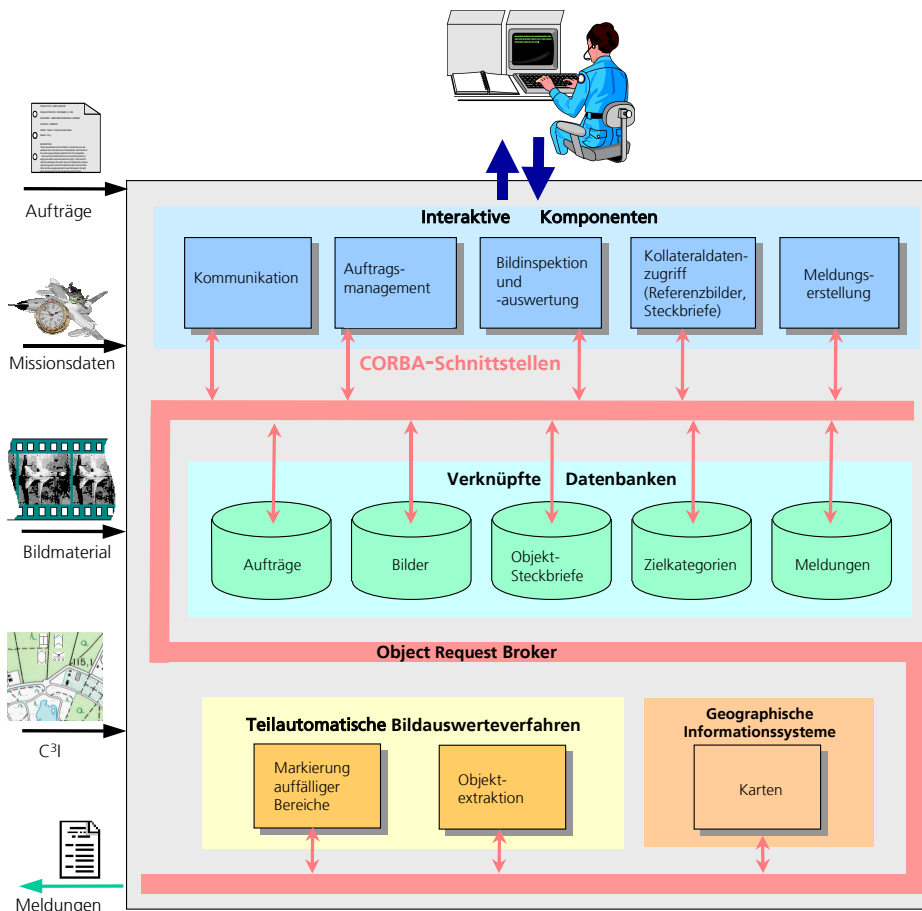


Abbildung 2-9: Architektur von Auswertestationen zur Luft- und Satellitenbildauswertung basierend auf einer standardisierten offenen Kommunikationsarchitektur (CORBA) (Schönbein 2000).

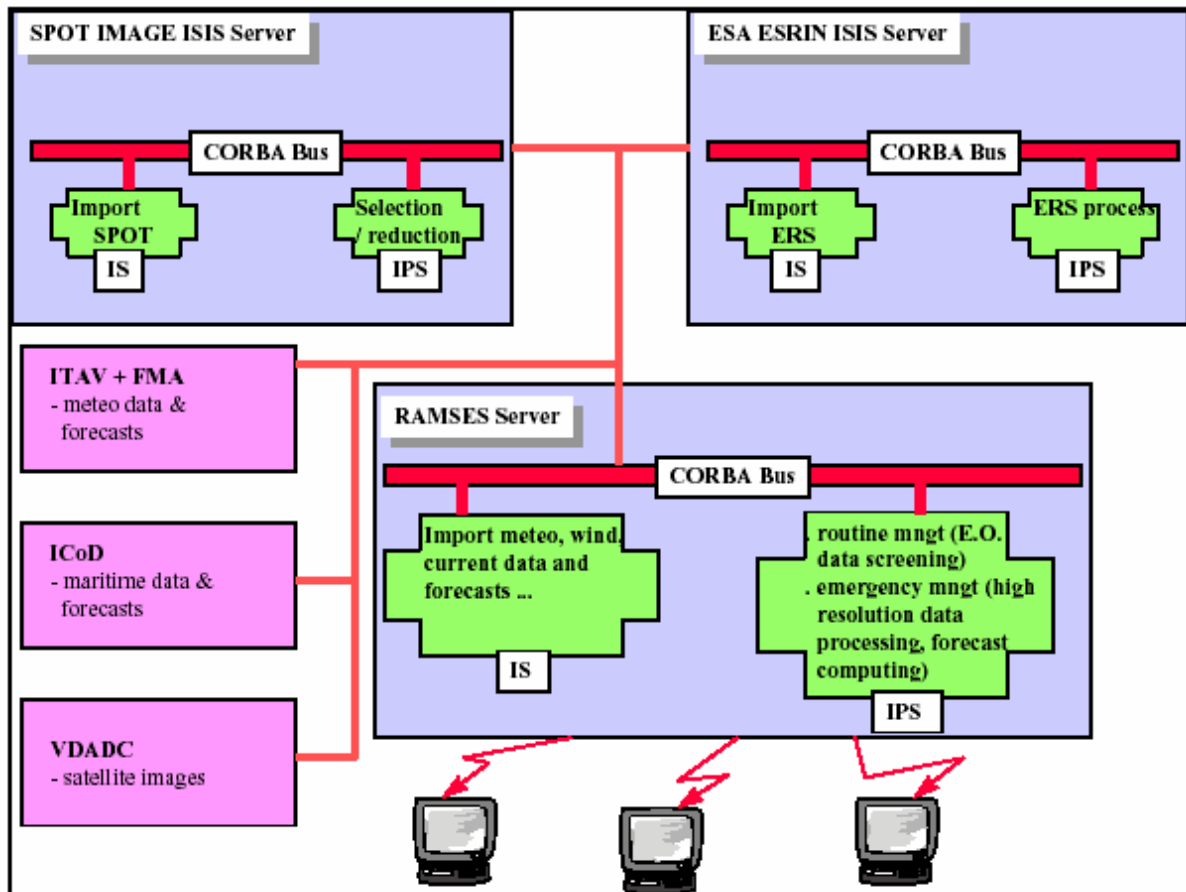


Abbildung 2-10: ISIS (Interactive Satellite Image Server) components in RAMSES (Regional earth observation Application for Mediterranean Sea Emergency Survey) (aus *Ramses 2001*).

Als Entwicklungstrend lässt sich absehen, dass basierend auf einer komfortablen, weitgehend geräte- und betriebssystem-unabhängigen oder anpassbaren Grundfunktionalität eine anwendungsspezifische Systemkonfiguration durch Zuschaltung von zusätzlichen Komponenten generiert wird. Mit diesem modularen Konzept lassen sich „mächtige“ Bildauswertungsumgebungen ebenso gestalten wie „schlanke“ anwendungsspezifische Systeme. Werden offene standardisierte Schnittstellen verwendet, bietet sich ein eigenständiger Markt für spezialisierte Module, die mit diesen Basissystemen verbunden werden können. Ein Weg den auch der Hersteller TMS Sequoia mit der Plugin „Prizm“-Technologie verfolgt. Hier werden dem Anwender Bildbearbeitungs- und Bildverarbeitungs-komponenten mittels zuladbarer „Plug-in“-Komponenten für „Standard-Browser“ (z. B. Internet Explorer oder Netscape Navigator) zur Verfügung gestellt. Da hier nur der Code der Funktionen zur Ausführung übertragen wird und kein Anwendungskontext, eignet sich diese Technologie für Bildbe- und eingeschränkt für Bildverarbeitung, da hier keinerlei Kenntnisse über die in den Bildern dargestellten Objekte, Referenzdaten und Kollateraldaten vorliegen müssen. Zur Unterstützung der interaktiven Bildauswertung ist in der Regel ein gemeinsames explizites Datenmodell der möglichen Bildinhalte notwendig, dass bei kommerziellen Bildauswertungssystemen und insbesondere bei mittels Plug-in Funktionen realisierten Systemen noch nicht gegeben ist.

2.4 Bildbegleitdaten, Kollateraldaten und Referenzinformationen

Bei der digitalen Bildauswertung ist der Auswerter auf Zusatzinformationen in Form von Bildbegleitdaten, Kollateraldaten und Referenzinformationen angewiesen. Bildbegleitdaten beschreiben das jeweilige Bild durch Attribute und Verweise. In Ergänzung dazu beschreiben

Kollateraldaten die „Umgebung“ des Bildes, z. B. Wetter oder Gelände. Schließlich stellen Referenzinformationen Bezüge zu weiteren unterschiedlichen Informationsbeständen her, die als Interpretationshilfen wesentlich sind, z.B. zu Beschreibungen von im Bild abgebildeten Objekten.

Bildbegleit- und Kollateraldaten sind ebenso wie die verwendete Referenzinformation stark abhängig vom Einsatzbereich eines Systems, da eine Reihe von Attributen, z.B. die Sensorparameter wesentlich von den in der jeweiligen Anwendung eingesetzten Sensoren abhängen. Eine anwendungs- und system-übergreifende Nutzung von Daten und Informationen wird durch Verwendung eines gemeinsamen minimalen Datenmodells rudimentär ermöglicht. Hier werden gemeinsame Ontologien benötigt, die für verschiedene Anwendungsbereiche aber noch im Forschungsstadium sind (vgl. Kap. 5).

Im Folgenden werden Beispiele für die jeweiligen Daten und Informationen gegeben. Je nach Anwendung kann auf einige Attribute verzichtet werden oder es müssen weitere ergänzt werden. Die Daten entstehen nicht alle bei der Aufnahme eines Bildes, sondern werden teilweise während der Bildauswertungsprozesse erzeugt und den vorhandenen Daten hinzugefügt.

Bildbegleitdaten (zur Beschreibung des Bildes):

<i>Namensattribute:</i>	Bildname, Bildnummer, Name der Szene, Thema des Bildes
<i>Kommentare:</i>	Beschreibungen, Bemerkungen
<i>Orts bezogene Attribute:</i>	Land, Koordinaten (Mittelpunkt, Radius oder Eckpunkte)
<i>Zeit bezogene Attribute:</i>	Datum, Uhrzeit der Aufnahme, Ortszeitangaben (bezogen auf Zeitzone des Auftraggebers, des Sensors oder der abgebildeten Szene)
<i>Format-Attribute:</i>	Formattyp, Aufnahmeart, Betrachtungswinkel, Anzahl der Zeilen, Spalten, Ebenen und Kanäle, Auflösungen in Zeilen- und Spaltenrichtung
<i>Besitzanzeigende Attribute:</i>	Eigentümer, Projektkennung
<i>Berechtigungs-Attribute:</i>	Benutzer-Identität, Benutzergruppen und Berechtigungen, Sicherheits-Einstufung des Bildes ¹
<i>Kontext bezogene Attribute:</i>	Verweis auf Quelle des Bildes Verweis auf Archivierungsort Verweise auf Aufträge zur Bilderzeugung und -auswertung, Verweis auf Dossier/Mappe/Akte in dem das Bild verwendet wird. Verarbeitungsstufe, Verweise auf Quellbilder, Entstehungsdaten
<i>Speicher bezogene Attribute:</i>	Dateiname, Verzeichnisname, Datenträgertyp

Kollateraldaten (zur Beschreibung der Aufnahmeumgebung):

<i>Sensor bezogene Attribute:</i>	Sensorfrequenz, Brennweite, Sensorposition, Winkeleinstellungen
<i>Sensorträger bez. Attribute:</i>	Geschwindigkeit, Höhe, Winkelangaben
<i>Wetterdaten</i>	Wettercode, Feuchtigkeit, Temperatur, Wind
<i>Gelände bezogene Attribute:</i>	Karten, thematische Karten, Höhendaten

¹ Die Thematik „Wasserzeichen in Bildern“ stellt eine eigene Forschungsrichtung dar.

Unabhängig von einem einzelnen Bild bieten **Referenzinformationen (RI)** Interpretationshilfen, die sich je nach unterstützter Fragestellung in verschiedene Bereiche einteilen lassen:

RI zu Objekttypen:	Informationen zu Objekttypen (z.B. Flughafen Frankfurt, LKW MAN 5t oder Zelltypen in der Medizin, wünschenswert sind Signaturen für verschiedene Sensoren bzw. Sensorparameter)
RI zu konkreten Objekten:	Historische Informationen zu einem Objekt (z.B. weitere Bilder, Bauskizzen, Liste aller Objektbeobachtungen zu diesem Objekt)
RI zu Sensoren:	Beschreibungen von Sensoreigenschaften (z.B. Wellenlänge, Auflösung)
RI zu abgebildeten Orten:	Beschreibungen ortsbezogener Aktivitäten (Ort kann absolut über Koordinaten oder relativ definiert sein, z.B. Landkarten)
RI zum Aufnahmezeitraum:	Informationen zu Aktivitäten in vorgebbaren Zeiträumen

Die Referenzinformationen eines Luft- und Satellitenbildauswertezentrums müssen Verweise auf archivierte Bilder und Auswertebereiche, archivierte und aktuelle Lageinformationen, Objektsteckbriefe und weitere Informationen wie Skizzen und Notizen der Auswerter bieten. Historische Informationen, die aus zurückliegenden Aufklärungsaufträgen stammen, liegen als Original- oder annotierte Bilder, analoge oder digitale Videoaufzeichnungen, Lagedarstellungen, Meldungen, Skizzen und Notizen vor.

Dabei können die Informationen als Text, Grafik, Bilder, Audiodaten in Dateisystemen oder Datenbanken vorliegen. Vorteilhaft sind datenbankgestützte Objektbeschreibungen, die durch ebenfalls datenbankgestützte generische Sichten unterschiedliche Beziehungen zwischen Objekten abbilden (Abb. 2-11).

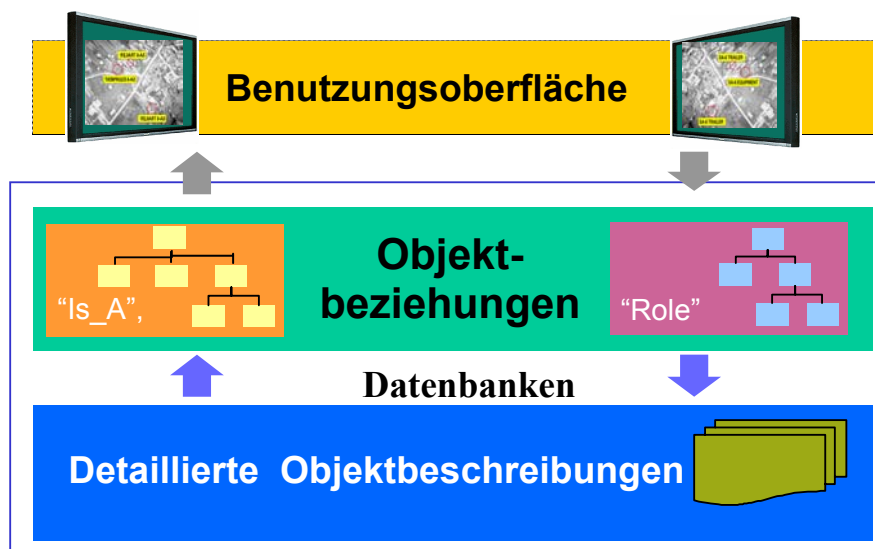


Abbildung 2-11: Trennung von Objektbeschreibungen und Objektbeziehungen.

Aufgrund des Raumbezuges der Referenzinformationen bieten sich Geographische Informationssysteme (GIS) zur Datenhaltung an. Während die Bildbegleitdaten in der Regel in Bilddatenbanken mit Verweisen auf die in Dateisystemen gehaltenen Bilder gespeichert werden, ist zur Unterstützung bildinhaltsgestützter Anfragen die Haltung der Bilder selbst in der Datenbank zu erwägen. Kollateraldaten werden ebenfalls mittels Datenbanktabellen gespeichert. Der Einsatz der Datenbanktechnologie ist bei größeren Anwendungen zu empfehlen, da neben den Auswerteaufträgen, erhaltenswerten Zwischenergebnissen und den Auswerteprodukten

auch die verwendeten Referenzinformationen gespeichert werden müssen, z.B. die zur Auswertung verwendete Karte. Ein Datenbanksystem erleichtert die Pflege dieser stark vernetzten Informationseinheiten erheblich. Die Nachvollziehbarkeit einer Entscheidung bei der Bildauswertung muss häufig gewährleistet sein, daher dürfen entsprechende verwendete Interpretationshilfen nicht nachträglich geändert werden. Ist jedoch ein Verweis auf verwendete RI im obigen Sinne akzeptabel, so bietet sich diese Technik als Speicherplatz sparende Lösung an um z.B. Kartensätze nur einmal im System halten zu müssen und damit die Erhaltung der Konsistenz der Daten zu vereinfachen. Insbesondere die Referenzinformationen liegen häufig an verschiedenen Orten vor, z.B. verschiedene Kliniken bzw. Praxen in der Medizin oder verschiedene Auswertungszentren in der Luft- und Satellitenbilddauswertung. Neben dem Zugriff auf diese verteilten Archivsysteme ist eine Konfliktbehandlung aufgrund widersprüchlicher Information und mangelnder Synchronisation der verteilten Systeme zu bedenken. Von besonderer Bedeutung im Hinblick auf Referenzinformationen sind Signatur-Datenbanken. Dabei können aktive und passive Signaturen unterschieden werden:

Aktive Signaturen umfassen:

- Optische Abstrahlung durch interne Beleuchtung (z.B. Positionslampen, Innenbeleuchtung)
- Infrarote Abstrahlung durch Wärmequellen (z.B. Motoren, Triebwerke)
- Elektromagnetische Abstrahlung (z.B. durch Funk, Radar)
- Akustische Abstrahlung (z.B. durch Motoren, durch Menschen verursachte Geräusche)
- Elektrostatische und magnetische Felder (z.B. durch stromführende Leitungen)

Die passiven Signaturen umfassen:

- Optische Reflexion an Oberflächen, Kanten, Verglasungen, etc.
- Laser Reflexion an der Objektoberfläche
- Elektromagnetische Reflexion an der Objektoberfläche
- Akustische Reflexion des Objekts (Seismik)
- Elektrostatische Störungen durch leitende Oberflächen oder dielektrische Materialien.
- Magnetische Störungen durch Materialien und Bewegung

Die angegebenen Signaturen können zur Entdeckung von Objekten verwendet werden. Insbesondere zur Klassifikation von Objekten durch Vergleich mit Mustern in den Signaturdatenbanken ist eine Kombination verschiedener Signaturen sehr hilfreich.

Im Alltag der Bildauswertung wird heute viel zu wenig Gebrauch gemacht von Referenzinformationen. Dies liegt zum einen an unvollständigen Signatur-Datenbanken, aber auch an der Unkenntnis, dass Informationen vorliegen. Häufig stellen Sicherheitsschranken beim Zugriff, mangelhafte Kosten- und Abrechnungsmodelle bei der Nutzung der Informationen und unzureichende Unterstützung beim Zugriff auf die Daten sowie lange Such- und Übertragungszeiten entscheidende Hemmnisse für die Nutzung dar. Dabei ermöglicht die Verwendung von Referenzinformationen die Ergänzung der auftragsbezogenen um die objektbezogene Informationsspeicherung. Da Aufträge im Allgemeinen flüchtiger sind als Objekte bzw. Objekttypen, ist diese Entwicklung im Sinne der leichteren Weiterverwendung von Informationen zu begrüßen. Das in dieser Arbeit entwickelte Konzept unterstützt sowohl die auftragsbezogene als auch die objektbezogene Informationsablage.

Der datenbankgestützte Zugriff auf archivierte Bilder beruht auf verschiedenen Bezügen:

- Geografischer Bezug (Visualisierung & Auswahl unterstützt durch Kartendarstellung) (Abb. 2-12)
- Zeitlicher Bezug (Visualisierung durch Zeitachsen, weiter geordnet nach Informationstypen)
- Thematischer Bezug über Kollateraldaten (Visualisierung mittels GIS-System und Höhendaten)
- Objektbezug (Visualisierung über Objektsteckbriefe, digitale Dossiers, Aktenordner) (Abb. 2-13)
- Bildinhaltsgestützter Zugriff

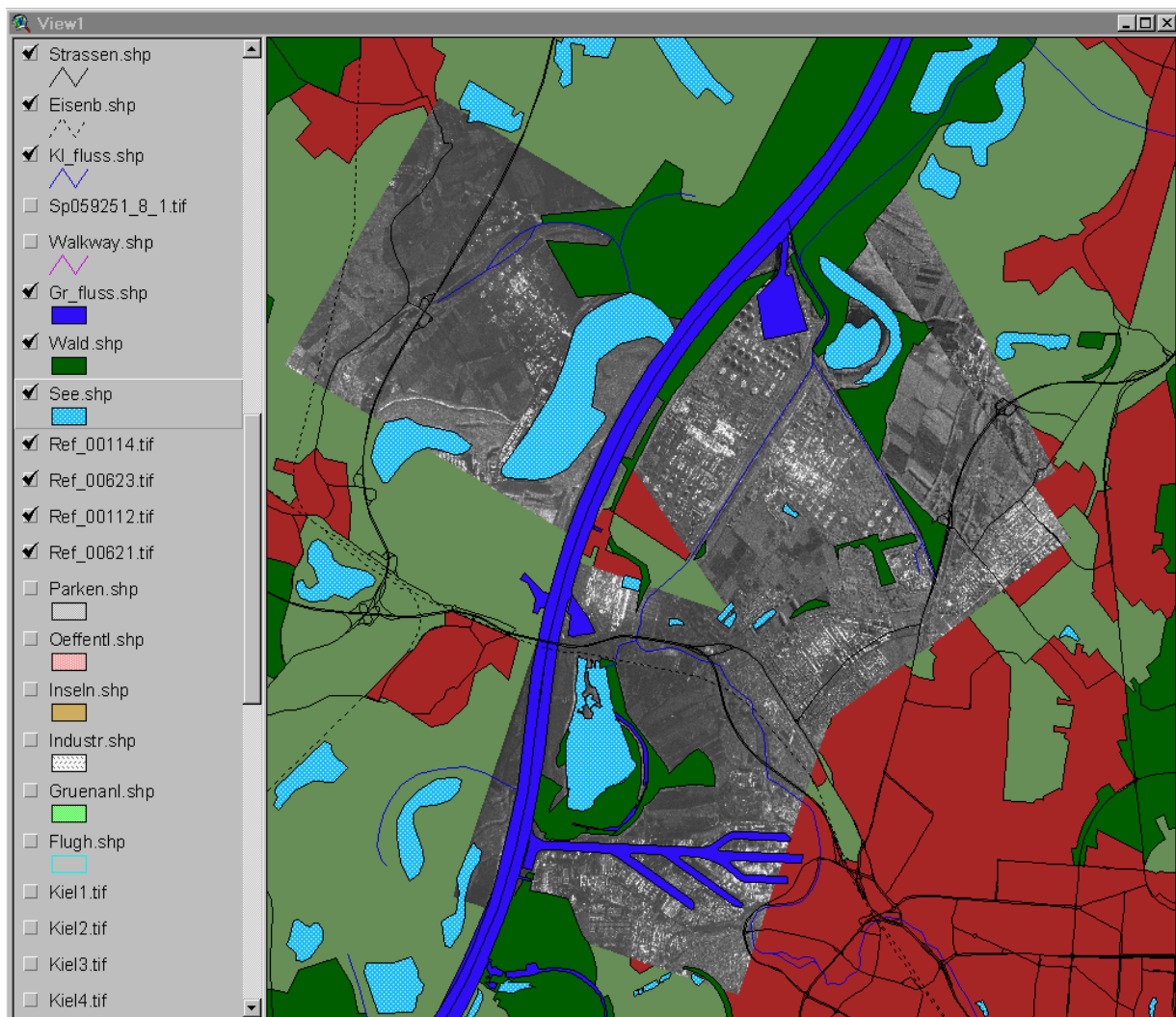


Abbildung 2-12: Ergebnis einer Anfrage an die Bilddatenbank „SaLve-BDB“. Einblendung der in einer Region verfügbaren Sensordaten in eine thematische Kartendarstellung (Partmann 2004).

In Ergänzung zu den Zugriffsmöglichkeiten, die auf der Nutzung der Bildbegleit- und Kollateraldaten beruhen, berücksichtigen der objektbezogene und der bildinhaltsgestützte Zugriff den Inhalt des Bildes. Die zurzeit gängige Praxis beim Umgang mit Bilddatenbanken beruht auf rein textbasiertem Vorgehen über eine Suche nach abgespeicherten Stichwörtern, wie zum Beispiel dem „Objektnamen“. Diese werden vom Benutzer bei der Datenerfassung zur Indizierung in die Datenbank eingegeben.

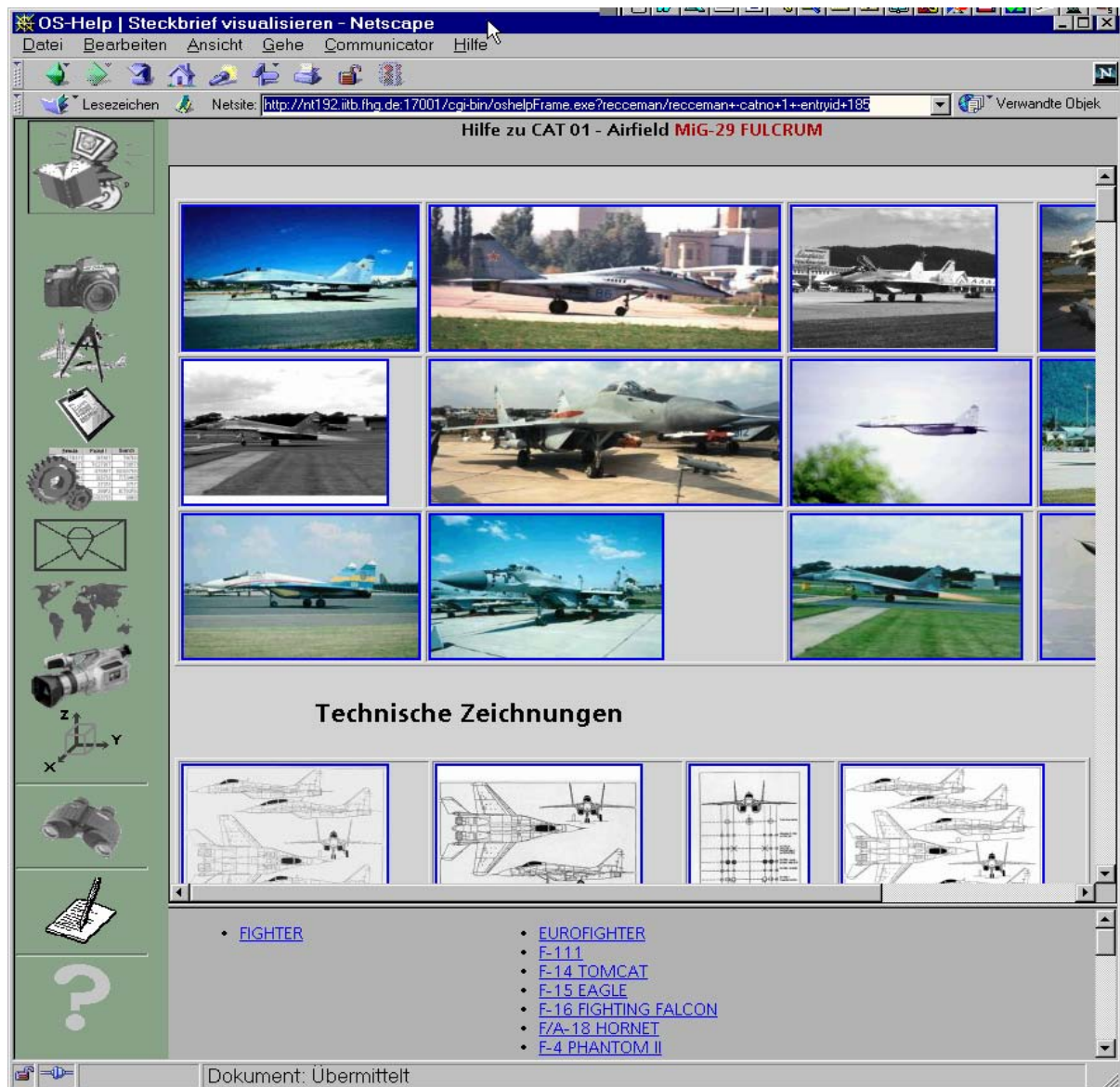


Abbildung 2-13: Elektronischer Steckbrief zum Flugzeug MiG-29. Zugriffsmöglichkeiten auf bildliche Darstellungen, textuelle Beschreibungen, Maßangaben, 3D-Modelle sowie Verweise auf übergeordnete, parallele und untergeordnete Flugzeugtypen (Schönbein 2004a).

Das Wiederauffinden der Bilder ausschließlich über diese Schlüsselwörter hat jedoch einige systemimmanente Nachteile (Gong 1998):

- Stichwortvergabe beim Einordnen der Information ist zeitaufwendig, subjektiv, unvollständig und änderungsunfreundlich.
- Genauer Stichwortvergleich ist selten erfolgreich, da zu vergleichende Stichwörter vom Suchenden subjektiv vergeben werden.
- Bildeigenschaften wie Texturen oder Konturen im Bild sind schlecht durch Stichwörter zu beschreiben.

Bildinhaltsgestützte Systeme („CBIR - Content Based Image Retrieval“) vermeiden diese Nachteile. Sie arbeiten mit automatisch zu berechnenden Merkmalen und führen dann einen Vergleich mit indizierten Merkmalen aus. Zur Suche wird ein Beispielbild vorgegeben; die Merkmale für dieses Beispielbild werden berechnet und mit den gespeicherten Merkmalen aller anderen Bilder in der Datenbank verglichen; gefunden werden alle Bilder, die diesem Bei-

spielbild „ähnlich“ sind, wobei die Ähnlichkeit durch die zugrunde liegende Metrik und die Struktur des Suchraumes, der durch die Merkmale aufgespannt wird, bestimmt wird. Legt man das menschliche Wahrnehmungsvermögen zugrunde und beschränkt die Anwendung auf den Umgang mit sichtbaren oder für den Menschen visuell aufbereiteten Bildern, so spricht man vom Visual Image Retrieval - VIR. Dabei wird versucht Merkmale zu verwenden, die der menschlichen Wahrnehmung nahe kommen (*Müller et al. 2001*).

Kommerzielle Systeme zur bildinhaltgestützten Suche arbeiten mit Merkmalen, die auf Eigenschaften des Bildinhaltes beruhen; dies sind im wesentlichen Farbe, Textur und Form. Da diese Eigenschaften in der Regel innerhalb eines Bildes stark variieren, kann ein Segmentationsprozess vorgeschaltet werden, der das Bild in verschiedene Bereiche zerlegt, denen wiederum die entsprechenden Merkmale zugeordnet werden. Dieser Segmentierungsschritt ist entscheidend für die Leistungsfähigkeit der Systeme. Hier wird der Schritt von der „low level vision“ (Farbe, Form, Textur) zu einer Form von „object vision“ (Objekte in Form von segmentierten Bereichen) vollzogen. Damit kommt man den Objekten, die vom Mensch wahrgenommen werden deutlich näher.

Die Festlegung des Merkmalraums hat entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Systems. Dabei gilt, dass je einfacher die Merkmale gewählt werden, desto einfacher auch die Merkmalextraktionsalgorithmen zu realisieren sind. Aber desto schwieriger ist es, eine Indexstruktur zu entwerfen, die einen trennungswirksamen, effizienten Zugriff auf die abgespeicherten Bilder ermöglicht. Einfache Merkmale erlauben auch nur „einfache“ Suchanfragen (z.B. auf Pixelgleichheit) und liefern semantisch arme Suchergebnisse. Komplexe, semantisch reichhaltige Merkmale haben komplizierte Merkmalextraktions-Algorithmen zur Folge, ermöglichen aber den Entwurf von sehr effizienten Indexstrukturen und semantisch reichhaltigen Suchanfragen und –ergebnissen. Dabei können die Merkmale nach *Gong 1998* in fünf Kategorien eingeteilt werden:

Merkmale auf Pixelebene	z.B. Pixelfarbe, Pixelposition oder Grauwerte und Grauwertänderungen nach Betrag und Richtung je Pixel.
Statistische Merkmale	über das Gesamtbild oder Bildausschnitte, z.B. Histogramme, Mittelwerte, Varianten, Verteilungsmomente.
Texturmerkmale	die als eine Kombination von Parametern die Charakteristiken von Texturmustern durch Formen und Statistik beschreiben, z.B. Grobkörnigkeit, Kontrast.
Objektmerkmale	z.B. Polygone oder Kanten, die mittels Bildsegmentierung und Kantenbildung generiert werden.
Konzeptmerkmale	z.B. Objektbezeichner, Ortsangaben wie Ebene, Berg, See, Wald.

Merkmale der ersten drei Kategorien sind objektunabhängig und können durch Methoden der Bildverarbeitung automatisch berechnet werden. Die Extraktion von Objekt- und Konzeptmerkmalen inkl. einer geeigneten Bildsegmentierung und die anschließende Zuordnung der Merkmale zu Objekten ist dagegen noch aktuelles Forschungsthema (*Müller et al. 2001*). Eine notwendige Voraussetzung dazu bildet die anwendungsübergreifende Modellierung der Objekte und ihrer Eigenschaften. Dieses wird durch Verwendung eines gemeinsamen minimalen Datenmodells nur rudimentär ermöglicht.

Geeigneter sind gemeinsame **Ontologien**, die den Zugriff auf Kollateraldaten und Referenzinformationen vereinfachen und damit die Leistung der netzwerkgestützten Bildauswertung

verbessern. Derartige Modelle stehen allerdings bisher nicht zur Verfügung. Der in dieser Arbeit entwickelte ontologiebasierte Ansatz zielt daher auch auf eine verbesserte Nutzbarkeit von Bild-Datenbanken.

2.5 Benutzungsoberflächen zur interaktiven Bildauswertung

Die Benutzungsoberflächen zur interaktiven Bildauswertung müssen verschiedene Phasen der Bearbeitung abdecken und verschiedene Rollen der Bildauswerter unterstützen (vgl. Abb. 2-1). Bei der Arbeitsvorbereitung ist die Möglichkeit zur ausgiebigen komfortablen Recherche nach Referenzinformationen von großer Bedeutung, doch leicht kann der Benutzer durch die Menge an Informationen überfordert werden. Hier ist eine nutzer- und aufgabengerechte Anpassung der Benutzungsoberfläche zur Recherche entscheidend. Die Übertragung irrelevanter und/oder redundanter Information verschwendet Bandbreite und enttäuscht Benutzer. Dabei ist dieser Zustand eine Folge der mangelhaften Zuordnung der Information in den Datenbanken und der ungenauen Benutzeranfragen, da die Unterstützung der Benutzer bei der Formulierung von exakten Anfragen häufig unzureichend ist. Daher ist entscheidend, Informationsmodelle und Suchmechanismen zu entwickeln, die so wenig wie möglich irrelevante Information (hohe Treffer-Genauigkeit) liefern und zum anderen garantieren, dass keine relevante Information übersehen wird (hohe Treffer-Anzahl). Dies erfordert die Abbildung relevanter Teile des Informationsmodells in der Benutzungsoberfläche. Die Visualisierung der gefundenen Daten aus unterschiedlichen Quellen sollte durch Fusion der Daten und Informationen in einer einheitlichen Darstellung erfolgen. Neben der expliziten Suche nach Daten und Informationen sind *Abonnements* zu einem interessierenden Thema oder Objekt für einen beliebigen Zeitraum zu ermöglichen. Kommerzielle Systeme unterstützen die Arbeitsvorbereitung, z.B. durch digitale Auftragsmappen, doch wird die Recherche in der Regel nur in lokalen systemeigenen Datenbanken unterstützt.

Bei der eigentlichen Bildinterpretation gilt die uneingeschränkte Konzentration des Benutzers dem dargestellten Bild. Daher ist die Darstellung der Bedien- und Anzeige-Elemente von Unterstützungsfunktionen sehr zurückhaltend zu gestalten um den Benutzer nicht übermäßig abzulenken. Der Auswerter muss zum richtigen Zeitpunkt an der richtigen Stelle die Unterstützungsfunktion aktivieren können oder, falls die Verfahren im Hintergrund aktiv sind, die Ergebnisse der Verfahren visualisiert bekommen, ohne durch notwendige Parametrierung oder Datenversorgung der Verfahren von seiner Bildauswertungsaufgabe abgelenkt zu werden. Die Zuverlässigkeit der Verfahrensergebnisse muss für den Auswerter erkennbar sein, dazu muss der Auswerter die prinzipielle Arbeitsweise der Verfahren verstanden bzw. einen Zugriff auf eine entsprechende Erläuterung durch das System haben. Dieses gilt auch im Vorfeld der Verfahrensaktivierung: Auch die zu erwartende Art des Ergebnisses und die zur Berechnung notwendige Zeit müssen für den Auswerter erkennbar sein, um einen potentiellen Nutzen für seine Arbeit schon vor Funktionsaktivierung abschätzen zu können. Analoge Aussagen gelten auch für die netzwerkbasierte kooperative Auswertung, bei der auf Dienstleistungen räumlich entfernter Experten zurückgegriffen wird. Einen besonderen Aspekt der Benutzungsoberflächen zur interaktiven Bildauswertung bilden die unterschiedlichen Endgeräte, die zur Visualisierung des Bildmaterials eingesetzt werden. Standardmäßig werden heute Mehrbildschirmlösungen zur Darstellung des umfangreichen, hoch aufgelösten Bildmaterials verwendet. Für Übersichts- und Detaildarstellungen stehen häufig eigene Bildschirme zur Verfügung. Aber auch Großbildschirme und stereofähige Systeme werden immer kostengünstiger und sind zukünftig nicht nur wenigen Auswertezentren vorbehalten. Mittels PDAs kann mit mobilen Experten oder Szenenbeobachtern vor Ort kooperative Auswertung erfolgen. Eine entsprechende automatische Anpassung der Benutzungsoberflächen basierend auf einheitlichen Gestaltungsrichtlinien erleichtert hier die Benutzung.

Die Unterstützung des Benutzers bei der Erstellung der Auswertebereiche kann je nach Einsatzprofil des Bildauswertesystems unterschiedlich ausfallen. Häufig müssen strukturierte Formulare ausgefüllt werden, die als Leerformulare auch den Gang der Auswertung steuern, indem die einzelnen auszufüllenden Felder die jeweils zu beantwortende Frage vorgeben. Die rechnergestützte Berichtserstellung (CAR – Computer Aided Reporting (Schönbein 2004)) verwendet diese Formulare und bietet zu jedem Feld die im jeweiligen Kontext möglichen Antworten an (Abb. 2-14).

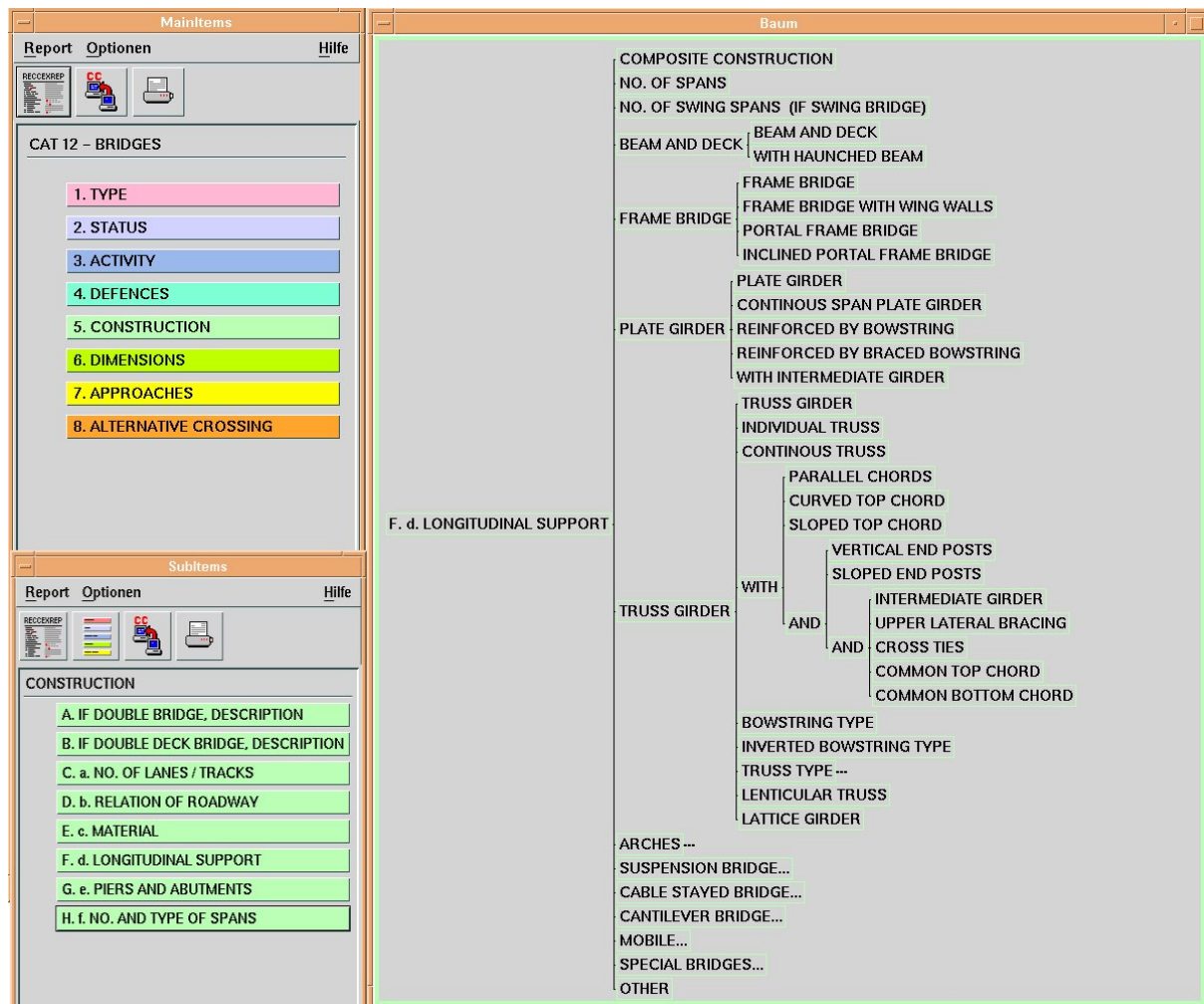


Abbildung 2-14: Rechnergestützte Berichtserstellung bei der Luftbildauswertung - Ausschnitte der Benutzungsoberfläche zur Auswertung von Brücken mittels "IxReport" (Schönbein 2004).

Durch diese Datenbank gestützte Berichtserstellung können Syntaxfehler weitgehend ausgeschlossen werden. Berücksichtigt man unterschiedliche Ausgabeformate mit verschiedenen Sprachen und entsprechendem Vokabular in den Datenbanken, so kann auch die Interoperabilität deutlich verbessert werden. Auf Wunsch sollte jeder Begriff vom System erläutert werden können. Erfordern die Begriffe zusätzliche Angaben bzgl. Anzahl, Gewicht, Richtung etc., so müssen diese vom System mit geeigneten Benutzungsoberflächenelementen abgefragt werden. Dabei sind zur Entlastung des Benutzers gegebenenfalls Konvertierungsfunktionen für verschiedene Maßeinheiten zu integrieren. Die Eingabe von Koordinaten in den Bericht muss durch Markierung der Koordinaten in der Bildarstellung in den Bericht übernommen werden können. Dies erfordert eine systeminterne entsprechende Referenzierung des Bildes. Diese beschriebene Form der Unterstützung findet in kommerziellen Systemen selten An-

wendung, da hier eine spezielle Anpassung an den Einsatzbereich eines Auswertesystems notwendig ist. Nur wenn die Vorgaben bzgl. Fehleranfälligkeit, Interoperabilität und zur Berichterstellung verfügbare Zeit die entstehenden Anpassungskosten rechtfertigen, werden entsprechende Systemanpassungen durchgeführt.

Sind ausführlichere Auswertebereiche zu erstellen, so erfolgt dies in der Regel durch Nutzung von Standardbüroprogrammen zur Dokumentenerstellung mit integrierter Tabellenkalkulation und Zeichenprogrammen, die zur Illustration der zu analysierenden Szene verwendet werden. Dieses kann bis zur Verwendung von CAD-Programmen (Computer Aided Design) reichen. Sie dienen zur Erstellung von 3D-Modellen für Objekte (z.B. Gebäude) und deren Einflussbereiche (z.B. Abschattung). Diese können dann zur Illustration den auszuwertenden Bildern oder entsprechenden Kartendarstellungen überlagert werden. Über die Weitergabe der Modelle zusätzlich zu den Berichten und annotierten Bildern kann auch der direkte Anschluss von Simulatoren innerhalb eines Auswerteverbundes unterstützt werden. Aufbauend auf den Auswertergebnissen berechnen die Simulationsprogramme entsprechende Vorhersagen über mögliche weitere Entwicklungen in dem auszuwertenden Szenario und geben damit wieder Hinweise für die Auswertung der zu analysierenden Bilder.

2.6 Anwendungen von SW-Agenten zur interaktiven Bildauswertung

SW-Agenten sind Programme, die für einen Benutzer bestimmte Aufgaben erledigen können und dabei einen Grad an Intelligenz besitzen, der sie befähigt, Aufgaben in Teilen autonom durchzuführen und mit ihrer Umwelt auf sinnvolle Weise zu interagieren (*Bradshaw 1997*). Dabei treten drei charakterisierende Merkmale eines SW-Agenten deutlich heraus: Flexibilität, Autonomie und Interaktivität (<http://www.gi-ev.de/informatik/lexikon/>). *Flexibilität* bedeutet, dass ein Agent sowohl zu reaktivem (d.h. Umweltveränderungen in angemessener Zeit berücksichtigendem) als auch zu proaktivem (d.h. in Hinblick auf Zwischen- und Endziele vorausschauendem) Verhalten fähig ist. *Autonomie* besagt, dass ein Agent bei Bedarf selbständig und unabhängig Entscheidungen über von ihm auszuführende zielrelevante Handlungen treffen kann und in diesem Sinn Kontrolle über seinen internen Zustand und sein Verhalten besitzt. Schließlich impliziert *Interaktivität* insbesondere, dass Agenten auf hohem Niveau in Wechselwirkung treten können, also etwa im Rahmen von automatisierten Verhandlungen, Vertragsabschlüssen und verteilten Planungs- und Problemlösungsprozessen. Mit dieser Charakterisierung werden auch die beiden als entscheidend betrachteten Unterschiede zwischen dem agentenorientierten Paradigma und dem objektorientierten Paradigma deutlich (*Jennings 2000*). Zum einen kapseln Objekte nur ihre Identität („wer“), ihren Zustand („was“) und ihr Verhalten bzw. dessen Umsetzung („wie“), während Agenten zudem Freiheitsgrade in ihrer Aktionswahl und Interaktion („wann“, „warum“, „mit wem“ und „ob überhaupt“) kapseln. Zum anderen ist Objektorientierung allein nicht ausreichend, wenn es um adäquate, intuitive und natürliche Modellierung sowie programmiertechnische Umsetzung von komplexen Interaktionen (Kommunikation und Koordination, Kooperation und Konkurrenz) und Beziehungsstrukturen (dynamische Organisation und verteilte Kontrolle) zwischen Agenten geht (<http://www.gi-ev.de/informatik/lexikon/>). Aufgrund ihrer Unterschiede ermöglichen das Agenten- und das Objekt-konzept auf qualitativ verschiedenen Abstraktionsebenen gleichermaßen relevante System- und Entwicklungssichten, die sich sinnvoll ergänzen können (*Odell 1999*). Die wachsende Popularität des Begriffs „Agent“ hat bisher nicht zu einer einheitlichen Definition geführt, da im wesentlichen Marketing-Aspekte für die Klassifikation der Software als Agenten ausschlaggebend waren. An dieser Stelle seien daher einige weitergehende Forderungen an SW-Agenten („Strong Notion of Agency“) erwähnt. *Shoham 1993 & 1997* fordert „mentalistiche“ Eigenschaften der SW-Agenten und ordnet den SW-Agenten „Überzeugungen (beliefs)“, „Absichten (intentions)“ und „Verpflichtungen (commitments)“ zu. *Nwana 1996* klassifiziert bzgl. „lernenden“, „kooperierenden“ und „autonomen“ Agenten.

Liegen alle drei Eigenschaften vor, so spricht Nwana von „intelligenten“ Agenten. Darüber hinaus werden SW-Agenten je nach Anwendungsbereich weitere optionale Fähigkeiten zugeordnet. In *FIPA 2002* werden die folgenden Eigenschaften von SW-Agenten unterschieden (Tab. 3).

Autonomie	Grad der Eigenständigkeit des Agenten. Aufgabenlösung möglichst ohne ständiges Eingreifen der Anwender.
Intelligenz	Erledigung der Aufgaben durch eigenständiges „Denken“. Dies kann z.B. durch Abarbeitung von Regeln und Ableitung neuer Regeln erfolgen.
Adaption	Fähigkeit des Agenten durch Erfahrung zu lernen und daraufhin das eigene Verhalten anzupassen.
Reaktivität	Wahrnehmung der Umwelt des Agenten und Reaktion auf stattfindende Veränderungen.
Unabhängigkeit	Grad der Abhängigkeit des Agenten von konkreten Aufgabenstellungen; je enger der Agent auf eine Aufgabe zugeschnitten ist, desto abhängiger ist er.
Kontinuität	beschreibt die Aufrechterhaltung der Identität und des inneren Zustands des Agenten über einen längeren Zeitraum.
Kommunikation	beschreibt die Fähigkeit des Agenten sich mit dem Benutzer und insbesondere mit anderen Agenten zu verständigen.
Mobilität	ist vorhanden, wenn sich ein Agent selber von einem Computer auf einen anderen transferieren kann.

Tabelle 3: Merkmale von SW-Agenten (*FIPA 2002* -FIPA-Foundation of Intelligent Physical Agents).

Die Kommunikation zwischen Agenten bzw. zwischen Agenten und System- und Anwendungssoftware sowie die Mobilität von Agenten erfordern eine standardisierte Software-Infrastruktur auf allen beteiligten Plattformen. Die FIPA (Foundation of Intelligent Physical Agents) hat es sich zum Ziel gesetzt, diese Infrastruktur zu definieren. Die FIPA ist eine gemeinnützige Organisation, die 1996 von namhaften Mitgliedern (u. a. IBM, Intel, SUN, HP, Siemens, Bosch, British Telecom, France Telecom, zahlreiche Universitäten) gegründet wurde und Standards, unter anderem zum Agentenmanagement, zur Agenten/Software-Interaktion und zur Agentenkommunikation verabschiedet hat. Der FIPA-Vorschlag einer Referenzarchitektur als Infrastruktur einer Agentenplattform ist in Abb. 2-15 dargestellt. Dabei stellt aufbauend auf der Hardware, d.h. auf einen oder mehreren Rechnern und den Betriebssystemen die Agentenplattform (AP) die Infrastruktur dar, die notwendig ist um Agenten ablaufen zu lassen. Sie beinhaltet drei Komponenten: Das Agenten-Management-System (AMS) ist zuständig für die Verwaltung der Agenten, die Zustellung von Nachrichten und für die Bereitstellung eines Sicherheitsdienstes. Ein Agent ist immer bei genau einem AMS registriert.

Jeder mit der AP verbundene Agent kann hier anfragen, ob es einen anderen Agenten gibt, der bestimmte Aufgabe lösen kann. Der Agent Communication Channel (ACC) ist der Standardweg zur Kommunikation zwischen den Agentenplattformen und zuständig für die Nachrichtenkodierung, -zustellung und Pufferung. Jeder Agent einer Plattform hat Zugriff auf den ACC. Der Agent oder vielmehr die Agentenhülle bildet die Schnittstelle der Anwendungssoftware zur Laufzeitumgebung der Agentenplattform. Eine Übersicht über Agentenplattformen findet sich in *Schönbein et al. 2004a*.

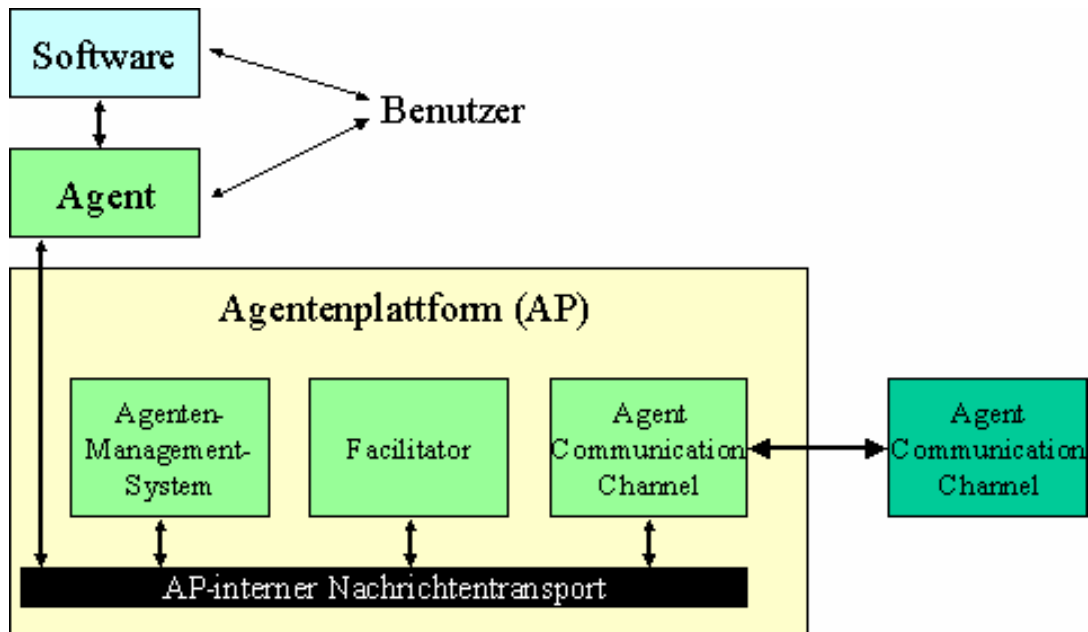


Abbildung 2-15: Infrastruktur einer Agentenplattform (nach *FIPA 2002*).

In einem Multi-Agenten System können Agenten direkt oder indirekt über eine unterstützende Komponente miteinander kommunizieren. Die direkte Kommunikation zwischen den Agenten hat den Nachteil, dass bei steigender Anzahl der Kommunikationspartner die Komplexität des Systems überproportional ansteigt. Ein weiterer Nachteil der direkten Kommunikation ist, dass bei allen Agenten die Organisation der Kommunikationswege implementiert sein muss. Daher können die Agenten in Verbundsysteme („federated systems“) organisiert werden. Hier erfolgt die Kommunikation ausschließlich über bestimmte Agenten („Facilitators“), die die Organisation und Synchronisation übernehmen. Auch die Agenten innerhalb eines Verbundsystems kommunizieren nicht direkt miteinander, sondern ebenfalls mit Hilfe des Facilitators.

Damit eine zuverlässige Kommunikation zwischen Agenten zustande kommt, ist es erforderlich, dass bei den Agenten ein Interesse einer Zusammenarbeit (Kollaboration) besteht. Außerdem sollten sich die Agenten an die folgenden Regeln halten (*Woolridge & Jennings 1995*):

- Agenten müssen immer die Wahrheit sagen („truthfulness“, „veracity“),
- ein Agent darf einen anderen Agenten nicht zwingen einen Dienst zu erfüllen, wenn dieser nicht vorher seine Bereitschaft dazu erklärt hat und
- ein Agent ist an seine Zusage, einen bestimmten Dienst auf Anfrage zu erfüllen, gebunden.

Ein Schutz vor böswilligen Agenten, die sich zum Beispiel nicht an das Wahrheitsgebot halten ist nicht gegeben. Sollte ein Verstoß gegen eine der oben genannten Regeln erfolgen und auch festgestellt werden, so muss die Agentenplattform dafür sorgen, dass dieser Agent unverzüglich beendet wird und über geeignete Dienste eine zukünftige Berücksichtigung dieser Erkenntnis ermöglicht wird.

Setzt man Software-Agenten zum Aufbau eines Systemverbundes zur verteilten kooperativen interaktiven Bildauswertung ein, führt dies zum Paradigma der **kooperativen Informationssysteme**. In kooperativen Informationssystemen arbeiten Informations-Agenten, sowohl Men-

schen als auch Rechnerprogramme, über Raum und Zeit zusammen, um Aufgaben im Anwendungsbereich des Systemverbundes zu lösen. Das klassische Client-Server Modell wird dabei zu einer dynamischeren, vielseitigeren Architektur erweitert. Dabei werden drei Typen von Agenten unterschieden:

Interface-Agenten („requester agents“) unterstützen die Nutzer, komplexe Aufgaben effizient zu bearbeiten, indem sie auf die geeigneten Informationen und Rechnerressourcen im Informationsverbund zugreifen. Ein Interface-Agent schützt das lokale System vor unerlaubtem Zugriff von außen, kooperiert bei Bedarf mit anderen Agenten, um Anfragen zu beantworten oder Aufgaben bearbeiten zu lassen und sucht aktiv nach für den Nutzer relevanten Informationen und Dienstleistungen.

Ressource-Agenten („provider agents“, Dienstanbieter oder Dienstleistungs-Agenten) bieten ihre Fähigkeiten den Nutzern und anderen Agenten an. Jeder Dienstleister muss sich zuerst bei mindestens einem Vermittlungsagenten anmelden. Die Anmeldung erfolgt durch das Senden einer geeigneten Nachricht an den Vermittlungs-Agenten, in der die angebotene Dienstleistung beschrieben wird.

Vermittlungs-Agenten („middle agents“, „service broker“ oder „matchmaker“) übernehmen die Aufgabe der Auswahl der Dienstleister, der Weiterleitung und notfalls Aufteilung der Anforderungen an Dienstleistungs-Agenten, um ein übergeordnet gefordertes Ergebnis zu erzielen. Jede Anforderung, die bei einem Vermittlungs-Agenten eintrifft, wird mit den ihm gemeldeten Fähigkeiten der Dienstleister abgeglichen. Passen Anforderung und Angebot zusammen, so leitet der „Broker“ die Anforderung (evtl. umgeformt) an den entsprechenden Dienstleister weiter. Die Ergebnisse werden vom „Broker“ zusammengesetzt und an den Anforderer gesendet. Ein „Matchmaker“ sendet an den Anforderer eine Liste der Dienstleister, deren Fähigkeiten auf die angeforderte Dienstleistung passen. Das Vorgehen eines „Matchmakers“ verhindert das Problem des Auftretens eines Flaschenhalses bei der Datenübertragung, führt aber zu einem erhöhten Kommunikationsbedarf zwischen den einzelnen Agenten. Um seine Aufgaben bearbeiten zu können, muss ein Vermittlungs-Agent über ein Modell seiner eigenen Fähigkeiten, seiner Domänenexpertise und über ein Modell der anderen Agenten und deren Fähigkeiten, dem Agentenwahrnehmungsmodell, verfügen. Beide Modelle zusammen bilden das Wissensmodell eines Vermittlungs-Agenten und werden zur Bearbeitung einer Anforderung benötigt. Eine verbreitete Technik zur Modellierung des Agentenwissens basiert auf der Nutzung von **Ontologien**. Eine Ontologie legt eine gemeinsame Sprache und einen gemeinsamen Wortschatz für die Interaktionen zwischen den Dienstleistern, den Vermittlungsagenten und Anforderern fest (vgl. Kap. 5). Abb. 2-16 verdeutlicht das Zusammenwirken der SW-Agenten und den Zugriff auf Ressourcen über Dienste.

Die geschilderten Eigenschaften von SW-Agenten liefern auch die Motivation für die Auswahl dieser Technologie zur Unterstützung der interaktiven Bildauswertung. SW-Agenten ermöglichen eine größere Abstraktion der Schnittstellen zu angebotenen Diensten und erlauben damit eine nutzer- und aufgabengerechte Adaption der Benutzungsoberflächen ebenso wie die Delegation von Aufgaben an spezielle Agenten zur Detailbehandlung. Das geregelte Zusammenspiel verschiedener Agenten ermöglicht eine effiziente Ressourcennutzung. Dabei kapseln Agenten die Details der angeschlossenen Hardware, Betriebssystem-SW, sowie der Protokolle und Formate. Die explizite Vermittlungsfunktion erlaubt die Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Modellen und ermöglicht eine einfache Anpassung und Erweiterung des Systems. Die Komplexität der netzwerkbasierter Bildauswertung wird somit vor dem Anwender verborgen.

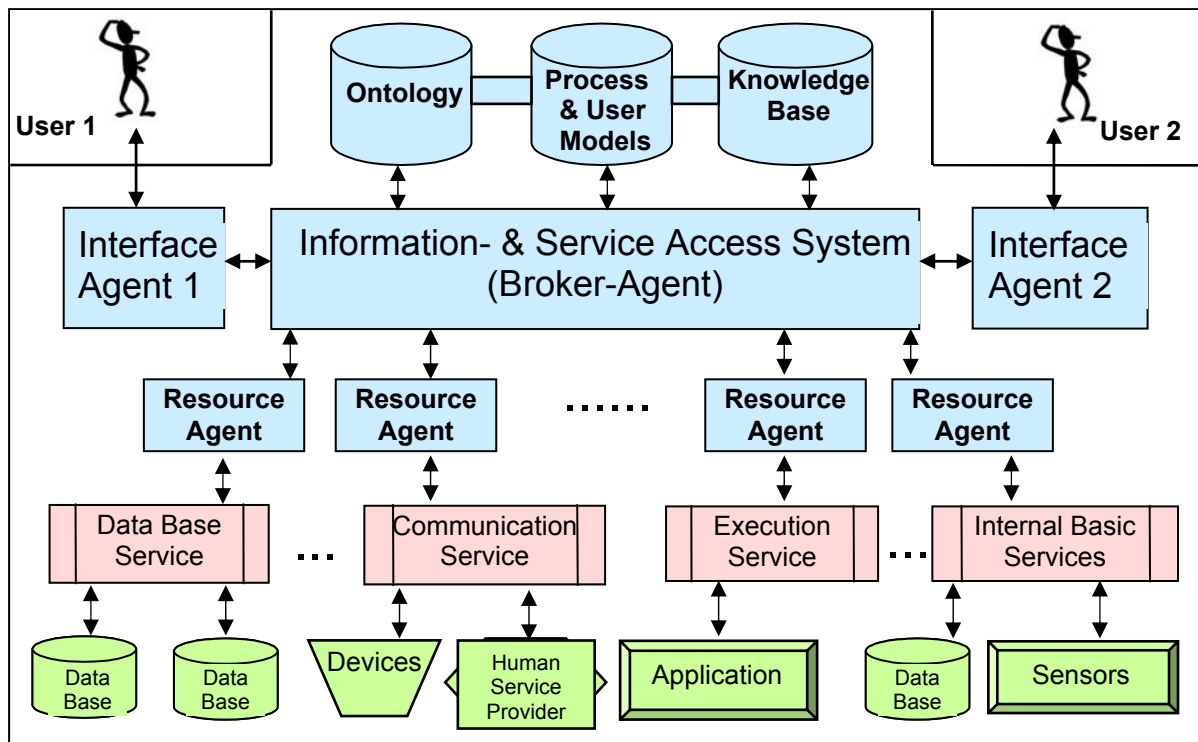


Abbildung 2-16: Prinzipieller Aufbau eines kooperativen Informationssystems mit SW-Agenten und Diensten.

Die Anwendungsbereiche von SW-Agenten sind vielfältig. Der „bekannteste“ SW-Agent ist sicherlich die „Büroklammer“ im „Microsoft Office Programmpaket“ basierend auf Microsoft®Agent (<http://www.microsoft.com/msagent/>). Durch die zunehmende Verbreitung von Tauschbörsen und des Online-Versandhandels haben SW-Agenten einen weiteren Anwendungsbereich besetzt. Sie werden in der Produkt-Findungsphase zum Abgleich von Anforderung und Angebot und zu Preisverhandlungen eingesetzt. Die Entwicklung von „Avataren“ als virtuelle Vertreter des Menschen bildet einen eigenen interessanten Forschungsbereich (Cassell et al. 2000), der allerdings nicht Gegenstand dieser Arbeit ist. Neben den von Benutzern wahrnehmbaren Interface-Agenten stehen in dieser Arbeit das Vermittlungs-, das Ressourcenmanagement- sowie das Kommunikationssystem im Vordergrund.

Im Bereich der interaktiven Bildauswertung arbeitet das Team von Lockheed Martin an einer Architektur basierend auf DAML-S (DARPA Agent Markup Language Services). Der Anwendungsbereich ermöglicht die Beschaffung von Bildern (Abb. 2-17) basierend auf Koordinatenangaben und Vorgaben für Bildauflösung und Spektralbereich (Kogut & Heflin 2003). Angaben bezüglich abgebildeter Objekte und über die Bildbeschaffung hinaus gehende Aspekte wie heterogene Bilddatenbanken werden nicht berücksichtigt. Der Ansatz zielt auf eine Überprüfung der Einsetzbarkeit von DAML-S.

Die Arbeit zur „Agentenbasierten Architektur für die Berechnung von Bild- und Geo-Informationen“ von Nolan (Nolan 2003) wurde schon in Kapitel 2.2 kurz skizziert. Im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen „mobile“ Agenten, bei denen die Laufzeit als Optimierungsgröße verwendet wird. Damit stellt diese Arbeit einen ersten Schritt in Hinblick auf ein Kosten-Nutzen-Modell für den Einsatz von SW-Agenten dar. Zwar ist das Konzept dieses Systems auf die Nutzung einer Ontologie ausgerichtet, doch fehlt eine Domänen-Ontologie, so dass die Dienstbeschreibungen auf einem syntaktischen Niveau verbleiben und damit eher Bildverarbeitungs-funktionen im Brennpunkt der Aufgabenstellung stehen.

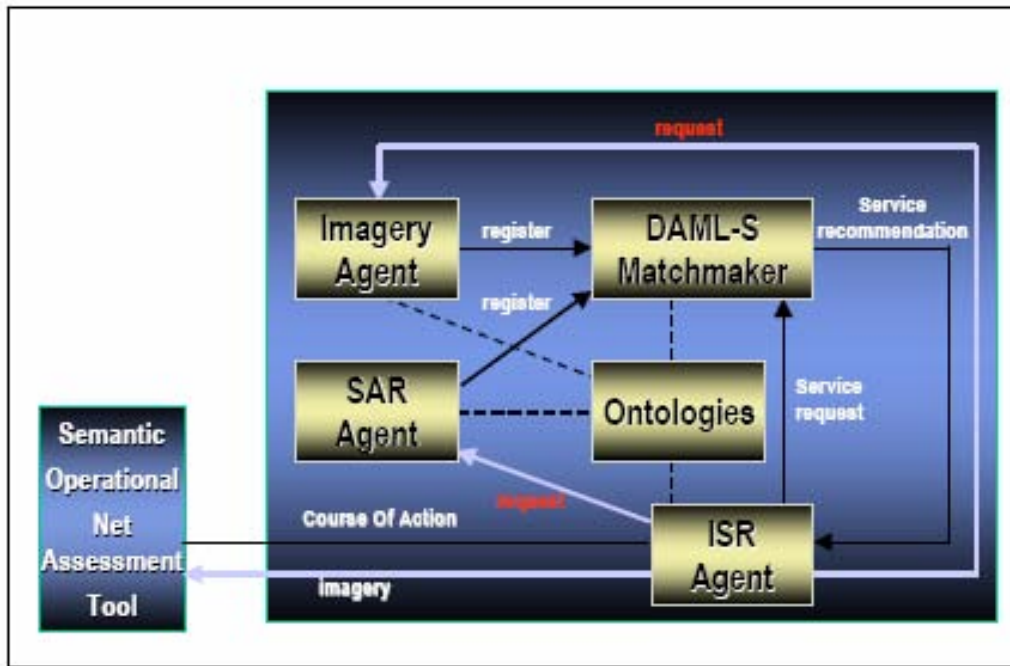


Abbildung 2-17: Prototyp einer DAML-S Architektur aus Kogut & Heflin 2003. Agenten zur Bildbeschaffung („Imagery“ & „SAR“) lassen sich beim Vermittlungsdienst („Matchmaker“) als Dienste registrieren. Der Bildagent benötigt als Eingabe die gewünschten Koordinaten und die Auflösung des Bildes, der SAR Agent zusätzlich noch das geforderte Frequenzband. Das Semantic Operational Net Assessment Tool generiert die Anforderung bzgl. der benötigten Bilder und übermittelt diese an den ISR-Agenten („Intelligence, Surveillance and Reconnaissance“). Der ISR-Agent fordert geeignete Dienstbeschreibungen vom Matchmaker an. Dieser reicht die notwendigen Daten zur Aktivierung der geeigneten Dienste an den ISR-Agenten zurück, der daraufhin die entsprechenden Agenten aktivieren kann. Eine semantische Modellierung der in den Bildern abgebildeten Objekte wird nicht berücksichtigt.

Auch in der Medizin wird u. a. im Rahmen der Entwicklung elektronischer Patientenakten an der Web-basierten Bildverteilung und –bearbeitung gearbeitet. Im Projekt JIVE (*Holstein et al. 2000*) steht allerdings mehr die syntaktische Interoperabilität über Standardschnittstellen im Mittelpunkt. Einfache Bildbearbeitungsfunktionen werden über Clientanwendungen realisiert. Die Medizin-Informatik vernetzt schwerpunktmäßig Systeme zum Austausch normierter Daten und Informationen. Die wichtigste anstehende Aufgabe ist jedoch die Beschreibung der Informationsstrukturen, der Fachgebiete und der Dienstleistungen (*Straub 2004*). Ansätze für den Aufbau entsprechender Terminologiesysteme in der Medizin finden sich in *Reiner 2003*.

Eine weitere interessante Anwendungsmöglichkeit basiert schwerpunktmäßig auf der Autonomie-Eigenschaft der SW-Agenten. Hiermit wird die Selbstorganisation von gleichartigen Komponenten ermöglicht, die z.B. als Multi-Agenten-Schwärme im Bereich der bildgestützten Aufklärung als kostengünstige Sensoren eingesetzt werden können. Der kooperative Multi-Agenten-Einsatz zielt dabei auf eine „Schwarm-Intelligenz“. Ein Beispiel für diesen aufstrebenden Forschungszweig bilden mobile kooperierende Roboter, die im Rahmen des RoboCups (*RoboCup 2004*) untersucht werden. RoboCup ist eine internationale Initiative zur Förderung der Forschung und interdisziplinären Ausbildung in den Bereichen künstliche Intelligenz und autonome mobile Roboter. Roboterfußball wird als standardisiertes Problem benutzt, an dem sich Ergebnisse aus den verschiedenen Forschungsdisziplinen direkt vergleichen lassen.

3 Benutzerprobleme

Im folgenden Kapitel werden die Probleme der Benutzer von interaktiven Bildauswertungssystemen zusammenfassend dargestellt. Dazu werden zunächst die Defizite der interaktiven Bildauswertung herausgestellt. Hier kann man zwischen dem Mangel an Adaptionmöglichkeiten der Benutzungsoberflächen, Problemen bei der Nutzung von Werkzeugen und Schwierigkeiten bei der Interpretation der angebotenen Daten unterscheiden. Dabei kommt der mangelnden Interoperabilität eine entscheidende Bedeutung zu. Die Grenzen heutiger Systeme werden skizziert und den Vorteilen und Problemen eines agentenbasierten Lösungsansatzes gegenübergestellt.

3.1 Defizite bei der interaktiven Bildauswertung

Die Benutzungsoberflächen kommerzieller Bildauswertesysteme sind standardmäßig überfrachtet mit Unterstützungsfunktionen, was zu ausufernden Menüsystemen führt und den Auswerter bei der Benutzung durch die notwendigen Navigationsschritte erheblich von der Bildauswertung ablenkt, die in der Regel ein intensives Hineindenken in die abgebildete Szene erfordert. Eigene Erfahrungen mit der Entwicklung und Bewertung von Systemen zeigen, dass das ungünstige Verhältnis von Nutz- zu Störinformationen und zu viele konkurrierende, parallele Funktionen im Angebot aus der Forderung nach breiter Unterstützung unterschiedlichster Nutzer und deren Anforderungen resultieren. Doch die individuelle Anpassung an Aufgaben und Bedarf des einzelnen Nutzers wird dafür zurückgestellt. Darüber hinaus erfordern Parametrierung und Anwendung von Unterstützungsfunktionen wie z.B. Komponenten zur Lokalisierung, Detektion oder Klassifikation von auffälligen Bereichen oder Objekten im Bild vom Anwender ein inneres Verständnis der Wirkungsweise der Komponenten, das die Beurteilung der gewonnenen bzw. zu erwartenden Ergebnisse erlaubt. So erfordert beispielsweise eine Komponente zur automatischen Generierung von Hinweisen auf die Position von Fahrzeugen im Bild ein Verständnis über das zugrunde liegende Fahrzeugmodell der Komponente. Dieses ist insbesondere dann unabdingbar wenn alternative Dienste von verschiedenen Anbietern zur Verfügung stehen, denen in der Regel unterschiedliche Modelle zugrunde liegen. Der Bildauswerter ist aber Spezialist des Anwendungsbereiches und nicht der Informatik, daher muss das der Komponente zugrunde liegende Objektmodell in die Sprache des Anwenders transformiert und entsprechend zugänglich gemacht werden.

Aufgabenstellungen für unterstützende Assistenzfunktionen auf der Ebene der Problembeschreibung lassen sich häufig nicht direkt auf angebotene Funktionen abbilden. Lautet zum Beispiel die Aufgabe „Bestimme die Anzahl von Fahrzeugen in einem definierten geographischen Bereich zu einem definierten Zeitpunkt“, so sollte aufgrund dieser Aufgabenbeschreibung ein Unterstützungssystem (z. B. der beteiligte SW-Agent) selbständig die notwendigen für diese Aufgabe am besten geeigneten Daten anfordern bzw. beschaffen oder diese Funktion dem Benutzer entsprechend anbieten. Aufgabenbeschreibungen auf dieser Ebene erfordern eine detailliertere Beschreibung der Aufgaben, der Funktionen und der Informationen im System, sind aber für eine zukünftige Realisierung qualifizierter Assistenzsyste me unabdingbar. Dies gilt insbesondere bei direkten Zugriffs- und Einstellmöglichkeiten von Sensoren und Parametern (vgl. Abb. 2-4).

Zur Adaption der Benutzungsoberfläche an verschiedene Aufgabenstellungen sollte eine Benutzungsoberfläche mit einfachen Mitteln angepasst werden können. So sollte die Anwendung häufig verwendeter Funktionsketten durch eine entsprechende Makro-Definitionsfunktion erleichtert werden. Leider sind diese Möglichkeiten in kommerziellen Systemen nur aufwendig und daher kostenpflichtig zu realisieren, so dass in der Praxis häufig darauf ver-

zichtet wird. Eine Möglichkeit zur Aktualisierung von Programmsystemen über Netzwerke, zur Erprobung und Nutzung neuer und aktuellster Komponenten ist ebenso wenig vorgesehen wie eine Kombination von Komponenten verschiedener Systeme. „Plug-Ins“ existieren nur für Bildverarbeitungsfunktionen, da hier keine gemeinsamen Objektmodelle erforderlich sind und es ausreichend ist, syntaktische Schnittstellenspezifikationen einzuhalten. Dabei gilt, dass auch auf der syntaktischen Ebene aufgrund unterschiedlicher Formatdefinitionen, z.B. für Bilder und Berichte, bei der Konvertierung der entsprechenden Formate Informationsverluste auftreten können. Vereinheitlichte explizite komponenten-übergreifende Objektmodelle auf der semantischen Ebene werden nicht eingesetzt.

Da keine allgemeingültigen „Style-Guides“ für die Bildauswertung existieren, erfolgt eine Anpassung der Programmsysteme an verschiedene Endgeräte nur unzureichend auf Basis der Web-Technologie. Eine automatische Anpassung der Kommunikation an die verfügbare Bandbreite zum Datenaustausch mit mobilen Benutzern und zur Nutzung von Diensten über Netzwerke wird bisher nicht unterstützt. Eine Übersicht über anfallende Kosten und den erforderlichen Zeitbedarf für eine Dienstleistung steht dem Benutzer ebenfalls nicht zur Verfügung.

Im Rahmen der Arbeitsvorbereitung stellt die Recherche nach Referenzinformationen eine wesentliche Grundlage für die interaktive Bildauswertung dar (vgl. Kap. 2.1). Die traditionellen Systeme basieren auf der Schlüsselwort-Such-Technologie. Dokumente werden nur gefunden, wenn sie entsprechende Schlüsselwörter enthalten. Aber viele Dokumente beinhalten relevante Informationen ohne das Schlüsselwort zu verwenden. Sucht der Benutzer beispielsweise nach „Motorfahrzeugen“, so werden „Bus“ und „Lastwagen“ mit dieser einfachen Schlüsselworttechnologie nicht erfasst. Daher muss man eine Anfrage zunächst expandieren. Dabei wird die Treffer-Anzahl verbessert, allerdings auf Kosten der Treffer-Genauigkeit. Eine adaptierbare automatische Expansion ist wartungsanfällig und aufwendig. Eine ausgefeilte Unterstützung bei der Recherche z. B. durch eine anwendungsbezogene Ontologie (vgl. Kapitel 5) steht den Benutzern nicht zur Verfügung.

Referenzinformationen werden nicht im ausreichenden Maße genutzt. Signatur-Datenbanken existieren nicht oder sind nicht zugreifbar. Automatische Hinweise auf vorliegende relevante Informationen werden nicht gegeben. Damit verbunden ist auch die Angst vor einer „Informations-Überladung“ („Information overload“). Die Informationsmenge wächst beständig, einen Überblick über die „Informationsflut“ zu behalten wird immer schwieriger. Die Informationen liegen nicht zentral, sondern verteilt und dazu noch in unterschiedlichen Formaten vor. Mangels geeigneter Funktionen zur räumlichen, zeitlichen und thematischen Filterung wird der Benutzer mit Informationen überschüttet. Eine notwendige zeit-, ebenen- und bedarfsgerechte Anpassung wird von den Systemen nur rudimentär unterstützt. Einmal gefundene Information kann teilweise nicht wieder gefunden werden („Lost in Space“), da der beschrittene Weg nur aufwendig rekonstruiert werden kann oder der Speicherort der Information wechselt. Liegen neue Informationen vor, so werden diese weder automatisch angezeigt noch erfolgt ein Hinweis auf eine notwendige Aktualisierung der Anzeige. Übergreifende Informations-Abonnements werden nicht unterstützt. So verwendet der Benutzer einen großen Teil seiner Aufmerksamkeit, Energie und Zeit auf die Technik statt auf die Arbeit der Bildauswertung oder er verzichtet auf diese Informationen und gerät damit in die Gefahr einer unzuverlässigeren Bildauswertung. Dadurch entsteht aus der notwendigen und positiven erweiterten Verfügbarkeit von Informationen die Angst vor der Informationsflut mit ihren negativen Auswirkungen.

Kontext-sensitive Hilfe-Systeme und „On-line“-Tutorials zur Bildauswertung mit Beispielsignaturen und Musterauswertungen sind nach eigener Erfahrung selten verfügbar. Dazu müssen die Werkzeuge zur Unterstützung der Bildauswertung unabhängig von der unterstützten Funktion systemintern detailliert syntaktisch und semantisch beschrieben werden. Sowohl die Ein-/Ausgaben, Art und der Wertebereich aller Parameter als auch eine Erläuterung für den Auswerter müssen in der Beschreibung enthalten sein. Neben allgemeinen Aspekten der Dialoggestaltung müssen Aktivierung von Verfahren, Parametrierung, Zustands- und Ergebnisanzeigen sowie Vor-, Nach- und Kontextbedingungen für alle Verfahren explizit modelliert werden. Beziehungen zwischen verschiedenen Verfahren könnten dann in entsprechenden Kollaborationsplänen vorgefertigt angeboten und dynamisch nach Aufgabenstellungen und Funktionsangeboten angepasst werden. Dieses wäre eine geeignete Basis für zukünftige Assistenzsysteme und bildet damit eine Zielsetzung der vorliegenden Arbeit.

3.2 Grenzen heutiger Systeme - Mangelnde Interoperabilität

Ein zentrales Problem bei der interaktiven Bildauswertung stellt die mangelnde Interoperabilität dar. Aufgabenbeschreibungen und Funktionen sowie Daten und Ergebnisse der Bildauswertung in einem „System of Systems“ zu verwenden ist mangels Standardisierung und Adaptierbarkeit bisher nur unzureichend möglich. In Anlehnung an die drei Sichten der SW-Architektur (Operationell, System und Technik, vgl. Kap. 2.3) können auch bei der Interoperabilität drei hierarchisch zugeordnete Sichten definiert werden:

- A) Technische Interoperabilität:** Physikalische Vernetzung von Systemen; Nutzung geeigneter Protokolle ermöglicht den Informationsaustausch auf Zeichenebene. Beispiele sind TCP/IP oder HTTP.
- B) Syntaktische Interoperabilität:** Nutzung einer gemeinsamen Syntax zur Strukturierung der Informationen, z. B: HTML, XML.
- C) Semantische Interoperabilität:** Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses bzgl. der ausgetauschten Begriffe mittels einer gemeinsamen Ontologie.

Eine weitergehende Form der Interoperabilität (*Hura et al. 2000*) würde eine einheitliche Beurteilung der Information, z.B. bzgl. der Implikationen und erforderlichen Handlungen beinhalten. Diese „operationelle“ oder

D) „Pragmatische“ Interoperabilität, soweit sie denn sinnvoll ist, kann in bestimmten Anwendungsfällen durch nachgeschaltete Dienste („Post Condition“ bei der Dienstbeschreibung) erreicht werden. So könnte z.B. unabhängig vom behandelnden Arzt nach Aktivierung eines Diagnose-Dienstes zur Blutbildprüfung, bei entsprechendem Ergebnis automatisch eine Krankenhausüberweisung für den Patienten vorbereitet werden, die vom Arzt zu prüfen und zu verantworten ist. Diese Dienste beruhen allerdings auf weitgehend automatischen Bildauswertefunktionen, die bisher kaum verfügbar sind. Die Mehrzahl der heute verfügbaren Dienste kann eher im Rahmen eines Entscheidungsunterstützungssystems eingesetzt werden, bei dem die semantische Interoperabilität die entscheidende Herausforderung darstellt.

Die mehr „inhaltsbezogenen Ebenen“ der Interoperabilität werden ergänzt durch eine Einteilung der Interoperabilitätsstufen aus kommunikationstechnischer Sicht. Basierend auf der „NATO Interoperability Directive (*NID 2003*)“ kann unterschieden werden in (Tab. 4). Angaben zur Interoperabilität müssen beide Gesichtspunkte beinhalten (z. B. in der Form „B-2“).

Stufe	Bezeichnung	Beschreibung
0	Isolierte Interoperabilität („Drehstuhlschnittstelle“)	In isolierten Systemen wird die Interoperabilität durch die menschlichen Benutzer hergestellt. Aspekte der Reduzierung von Ausbildungskosten sowie einer verbesserten Logistik führen auch hier zur Forderung zur Verbesserung der Interoperabilität.
1	Physikalische Interoperabilität („Datenaustausch“)	Systeme mit Punkt-zu-Punkt-Verbindung basieren auf der physikalischen Verbindung mit beiderseitigen Eingriffsmöglichkeiten. Diese Form findet man vor allem bei vernetzten Systemen mit identischer Funktionalität auf beiden Seiten des Punkt-zu-Punkt-Netzes.
2	Funktionale Interoperabilität („Zugriff auf Dienste“)	Mittels funktionaler Interoperabilität in verteilten Umgebungen können unabhängige Anwendungen strukturierte Daten (auch Datenobjekte mit Methoden) austauschen und nutzen. Dies beinhaltet den Austausch von „menschenslesbarer“ Information zur manuellen oder automatischen Weiterbearbeitung, erfordert aber eine manuelle Übersetzung, Bestätigung oder Verteilung der Information.
3	Domänen-Interoperabilität (Organisations-einheit intern)	Domänen-Interoperabilität ist gegeben wenn unabhängige Anwendungen in einer integrierten Umgebung eine gemeinsame Bearbeitung von Datenmodellen der Anwendungsdomäne mittels abgestimmten Prozeduren („Abgestimmte Geschäftsprozesse“) ermöglichen.
4	Unternehmens-Interoperabilität (Org.-einheit extern, Schnittstellen zu Kunden und Auftraggebern)	Die Unternehmens-Interoperabilität entspricht der Stufe 3 – Interoperabilität aus einer Top-Level-Perspektive, dem Unternehmen als einer verallgemeinerten Domäne. Dies beinhaltet unternehmensweite gemeinsame aufeinander abgestimmte Datenmodelle und Prozeduren mit den Möglichkeiten zum nahtlosen Datenaustausch und zur übergreifenden kooperierenden Bearbeitung. Dazu dienen gemeinsame Informations-Austausch-Modelle.

Tabelle 4: Interoperabilitätsstufen (modifiziert nach *NID 2003*).

Während eine fortschreitende Standardisierung („CORBA“, „.NET“, „Web-Services“, Bild- und Geodaten-Standardisierung, vgl. Kap. 2) zumindest die syntaktische Interoperabilität verbessert, liegen insbesondere im **semantischen Bereich** noch wichtige Herausforderungen für die Zukunft. Um zu einer semantischen Interoperabilität zu kommen, müssen Aufgabenstellungen der Anwender, Daten und Informationen der Anwendungsdomäne, Dienste zur Unterstützung der interaktiven Bildauswertung, Personen und Organisationen als Dienstanbieter und als Dienstanwender geeignet beschrieben werden. Diese Beschreibungen müssen in den Netzwerken verfügbar gemacht und ausgetauscht werden, wobei von vornherein eine angemessene Erweiterbarkeit der Beschreibungen berücksichtigt werden muss, um allmähliches Wachstum und damit eine höhere Akzeptanz zu ermöglichen. Aufbauend auf diesen Beschreibungen könnten dann nutzer- und aufgabengerechte Benutzungsoberflächen zur Informationsabfrage und –eingabe gestaltet werden. Dieses ermöglicht bei Informationsrecherche und Berichterstellung die Verwendung angepasster, auf den Aufgabenstellungen und Objektbeschreibungen aufbauender Formulareditoren. Ein aufgabenangepasstes Angebot an teilautomatischen Hilfen zur Bildverarbeitung und Bildauswertung sowie die Vermittlung von

geeigneten Experten verbessert die lokale interaktive Bildauswertung und berücksichtigt auch den Bereich der kooperativen Bildauswertung über Netzwerke.

Im Bereich der Modellbildung und Simulation (M&S) werden die Schnittstellen zur Förderung der Interoperabilität zwischen verteilten Simulationen von der „Simulation Interoperability Standards Organisation (SISO)“ spezifiziert (*Tolk & Muguira 2003*). Die Verbindung der M&S – Welt mit „realen“ Sensordaten sowie mit „realen“ Diensten im Umfeld der bildgestützten Aufklärung stellt eine besondere Herausforderung für die Interoperabilität dar, da die Granularität der Beschreibungen von Sensordaten und „realen“ Diensten von den weniger detaillierten Beschreibungen der simulierten Daten und Dienste häufig deutlich abweicht. Hier werden Anpassungen der Daten- und Informationsmodelle benötigt, die mittels geeigneter Ontologien vorgenommen werden können.

3.3 Vorteile und Probleme des Agentenansatzes

An dieser Stelle sollen die Benutzerprobleme interaktiver Bildauswertesysteme und die Eigenschaften von SW-Agenten einander gegenübergestellt werden, um die Motivation für den Einsatz von SW-Agenten zur Unterstützung der interaktiven Bildauswertung herauszuarbeiten. Die Analyse der Arbeitsabläufe (Kap. 2.1) und die Betrachtung der Benutzerprobleme verdeutlichte die Notwendigkeit der Unterstützung des Benutzers

- bei der Interpretation der Aufgabenbeschreibungen,
- bei der Recherche nach relevanten Informationen, d.h. bei der Formulierung von Anfragen sowie bei der Identifizierung und Kategorisierung relevanter Informationen,
- beim Zugriff auf benötigte Informationen, inkl. des Wiederauffindens früher gefundener Informationen,
- bei der Filterung vorhandener Informationen,
- bei der Zusammenfassung / Fusion verschiedener Informationsbruchstücke,
- bei der Aktualisierung der Informationen,
- bei der Auswahl und Anforderung von Dienstleistungen,
- bei der Interpretation der Ergebnisse der Dienstleistungen,
- bei der Anpassung der Benutzungsoberfläche,
- bei der Optimierung des Einsatzes alternativer Dienste,
- bei der Vermittlung von Experten und Ressourcen zur Bildauswertung im Verbund
- und in der Rolle als Anbieter von Expertisen oder Auswerteprogrammen eine Unterstützung bei der Beschreibung des Angebots und der Einbindung in den Auswerteverbund.

Während die Interpretation der Aufgabenbeschreibungen, die Formulierung von Anfragen und Angeboten von Diensten und Expertise sowie die Aspekte der semantischen Interoperabilität durch eine angepasste Ontologie erleichtert werden, ermöglichen SW-Agenten aufgrund ihrer Flexibilität, Autonomie und Interaktivität die

- Unterstützung bei der Recherche durch nutzerspezifische, ständige Suche nach neuen Daten und Informationen mit der Möglichkeit der automatischen Aktualisierung der Ergebnisanzeige oder der Generierung von Hinweisen auf neu vorliegende Informationen,
- Automatische Filterung der Informationen nach räumlichen, zeitlichen oder thematischen Aspekten unter Nutzung von Benutzerprofilen,
- Automatische Anpassung der Benutzungsoberfläche an die Aufgabenstellung und Geräte des Benutzers durch Benutzer- und Geräteprofile,
- Adaption an mobile Benutzer. Adaptive Agenten, senden die Daten in Abhängigkeit von der Bandbreite (Kleinrock 2001),

- Autonome Abarbeitung von Bildauswertediensten, dadurch
- Möglichkeit zur parallelen Auswertung des Bildes mit verschiedenen Verfahren,
- Automatische Fusion der Ergebnisse in der Präsentationsschicht oder bei komplexeren Fusionierungsalgorithmen (z.B. Multisensorielle Fusion) als eigenständiger Agent (Dienst),
- Optimierung des Einsatzes alternativer Diensten im Hinblick auf einstellbare Parameter, z. B. Kosten oder Zeitbedarf durch Meta-Agenten,
- Vermitteln von Experten und Ressourcen im Auswertungsverbund durch einen „Broker“.

Eine entscheidende Komponente zur Nutzung der Fähigkeiten der SW-Agenten bildet die anwendungsspezifische Ontologie. Diese umfasst sowohl Konzepte des Diskursbereichs, Beschreibungen von Diensten, Dienstleistern und Verbindungen als auch Kosten-Nutzen-Aspekte. Detaillierte Ausführungen zur Ontologie werden in Kap. 5 gegeben.

Die Vorteile des Agentenansatzes gehen allerdings mit einer Reihe von Nachteilen und Gefahren einher. Die autonom aktiven SW-Agenten benötigen entsprechende Rechenkapazitäten auf jedem Computer. SW-Agenten können weder gestoppt noch zurückgeholt werden. Bereits ein kleiner Programmierfehler kann ein Computervirus erzeugen. Die Vielfalt der multimediale Informationen bzw. die Vielfalt der Retrieval-Methoden erfordert auch eine Vielfalt von spezialisierten Agenten. Auf jedem angeschlossenen System muss eine Agentenplattform zur Ausführung der SW-Agenten verfügbar sein. Authentifikations- und Autorisierungsbarrieren verursachen Probleme, da viele Computerbesitzer den Zugang zum eigenen Rechner verweigern. Allgemein können die folgenden Sicherheitsprobleme unterschieden werden:

- Gefährdung des Zielsystems
 - Ausspionieren des Daten- und Programmbestandes
 - Aufweichen der Sicherheitseinstellungen („Öffnen von Hintertüren“)
 - Zerstörung oder Veränderung von Datenbeständen oder Systemeinstellungen
 - Funktionsreduktion durch Bearbeitung von großen Mengen sinnloser Anfragen
 - Funktionsreduktion durch Blockierung von Ressourcen des Zielsystems
- Gefährdung des Agenten
 - Weg-Verfolgung (Feststellen auf welchen Rechnern der Agent gewesen ist.)
 - Ausspionieren des Agenten (Zielrechner „plündert“ Daten des Anwenders aus dem Agenten, z. B. Daten der bisher gesammelten Angebote konkurrierender Anbieter.)
 - Zerstörung oder Veränderung von gesammelten Daten des Agenten
 - Ausführungsumgebung manipuliert den SW-Agenten (Code-Veränderung)
 - Illegales Kopieren des SW-Agenten zur anderweitigen Nutzung

Zur Lösung dieser Sicherheitsprobleme dienen Verschlüsselungsverfahren mit digitalen Signaturen, Kennungen für vertrauenswürdige Agenten und Schutzmaßnahmen der Agenten vor Veränderungen. Jedoch lässt sich böswilligen Zielrechnern mit Verschlüsselung nur teilweise begegnen. Die Lösung der Sicherheitsprobleme ist daher auch noch ein intensiver Forschungsgegenstand. Dabei kann der Einsatz „mobiler Agenten“ gerade durch deren Mobilität in Ergänzung zu ortsfesten Sicherheitseinrichtungen auch neue Möglichkeiten zur Erhöhung der Sicherheit bieten (*Torrellas 2004* sowie *Mallah & Shaikh 2004*). Als Analogon können hier die weißen Blutkörperchen als Bestandteil des menschlichen Immunsystems herangezogen werden.

4 Software-Architektur zur agentenbasierten Bildauswertung

In dieser Arbeit wird ein Betriebsmodell für eine netzwerkorientierte, agentenbasierte Bildauswertung entwickelt. Dabei werden Informationen und Dienstleistungen vom jeweiligen Anbieter beschrieben und im Netzwerk angeboten. Vermittlungsinstanzen vergleichen Kundenanfragen und Angebote im Netzwerk, gestützt auf Kundenvorgaben und Kosten-Nutzen Informationen. Geeignete Dienste zur Befriedigung einer Kundenanfrage werden dann vermittelt, Teilergebnisse zusammengeführt und dem Kunden geeignet präsentiert. Basis der Kommunikation zwischen Kunden und Anbietern ist eine gemeinsame Ontologie, die ein standardisiertes Vokabular definiert und damit eine semantische Schnittstelle zwischen den Netzwerkteilnehmern bildet.

4.1 Bildauswertung als Dienstleistung

Der Basisgedanke beinhaltet die Auffassung der Bildauswertung als Dienstleistung (*Schönbein et al. 2002, Schönbein et al. 2004a*). Bilder enthalten Informationen, die herausgearbeitet werden müssen. Dabei stehen Fragen zu Beginn einer Auswertungskette, die nur durch fundierte Bildinterpretation beantwortet werden können. Häufig sind erfahrene Spezialisten und entsprechende Geräte zur Bildauswertung notwendig (vgl. Kap. 2). Da deren Verfügbarkeit naturgemäß eingeschränkt ist, liegt der Gedanke der räumlichen Trennung und der netzbasierter Dienstleistung nahe. Aus dieser Sichtweise heraus wird im Folgenden der Anforderer von Diensten oder Informationen als Kunde bezeichnet.

Über ein Netzwerk können Bilder oder Ausschnitte zu Experten verschickt, Analyseergebnisse diskutiert und Zweitgutachten eingeholt werden. Fortschrittliche Algorithmen zur teilautomatischen Bildauswertung können im Netzwerk auf geeigneten Maschinen angeboten, von Kunden erprobt, Ergebnisse verglichen und gegebenenfalls kombiniert werden. Der „intelligente“ Vermittlungsdienst fungiert als Agentur, die Kundenwünsche und Dienstleistungen zusammenbringt und gegebenenfalls alternative Lösungen anbietet.

Unter Umständen müssen dazu Anfragen in verschiedene Teile zerlegt werden, um unterschiedliche Dienste zu einer Gesamtlösung zu verketteten. Abbildung 4-1 stellt diese Zusammenhänge grafisch dar und führt die Bezeichnungen für die beteiligten Komponenten „Interface Agents“, „Resource Agents“, „Exploitation Agents“, „Ontologie Server“ und Vermittlungsagent („Information Broker“) ein.

Die im Netzwerk bei der Anmeldung der Dienste erfolgende Beschreibung und Einstufung der Dienste durch ihre Anbieter wird ergänzt durch Rückmeldungen der Kunden als Nutzer der Dienste. Der Vermittlungsdienst berücksichtigt die Kundenbewertungen bei der Auswahl geeigneter Dienste ebenso wie die Selbsteinschätzungen der Anbieter. Die Basis bildet ein integriertes Kosten-Nutzen-Modell, das die Aspekte Zeitbedarf, Preis und Qualität für Dienstleistungen und Informationen berücksichtigt. Verschiedene Alternativen zur Befriedigung einer Nutzeranfrage werden ebenso automatisch berücksichtigt wie nutzer- und aufgabenspezifische Einschränkungen bzgl. Zeit und Kosten. Die Auswahl eines Dienstes muss dabei nach nutzertransparenten, verständlichen Kriterien erfolgen. Der Ansatz beruht auf der permanenten Verfügbarkeit und Sicherheit des Netzes. Damit können z. B. auch verschiedene Arbeitszeiten und eine unterschiedliche Verfügbarkeit von Angeboten aktuell berücksichtigt werden.

Mit diesem Ansatz lassen sich Kosten für wiederholte Bildaufnahmen einsparen, bei gleichzeitiger Verfügbarkeit aktuellsten Materials. Dies gilt in der Medizin ebenso wie bei kostenintensiven Flugkampagnen zur Aufklärung. Voraussetzung ist die Verfügbarkeit des Bildmaterials über das Netzwerk und insbesondere geeignete Beschreibungen der Bilder. Schon heutige Übertragungsraten reichen aus, um Bildausschnitte und Übersichtsbilder in wenigen Minuten zu verschicken und Ergebnisse in Form von Annotationen oder Berichten auszutauschen. Das Versenden von kompletten Rohdatensätzen kann dabei auf ein Minimum beschränkt werden.

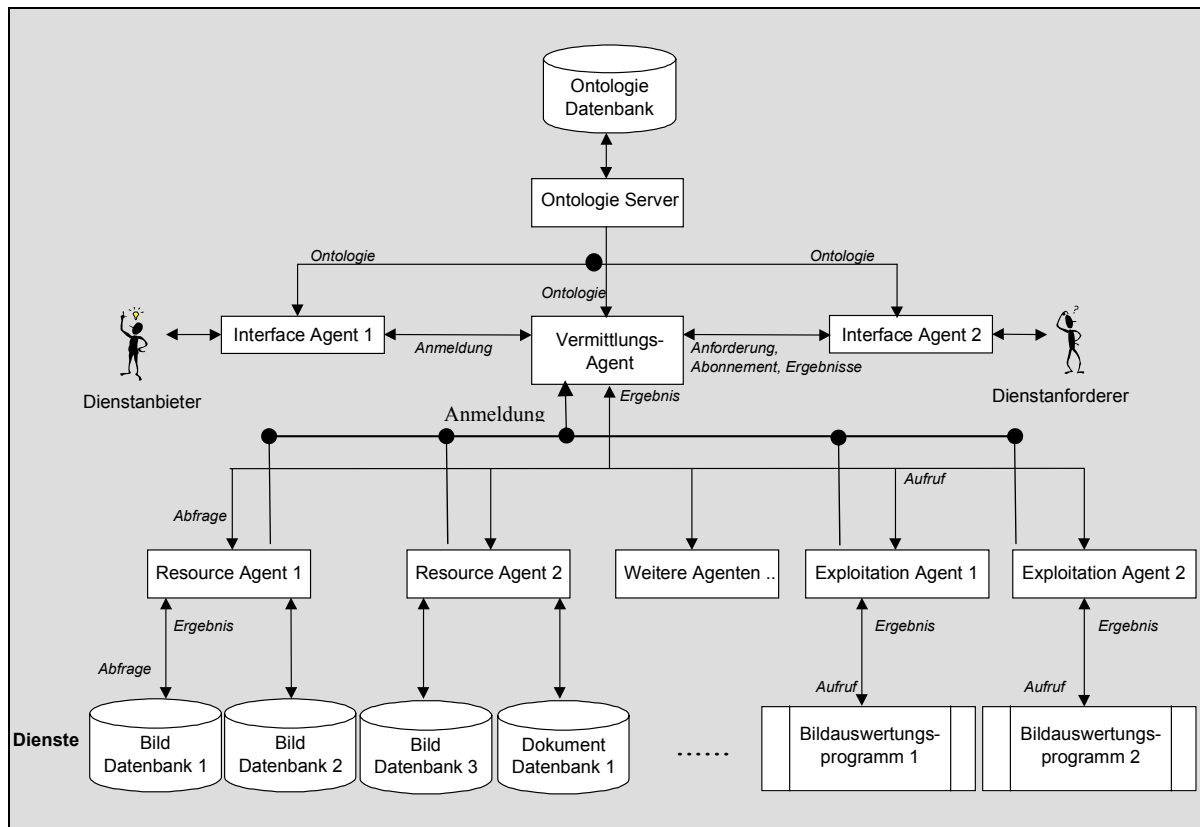


Abbildung 4-1: Zusammenspiel der Software-Agenten.

Die Bildauswertung als Dienstleistung im Netz ermöglicht den effizienten Einsatz aufwendiger und kostspieliger Geräte für z.B. rechenintensive Auswerteverfahren oder die entfernte Nutzung komplexer, wenig mobiler bildgebender Sensoren. Eine weitere, zunehmend wichtigere Möglichkeit bilden Sensornetze, bestehend aus kostengünstigen Sensoren und weitgehend selbstorganisierenden Datenübertragungseinrichtungen (Schönbein et al. 2002a, Schönbein et al. 2004a & Schönbein et al. 2005). Die Bildauswertung kann auf den dafür vorgesehenen Geräten erfolgen, deren Anzahl und Anordnung nunmehr von der geplanten Gesamtauslastung dieser Geräte im Netz abhängt. Dienstreisen von Spezialisten können auf ein Minimum reduziert werden, was insbesondere die Gefährdung dieser Personen in sicherheitskritischen Anwendungen reduziert und auch deren Verfügbarkeit deutlich erhöht. Die im Netzwerk mögliche häufigere Einbeziehung von Experten der jeweiligen Anwendungsdomäne in den Entscheidungsprozess bei der Sensordatenauswertung wird zu zuverlässigeren Aussagen und daraus abgeleitet zu besser abgesicherten resultierenden Handlungen führen. Dies gilt neben der Medizin vor allem im Katastrophenschutz und bei der Überwachung kritischer Objekte.

4.2 Adaptive Benutzungsoberflächen und Interface-Agenten

Interface-Agenten bilden die Schnittstelle zwischen Teilnehmern und dem Netzwerk. Dies gilt für Dienstanbieter gleichermaßen wie für die Anforderer der Dienste. Eine wichtige Aufgabe der Interface-Agenten bildet die jeweilige Anpassung der Benutzungsoberfläche. Diese Anpassung muss bzgl. der Person, ihrer Rolle, ihrer aktuellen Aufgabe, der Datenendgeräte insbesondere zur Visualisierung und der Datenübertragungseinrichtung bzgl. Bandbreite² und Sicherheit vorgenommen werden. Da die Interface-Agenten auf verschiedenen Endgeräten ablauffähig sein sollen, ist bei der Entwicklung auf weitgehende Geräte- und Programm-unabhängigkeit ebenso wie auf verstärkte Modularität zu achten. Um notwendigen Einarbeitungsaufwand bei der Nutzung der Interface-Agenten durch den Anwender gering zu halten, empfiehlt sich die Verwendung der den Nutzern durch das Internet bekannten Browser. Die Sicherheit der Daten und Anwendungen erfordert eine eindeutige Benutzerkennung im gesamten Netzwerk. Hierbei sind Name, Kennwort und mögliche Rollen der Benutzer festzulegen. Über zugeordnete Nutzerprofile lassen sich nach Anmeldung der Benutzer weitere Einstellungen der Benutzungsoberfläche vornehmen. Diese Profileinstellungen umfassen:

- Angaben zu den vom Nutzer rollenspezifisch bereitgestellten Diensten ebenso wie zu den bisher verwendeten Diensten;
- Parameter des Kosten-Nutzen-Modells, wie Grenzwerte bzgl. Kosten und Zeitbedarf, und Gewichtungsfaktoren für dienstspezifische Nutzwerte (vgl. Kap. 4.6);
- Starteinstellungen und zuletzt verwendete Werte zur Voreinstellung der Interessensgebiete, sowohl räumlich als auch zeitlich und thematisch;
- Listen bevorzugter und abgelehnter Dienstanbieter.

Weitere Parameter erlauben die Einstufung der Erfahrung des Benutzers als Netzwerkteilnehmer zwischen Neuling und Experte, was zur entsprechenden Anpassung der Dialogführung des Interface-Agenten führt. So können zwar alle Benutzer Zugriff auf Aufstellungen für Zeitbedarf und Kosten der jeweiligen Dienste nehmen. Erfahrene Benutzer können darüber hinaus auf die vom Vermittlungsagenten vorgenommenen Verkettungen zugreifen, Einzeldienstdaten einsehen und gegebenenfalls durch entsprechende Vorgaben auf die Funktion des Vermittlungsagenten einwirken.

Zur Anmeldung neuer Dienste stellen Interface-Agenten *Formulare* zur Verfügung, die vom Dienstanbieter auszufüllen sind. Die Angaben ermöglichen den Aufruf, die geeignete Parametrierung und die Ergebnisvisualisierung durch den Interface-Agenten. Weiter werden diese Angaben zur Verkettung von Diensten durch den Vermittlungsagenten oder „Information Broker“ bei der „syntaktischen Analyse“ der Beschreibungen bzgl. der Datentypen für Ein- und Ausgabe verwendet. Die Nutzung der Ontologie durch die Interface-Agenten garantiert die „semantische“ Einordnung der jeweiligen Dienste im System und ermöglicht den Interface-Agenten einen entsprechenden dynamischen Formularaufbau. Nicht zuletzt sind die Angaben in den Formularen die Daten zur Berechnung der Nutzwerte zur Auswahl alternativer Dienste.

Die Benutzungsoberflächen der Interface-Agenten sind naturgemäß aufgaben- und gerätespezifisch. Eine zentrale Komponente im Umfeld dieser Arbeit bildet dabei die „Bilddarstellung“, die nicht nur zur Visualisierung der Bilder dient, sondern auch als Hintergrund und Bezugsfläche bei der Eingabe von ortsbezogenen Koordinatenfestlegungen für raumbezogene Abfragen oder zur Vermessung von abgebildeten Objekten (Länge, Breite, Fläche, Volumen, Anzahl, Richtung, Abstand etc.). Auch Überlagerungen von Bildern verschiedener Sensoren,

² Adaptive Agenten senden die Daten in Abhängigkeit von der Bandbreite.

von verschiedenen Zeitpunkten oder aus unterschiedlichen Betrachtungswinkeln sind von der Komponente Bilddarstellung zu leisten. Die Überlagerung mit Karten und Modellen muss dabei sowohl Raster- als auch Vektorgrafik unterstützen. Neben der Bilddarstellung und dem Raumbezug sind Zeitangaben fundamental und daher durch den Interface-Agenten entsprechend zu unterstützen. Zeitangaben werden bei der Informationsrecherche ebenso benötigt wie bei der Fusionierung und Visualisierung der gefundenen Daten. Auch zur Beschreibung der Dienste sowie der Anforderungen an die Dienste werden Zeitangaben benötigt. Exakte Vorgaben von Raum und Zeit über Kartenkoordinaten und/oder Objektnamen sind keineswegs trivial. Bei der Modellierung von Zeitpunkten und Zeiträumen ist auf die unterschiedlichen Zeitzonen zu achten. So modellieren einige Bilddatenbanken den Aufnahmezeitpunkt für ein Bild als Zeitpunkt am Ort des Sensors oder des Auftraggebers, andere wiederum benutzen den Zeitpunkt am Aufnahmeort.

Die Unterstützung von „Previews“ und Statusanzeigen bei umfangreicheren Datentransport oder langen Rechenzeiten ist in der Regel sinnvoll, soweit eine dauerhafte Netzwerkverbindung geschaltet ist. Bei einer notwendigen Minimierung der Verbindungszeiten aufgrund der Sicherheit oder der Kosten muss gegebenenfalls davon Abstand genommen werden.

Abb. 4-2 stellt den Entwurf einer Benutzungsoberfläche für einen Interface-Agenten dar.

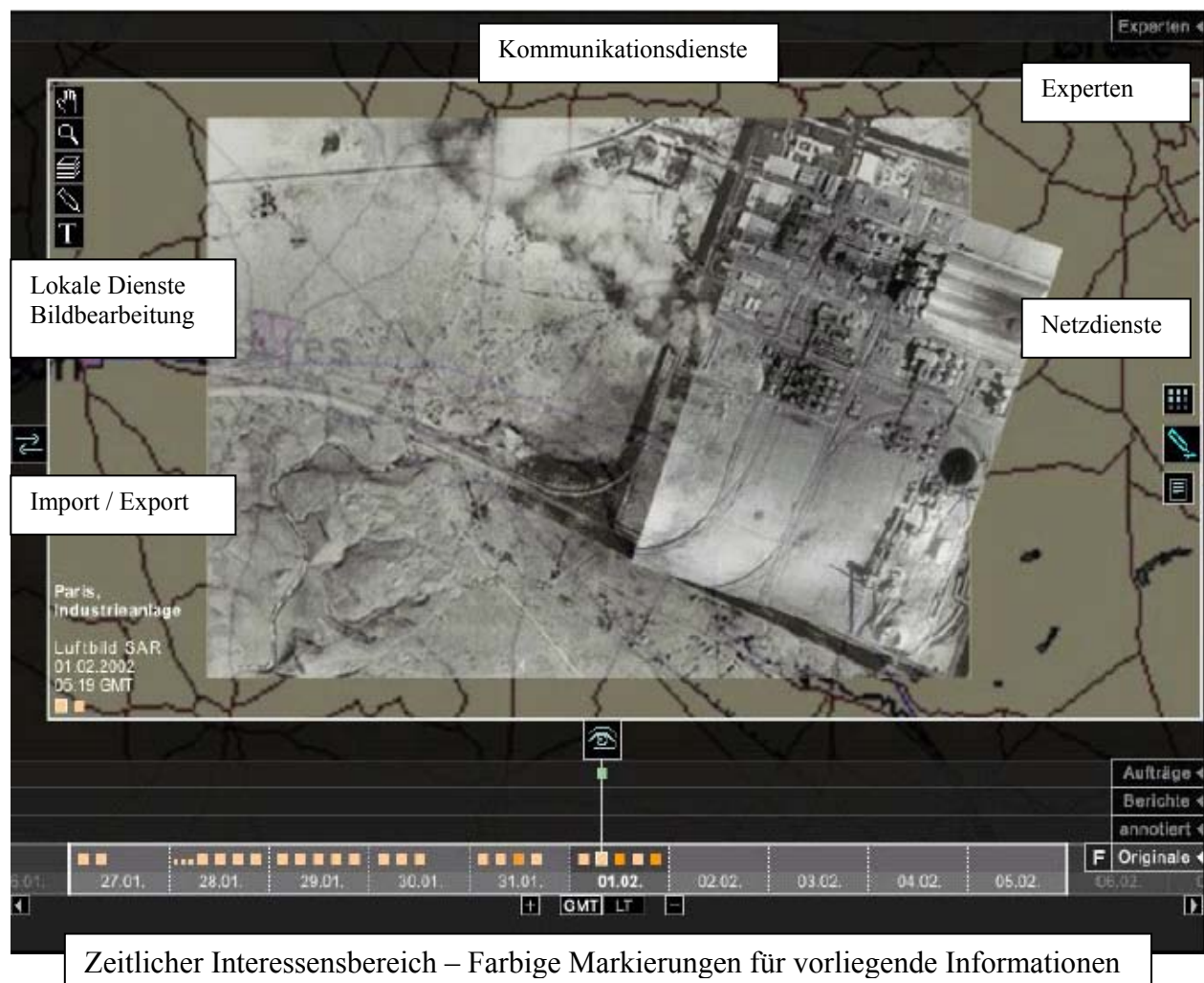


Abbildung 4-2: Entwurf der Benutzungsoberfläche eines Interface-Agenten (aus Böttcher 2002).

Bilder werden bzgl. ihrer Koordinaten georeferenziert angezeigt. Verschiedene Bilder lassen sich dementsprechend überlagern. Das Interessensgebiet des Benutzers ist aus dem Profil heraus eingestellt worden. Eine Zeitachse umspannt den zeitlichen Interessensbereich des Benutzers und markiert im jeweiligen Zeitabschnitt vorhandene Datensätze. Vorliegende Abonnements werden entsprechend markiert (größere Kontraste) und weisen auf evtl. Aktualisierungs-Notwendigkeiten der Anzeige hin. Informationen werden entsprechend der Ontologie in Bilder, annotierte Bilder, Berichte, Meldungen oder Beobachtungsnotizen und Karten unterteilt. In dieser Abbildung sind auch weitere Basisfunktionalitäten des Interface-Agenten zu erkennen. Neben dem Zugriff auf domänenspezifische Dienste umfassen diese den Zugriff auf Standardkommunikationsdienste wie Mail, Chat, Phone, Net-Meeting und entsprechende Hilfsdienste wie Adressbücher, Kalender und Wörterbücher.

Über den Interface-Agenten erfolgt auch die individuelle Bewertung der Dienste, damit bei einer folgenden Anforderung die entsprechende Wertung berücksichtigt werden kann. Spezielle Funktionen sind weiterhin notwendig zur dienstgruppenspezifischen Anpassung der Kosten-Nutzen Parameter (s. Kap. 5), zur Verwaltung von Abonnements und zur Aktualisierung der Ontologie.

4.3 Agenten zur Informations- und Datenbeschaffung

Eine Aufgabe bei der Arbeitsvorbereitung für die interaktive Bildauswertung ist die Informationsrecherche. Die Suche nach Informationen wird heute durch eine Reihe leistungsfähiger Suchmaschinen unterstützt. Geschätzte 10 Milliarden Web-Seiten stehen dem Nutzer zur Verfügung. Davon lassen sich allerdings nur ca. 30% der Informationen (*Suck 2003*) durch Suchmaschinen auch auffinden, da schwerpunktmäßig nur in den HTML-Seiten gesucht wird. Zur Unterstützung der Suchagenten können spezielle Schlüsselwörter mittels „meta tags“ angegeben und zur Suche ausgewertet werden. Einige Suchmaschinen erlauben auch die Suche in Dokumenten, die in speziellen Seitenbeschreibungssprachen, z.B. „PDF“ (Adobe® Portable Document Format) erstellt wurden. Bilddaten, Aufträge, Dossiers, Patientenakten etc. werden in der Regel jedoch in Datenbanken verwaltet und über entsprechende strukturierte Abfragesprachen angesprochen. Daher sind diese Informationen für die Standard-Suchagenten nicht zugreifbar. Kommerzielle Suchmaschinen verwenden „Agenten“, häufig „Spider“ oder „Crawler“ genannt, die permanent im Netzwerk unterwegs sind, sich von „Link“ zu „Link“ hangeln, in die HTML-Seiten hineinschauen und indizierbare Wörter zurückmelden. Um die folgende Indizierung zu erleichtern, werden Wörter auf Stammformen zurückgeführt. Nach einigen weiteren speziellen Untersuchungen, z.B. um Werbeseiten auszufiltern, wird ein „Ranking“ der gefundenen Seiten durchgeführt. Dabei wird die Häufigkeit der Schlüsselwörter auf dieser Seite ebenso benutzt wie die Position der Schlüsselwörter auf der Seite. Schlüsselwörter in der Adresse (URL) ergeben eine besonders hohe Punktzahl. Je weiter vorne im Dokument das Schlüsselwort vorkommt desto höher die Punktzahl.

Nach Überprüfung der Seitenaktualität verbleibt schließlich noch die Auswertung der Verweise. Dazu erhält eine Seite eine Punktzahl in Abhängigkeit von der Anzahl der auf sie verweisenden Seiten. Dabei wird die Punktzahl der verweisenden Seiten zusätzlich berücksichtigt. Dieses „Page Ranking“ (*Brin & Page 2003*) genannte Verfahren bevorzugt Seiten, auf die häufig verwiesen wird. Neue Seiten haben es dadurch schwer hohe Punktzahlen zu bekommen. Da die Arbeitsweisen dieser Verfahren bekannt sind, gibt es auch spezielle Anbieter, die eine Vielzahl ähnlicher Seiten erstellen, die gegenseitig auf sich verweisen und damit einen guten Platz in der Rangliste erhalten. Insbesondere werden Partnerlisten und Werkzeuge zur „künstlichen“ Hochstufung der Einstufung als eigenständige Produkte angeboten. Die gelieferten Seiten wiederum werden dabei schwerpunktmäßig zur Werbung genutzt und entsprechen damit selten den Nutzererwartungen.

Andere Ansätze teilen die Seiten basierend auf der Analyse der „Links“ in Themenbereiche („Web Communities“, *Flake et al. 2002*) ein, die ihrerseits durch spezifische weitere Begriffe beschrieben werden. *Schweiger et al. 2002* verwenden zusätzliche Markierungen („Tags“) in XML-Dokumenten als weitere such-relevante Begriffe. Treten mehrere der Markierungen in einem Text auf, existiert also eine vom Autor gewünschte Beziehung zwischen den verwendeten Markierungen, so führt die Übereinstimmung mit den in der Suchanfrage verwendeten Begriffen zur Verbesserung des „Rankings“ der entsprechenden Seite. Dieses Verfahren ist allerdings auf XML-Dokumente beschränkt und ist aufgrund der heute überwiegenden Zahl von HTML-Dokumenten im Web nur beschränkt einsetzbar. Allgemein lassen sich die unterschiedlichen Verfahren zur Ordnung der gefundenen „Links“ miteinander verbinden um eine Feinabstimmung bzgl. konkurrierender Seiten vorzunehmen, falls ein Verfahren den gleichen Wert für verschiedene Seiten berechnet.

Da ein Großteil der Informationen den zuvor beschriebenen Suchagenten verborgen bleibt, müssen weitere Mechanismen zur Unterstützung der Recherchen ergänzt werden. Wichtigste Informationsquelle sind dabei Datenbanken. Prinzipiell existieren zwei Möglichkeiten um Interoperabilität in diesem Bereich zu erhalten: Standardisierung der Datenmodelle oder der Programmschnittstellen zum Datenzugriff. Beide Möglichkeiten haben jedoch den deutlichen Nachteil, dass heute schon Systeme mit einer Vielzahl unterschiedlicher Datenmodelle und Zugriffsschichten existieren und nicht mehr verändert werden sollen und zusätzlich laufend neue proprietäre Datenmodelle in neuen Applikationen aufgebaut werden. *Aufgrund der speziellen lokalen Anwendungen der Datenbanken existiert bisher auch im Diskursbereich dieser Arbeit kein gemeinsames Datenmodell.* Ein gemeinsames minimales Datenmodell für die Datenbanken einer Domäne ist allerdings die Grundvoraussetzung. Daher müssen Datenmodellbeschreibungen für existierende Systeme entwickelt, in einer Ontologie verfügbar gemacht, durch zwischengeschaltete Software auf ein minimales gemeinsames Datenmodell abgebildet und dadurch gekapselt werden. Mit diesem Ansatz können die operationellen Datenbanken der Anwender unverändert im Netzwerk eingesetzt werden. Kann der Zugriff über Resource-Agenten mittels des minimalen Datenmodells erfolgen, lassen sich weitere Attribute oder Strukturen der Datenbank abfragen und für eine zweite speziellere Abfrage verwenden. Durch Verwendung geeigneter Programmiersprachen und „Middleware“ Komponenten, z.B. JAVA und CORBA kann dabei weitgehende Plattformunabhängigkeit der Resource-Agenten erreicht werden. Ein wichtiges Kriterium, da die Datenbanken auf unterschiedlichen Systemen vorliegen. Ein entsprechendes Vorgehen wurde in *Schönbein et al. 2002a* gewählt und für Bild- und Meldungsdatenbanken aus der taktischen und strategischen bildgestützten Aufklärung erfolgreich erprobt.

Eine Reihe von Standardisierungsbemühungen sind zurzeit im Gange um entsprechende Datenmodelle zu vereinheitlichen, dies gilt insbesondere für Bilddatenbanken (z.B. NSILI - NATO Standard Image Library Interface, *NATO 2002*) und geographische Informationssysteme (GIS, siehe auch *Bartelme 2003*). Ein Erfolg dieser Bemühungen steht jedoch noch aus. Selbst in geschlossenen Anwendungsbereichen wie der militärischen Aufklärung sind definierte Standards und eingesetzte Softwaresysteme häufig nicht kompatibel. Vielmehr sind die eingesetzten Datenmodelle speziell gestaltete Insellösungen für den engeren Einsatzbereich der Anwender. Eine weitergehende Nutzung der Informationen über ein Netzwerk durch andere Anwender, evtl. für andere Aufgaben ist nicht vorgesehen. Entsprechende allgemeinere Ansätze, insbesondere unter Beachtung der Sicherheitsaspekte, sind darüber hinaus kostenträchtig und daher meist nicht realisierbar. Diese Erfahrungen zeigen auch, dass die zuvor allgemein beschriebene Problematik der Informationssuche im Internet auch in geschlossenen anwendungsspezifischen „Intranets“ auftritt.

Erst in den letzten Jahren, durch die steigende erfolgreiche Verbreitung des Internets und einer globaleren Sichtweise der Anwender, werden Forderungen nach Interoperabilität in die Anforderungskataloge für Bildauswertesysteme aufgenommen. Dabei konzentriert man sich meist, wie auch im Forschungsprojekt AIGA (Nolan 2003, vgl. Kap. 2.3) auf syntaktische Aspekte der Datenbanken und Dienste. Notwendige inhaltsbezogene Modellierungen der Daten und objektbezogene Modellierung der Dienste in entsprechenden Ontologien (Kap. 5) werden kaum verwendet. Dies gilt speziell auch für Objektdatenbanken, die neben den Objektmodellen auch beziehungsspezifische Verbindungen der einzelnen Objekte in den Datenbanken ablegen und damit unterschiedliche Verwendungsmöglichkeiten der Objektmodelle unterstützen, z.B. Spezialisierung („IS_A“), Bauteil- („Has_A“), Rollen- („Acts_As“) oder Einsatz- („Used_By“)-beziehungen (Abb. 4-3). Dabei bilden diese Modelle die Grundlage zur Beantwortung der Nutzerfragen:

- Welche Merkmale haben die Objekte?
- Wie zeigen sich diese Merkmale?
- Wie wird das abgebildete Merkmal genannt?

Das Fehlen entsprechender Modelle liefert eine weitere Motivation für die vorliegende Arbeit.

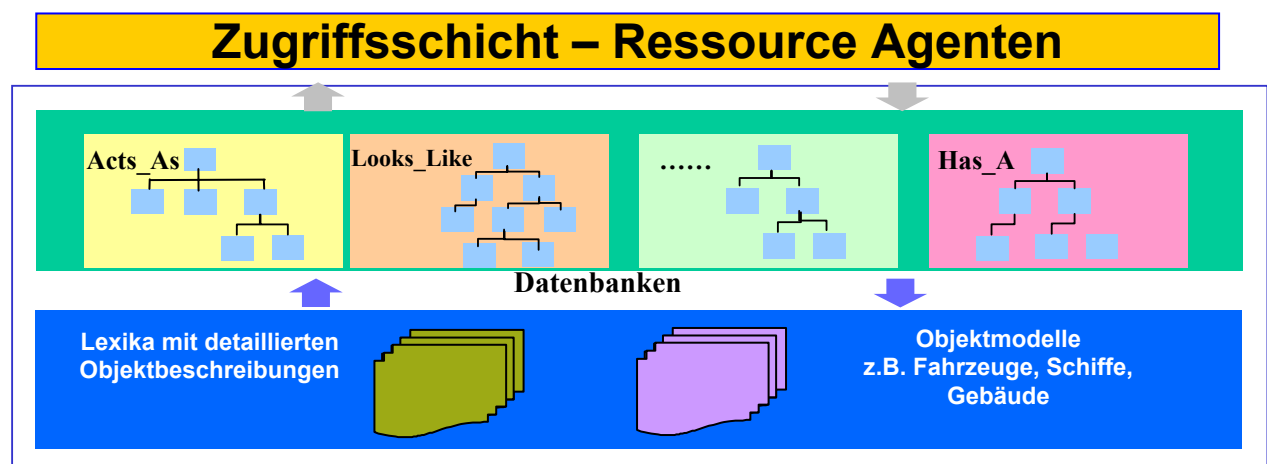


Abbildung 4-3: Struktur einer Objektdatenbank mit Beschreibungen & beziehungsspezifischen Sichten.

4.4 Agenten zur Unterstützung der Bildauswertung

Die Möglichkeiten zum Zugriff auf geeignetes Kartenmaterial (Raster- und Vektorkarten) ist eine wichtige Voraussetzung für eine Reihe von zukünftigen Diensten („Location Based Services“), die insbesondere durch die weite Verbreitung von modernen PDAs und Mobil-Telefonen ermöglicht werden. Hier können Web-basierte GIS-Systeme eingesetzt werden (Sester 2002). Konvertierungsdienste für verschiedene Koordinatensysteme können dabei soweit notwendig einbezogen werden. Der netzwerkweite Zugriff auf aktuelle und historische Sensordaten sowie auf Auswertungsberichte, Kollateraldaten und Objektmodelle ermöglicht darüber hinaus eine zuverlässigere Auswertung abgebildeter Szenen. Neben kooperativer Auswertung mit Experten durch geeignete Unterstützung der Kommunikation (Auffinden der Experten, Verbindungsaufnahme, sicherer Daten- und Informationsaustausch) werden auch verschiedene Dienste durch die Nutzung von Programmen und Geräten über das Netzwerk ermöglicht. Zu diesen Diensten zählen:

- „Screening“-Verfahren zur schnellen Reduktion der großer Datenmengen auf auffällige Bereiche (*Peinsipp-Byma et al. 2004*),
- Zählverfahren (Zellen eines Typs in der Medizin, Waffensysteme bei der Abrüstungskontrolle),
- Vermessungshilfen (z.B. Analyse der Kapazität eines Tanklagers oder der Größe von Agrar-Flächen),
- Detektionsdienste (Änderungen, auffällige Bereiche, spezielle vorgegebene Strukturen),
- Klassifikationsdienste (Interaktive Entscheidungsunterstützungssysteme, siehe z. B. *Geisler et al. 2000*),
- Referenzierungsverfahren, z.B. Geokodierung, sowie Verfahren zur „Bild zu Bild“ oder „Bild zu Karte“ Referenzierung,
- Ortsbezogene Suchverfahren (Wo ist ..?, Wie weit ..?, Auf welchem Weg ..?; etc.),
- Fusionierungsdienste (Integrierte Darstellung multisensorieller oder multitemporaler Daten),
- Annotationsdienste (Automatische Beschriftung von Bildern auf Basis von Berichten) ,
- Simulationsdienste (Künstliche Generierung von Bildern auf Basis von Modellen),
- Fernsteuerung von Sensoren und Bilddarstellung über das Netzwerk,
- und auch die Verfahren zur ikonischen und symbolischen Bildverarbeitung.

Analog zu den Zugriffen auf existierende Datenbanken muss auch die Kommunikation mit den Verfahren durch entsprechende Ausführungs-Agenten („Execution Agents“) gekapselt werden, um notwendige Änderungen existierender Programme zu vermeiden. Entsprechende Beschreibungen zu den Diensten sind zu erstellen. Durch passend gestaltete Formulare und dahinter liegende Beschreibungsmuster („Templates“) kann dies vereinfacht werden. Die heute im Internet zur Beschreibung von Web-basierten Diensten verwendeten Beschreibungen sind allerdings unzureichend. Hier ist eine deutliche Erweiterung der Dienstbeschreibungen, wie sie bei WSDL, SOAP etc. verwendet werden, notwendig. In den Beschreibungen müssen eine Reihe von Informationen zu den Diensten angegeben werden, in denen die semantische Anreicherung der Dienstbeschreibungen zum Ausdruck kommt. Die entsprechenden Strukturen müssen in der Ontologie (vgl. Kap. 5) beschrieben werden. Die notwendigen Angaben sind in Tabelle 5 dargestellt.

Zusätzlich werden systemintern weitere Attribute benötigt um zur Laufzeit generierte Informationen zu den Diensten zu speichern:

- Eindeutige ID (netzwerkweite Kennung)
- Sprache („Wrapper“) – Agentenkommunikationssprache, z.B. ACL – Protokoll - dient der systeminternen Auswahl passender Agenten-Muster zur Generierung der „Kapsel“ für den Dienst. Diese Angabe wird von der Agentenplattform benötigt und ermöglicht eine Erweiterbarkeit um andere Sprachen. Die einzelnen „Sprachakte“ (z.B. „ask“, „reply“) werden durch eine Meta-Ontologie (vgl. Kap. 5), welche die Definition der Wissensrepräsentation selbst zum Gegenstand hat, festgelegt. Als ein Beispiel sei hier die OKBC-Ontologie genannt (Open Knowledge Base Connectivity, *Gomez-Perez et al. 2004*).
- Sprache („Content“) – Nur in der Ontologie beschriebene Objekte können in die Nachrichten eingetragen werden. Legt auch die Codierungsform der Nachrichten, z.B. XML, RDF fest.
- Angaben zur Verfügbarkeit des Dienstes
- Parameter zur Mobilität (werden in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt)

Angabe zum Dienst	Beschreibung
Name	Dient zur Kennzeichnung des Dienstes für den Benutzer
Typ	bezogen auf die Rolle des Dienstes im System, z.B. Ressourcen-Agent
Eigenschaften	Zur Unterscheidung gleichartiger Dienste (z. B. Auflösung bei Druckdiensten)
Beschreibung	dient dem Nutzer zur Information über den Dienst
Anzahl, Typ, Wertebereiche für die Eingabedaten	Syntaktische Beschreibung der Eingangsdaten (z. B. „Gif-Bild“)
Benötigte Eingangsinformation	Semantische Spezifikation der Eingangsparameter gemäß der Ontologie der Anwendungsdomäne, z. B. „Luft-Bild“.
Interaktionskonzepte zur Parametrierung	Spezifikation der gewünschten Benutzungsoberflächenelemente zur Parametereinstellung
Vorbedingungen an die Eingangs-Informationen	Entspricht dem notwendigen Systemzustand vor Aktivierung des Dienstes. Z. B. Kombinationen von Eingangsparametern wie „Infrarot, Nachtaufnahme, Wüste“ für einen Dienst zur Detektion von „Fahrzeugen“ in Luftbildern.
Anzahl, Typ, Wertebereiche für die erzeugten Ausgabedaten	Syntaktische Beschreibung der Ergebnisdaten
Zurückgelieferte Informationen	Semantische Spezifikation der Angaben zum Ergebnisraum in der Domänen-Ontologie; dies beinhaltet Angaben zu der diesem Dienst zugrunde liegenden taxonomischen Sicht und zu relevanten Konzepten in der Domäne
Nachbedingungen	Anbieterseitig als Zusicherungen für und nutzerseitig als Anforderung an die gelieferten Informationsobjekte zu verstehen. Kann vom Dienstanbieter aber auch vom Dienstansforderer vorgegeben werden.
Kontextbedingungen	Kontextbedingungen müssen während der Laufzeit des Dienstes erfüllt sein. Zum Beispiel die kontinuierliche Versorgung mit Bilddaten (Live-Bilder). Hier kann auch eine Abhängigkeit von anderen Diensten angegeben werden, z.B. um anbieterspezifische Dienst-Ketten zu erzwingen.
Zugehörige Dienstgruppen	z.B. Detektionsprogramm; diese Einteilung ist bezogen auf die Rolle des Dienstes im Anwendungsgebiet. Mitglieder einer Dienstgruppe haben die gleiche Sicht auf die Domänenontologie.
Ontologie-Zugehörigkeit	Im Netzwerk können von verschiedenen Organisationen / Dienst Anbietern unterschiedliche Ontologien verwendet werden.
Eigentümer	Angaben zur Person oder Organisation
Kosten	Kosten des Dienstes (vgl. Kap. 4.6)
Zeitbedarf	Zeitbedarf für die Erbringung des Dienstes
Qualität	Selbsteinstufung durch den Dienstanbieter (vgl. Kap. 4.6)
Zugriffsbeschränkungen	bzgl. Rolle, Person, Zeitraum und Funktionalität

Tabelle 5: Angaben zur Beschreibung eines Dienstes.

Dienstanbieter können ebenso wie der Vermittlungsagent automatisch Verkettungen als Dienste beschreiben und ablegen. Dazu müssen die o. a. Informationen für den neu entstandenen Dienst generiert werden. Der ontologie- und agentenbasierte Ansatz zur Beschreibung von Diensten in einem Netzwerk ermöglicht die Nutzung geeigneter Geräte, ggfs. Parallelisierung der Verfahren, Nutzung neuester Technologie, insbesondere neue Verfahren, Vergleich verschiedener Verfahren und eine Optimierung des Einsatzes unter Nutzung eines Kosten-Nutzen-Modells.

4.5 Vermittlungsagenten und Dienste

Ein Vermittlungsagent muss als verbindendes Element in einem kooperativen Informationssystem die Integration und Koordination der Agenten übernehmen. Dabei fallen unterschiedliche Aufgaben an:

- Verwaltung der angemeldeten Dienste und Nutzer (Agent Directory Service – Gelbe Seiten)
- Syntaktische und semantische Analyse der Nutzeranfragen über den Interface-Agenten
- Syntaktische und semantische Analyse der Dienstbeschreibungen
- Zugriff auf die Ontologie
- Auswertung von Domänenregeln (Axiome der Ontologie)
- Auffinden geeigneter Dienste
- Herstellen der Verbindung zwischen Anfragenden und Dienst (Vermittlung – „Matchmaker“)
- Verhandlungen mit Dienst Anbietern und Auswahl geeigneter Dienste als „Broker“
- Anwendung des Kosten-Nutzen-Modells (Berechnung der Nutzwerte, Abgleich der gefundenen Dienste mit den von Nutzer vorgegebenen Profileinstellungen)
- Kommunikation mit anderen Agenten („Interface-“, „Ressource-“, „Execution-“ und ggfs. mit weiteren Vermittlungsagenten)
- Pläne erstellen für eine Verkettung von Diensten (verteilt Problemlösen – „Facilitator“)
- Abarbeitung der Pläne (Ausführung der Dienste anstoßen)
- Speichern der Pläne für zukünftige Nutzung
- Zugriff auf Nutzerprofile (Grenzwerte für Kosten, Zeitbedarf, Qualität; Gewichtungsfaktoren für Nutzwertberechnung; Favoritenliste, auszuschließende Dienste)
- Ablaufprotokollierung („Monitoring“)
- Generierung automatischer Hinweise auf benachbarte Informationen, alternative Dienste
- Abonnements verwalten (periodische Abfragen in einstellbaren Zeitscheiben oder mittels der Installation von Triggern)
- Synchronisation zwischen Dienst und Anforderung. Dabei muss eine Unterbrechung der Verbindung toleriert werden.

Da der Vermittlungsagent einen Flaschenhals bzgl. der Kommunikation darstellt, besteht die Möglichkeit mehrere verbundene Vermittlungsagenten („Federation“) einzusetzen. Diese können als Kopien fungieren oder sind als Cluster für verschiedene Gruppen von Agenten zuständig (*FIPA 2002*).

Der Vermittlungsagent muss zum einen als **syntaktischer** Vermittler arbeiten. Zu den Aufgaben des syntaktischen Vermittlers gehört das Abgleichen der Dienst-Signaturen, d.h. der Ein- und Ausgabedatentypen, der an diese Typen gestellten Bedingungen und der den Diensten

zugeordneten Attribute. Der Object Request Broker eines CORBA-basierenden Systems fungiert als syntaktischer Vermittler. Die syntaktische Spezifikation der Schnittstellen erfolgt dabei in der Sprache „IDL“. Für „Web Services“ wird die syntaktische Vermittlung aufbauend auf WSDL/SOAP realisiert. Die Beschreibung der Schnittstellen beruht auf dem XML-Format. Die zusätzliche Aufgabe der **semantischen Vermittlung** erfordert die Berücksichtigung der Inhalte der Informations-Objekte und ihrer internen Beziehungen. Dabei erfolgt der Abgleich semantischer Informationen mit den einzelnen Attributen der Dienst-Struktur („Capability-Brokering“). Die semantische Beschreibung umfasst die Bereitstellung der Konzepte der relevanten Domäne, die dieser Dienst in seinen Informationsbegriffen abdeckt (vgl. Kapitel 5).

Ein wichtiger Bestandteil des vorliegenden Architektur-Modells ist das **Dienst-Konzept**. Dienste können auf der Grundlage ihrer Dienstbeschreibungen von anderen Diensten zur Laufzeit aufgebaut werden. Die Beschreibung eines Dienstes lässt sich grob unterteilen in einen semantischen Bereich und einen syntaktischen Bereich. Der semantische Bereich umfasst unter anderem Konzepte wie Ergebnisraum und Dienstbeschreibung, mit denen die Leistungen, die der Dienst erbringt, beschrieben werden. Der syntaktische Bereich referenziert Eigenschaften, die den Ablauf des Dienstes und die von ihm benötigten Daten beschreiben. Das Auffinden von „passenden“ Diensten erfordert nun das Messen der „semantischen Distanzen“ zwischen den Positionen der Domänenkonzepte im Hierarchiebaum entlang binärer Relationen. Die binären Relationen sind in diesem assoziativen Netzwerk (Generalisierung, Spezialisierung, Synonyme) mit einem vom System initialisierten und vom Nutzer beeinflussbaren Vertrauenswert gewichtet. Schon bei der Registrierung von Diensten muss die **Dienststruktur** (vgl. Tab. 5) mittels Ähnlichkeitsfunktionen ausgewertet werden. Die Verfügbarkeit der Dienste sowie Kosten- und Nutzwerte müssen berechnet werden.

Die Aufgabe des Vermittlungsagenten ist zunächst die Analyse der Nutzeranfrage und das Aufbrechen dieser in einzelne Anfragen nach Diensten und Informationen. Hier kann zwischen nicht weiter verfeinerbaren „atomaren Diensten“ und zusammengesetzten Diensten („**Dienst-Makro**“) unterschieden werden. Jeder zusammengesetzte Dienst hat einen **Kollaborationsplan**, der den Zusammenhang zwischen einzelnen Diensten über Dienststrukturelemente beschreibt. Abb. 4-4 stellt die graphische Darstellung eines Beispiels für einen Kollaborationsplan dar. Die Konstruktion eines Dienst-Makros erfolgt mittels Dienststrukturelementen und atomaren Diensten basierend auf vereinbarten Konstruktionsregeln (Abb. 4-5). Die Beschreibung jedes atomaren Dienstes enthält Vor-, Neben- und Nachbedingungen. Eine vollständige „Workflow“-Modellierung mit Strukturbeschreibungen sowie der Modellierung der Daten- und Kontrollflüsse ist für diese Anwendung bisher nicht vorgesehen.

Die **Planungskomponente** des Vermittlungsagenten generiert nun einen Kollaborationsplan zur Bearbeitung der Anfrage anhand dessen die notwendigen Dienste aktiviert und die zurückgelieferten Daten gesammelt werden. Dabei sind die Ansprüche des Nutzers an die Qualität und die Kosten des Dienstes zu berücksichtigen. Dazu ist der Zugriff auf die Nutzerdatenbank notwendig. Des Weiteren ist eine Kosten-Nutzen-Rechnung zur Auswahl konkurrierender Dienste notwendig. Die passenden Dienste werden über den syntaktischen und semantischen Abgleich der Dienstbeschreibungen ermittelt. Verfügbarkeit der Dienste (eventuell muss die Anfrage verzögert werden) und die dienst-spezifischen Vorbedingungen müssen überprüft werden. Dem Aufruf eines Dienstes kann eine Verhandlungsphase vorausgehen („contract-net-protocol“), wenn es mehrere zu diesem Informationsobjekt konkurrierende Dienste aus derselben Dienstgruppe gibt, die z.B. dynamische Nutzungskosten besitzen.

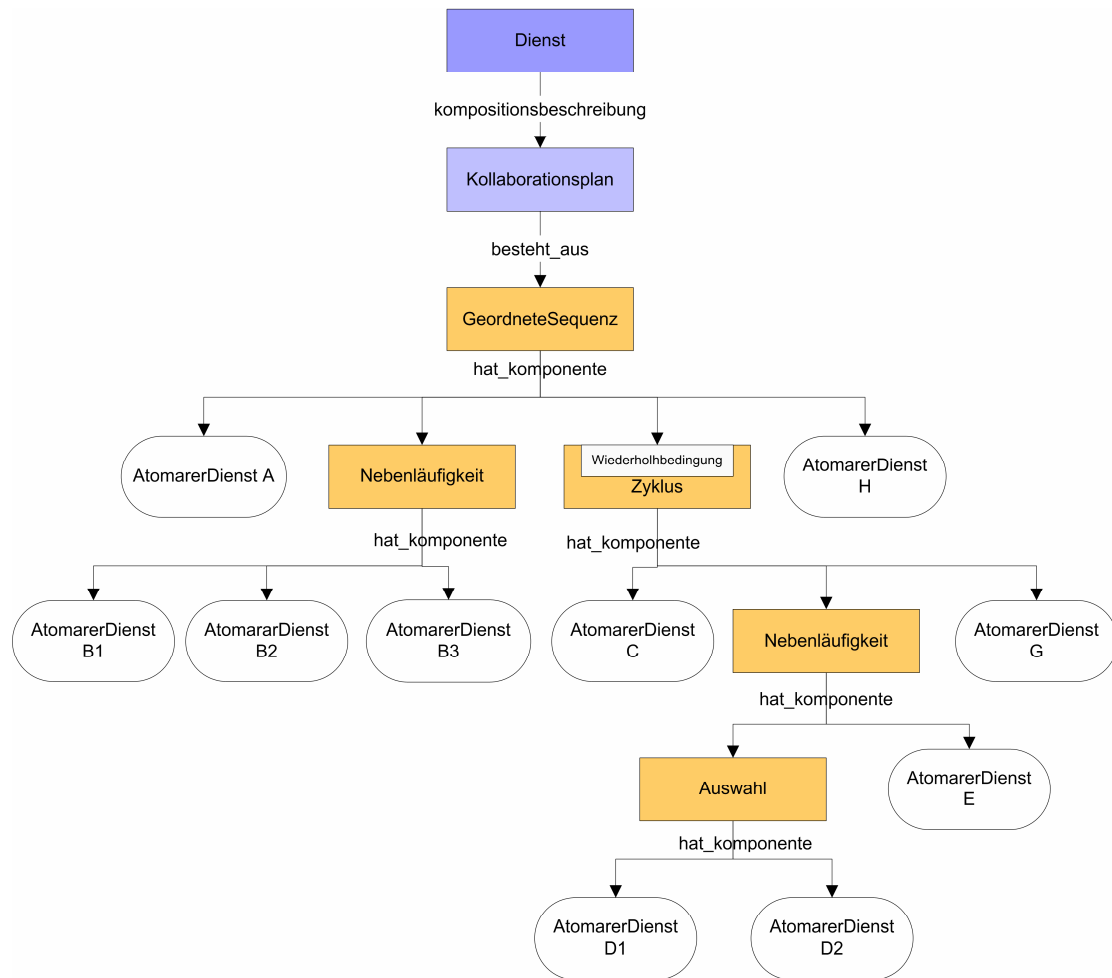


Abbildung 4-4: Beispiel eines Dienst-Makros mit einem Kollaborationsplan (aus Reinert 2004).

<ADienst>	
< Dienststrukturelement >	::= <Nebenläufigkeit> <Auswahl> <Sequenz> <Zyklus>
<Sequenz>	::= <GeordneteSequenz> <UngeordneteSequenz>
< GeordneteSequenz >	::= <ADienst> <Dienststrukturelement>
	{
	[<ADienst> <Dienststrukturelement>]
	[<Dienststrukturelement> <ADienst>]
	[<Dienststrukturelement> <Dienststrukturelement>]
	[<ADienst> <ADienst>]
	}
	<ADienst> <Dienststrukturelement>
<UngeordneteSequenz>	::= {<ADienst> <Dienststrukturelement>}
	{<Dienststrukturelement> <ADienst>}
	{<Dienststrukturelement> <Dienststrukturelement>}
	{<ADienst> <ADienst>}
<Nebenläufigkeit>	::= {<ADienst>} {<Dienststrukturelement>}
<Auswahl>	::= {<ADienst>} {<Dienststrukturelement>}
<Zyklus>	::= <ADienst> <Dienststrukturelement>
< Kollaborationsmodell >	::= <Sequenz>
[] optional { } beliebig oft wiederholbar ADienst steht für AtomarerDienst	

Abbildung 4-5: Konstruktionsregeln für ein "Dienst-Makro" (aus Reinert 2004).

Die Anfrage eines bestimmten Objekts der Anwendungsdomäne kann eine Reihe von Anfragen an verwandte Objekte auslösen. Die für einen Dienst sinnvollen Verwandtschaftsgrade (z.B. Klasse-Unterklasse-Beziehung) sind in der jeweiligen Ergebnisraum-Spezifikation anzugeben. Die Ausführung der Dienste wird angestoßen. Nun erfolgt das Sammeln der gefundenen Objekte und der evtl. aufgetretenen Ausnahmen (Warnungen, Fehler). Vor der Weiterleitung der Ergebnisse erfolgt noch der Abgleich der Antwortdaten mit den Nachbedingungen zur Überprüfung. Die gewonnenen Daten inkl. der Angaben zu Qualität, Kosten und Nutzen, Bewertung und Schema des Gewinnungsprozesses werden gespeichert und an den jeweiligen Interface-Agenten geliefert.

Die Arbeitsweise des Vermittlungsagenten basiert auf Bedingungen und Regeln für Objekte und Relationen. Das Regelwerk ist als axiomatisches Wissen Bestandteil der Wissensbasis (vgl. Kap. 5 – Ontologie) und von der Implementierung des Vermittlungs-Agenten getrennt. Die **Regelmaschine** als Komponente des Vermittlungs-Agenten muss beim Eintritt eines neuen Elements (z.B. des in der Anfrage enthaltenen Informationsobjekts) in die Wissensbasis aktiv sein, um alle Bedingungsteile der vorhandenen Regeln zu überprüfen und die notwendigen Aktivitäten anzustoßen.

Während die Zustände der Dienste und Dienst-Makros über entsprechende Prozesszustände modelliert und vom Vermittlungs-Agenten berücksichtigt werden können, beinhaltet der „Zustand einer Information“ eine Abhängigkeit von der Historie, d. h. dem Entstehungsprozess der Information. Das Bereitstellen von Konzepten zur Beschreibung der Bearbeitungshistorie einer Information (z. B. „Bild“ in Abb. 4-6) ergibt sich aus der Notwendigkeit, dass diese Angaben notwendig sind, um über den Kontext der Informationsentstehung die Qualität durch den Konsumenten der Information beurteilen zu können. Zu dieser Beschreibung wird das als „Klasse“ modellierte Konzept der **Historie** eingeführt.

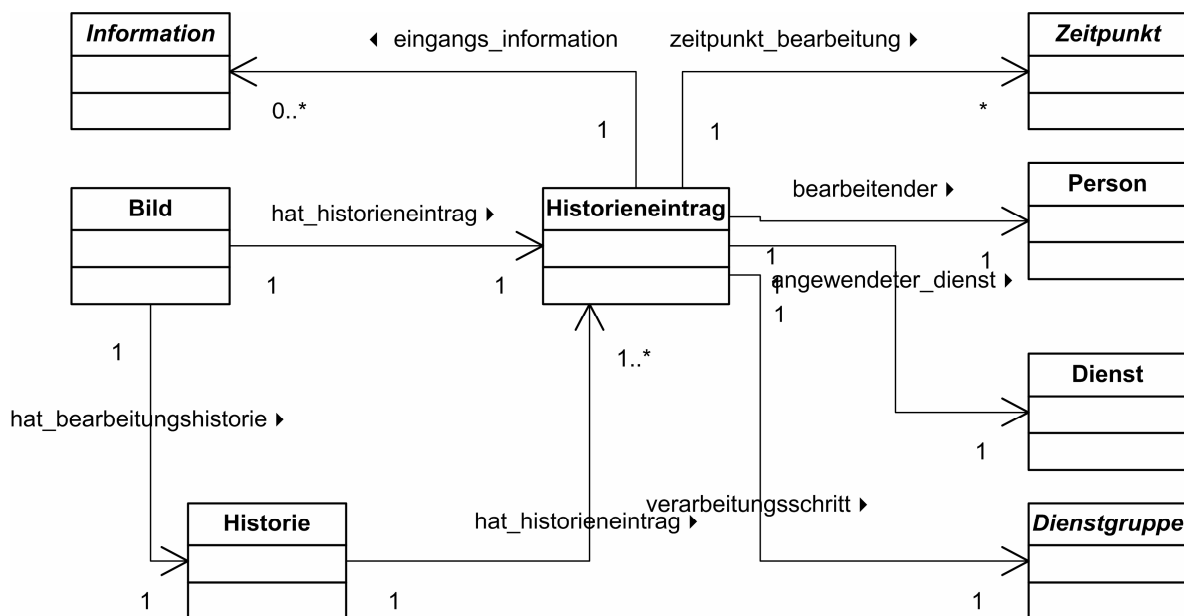


Abbildung 4-6: Modellierung des Historienkonzeptes am Beispiel „Bild“ (aus Reinert 2004).

Das Mitschreiben der Historie erfolgt nur auf Verarbeitungsschritten, die durch das System angebotene Dienste ausführen. Andere Verarbeitungsschritte sind nicht eindeutig nachvollziehbar bzw. beschreibbar, da keine allgemeingültigen Definitionen dafür angeboten werden.

Die Historie einer Information vor Eintritt in das System muss durch den Dienstleister über eine Freitexteingabe beschrieben werden. Dabei umfasst die Aussage „vor Eintritt in das System“ alle Ver- und Bearbeitungsschritte auf Informationen, die nicht auf der Grundlage der im System angebotenen Dienste getätigt werden. Neben dem Konzept der Historie kommt dem Konzept Historieneintrag eine zentrale Rolle zu. Jedes Verfahren (Dienst), das ein Ergebnis produziert, muss in dem Ergebnis einen Historieneintrag tätigen. Bei Diensten, die über das System online verfügbar sind, erfolgt das durch den entsprechenden Softwareagenten. Bei Offline-Diensten, z.B. Expertisen bestimmter Experten, tätigt der Bearbeiter den Historieneintrag. Das bedeutet: Nach jedem abgeschlossenem Bearbeitungsschritt muss nach der Bekanntmachung im System eine Instanz dieses Konzeptes (genauer: eine Instanz der das Konzept realisierenden Klasse) erstellt werden und der korrespondierenden Informationsinstanz (Bildinstanz) über die Mussbeziehung „hat_historieneintrag“ zugeordnet werden. Damit besitzt jede Informationsinstanz nur einen Verweis auf den zuletzt durchgeführten Verarbeitungsschritt. Auf Grund der Kardinalität dieser Beziehung muss nach jedem Verarbeitungsschritt, der eine Veränderung bedingt oder ein (neues) Ergebnis erzeugt, eine entsprechende Informationsinstanz generiert werden. N Verarbeitungsschritte, die auf einer Eingangsinformation einer Verarbeitungskette ausgeführt werden, entsprechen N Historieneinträge und N Informationsinstanzen. Die Kardinalität der Beziehung ergibt sich aus der Gesamtmodellierung des Dienstkonzeptes.

Über die Zuordnung einer Dienstgruppe zu dem Historieneintrag kann eine Beschreibung des allgemeinen Verfahrens erhalten werden. Die **Dienstgruppen** beschreiben die dem System bekannten Verfahren auf der Grundlage allgemeingültiger Attribute. Zu diesen Verfahren lassen sich die einzelnen Dienste zuordnen. Dieses Konzept entspricht einer Klassifizierung, die es dem Dienstanbieter erlaubt, seine Dienstleistung thematisch einzuordnen. Der Verweis auf den Dienst ermöglicht den direkten Zugriff auf das konkret angewendete Verfahren. Wesentlich ist in dieser Form der Modellierung der Historie, dass sie dynamisch zur Laufzeit für die der Information (Bild) entsprechende Instanz aus der Verarbeitungskette ermittelt werden muss. Konkret bedeutet das, dass die Relationen „hat_verarbeitungshistorie“ und „hat_historieneintrag“ erst dynamisch nach einer Anfrage mit Werten belegt werden können. Daraus folgt, dass die Instanz eines Historienkonzeptes ebenfalls erst dynamisch zur Laufzeit nach einer konkreten Nachfrage instantiiert wird. Durch die Rückwärtsverkettung auf die Eingangsinformation ist die Möglichkeit gegeben, die Verarbeitungskette zeitlich rückwärts gerichtet zu konstruieren. Dieses Informationskonzept referenziert die Eingangsdaten, auf die der Dienst angewendet wurde. Die Eingangsdaten können mehrere Konzepte oder ein einzelnes Konzept umfassen, aus denen eine neue Information generiert wird. Wenn eine Information zum ersten Male im System nach der Ausführung des entsprechenden Dienstes bekannt ist, besitzt der erste Historieneintrag keinen Verweis auf Eingangsdaten, die einer konkreten Informationsinstanz entsprechen. Diese Tatsache ist darin begründet, dass nur Verarbeitungsschritte innerhalb des Systems berücksichtigt werden. Die Beschreibung der Daten auf deren Grundlage dieser Dienst ausgeführt wurde, müssen aus der Dienstbeschreibung abgeleitet werden oder vom Anbieter über eine Freitextbeschreibung aufgeführt werden. Sie sind dann in der resultierenden Bildinstanz enthalten. Die von dem Historieneintrag referenzierte Personeninstanz beschreibt die Person, die den Dienst ausgeführt hat.

Die Zeitinstanz, die von dem Historieneintrag referenziert wird, entspricht immer der Zeitangabe, ab dem die Information dem System in Form einer Instanz bekannt gemacht wurde bzw. zugreifbar ist. Sie ist identisch mit dem Zeitpunkt der letzten Änderung, die in der Informationsinstanz eingetragen wird. Die Zeit, die dafür maßgeblich ist, ist der Zeitpunkt des letzten (schreibenden) Systemzugriffs auf diese Instanz, da Informationsinstanzen immer infolge einer Dienstausführung generiert werden. Prinzipiell müssen von diesem Zeitpunkt an zwei

weitere Zeitpunkte unterschieden werden. Diese stehen nicht unmittelbar in Zusammenhang mit der Historie, werden hier aber zum besseren Gesamtverständnis genannt. Das ist zum einen der Zeitpunkt, an dem die eigentliche Information erstellt worden ist und zum anderen der Zeitpunkt, ab dem eine Information als gültig (verbindlich) angesehen wird. Als Beispiel sei hier eine *Beobachtung* genannt. Sie wird von einem Beobachter gemacht und zu einem bestimmten Zeitpunkt erstellt und schriftlich verfasst (außerhalb des Systems). Nach einer anschließenden Prüfung durch einen Vorgesetzten wird diese Beobachtung als gültig erklärt und kann über einen Dienst dem System bekannt gemacht werden. Insbesondere Bilddaten besitzen noch explizit einen Aufnahmezeitpunkt, der auch keine Verbindung zu dem Zeitpunkt der Bekanntmachung des Bildes im System hat. Es ist eine systemunabhängige Eigenschaft des Bildes.

4.6 Kosten-Nutzen-Modell

Die Kosten für Dienstleistungen und Informationen im Umfeld der interaktiven Bildauswertung können unter zwei Aspekten betrachtet werden: Finanzielle Kosten und zeitlicher Bedarf. Die Berücksichtigung und jeweilige Gewichtung der Kostenarten ist anwendungs- und nutzerspezifisch und von diesem selbst vorzunehmen. Beide Kostenarten setzen sich aus den Einzelkosten für die Dienstleistung / Information, die Übertragung der Daten und für die Vermittlung zusammen. Finanzielle Kosten lassen sich in der jeweiligen Währung berechnen. Die zeitlichen Kosten stellen den Zeitbedarf bis zur Befriedigung einer Nutzeranfrage dar. Sie umfassen systeminterne Einzelzeiten für Anfrageformulierungen, Expertisen, Rechenzeiten, Datenübertragungszeiten sowie für die Ergebnisfusionierung. Parallel ablaufende Aktivitäten sind für die Minimierung der zeitlichen Kosten daher sehr vorteilhaft, soweit der Nutzer nicht über einzelne Zeitbudgets für die jeweiligen Aktivitäten abrechnen muss. Der Zeitbedarf und auch die finanziellen Kosten hängen dabei von der Art der Dienstleistung, von den einzusetzenden Ressourcen und von Übertragungskapazitäten ab. Aber auch von anwendungsspezifischen Bildinhalten, die vor der Durchführung der Dienstleistung und insbesondere auch vom Anforderer der Dienstleistung nur schwer abgeschätzt werden können.

Zum Beispiel kann das schon das Auftreten einzelner Schatten in Bildern unvorhergesehene detaillierte Analysen erfordern. Im Sommer 2002 mit dem Jahrhunderthochwasser an der Elbe wurden auch Auswertungen von Infrarot-Luftbildern zur Kontrolle von Deichen, die mittels Sandsäcken in aller Eile aufgebaut werden mussten, durchgeführt. Die Bildauswertung diente u. a. zur Überprüfung der Dichtheit, hier muss auf durchsickerndes Wasser geachtet werden. Da die Hochwassersituation laufenden Änderungen, insbesondere auch durch die notwendigen menschlichen Eingriffe zur Bewältigung der schon eingetretenen Bedrohungen und Schäden, unterliegt, ist das Informationsalter also die zeitlichen Kosten hier entscheidend. Schnell sind sonst veraltete Expertisen, bzw. auf älterem Bildmaterial beruhende Expertisen zur Grundlage falscher Entscheidungen geworden. Dabei genügt es in der Regel nicht, aktuelles vorliegendes Bildmaterial zu bestellen, wenn keine entsprechenden Auswertekapazitäten zur Verfügung stehen. Dies muss bei der Abschätzung der anfallenden Kosten berücksichtigt werden.

Hier soll noch einmal betont werden, dass insbesondere für den Zeitbedarf mit Schätzungen gerechnet werden muss. Der real anfallende Zeitbedarf hängt unter anderem von der aktuellen Netzauslastung und dem vom Vermittlungsagenten vorgesehenen Weg zur Beantwortung einer Anfrage ab. Im Folgenden wird als Einheit der Währung für die finanziellen Kosten vereinfacht Euro (€) verwendet. Ein ausgearbeitetes Währungsmodell wäre eine mögliche Ergänzung des Kosten-Nutzen-Modells. Ebenso wird in den folgenden Beispielen vereinfacht mit Sekunden als Einheit für den Zeitbedarf gerechnet, entsprechende Umrechnungen müssen gegebenenfalls automatisch erfolgen.

Der Nutzen einer Dienstleistung / Information ist nur vom jeweiligen Nutzer selbst zu beurteilen. Grundsätzlich gilt, dass finanzielle und zeitliche Kosten so gering wie möglich zu halten sind. Häufig hängen finanzielle Kosten und notwendiger Zeitbedarf auf komplexe Weise zusammen. So kann zum Beispiel eine Bildauswertung zur medizinischen Diagnose von einem regulären Arzt relativ schnell und zu einem günstigen Preis durchgeführt werden. Eine detailliertere Analyse hätte einen höheren Zeitbedarf und Ressourcenaufwand. Eine Auswertung von einem entsprechenden Spezialisten wäre aufgrund verminderter Verfügbarkeit teurer.

Dabei kommt der Begriff der Qualität einer Dienstleistung und Information ins Spiel. Die Qualität der Dienstleistung / Information muss den Nutzen maximieren. Das bedeutet insbesondere, dass selbständige Hinweise des Systems auf weitere relevante Informationen oder auf alternative und zusätzliche Dienstleistungen die jeweilige Qualität erhöhen. Dies kann auch als eine Art Übererfüllung der jeweiligen Aufgabe betrachtet werden, die auf der übergeordneten allgemeinen Aufgabe zur Maximierung des Nutzens beruht. Dies muss allerdings sehr sorgfältig in der Benutzungsoberfläche umgesetzt werden, um eine Überfrachtung des Benutzers mit Informationen zu vermeiden („Information Overload“). Dieser Aspekt wurde im Kapitel „Defizite der interaktiven Bildauswertung“ behandelt.

Um den potentiellen Nutzen einer Dienstleistung / Information im Wissensmodell berücksichtigen zu können und SW-Agenten entsprechende Zugriffe und Berechnungen zur Kosten-Nutzen-Optimierung zu ermöglichen, erfolgen zunächst einige vereinfachte Definitionen. Diese Definitionen werden für die Erstellung des Kosten-Nutzen-Modells im Rahmen des Entwurfs eines agentenbasierten Systems zur interaktiven Bildauswertung benötigt und sind keineswegs allgemeingültig. Die Definitionen sind einfach gehalten, da eine schnelle und einfache Berechnung der jeweiligen Werte im System erfolgen muss. In diesem einfachen Modell wird auch der Nutzwert aus einer sehr vereinfachten Definition der Qualität abgeleitet, was für eine erste Implementierung ausreicht, aber auch viel Spielraum für zukünftige Erweiterungen lässt. Von besonderer Bedeutung für ein ausgebautes Kosten-Nutzen-Modell sind auch die Einarbeitung von Nutzer-Rückmeldungen zur subjektiven Beurteilung und der Aufbau eines zuverlässigen, für den Benutzer verständlichen Bewertungsschemas für Dienste, Informationen und Netzwerkpartner. Die Tabellen 6 und 7 stellen zunächst die Festlegungen zu Kosten und Zeitbedarf zusammen.

Begriff	Abkürzung	Einheit	Berechnung
Kosten*	K	€	
Kosten der Dienstleistung / Information	KDI	€	Verschiedene Tarife
Kosten der Datenübertragung	KÜ	€	Verschiedene Tarife
Kosten der Vermittlung	KV	€	Verschiedene Tarife
Gesamtkosten	KG	€	KG = KDI + KÜ + KV
Kostenwerte			
Die Kosten K werden bei allen Anfragen für alle Kandidaten in Kostenwerte KW umgerechnet.	KW	-	Dienen zum Vergleich der Kosten für Kandidat i mit den Alternativen j. Dabei gilt KW = 0 für Kandidaten mit maximalen und KW = 1 für Kandidaten mit minimalen Kosten.
Kostenwert der Dienstleistung / Information	KWDI	-	Für KWDI, KWÜ und KWV gilt jeweils entsprechend für Kandidat i :
Kostenwert der Datenübertragung	KWÜ	-	$KW_i = 1 - \frac{K_i - \text{Min}(K_j)}{\text{Max}(K_j) - \text{Min}(K_j)}$
Kostenwert der Vermittlung	KWV	-	mit j=1 .. n für n Kandidaten
Gesamtkostenwert	KWG	-	KWG = KWDI + KWÜ + KWV

Tabelle 6: Kostenbegriffe.

*Erläuterung zu den Kostenbegriffen:

Bei nur einem Kandidaten wird KW=1 definiert. Anzahl der Kandidaten = n. Je nach Dienstleistung oder Information existieren feste Preise. Verschiedene Tarife, geordnet nach Kategorien oder abhängig vom Zeitpunkt oder Zeitraum (z.B. Nacht- oder Wochenendzuschlag), Datenmenge (z.B. Preis pro zu bearbeitenden MB oder Dokument) müssen berücksichtigt werden. Kosten der Datenübertragung sind abhängig vom Übertragungskanal, aber auch vom Zeitpunkt oder Zeitraum. Angaben erfolgen häufig in Abhängigkeit von Datenmenge / Zeiteinheit. Für die Vermittlungsdienste gelten feste Vermittlungsgebühren oder variable Kosten, die evtl. abhängig von der Anzahl vorgeschlagener Alternativen sind. Rabatte für Abonnements müssen berücksichtigt werden, da hier eine Ressourcenoptimierung erleichtert wird.

Begriff	Abkürzung	Einheit	Berechnung
Zeitbedarf*	ZB	Sek.	
Zeitbedarf der Dienstleistung / für Informationszugriff	ZBDI	Sek.	Zeitbedarf von Entgegennahme der Dienstanforderung bis Bereitstellung des Ergebnisses an Übertragungsschnittstelle.
Zeitbedarf der Datenübertragung	ZBÜ	Sek.	Eventuell Summe der Übertragungen von Quelldaten, Parameteranforderungen und Zwischenergebnissen bis zur Übertragung des Ergebnisses.
Zeitbedarf für die Vermittlung	ZBV	Sek.	In der Regel sehr kurz. Aber evtl. ein Flaschenhals, daher sind Wartezeiten zu berücksichtigen.
Gesamt-Zeitbedarf	ZBG	Sek.	ZBG = ZBDI + ZBÜ + ZBV
Zeitbedarfswerte	ZBW	-	Dienen zum Vergleich des Zeitbedarfs für Kandidat i mit den Alternativen j. Dabei gilt ZBW = 0 für Kandidaten mit maximalem und ZBW = 1 für Kandidaten mit minimalem Zeitbedarf.
Der Zeitbedarf muss analog zu den Kosten in einen Zeitbedarfswert umgerechnet werden			
Zeitbedarfswert der Dienstleistung / des Informationszugriffs	ZBWDI	-	Für KWDI, KWÜ und KWV gilt jeweils entsprechend für Kandidat i :
Zeitbedarfswert der Datenübertragung	ZBWÜ	-	$ZBW_i = 1 - \frac{ZB_i - \text{Min}(ZB_j)}{\text{Max}(ZB_j) - \text{Min}(ZB_j)}$
Zeitbedarfswert der Vermittlung	ZBWV	-	mit j=1 .. n für n Kandidaten
Gesamtwert für Zeitbedarf	ZBWG	-	ZBWG = ZBWDI + ZBWÜ + ZBWV

Tabelle 7: Begriffe zum Zeitbedarf.

***Erläuterung zum Zeitbedarf:**

Der Zeitbedarf ist nicht immer vorhersagbar, da vom ausgewählten Übertragungsweg, von der Netzwerkbelastung und teilweise auch vom Bildinhalt abhängig. Daher werden hier nur Schätzwerte angegeben. Nutzerrückmeldungen werden eingearbeitet. Bei nur einem Kandidaten wird ZBW=1 definiert.

Im Folgenden werden in Tabelle 8 die Begriffe „Qualität“ und „Qualitätswerte“ festgelegt. Die Angaben für die jeweilige Qualität erfolgt dabei in Prozent, so dass alternative Dienstleistungen von Mensch und Maschine verglichen werden können. Beispielsweise kann von einem Anbieter eines Verfahrens eine Angabe von 70% als Qualität einer automatischen Detektion von Fahrzeugen im Bild angegeben werden. Ein Experte kann für die gleiche Dienstleistung mit 90% eingestuft sein. Damit ist eine Vergleichbarkeit der Dienstleistungen gegeben. Diese Vergleichbarkeit gilt nur für Dienste innerhalb der gleichen Dienstgruppe (Kap. 4.4). Dienstgruppen werden in der Ontologie (vgl. Kap. 5) definiert. Einstufungen der Qualität erfolgen von den Dienstanbietern. Benutzerrückmeldungen werden getrennt gespeichert und ausgewertet. Gewichtungsfaktoren für die vom Vermittlungsagenten berechneten Qualitätswerte erlauben die individuelle und aufgabenspezifische Einstellung des Systems. Die über das Nutzerprofil für jede Dienstgruppe einstellbaren Werte sind in Tabelle 9 dargestellt.

Begriff	Abkürzung	Angabe in	Berechnung
Qualität*	Q	%	
Qualität der Dienstleistung / Information	QDI	%	Die folgenden Begriffe QD, QI, QE werden unter QDI subsumiert:
Qualität der Dienstleistung	QD	%	Abhängig von der Art der Dienstleistung stellt diese den Grad der Erfüllung dar (Standardwert 100%)
Qualität der Information	QI	%	Bildqualität (z.B. Auflösung des Bildes), Informationsalter, Informationsmenge, Zuverlässigkeit der Information, Ergebnisqualität einer Dienstleistung
Qualität des Experten	QE	%	Hierarchie entsprechend der Rolle (Ontologie) legt den Wert fest
Qualität der Datenübertragung	QÜ	%	Verständlichkeit, Abhörsicherheit
Qualität der Vermittlung	QV	%	Zuverlässigkeit, automatische Hinweise auf Alternativen, Einhalten von Nutzervorgaben
Gesamtqualität	QG	%	QG = QDI + QÜ + QV
Qualitätswerte	QW	-	Dienen zum Vergleich der Qualität für Kandidat i mit den Alternativen j. Dabei gilt QW = 1 für Kandidaten mit maximalen und QW = 0 für Kandidaten mit minimaler Qualität.
Die Qualitätsangaben Q werden bei allen Anfragen für alle Kandidaten in Qualitätswerte QW umgerechnet.			
Qualitätswert der Dienstleist./ Inform.	QWDI	-	Für QWDI, QWÜ & QWV gilt jeweils entsprechend für Kandidat i :
Qualitätswert der Datenübertragung	QWÜ	-	$QW_i = \frac{Q_i - \text{Min}(Q_j)}{\text{Max}(Q_j) - \text{Min}(Q_j)}$
Qualitätswert der Vermittlung	QWV	-	mit j=1 .. n für n Kandidaten
Gesamtqualitätswert	QWG	-	QWG = a*QWDI + b*QWÜ + c*QWV Mit den Gewichtungsfaktoren a,b,c für die gilt: jeweils >= 0 und <= 1 sowie Summe(a,b,c) = 1.

Tabelle 8: Festlegungen zum Begriff "Qualität".

*Erläuterung zum Begriff „Qualität“:

Bei nur einem Kandidaten wird QW=1 definiert. Anzahl der Kandidaten = n. Die Qualität der Dienstleistung basiert auf subjektiven Selbsteinschätzungen der Dienstleister. Dies muss durch Nutzerrückmeldungen angereichert werden. Teilweise ist ein teilautomatisches Ranking vorgesehen, welches auf der Ontologie basiert (z.B. Chefarzt=100%, Facharzt=80%, Assistenzarzt=60%, Hausarzt=50%, sonstiger Arzt=40% etc.). Ebenso wie die Gesamtkosten und der Gesamtzeitbedarf wird die Gesamtqualität für die Prüfung auf absolute Grenzwerte verwendet, während die entsprechenden Kostenwerte, Zeitbedarfswerte und Qualitätswerte für den Vergleich der verschiedenen Alternativen Verwendung finden.

Vom Nutzer einstellbare Werte	Interne Bezeichnung im Benutzer-Modell
Gewichtung der Qualitätsparameter	Werte von 0-1, in der Summe 1
Anteil der Dienstleistung	weight_service
Anteil der Übertragung	weight_trans
Anteil der Vermittlung	weight_broker
Gewichtung der Nutzwertparameter	Werte von 0-1, in der Summe 1
Anteil der Kosten	weight_cost
Anteil des Zeitbedarfs	weight_time
Anteil der Qualität	weight_qual
Maximale Grenzwerte	Absolutwerte
Erlaubte Kosten	max_cost
Erlaubter Zeitbedarf	max_time
Erlaubte Qualität	max_qual

Tabelle 9: Einstellbare Parameter im Nutzerprofil (gelten pro Dienstleistung).

Auch im Hinblick auf Dienste zur „Informationsfusion“ mittels verschiedener auf multisensoriellen Daten beruhenden Informationen stellt die „Qualität der Information“ eine wichtige Größe zur Beschreibung der Information dar. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass zwei auf gleichem Ausgangsmaterial beruhende Auswerteergebnisse anders zu fusionieren sind als zwei Ergebnisse von einander ergänzenden Sensordaten. So wäre das Ergebnis einer Informationsfusion als nachgeschaltetem Dienst für eine Zähl Aufgabe von Fahrzeugen im Bild mittels zweier unterschiedlicher Verfahren, die beide auf optischen Fotos arbeiten, evtl. als Mittelwert der beiden Einzelergebnisse zu berechnen. Beruhen die beiden Zählverfahren aber auf Bildern unterschiedlicher Spektralbereiche, z. B. optisch und Radar, so wäre eher das Maximum beider Werte zu nutzen. In Abhängigkeit von Wetter, Tageszeit und zu zählenden Objekten kann aber auch das einzelne sensorspezifische Maximum überschritten werden. Die „Informationsqualität“ stellt hier einen möglichen Parameter zur Gewichtung der einzelnen Informationen zur Verfügung. Die Entwicklung geeigneter Informationsfusions-Algorithmen für multisensoriell gewonnene Informationen ist ein eigenständiges Forschungsgebiet, welches hier nur ansatzweise skizziert wurde. SW-Agenten, Ontologien und ein Kosten-Nutzen-Modell stellen aber ein geeignetes Umfeld für die Entwicklung und Erprobung derartiger Algorithmen zur Verfügung.

Der reale Nutzen einer Information bzw. Dienstleistung kann nur vom Nutzer selbst eingeschätzt werden. Im Folgenden wird unter Nutzwert der vom System prognostizierte Nutzen verstanden, der vom Vermittlungsagenten für jede einzelne Anforderung berechnet werden kann. Der aufgaben- und nutzerspezifische Nutzwert NW ist dann folgendermaßen definiert:

$$NW = a * KGW + b * ZBWG + c * QWG$$

mit den Gewichtungsfaktoren a,b,c zw. 0 und 1, in der Summe 1 und KGW, ZBWG, QWG = 1 für Maximum und 0 für Minimum.

In Worten ausgedrückt stellt der Nutzwert die gewichtete Summe des Gesamtkostenwertes, des Gesamtzeitbedarfswertes und des Gesamtqualitätswertes dar.

Diese Definition des Nutzwertes erlaubt eine nutzergerechte Differenzierung zwischen verschiedenen Angeboten von Informationen, Dienstleistungen, Übertragungskanälen und Vermittlungssystemen. Mittels der Gewichtungsfaktoren ist eine individuelle und aufgabenspezifische Wichtung zwischen Kosten, Zeitanforderungen und Qualität möglich. Tabelle 10 stellt das Verfahren der Kosten-Nutzen-Berechnung an einem Beispiel dar.

Angaben im Nutzerprofil	Kosten	Zeitbedarf	Qualität	Bemerkungen
Für diesen Dienst eingestellte Wichtungen:	0,4	0,2	0,4	
Maximale Grenzwerte	50 €	30 Sek.	50 %	50% der Fahrzeuge sollen detektiert werden
Vorgaben der Dienstleister	Kand. A	Kand. B	Kand. C	
Kosten KDI	5 €	10 €	15 €	
Zeitbedarf ZBDI	4 Sek.	2 Sek.	10 Sek.	
Qualität QDI	70 %	70 %	80 %	
Umrechnung	Kand. A	Kand. B	Kand. C	
Kostenwert KWDI	1	0,5	0	
Zeitbedarfswert ZBWI	0,75	1	0	
Qualitätswert QWDI	0	0	1	
Berechneter Nutzwert	Kand. A	Kand. B	Kand. C	
Nutzwert $NW = a * KWG + b * ZBWG + c * QWG$	0,55	0,4	0,4	Damit wird Kandidat A ausgewählt

Tabelle 10: Beispiel - Auswahl einer Dienstleistung „Detektion von Fahrzeugen im Bild“.

*Erläuterung zum Beispiel:

Drei Anbieter (Kandidat A der billigste, Kandidat B der schnellste und Kandidat C mit der höchsten Qualität) haben eine derartige Dienstleistung angeboten, d. h. gemäß der gemeinsamen Ontologie beim Informations-Broker angemeldet. In diesem einfachen Beispiel werden Kosten, Zeitbedarf und Qualität für die Übertragung und Vermittlung als konstant angesehen und daher aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht betrachtet, d.h. es gilt vereinfacht: KG = KDI, ZBG = ZBDI, QG = QDI und entsprechend für die berechneten Werte.

Aufgrund von Rückmeldungen des Benutzers bzgl. des Nutzens kann die Berechnung für folgende Aktionen verändert werden. Dazu können bzgl. der Qualität subjektiv Angaben über den Interfaceagenten vorgenommen werden, die zur Berechnung des QWG verwendet werden.

Dem erfahrenen Benutzer kann angeboten werden, die Qualität für Dienstleistung, Übertragung und Vermittlung getrennt zu beurteilen. Als erster Ansatz in dieser Arbeit werden die Rückmeldungen von den Selbsteinschätzungen der Dienstleister getrennt gespeichert. Das heißt zu jedem vom Benutzer verwendeten Dienst existieren Variable, die die subjektive Qualität des Dienstes speichern. Vorgabe ist der vom Dienstleister angegebene Wert, der vom Nutzer innerhalb der vom Interfaceagenten vorgegebenen Grenzen (max. zwischen 0 und 100) verändert werden kann. Es existieren pro Dienst dann drei Qualitätsangaben:

- Selbsteinstufung durch den Dienstleister
- Einstufung durch die Gemeinschaft der Nutzer
- Individuelle Einstufung der Qualität durch den Nutzer

Der Vermittlungsagent verwendet diese Information zur Entscheidung zwischen alternativen Diensten. Dabei wird dem subjektiv mit höherer Qualität eingestuftem Dienst der Vorrang gegeben.

Durch eine Priorisierung zugunsten der individuellen Bewertung wird der Dienstbewertung im direkten Anwendungskontext des Benutzers die höchste Zuverlässigkeit gegeben, vor der Einstufung durch die Nutzergemeinschaft und der Selbsteinstufung durch den Dienstleister. Die Berücksichtigung eines derartigen Kosten-Nutzen-Modells in einem agentenbasierten System stellt Anforderungen an die Benutzungsoberflächen und Interface-Agenten. So müssen obige Gewichtungsfaktoren über die Benutzungsoberfläche individuell und aufgabenspezifisch einstellbar sein. Dies gilt ebenso für entsprechende Begrenzungswerte. Zumindest für erfahrene Benutzer sollte die explizite Auswahl verschiedener Alternativen möglich sein.

Abonnements stellen einen wichtigen Service für Benutzer dar und vereinfachen auf Systemseite die Ressourcen-Optimierung. Daher sollten auch im Kosten-Nutzen-Modell Abonnements berücksichtigt werden. Ausprägungen des Modells sollten entsprechende Anreize für Abonnements durch attraktive Preise schaffen. Bei der Vorgabe von Begriffen durch den Nutzer müssen Begriffs-Hierarchien, wobei alle untergeordneten Begriffe eingeschlossen sind, ebenso unterstützt werden wie die Berücksichtigung von Synonymen, Fremdsprachen und logischen Verknüpfungen. Exakte Vorgaben von Raum und Zeit über Kartenkoordinaten und/oder Objektnamen sind zu unterstützen. Bei der Modellierung von Zeitpunkten und Zeiträumen ist auf die unterschiedlichen Zeitzonen zu achten.

Das Kosten-Nutzen-Modell ist eine Komponente der Wissensbasis eines Systems und bildet damit einen Teil der Ontologie. In dieser Teil-Ontologie werden zum einen die Begriffe Kosten, Zeitbedarf, etc. in Klassen modelliert, zum anderen enthalten Instanzen des Systems statisches Wissen, z.B. die finanziellen Kosten und Tarife oder Bearbeitungs- und Übertragungszeiten für Dienstleistungen. Detaillierte Begriffsdefinitionen zum Kosten-Nutzen-Modell sind daher bei der Ausarbeitung der Ontologie vorzugeben. Die Anschaffungskosten für entsprechende Rechner und Datenübertragungseinrichtungen sowie Stromkosten werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Allerdings sind die Vorteile der möglichen Nutzung aktuellster Dienstleistungsprogramme sowie der einfache sichere Zugang zu Fachleuten deutlich zu erkennen. Dies gilt insbesondere in Gegensatz zu heute üblichen Programmen, bei denen häufig Nachbesserungen eingespielt werden müssen. Neue Versionen müssen teilweise kostenpflichtig erworben werden und der Verbund von Informationen und Dienstleistungen scheitert häufig an inkompatiblen Daten.

5 Ontologien zur Unterstützung der Bildauswertung

Wissen muss in der richtigen Form, zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort verfügbar sein, daher ist für ein funktionierendes Wissensmanagement innerhalb einer Domäne eine gemeinsame Sprache notwendig. Dazu gehören ein definiertes Vokabular aus Lexemen und ein einheitliches Verständnis der Begriffe und der Beziehungen zwischen den Begriffen (Sure 2003). Schon seit der Antike beschäftigt sich die Wissenschaft mit einer geeigneten Modellierung des Wissens und auch die Zukunft des Internets, das "Semantic Web" (Bernes-Lee et al. 2001), wird auf so genannten Ontologien beruhen.

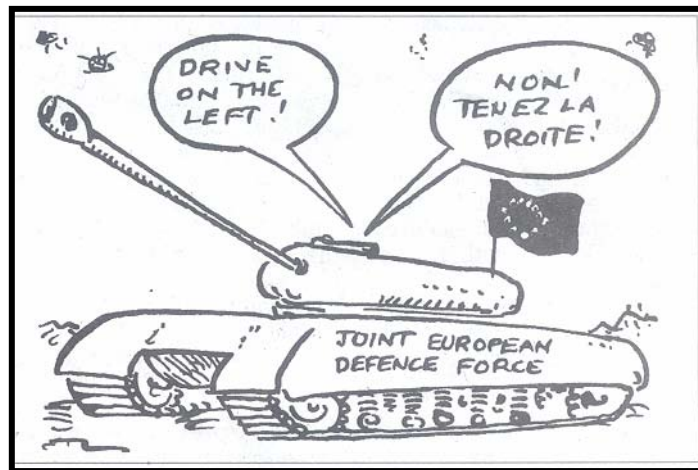


Abbildung 5-1: Ontologie: Unterschiede in Sprache und Kultur (World and Press 2004).

Eine Hauptmotivation für die Anwendungen von Ontologien bildet die Wiederverwendung. Um Wissen in konsistenter Weise in unterschiedlichen Anwendungen wieder zu verwenden, muss seine Definition standardisiert werden. Ontologien haben diese standardisierende Funktion. Ihre systematische Verwendung sichert ein einheitliches Verständnis von Begriffen und vermeidet terminologische Verwechslungen. Damit sind Ontologien eine gute Grundlage für:

- **Kommunikation zwischen Menschen und Organisationen**

Eine einheitliche Terminologie über ein Wissensgebiet ermöglicht die Kommunikation und das Verständnis von verschiedenen Personen mit unterschiedlichem Wissen und Standpunkten. Eine der wichtigsten Aufgaben von Ontologien besteht darin, eine eindeutige Definition für Begriffe innerhalb eines Systems zu schaffen.

- **Software Entwicklung**

Die Verwendung von Ontologien bei der Entwicklung von wissensbasierten Modellen ermöglicht, dass Teile dieses Modells auf einfache Art und Weise zu einem späteren Zeitpunkt wieder verwendet werden können. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine Trennung der verschiedenen Arten von Wissen, das heißt, dass sich zum Beispiel domänenspezifisches Wissen und Problemlösungswissen in unterschiedlichen Ontologien wiederfinden.

- **Interoperabilität zwischen Systemen und Systemkomponenten**

Ontologien finden auch dann Anwendung, wenn verschiedene Benutzer Daten und Informationen austauschen und unterschiedliche Software-Werkzeuge verwenden. Die Ontologien fungieren als Schnittstellen zwischen verschiedenen Sprachen und Repräsentationen. Kom-

munikation zwischen verschiedenen Software-Werkzeugen ist nur dann formalisierbar, wenn sie zumindest teilweise gemeinsame Ontologien besitzen.

Aufgabe von Ontologien ist es daher, eine integrierte und einheitliche Umgebung für die beteiligten Komponenten und Systeme zur Verfügung zu stellen und eine semantische Grundlage für Transformationen zwischen diesen unterschiedlichen Systemen zu bieten. Im Kontext dieser Arbeit bildet insbesondere die gewünschte Interoperabilität von Systemen eine Motivation zur Nutzung von Ontologien (vgl. Kap. 3.2).

5.1 Definitionen der Ontologie

Der Begriff Ontologie stammt ursprünglich aus der Philosophie und beschreibt den Aspekt der Metaphysik, der sich mit dem Wesen des Seins und des Seienden befasst. Es wird sowohl untersucht, was das prinzipiell gemeinsame alles Seienden ist, unabhängig davon, ob es sich um Steine, Wasser, Pflanzen, Tiere, Menschen, Götter oder Planeten handelt, als auch der unbedingte Grund für alles Übrige gesucht. Ontologisch ist im Gegensatz zu ontisch das Sein im Sinne der Ontologie, das heißt das durch den reflektierenden Geist in seinem Sein bereits erschlossene Sein (*Piaget 1981*).

In der Informatik wird unter einer Ontologie die Darstellung und Formalisierung von Wissen verstanden – „*An Ontology is an explicit specification of a conceptualization*“ (*Gruber 1993*). Grundlegend in diesem Zusammenhang sind auch die Definitionen von Sowa. „An ontology is a catalogue of the types of things that are assumed to exist in a domain of interest D from the perspective of a person who uses a language for the purpose of talking about D“ (*Sowa 1999*). Diese Definition lehnt sich an die Philosophie an: „Sein, das verstanden werden kann, ist Sprache“ (*Gadamer 1975*). Wissen umfasst Form (Syntax, Daten) und Inhalt (Semantik, Information) und beinhaltet darüber hinaus auch einen pragmatischen Aspekt (*Davenport und Prusak 1998*). Wissen ist mit einem Ziel oder Zweck verbunden. Auch eine Ontologie zur formalen Beschreibung von Wissen ist immer mit einem Zweck verbunden und auf ein Ziel hin ausgerichtet. Die Ontologie stellt in diesem Sinne eine Beschreibung von Konzepten (Begriffen) und Beziehungen (Relationen) in einem Diskursbereich (Domäne) dar, die der Benutzer u. a. mit einem SW-Agenten oder einer Gemeinschaft von SW-Agenten teilen kann.

Es existiert bisher keine allgemeine formale Definition einer Ontologie. Studer (*Studer 2002*) definiert eine Ontologie **O** als ein Zeichensystem bestehend aus einem Lexikon **L**, einer Menge von Konzepten **C** und von Relationen **R**, Referenzrelationen **F** von $L \rightarrow C$ und **G** von $L \rightarrow R$, einer Taxonomie **H**, und einem Satz von Axiomen **A**.

$$\mathbf{O} := (\mathbf{L}, \mathbf{C}, \mathbf{R}, \mathbf{F}, \mathbf{G}, \mathbf{H}, \mathbf{A})$$

L – Lexikon mit Begriffsdefinitionen: z.B. „Person“, „Bild“, „Fahrzeug“, „Zeit“

C – Menge von Konzepten: **Konzepte:** Sind die Elemente der Ontologie. Sie werden über Relationen miteinander verbunden, und mit **Attributen** beschrieben. Diese können als String- (z.B. Name), Integer- (z.B. Alter), Boolean-Variable (z.B. männlich), als Menge (z.B. {Mo, Di, Mi,..}) oder als Instanzen eines anderen Konzepts auftreten. Spezielle Attributstypen im Diskursbereich dieser Arbeit sind z.B. Koordinaten oder Zeitpunkte.

R – Menge von Relationen: diese stellen Beziehungen der Konzepte zueinander dar.

F – Abbildungsrelation von $L \rightarrow C$ zur Festlegung der Konzepte $F: 2^{L^c} \rightarrow 2^C$
 Abbildung der konzept-definierenden Begriffe L^c aus dem Lexikon L auf die Menge der Konzepte. Hier wird die Potenzmenge verwendet, da sowohl ein Begriff für mehrere Konzepte verwendet werden kann, z.B. Jaguar (für Tier, Auto, Flugzeug, Panzer) als auch mehrere Begriffe für das gleiche Konzept verwendet werden können.

G – Abbildungsrelation von $L \rightarrow R$ zur Festlegung der Relationen $G: 2^{L^R} \rightarrow 2^R$
 Abbildung der relation-definierenden Begriffe L^R aus dem Lexikon L auf die Menge der Relationen. Auch hier kann ein Begriff für mehrere Relationen verwendet werden, bzw. können mehrere Begriffe für eine Relation verwendet werden.

H – eine Taxonomie zur Abbildung von Hierarchien, z. B. Fahrzeug \rightarrow Landfahrzeug \rightarrow Kettenfahrzeug \rightarrow Leopard \rightarrow Leopard 2 A 5 \rightarrow usw. Dabei können, wie später verdeutlicht werden wird, verschiedene Taxonomien zur Anwendung kommen.

A – ein Satz von Axiomen oder Regeln, die mittels einer formalen Logik Beziehungen zwischen Konzepten und Relationen ausdrücken. **Axiome** sind allgemeingültige Sätze (z.B. "Ein Fahrzeug, das in einer militärischen Kolonne fährt, folgt dem Führungsfahrzeug dieser Kolonne und hat daher die gleiche Richtung"). Die Axiome erleichtern den Aufbau einer Ontologie erheblich. Die Verwendung von Axiomen kann auch zur Definition eigenständiger Konzepte dienen. Das führt im bei vollständiger Anwendung zu den so genannten *axiomatisierten Ontologien*.

In *Volz 2001* wird das Lexikon von der Ontologie abgetrennt. Die Ontologie **O** setzt sich hier zusammen aus Konzepten **C**, Relationen **R**, einer taxonomischen Hierarchie der Konzepte **H^c**, einer Funktion **Rel** zur Herstellung von Bezügen zwischen Konzepten, unabhängig von einer Taxonomie, sowie den Axiomen. Ein Lexikon L wird dann definiert als

$$L := (L^C, L^R, F, G)$$

mit lexikalischen Einträgen für Konzepte L^C und Relationen L^R sowie den entsprechenden Abbildungsfunktionen F und G . Ein Paar (O, L) bildet eine Ontologiestruktur mit Lexikon. Diese Definition liegt den folgenden Ausführungen zugrunde, da dabei die eigenständige Sichtbarkeit des Lexikons unabhängig von der Ontologie betont wird.

Ontologien bilden eine Schlüsseltechnologie für semantische Netzwerke. Sie verbinden das menschliche Verständnis von Symbolen mit der Verarbeitungsmöglichkeit von Maschinen (*Davies et al. 2003, Gomez-Perez et al. 2004*). Ontologien bilden einen Teil der Wissensbasis eines Systems indem sie die Struktur des Wissens als Meta-Wissen festlegen. Verschiedentlich werden Ontologien und Wissensbasen auch explizit getrennt. Dabei werden dann die Ausprägungen (Instanzen) der Konzepte und Relationen als Wissensbasis bezeichnet, die neben der von der Wissensbasis referenzierten Ontologie zum Gesamtwissen eines Systems beiträgt (*Mädche et al. 2003*). Dabei können in konkreten Anwendungsfällen Überschneidungen

auftreten, so dass auch Instanzen in der Ontologie und Klassen in der Wissensbasis benutzt werden.

Benutzer und die verschiedenen Agenten müssen keine vollständig gemeinsame Wissensbasis besitzen. Jeder Kommunikationspartner (Benutzer und Agenten) kann verschiedene Teilaspekte der Ontologie verwenden. Das heißt, nicht jeder Agent muss alle Fragen verstehen und beantworten können, die in der Diskurswelt gestellt werden können. Die Nutzung einer gemeinsamen Ontologie garantiert die Konsistenz, aber nicht die Vollständigkeit.

Damit können auch verschiedene sich ergänzende aber sich nicht widersprechende Teil-Ontologien in einem gemeinsamen Netzwerk verwendet werden. Häufig werden aufeinander aufbauende Teil-Ontologien entworfen. Insbesondere ist die Wiederverwendbarkeit der Modelle eine erklärte Absicht der Ontologie-Entwickler. Bei dieser Wiederverwendung darf man aber den zweckgebundenen Entwurf der vorhandenen Teil-Ontologie nicht aus dem Auge verlieren, da Konzepte für gleichartige Objekte je nach Anwendungszweck vollkommen unterschiedlich modelliert werden können.

Die durch die Ontologie definierte gemeinsame Sprache ermöglicht einen integrierten, einheitlichen Zugriff auf Wissen aus verschiedenen Quellen. Ontologien bieten angepasste Sichten auf das Wissen unter Berücksichtigung von Nutzer und Kontext in unterschiedlichen Repräsentationsformen und verschiedenen Granularitätsstufen. Damit kann eine automatische Anpassung auf ein nutzerspezifisches Abstraktionsniveau bzw. auf für den Nutzer relevante Aspekte erreicht werden.

Eine Ontologie beinhaltet die explizite Spezifikation der Konzepte und stellt damit ein Modell der Welt oder eines Teils der Welt in einem Diskursbereich dar. Die Modellierung des Wissens hängt dabei entscheidend vom Verwendungszweck der Ontologie ab. Ein Hauptzweck von Ontologien ist die Übertragbarkeit von Wissen, so dass das Wissen mehrfach, auch über Sprachbarrieren hinweg, genutzt werden kann. Eine Ontologie soll dazu eine Wissensstruktur abbilden, wobei durch diese Formalisierung Mehrdeutigkeit vermieden werden soll. Das folgende Beispiel aus dem Diskursbereich dieser Arbeit verdeutlicht diese Problematik.

Beispiel: Ein Benutzer sucht Informationen zu Personen-Transportfahrzeugen. Aufgabe der Ontologie ist, das Konzept „Personen-Transportfahrzeuge“ und damit indirekt diese Anfrage

- a) in verschiedene Komponenten zu zerlegen, so dass auch Informationen zu Bussen, Bahnen, etc. gefunden werden;
- b) bei dieser Anfrage verschiedene Sprachen zu berücksichtigen, so dass z.B. im englischen nach „Tank“ (Panzer) gesucht wird (und im deutschen nicht nach Tank - Behälter für Flüssigkeiten oder Gase);
- c) und die Nutzungskonzepte (Rollen) von Objekten zu berücksichtigen, so werden z.B. bestimmte Fahrzeuge in den USA als Personentransporter eingesetzt, die in anderen Ländern nach entsprechenden inneren Umbauten als Lasttransporter verwendet werden (Beispiel: „Hummer“ – amerikanisches Fahrzeug).

Sowa 1999 unterscheidet Probleme dieser Art in:

- a) Accidental - (So bedeutet der Begriff „Hand“ im deutschen „von Fingerspitzen bis zur Handwurzel“, im russischen Sprachgebrauch („ruka“) reicht die entsprechende Bedeutung bis zum Ellenbogen – Eine einfache Übersetzung reicht also nicht aus.)
- b) Systematic – systematische Unterschiede in verschiedenen Sprachen, z. B. Satzbau und

- c) Cultural – für Objekte die bei uns unbekannt sind, existieren keine Wörter, z. B. einige Gewürze in China

Durch die unterschiedlichen beziehungsspezifischen Sichten auf die Objektbeschreibungen (vgl. Abb. 4-3) können diese Anforderungen umgesetzt werden. Allgemein bilden Konzepte eine abstrakte vereinfachte Sicht auf die Welt oder den Diskursbereich für einen Anwendungsfall. Im Falle der bildgestützten Aufklärung kann man **aufklärungsrelevante Objekte (ARO)** (Schönbein et al. 2002, Schönbein et al. 2004a) definieren. Von diesen Objekten ist die **Objekt-Beobachtung** selbst, die zu einem bestimmten Zeitpunkt, von einem definierten Sensor an einem definierten Ort erfolgt, deutlich zu unterscheiden. Dies ist insbesondere bei mobilen Objekten entscheidend, die nicht nur ihren Ort ändern können, sondern dadurch auch ihre Zugehörigkeit zu anderen Objekten verändern können. So kann z. B. ein Fahrzeug Mitglied in einer Kolonne sein, kann sich aber auch wieder von der Kolonne trennen oder auch später wieder zu der Kolonne hinzu stoßen. In ähnlicher Weise wird in *Van Heijst 95* für eine medizinische Ontologie das Konzept „**Observable**“ definiert. Dieses dient zur Beschreibung beobachtbarer pathologischer und physiologischer Zustände des menschlichen Körpers.

Ontologien sind üblicherweise in Taxonomien organisiert. Das heißt, sie können in Baumstrukturen mit mehrfacher Vererbung und Unterkategorien dargestellt werden. Diese Unterkategorien müssen nicht disjunkt sein, so dass sich in der Regel Netze ergeben, die häufig als Bäume in verschiedenen Ansichten dargestellt werden. Dabei existiert nicht nur eine Taxonomie, ein Objektbaum, sondern es existieren verschiedene taxonomische Sichten (vgl. Abb. 4-3), die die Organisation der Objekte je nach verwendeter Taxonomie aufbauen. So existiert z.B. eine Taxonomie in der die „is-a“ Relation ausgeprägt wird durch die Rolle eines Objektes (z.B. „ist ein Pkw“). Diese Relation kann man als „acts-as“ bezeichnen, Eine andere Taxonomie verwendet Bauteilbeziehungen „has_a“.

Eine für die interaktive Bildauswertung wichtige Taxonomie verwendet die „looks_like“-Relation, die die Objekte nach äußerer Ähnlichkeit strukturiert. Eine Ontologie ist damit ein Framework von Unterscheidungen, nicht eine feste Hierarchie (Sowa 1999).

Dabei werden Ontologien generell partitioniert. Die Konzepte und Relationen der Anwendungsdomäne werden in einer Anwendungs- oder Domänenontologie abgelegt. Grundlegende anwendungsübergreifende Konzepte (Zeit, Person, Ort, Weg, Kosten, Qualität etc.) können in eigenständigen Ontologien zusammengefasst werden. Einen weiteren Teil der Ontologien bilden die Beschreibungen der Dienste und die Axiome, die Zusammenhänge in der Diskurswelt in Form von Regeln beschreiben. Neben den objektbeschreibenden Klassen können auch Instanzen, d.h. konkrete Dienste oder Objekte in den Ontologien beschrieben werden. Diese Vorgehensweise wird durch einige Werkzeuge in der Entwicklungsphase einer Ontologie unterstützt. Dabei verringert sich der Entwicklungsaufwand durch einfachere und schnellere Test- und Modifikationszyklen. Eine spätere explizite Trennung der Klassenbeschreibungen in der Ontologie von der Wissensbasis, in welcher Instanzen gespeichert werden, dient allerdings der einfacheren Verwaltung, erhöhten Sicherheit (Ontologien gestatten dem Standardbenutzer nur lesenden Zugriff) und verbessert die Übersichtlichkeit über die Informationsstrukturen.

5.2 Einteilungen und Anwendungen von Ontologien

Um die Wiederverwendbarkeit von Wissen zu vereinfachen, bietet es sich an, es in unterschiedlichen Ontologien zu verwalten. Dabei kann man Ontologien nach verschiedenen Kriterien einteilen und klassifizieren. Ein einheitlicher Standard zur Klassifizierung von Ontologien existiert bisher nicht. Prinzipiell können Ontologien nach ihrer Struktur, dem verwendeten

Formalismus, nach dem Inhalt der Konzeptualisierung oder ihrem Anwendungszweck unterschieden werden. So werden in *Van Heijst* 95 Ontologien in zwei Dimensionen unterteilt. Nach „Größe und Struktur“ wird in

- „*Terminological ontologies*“
große Menge lexikalisch definierter Konzepte in einer Anwendungsdomäne, wie in UMLS (Unified Medical Language System; *Lindberg et al. 1993*)
- „*Information ontologies*“
entsprechen der Spezifikation eines Datenbankschemas
- „*Knowledge modeling ontologies*“
stark strukturierte Menge von Konzepten und Relationen, die auch zur Beschreibung von Abläufen dienen können

unterschieden. Die zweite Dimension „Inhalt“ unterteilt van Heijst in

- *Meta-Ontologien* Diese stellen Ontologien dar, die das Vokabular zur Beschreibung von Ontologien beinhalten. Ein Gegenstandsbereich der Welt kann durch Objekte, Objektklassen, Eigenschaften von Objekten und Beziehungen zwischen Objekten beschrieben werden. In jedem Repräsentationsformalismus müssen daher sprachliche Primitive zur Verfügung stehen, die eine entsprechende Repräsentation erlauben. Daher werden Meta-Ontologien auch als „Representation ontologies“ bezeichnet.
- *Domänenspezifische Ontologien* „Domain ontologies“ drücken Konzeptualisierungen bezüglich eines Gegenstandsbereiches oder Sachgebietes aus, indem sie die Objekte der Domäne, die Funktionen der Objekte sowie ihre strukturellen, kausalen und temporalen Beziehungen beschreiben. Dabei variiert der Detaillierungsgrad einer domänenspezifischen Ontologie in Abhängigkeit von dem Anwendungsgebiet der Applikation. Entsprechend schwer ist es auch, den Grad der Wiederverwendbarkeit zu bestimmen. Für einige Anwendungen sind nur Teile der Ontologie, für andere die vollständige Ontologie wiederverwendbar.
- *Anwendungsspezifische Ontologien* „Application ontologies“ enthalten Definitionen, die benötigt werden, um Wissen einer konkreten Anwendung zu repräsentieren. Diese Ontologien sind in der Regel nicht oder nur schwer wieder verwendbar. Sie bestehen oft aus allgemeinen Ontologien, die für eine konkrete Anwendung modifiziert wurden.
- *Allgemeine Ontologien* „Generic ontologies“ definieren vorwiegend Konzepte, die allgemeingültig sind und daher in vielen Anwendungen wieder verwendet werden können. Typische Konzepte sind beispielsweise Zustand, Ereignis, Prozess oder Aktion. Oft werden Konzepte in domänenspezifischen Ontologien als Spezialisierungen der Konzepte aus allgemeinen Ontologien definiert. Diese Ontologien werden auch als Top-Level-Ontologien bezeichnet.

Uschold & Gruninger 1996 und *Uschold 1996* schlagen eine Einteilung nach den Dimensionen „Formalismus“, „Inhalt der Konzeptualisierung“ und „Anwendungszweck“ vor. *Guarino 1997* unterteilt gemäß den beiden Dimensionen „Detaillierung“ und „Grad der Abhängigkeit“. *Gomez-Perez & Benjamins 1999* verwenden sieben Ebenen zur Klassifizierung und bringen die linguistische - sowie die Aufgaben-Ontologie neu ein.

Der Sprachgebrauch dieser Arbeit folgt der Einteilung nach *Breuker et al. 1999* (Abb. 5-2), da die Zielsetzung dieser Arbeit eine vergleichbare Einteilung der verschiedenen Ontologie-Ebenen zur Verbesserung der Wiederverwendbarkeit und zur Erhöhung der Übersichtlichkeit beinhaltet. In *Breuker et al. 1999* werden domänen- und anwendungsspezifische Ontologien wieder zu Domänen-Ontologien zusammengefasst. Die allgemeinen Ontologien werden als Top-Level-Ontologien bezeichnet. Dazwischen wird eine Kern-Ontologie angesiedelt. Als Bindeglied zwischen den Domänen- und Top-Level-Ontologien spielen die Kern-Ontologien eine doppelte Rolle. Sie indizieren Bibliotheken von Domänen-Ontologien und stellen unter Verwendung der Terme der Top-Level-Ontologie die ontologische Basis für die Konstruktion von domänenspezifischen Sprachen und Folgerungen dar. Hierzu kann eine Kern-Ontologie ihre eigenen Formalismen definieren, oder auch die in den weiter gefassten Top-Level-Ontologien eingeführten Formalismen modifizieren. Auch in *Draba 2002* wird eine Dreiteilung beschrieben, die Kern-Ontologie wird hier als „Upper Domain Ontology“ bezeichnet (Abb. 5-3).

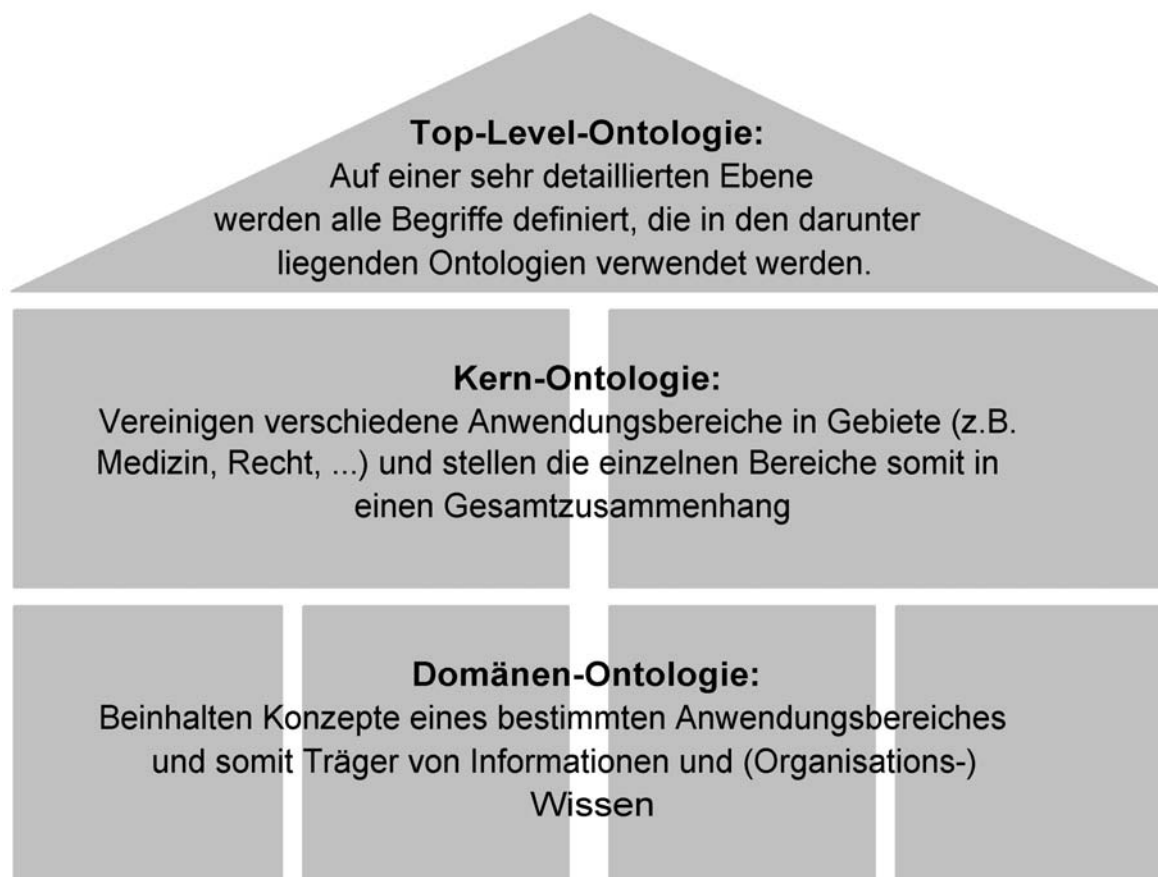


Abbildung 5-2: Klassifizierung von Ontologien nach *Breuker et al. 1999* (aus *Meier 2003*).

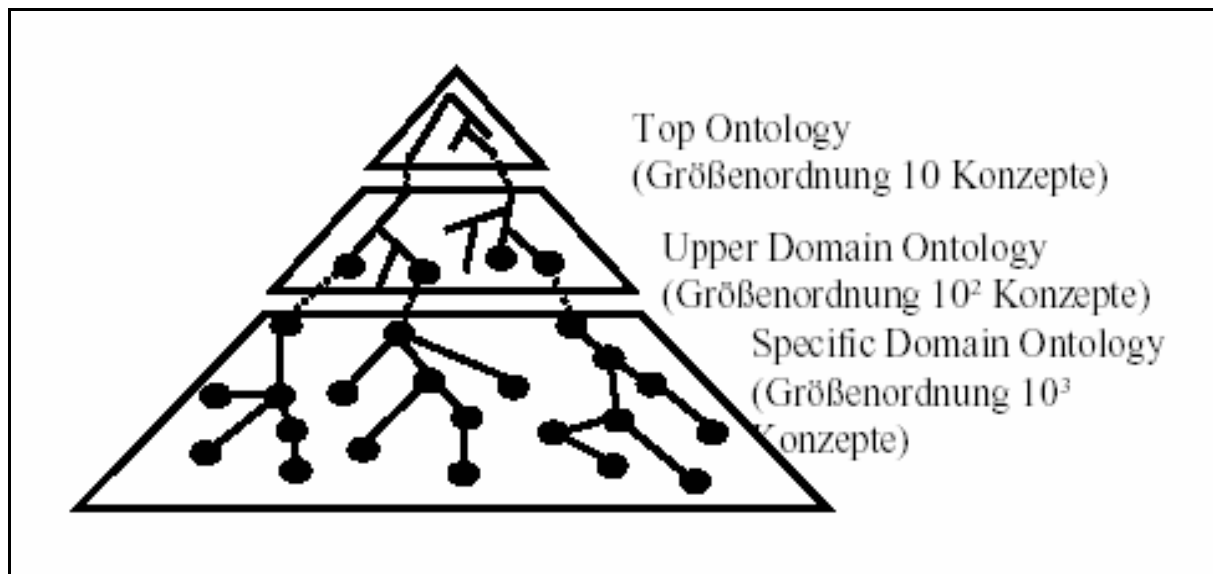


Abbildung 5-3: Klassifizierung von Ontologien nach *Draba 2002*.

Oben in der Entwicklung steht eine Top Ontology. Hier werden die Haupt-Konzepte (Objekte, Eigenschaften, Relationen und Axiome) festgelegt, wobei die Anzahl der Konzepte in dieser Stufe im 10er Bereich liegt. Diese sollten auf jede mögliche Domäne anwendbar sein und damit die größte Wiederverwendbarkeit ermöglichen. Die mittlere Ebene bildet die Upper Domain Ontology. Hier werden die Schlüsselkonzepte einer Domäne aufbauend auf den Elementen der Top Ontology modelliert. Die Upper Domain Ontology kann mehrere hundert Konzepte der entsprechenden Anwendungsdomäne enthalten. Die letzte Ebene bildet schließlich die Specific Domain Ontology. Diese Stufe repräsentiert den gegenwärtigen Problembereich der Ontologieentwicklung (*Missikoff et al. 2002*). Denn während viele Ontologieprojekte es schaffen, eine Upper Domain Ontology zu erstellen, stellt der Übergang zur letzten Stufe ein großes Hindernis dar, welches meist nur unter Inkaufnahme von Inkonsistenzen und Einschränkungen überschritten werden kann (*Draba 2002, Missikoff et al. 2002*). Die geeignete Strukturierung tausender Konzepte ist schwer zu überschauen und stellt insbesondere aufgrund der Beziehungen zwischen den Objekten ein Problem beträchtlicher Komplexität dar.

Anwendungen von Ontologien

An Benutzer und Aufgabenstellung angepasste Bereitstellung von Wissen ist das Anliegen von Wissensmanagementsystemen. Die Unterstützung dieser Systeme durch Ontologien ist allerdings noch nicht weit verbreitet. Hier stehen Stichwortsuche und speziell vorgefertigte graphische Benutzungsoberflächen im Vordergrund. Im wissenschaftlichen Bereich lassen sich aufgrund der Anwendungsbreite von Ontologien sehr viele Arbeiten zitieren, von denen im Folgenden nur einige im Anwendungskontext dieser Arbeit wichtig erscheinende referenziert werden.

Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Domänen-Ontologien werden insbesondere in der Medizin vorangetrieben. Die konventionelle Medizin und ihre Lehre teilen sich in praktische und theoretische Medizin. Computersysteme, Modellierungen und Simulationen ermöglichten ein neues drittes Gebiet: die virtuelle Medizin. Hier finden auch Ontologien Anwendungen. Zum einen bieten sie eine Möglichkeit zum terminologischen Abgleich zwischen Begriff und Benennung. Dies ist vor allem in Anbetracht vieler Informationsquellen und unterschiedlicher Sprachen von Vorteil. Die Verwendung von Ontologien im Krankenhausalltag ist ein weiteres Anwendungsgebiet. Trotz aller Entwicklung der Informationstechnologien wird auch heute noch die Routinedokumentation konkreter Diagnose- und Behandlungsfälle in der Regel pa-

pierbasiert archiviert. Insbesondere die aufwendigen bildgebenden Verfahren der Medizin mit Foto, Film und Video sowie Sprachaufzeichnungen bringen jedoch eine neue Qualität und Quantität in die medizinische Dokumentation. Krankenakten werden immer umfangreicher. Ihre Archivierung ist kostspielig und zeitaufwendig, ihre Verfügbarkeit unzureichend und eine statistische Auswertung mit Computersystemen nur aufwendig möglich. Mit Hilfe von ontologiebasierten Wissenssystemen können diese Arbeitsabläufe zukünftig besser unterstützt werden.

UMLS (Unified Medical Language System) ist ein Forschungsprogramm der United States National Library of Medicine (NLM) in Bethesda, USA. Seit 1990 wird jährlich das UMLS-System auf CD herausgegeben und seit 1995 ist eine kurzfristige Aktualisierung über das Internet möglich. Ziel des Projektes ist die Zusammenfassung medizinischer Begriffsordnungen in einer gemeinsamen Datenstruktur durch Integration maschinenlesbarer Dokumente mit verschiedenem Vokabular. UMLS bietet damit eine integrierte Sicht und erleichterten Zugriff auf biomedizinische Literatur, Krankenblattdaten, Faktendatenbanken und weitere angeschlossene Datenbanken. UMLS basiert auf vier Komponenten: Der „UMLS Metathesaurus“ integriert biomedizinische Thesauri, kontrolliertes Vokabular und Klassifikationen. Er basiert auf der Definition von Konzepten. Die „UMLS Information Source Map“ enthält Verweise auf weltweit verteilte Daten- und Wissensbanken mit relevanter Information. Das „UMLS Semantic Network“ ist eine konsistente Kategorisierung aller Begriffe des Metathesaurus und eine Darstellung von semantischen Beziehungen zwischen diesen Kategorien. Das „SPECIALIST Lexicon“ bietet für den englischen Sprachraum linguistische Zusatzinformationen an, auf die z.B. bei der automatischen Textverarbeitung zurückgegriffen werden kann.

Auch das **GALEN**-Projekt (Generalised Architecture for Languages, Encyclopaedias and Nomenclatures in Medicine) legt den Schwerpunkt auf eine standardisierte Enzyklopädie und Nomenklatur. Das Projekt wurde durch die Europäische Union von 1991 bis 1994 gefördert. Von 1995 bis 1999 lief das GALEN-IN-USE-Projekt als ein Teil des „Advanced Informatics in Medicine-Programm (AIM)“ der Europäischen Kommission. Seit 1999 wird das Thema in „OpenGALEN“ fortgeführt. Ziel ist die Entwicklung einer neuen Technologie zur Speicherung und Präsentation klinischer Informationen, ein computer-basiertes sprachenunabhängiges Kodierungssystem für die Medizin. Das medizinische Wissen und dessen Begriffe soll in einem formalen Modell (Ontologie) festgehalten werden. Das CORE-Modell (GALEN Common Reference Model) wurde, in der in diesem Projekt entwickelten formalen Sprache GRAIL (GALEN Representation and Integration Language) formuliert und mit medizinischen Konzepten gefüllt. Um die Verwendung des CORE-Modells zu ermöglichen, entwickelte das GALEN-Projekt den so genannten Terminologie Server. Der Schwerpunkt liegt in der Unterstützung von Anwendungen für elektronische Patientenakten, klinischen Benutzerschnittstellen, klinischen Informationssystemen und Systemen zur klinischen Wissensunterstützung und ermöglicht die Verwaltung von Kodierungs- und Klassifikations-Systemen, die Dokumentation und das Wiederauffinden von Informationen mittels intelligentem Suchen sowie die Erstellung von Analysen. Diese Systeme stehen alle über den Terminologie Server mit dem CORE-Modell in Verbindung. Zurzeit läuft das GALEN-Projekt in Form eines gemeinnützigen (holländischen) Unternehmens (OpenGALEN). Die GALEN-Technologie wird seitdem kostenfrei zur Verfügung gestellt (*Meier 2003*).

Ein Ziel der Arbeiten des im April 2002 gegründeten Instituts für Formale Ontologie und Medizinische Informationswissenschaft (**IFOMIS**) in Leipzig ist die Entwicklung einer allgemeinen medizinischen Ontologie als Grundlage für einen vereinheitlichten Rahmen zur Modellierung ontologischer Strukturen. Diese Ontologie soll die Entwicklung spezifischer Ontologien begründen, welche in klinischen Versuchen angewendet und getestet werden. Die me-

dizinische Ontologie von IFOMIS erfordert Modelle, die nicht nur eine anatomische Ontologie auf der Ebene der Organe innerhalb der Struktur des menschlichen Körpers unterstützen, sondern auch Zell-, Protein-, Gen- und Molekül-Ontologien mit einer wesentlich feineren Unterteilung. Es müssen Klassifikationen von Prozessen mit unterschiedlichen Unterteilungen unterstützt werden, einschließlich der chemischen und biologischen Prozesse, die innerhalb des Körpers stattfinden. Im ersten Schritt soll eine komplette allgemeine Ontologie zur Verfügung gestellt werden. Danach soll demonstriert werden, wie ontologische Methoden zur Verbesserung auf dem Gebiet des klinischen Versuchs-Managements führen und folglich zu weiteren Bemühungen für Verbesserungen in der Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit bei der Gesundheitspflege beitragen.

Im Bereich der Medizin sind mittlerweile eine auch Vielzahl von Bilddatenbanken über das Internet zugreifbar (<http://www.medknowledge.de/db.htm>). Dabei sind die Beschreibungen der Bilder mit zugehörigen Diagnosen hinterlegt und können auch zur rechnergestützten Ausbildung von Medizinern eingesetzt werden. Ein interessantes Beispiel stellt der **Dermatologie-Atlas** (dermis - Dermatology Information System – doia - Dermatologie Online Atlas) (<http://dermis.multimedica.de/doia>) dar. Doch sind diese Datenbanken sehr stark spezialisiert und auf keine vereinbarte gemeinsame Ontologie abgestützt, was bisher einer wünschenswerten breiteren Verwendung entgegensteht.

Auf eine allgemeinere Anwendung zielt das System **GETESS** (German Text Exploitation Search System) ab. GETESS beinhaltet einen Analyse- und Suchdienst für Texte im Internet. Das Projekt GETESS wurde 1998 von vier Partnern aus Forschung und Industrie gegründet und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Die vier Partner sind das Deutsche Forschungsinstitut für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Saarbrücken, das Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB) der Universität Karlsruhe, der Lehrstuhl Datenbank- und Informationssysteme (DBIS) der Universität Rostock und die GECKO mbH Rostock. An ein intelligentes Werkzeug zur Informationsrecherche im Internet werden verschiedene Anforderungen gestellt. Die zentrale Wissensbasis basiert auf einer Ontologie. Es sollen Informationen automatisch aus Text- und HTML-Dateien gesammelt und gespeichert werden. Anfragen an das System können in natürlicher Sprache (deutsch/englisch) gestellt werden. GETESS behandelt Probleme bei der Anfrage im Dialog mit dem Benutzer. Das Prinzip von GETESS besteht darin, dass bei der syntaktischen Analyse eines Dokumentes, erkannte Begriffe und Beziehungen semantisch mit Informationen aus der Ontologie angereichert werden. Anschließend wird ein Abstrakt generiert und abgespeichert, wenn zwischen zwei erkannten Begriffen eine Beziehung hergestellt werden konnte. Eine Menge von Abstrakten beschreibt ein Dokument. Der Vergleich der Anfragen mit den Abstrakten liefert eine Menge von gefundenen Dokumenten.

Auch eine Ontologie kann prinzipiell aus vorliegenden Texten akquiriert werden. Nach Vorgabe der gewünschten Information wird eine Menge von Texten einer linguistischen Analyse unterzogen. Die dabei als relevant identifizierten Textfragmente werden isoliert und die enthaltene Information entsprechend extrahiert. Anschließend werden diese Informationsfragmente in eine aus der Vorgabe abgeleitete Zielstruktur gebracht. Angesichts des momentanen Standes der Technik von Sprachverarbeitungssystemen können solche Analysen nur an thematisch eingegrenzten einfach strukturierten Texten wirkungsvoll vorgenommen werden. So kann auch bei der Konstruktion von Ontologien die Informationsextraktion aus Texten nur einen Teil der Vorgänge zur Wissensakquisition automatisierbar machen - Begriffe oder Phrasen können aus Texten extrahiert, geclustert und erste Relationen zwischen den Konzeptgruppen gesetzt werden - doch müssen diese Vorgänge jeweils "von Hand" nachkontrolliert, korrigiert und vervollständigt werden. Dennoch führt die Automatisierung zu einer erheblichen

Zeitersparnis. Dabei sind formale Texte in eindeutig strukturierter Form wie Aufträge, Meldungen und Berichte besser geeignet als allgemeine Textdokumente.

Aufbauend auf einer Ontologie zur Unterstützung der Übersetzung von natürlicher Sprache wurden im Projekt **OntoSeek** (www.ladseb.pd.cnr.it/infor/Ontology/Papers/OntoSeek.pdf, Guarino et al. 1997,) Werkzeuge zum Retrieval von Informationen aus dem Internet entwickelt. Mit einfachen taxonomischen Strukturen aber basierend auf einem großen Lexikon (ca. 90.000 Vokabeln) bildet **SENSUS** (<http://mozart.isi.edu:8003/sensus2/>, Swartout et al. 1997) einen semantischen Thesaurus. SENSUS ist eine Erweiterung und Reorganisation des Systems **WordNet** (Miller 1995) und wird eingesetzt im Bereich der automatischen Sprachübersetzung und zur Generierung von Zusammenfassung von Dokumenten.

Das **Cyc**-Projekt (<http://sourceforge.net/project>) wurde 1984 an der Microelectronics and Computer Technology Corporation (MCC) in Austin, Texas gestartet. Seit 1994 wird diese Technologie von der Firma Cycorp kommerziell vermarktet und als OpenCyc auch über das Internet zur Verfügung gestellt. Dabei entstand eine Reihe von allgemeinen Ontologien, die als Basis für entsprechende Domänen-Ontologien verwendet werden können. Cyc beinhaltet neben der Wissensbasis eine Inferenzmaschine, da die Wissensbasis in Form von logischen Aussagen repräsentiert wird. Die ungefähr 6.000 Konzepte und 60000 Beziehungen zwischen den Konzepten beschreiben einen Teil des menschlichen Allgemeinwissens. Dabei kann die Inferenzmaschine, das Kernstück des Systems, mit Hilfe deduktiver Schlussfolgerungsmethoden neue Schlüsse ziehen. Zum Betrachten und Ändern der Wissensbasis stehen mehrere Anwendungen zur Verfügung. Dazu zählen ein HTML-Browser, ein Hierarchie-Browser oder ein Lexikon-Browser. Cyc wurde in der Sprache CycL entwickelt. Übersetzer für C oder Lisp stehen zur Verfügung.

Im Bereich **Umweltinformatik** (Tochtermann & Maurer 2000) sind Ontologien in den Bereichen Rechtsverordnungen (Schröder et al. 1998) und Raumbezugssysteme (Visser & Stuckenschmidt 1999 & 2002, Klien et al. 2002) Forschungsgegenstände. Dabei geht es um die Anreicherung der Umweltdokumente durch Annotationen um zusätzliche Informationen. Da Metadaten in der Umweltinformatik eine zentrale Rolle spielen (Greve & Kramer 1999) liefern entsprechende Metadatensysteme einen wichtigen Beitrag zum Wissenstransfer. Ein Repräsentant eines Metadatensystems ist der Umweltdatenkatalog (UDK) (Nikolai et al. 1999). Hier können Umweltinformationen recherchiert werden, aber es kann auch nach kompetenten Ansprechpartnern zu bestimmten Themen gesucht werden. Erste Ansätze für das ontologiebasierte Retrieval von heterogener und verteilter Umweltinformation werden in Stuckenschmidt & Ranze 1999 vorgestellt.

Ein wichtiger Baustein einer Basis-Ontologie ist die Modellierung physikalischer Größen und Einheiten mittels einer Ontologie. Dieses ist Bestandteil des von der europäischen Union geförderten Projekt **ScadaOnWeb** (Supervisory Control and Data Acquisition) (Schröder et al. 2003). Eine verbreitete und wiederverwendbare Basis-Ontologie stellt **Dublin Core** (<http://dublincore.org/>) dar. Hier wird eine weithin akzeptierte Meta-Ontologie zur Beschreibung von Dokumenten in Netzwerken vereinbart. Dazu wurde ein entsprechendes Vokabular von Metadaten definiert.

Das Projekt **WonderWeb** (Masolo et al. 2002) zielt u. a. auf dem Aufbau einer Bibliothek von Basis-Ontologien. Die internationale Beteiligung an diesem Projekt ermöglicht einen breiten Konsens für die zu definierenden Ontologien. Eine erste gemeinsame Ontologie zur internen Modellierung der Entwicklungsphasen für Ontologien soll als sprachliche und kognitive Basis für gemeinsame zukünftige Entwicklungen zur Bereitstellung einer Infrastruktur für

das Semantic Web dienen. **Knowledge Web** (<http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/Projekte/>) wird als ein thematisches Netzwerk von der Europäischen Kommission im sechsten Forschungsrahmenprogramm gefördert. Die Mission von Knowledge Web besteht in der Stärkung der europäischen Industrie und Dienstleister im Umfeld des „Semantic Web“. Die ontologiebasierten Anwendungen liegen im den Bereichen E-Work und E-Commerce.

SEKT (Semantically Enabled Knowledge Technologies) (<http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/Projekte/>) ist ein Integriertes Projekt, welches ebenfalls von der Europäischen Kommission im sechsten Forschungsrahmenprogramm gefördert wird. Hier sollen neue Wissenstechnologien unter Einschluss von Dokumenten-Management, Content-Management und Wissens-Management entwickelt werden. Dabei sollen die Grenzen zwischen Dokumenten-Management, Content-Management und Wissens-Management verwischt werden. Hier soll die Zusammenführung der Kompetenzen in den Feldern Ontologie und Metadata Technologie, Wissensgewinnung und Sprachverarbeitung auch zu innovativen und offenen Referenzimplementierungen für verschiedene Anwendungen führen.

Eine kurze Übersicht über weitere Projekte mit dem Schwerpunkt Ontologie-Entwicklung findet sich in *Ding 2001*. Dazu gehören **OntoKnowledge** (www.ontoknowledge.org), mit dem Fokus auf Methoden und Werkzeuge zur Ontologieentwicklung für das Wissensmanagement. Im Hinblick auf das zukünftige „Semantic Web“ und auf „E-Commerce“ förderte die Europäische Kommission das Projekt **OntoWeb** (www.ontoweb.org). Ontologien zur Annotation und Kapselung von Web-Dokumenten stehen im Blickpunkt des Projektes **OntoBroker** (ontobroker.aifb.uni-karlsruhe.de, Fensel et al. 1999). Anfragen nach und Angebote von Dokumenten im Internet werden durch einen ontologiebasierten Antwort-Dienst unterstützt. Das abgeschlossene Projekt **OntoWise** verwendete Ontologien zur Modellierung von Geschäftsprozessen und relevantem Wissen (<http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/Projekte/>). Auch im kanadischen Projekt **TOVE** (www.eil.utoronto.ca/tove/ontoTOC.html, Toronto Virtual Enterprise, University of Toronto) und im britischen Projekt **Enterprise** (www.aiai.ed.ac.uk/~entprise/enterprise) dienen Ontologien zur Modellierung von Geschäftsprozessen. Weiter sind eine ganze Reihe von betrachtenswerten Ontologien über (<http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/>) (Abb. 5-4) und über die DAML Ontologie Bibliothek direkt zugänglich (<http://www.daml.org/ontologies/>). Speziell sei hier auf Ontologien zur Modellierung von Zeitbegriffen hingewiesen. Auch die Cyc's upper ontology (<http://www.opencyc.org/>) von OpenCyc.org und die Standard Upper Ontology (SUO) in Form der Suggested Upper Merged Ontology der IEEE Standard Upper Ontology Working Group (<http://suo.ieee.org/index.html>) sind über die angegebenen Adressen abrufbar.

Die vollständig in OWL (Web Ontology Language, McGuinness & van Harmelen 2004, Dean & Schreiber 2004) beschriebene Service Ontologie für Web-Services (**OWL-S**) dient der Anbindung von Web-Services an die Welt der SW-Agenten und ist daher im Kontext dieser Arbeit besonders interessant. OWL-S verwendet dazu Markup-Sprachkonstrukte, um Diensteanbietern die Möglichkeit zu bieten, ihre Dienste maschinenverständlich zu beschreiben. Das ermöglicht ein automatisches Auffinden der Dienste, ihre automatische Ausführung und Komposition sowie ihre Zusammenarbeit im Rahmen des Semantischen Webs. Die Hauptbestandteile der Ontologie sind:

- Service Profil: Es beschreibt den Dienst nach außen, um das Anbieten und das Auffinden zu ermöglichen.
- Prozess Modell: Das Prozess Modell beschreibt die interne Struktur des Dienstes, seine Funktionen, Ein- und Ausgaben sowie seine Bedingungen.

- Service Grounding: Das Grounding (Fundament) beschreibt, wie auf den Dienst konkret von einem Agenten zugegriffen werden kann. Es adressiert Fragen des Protokolls, des Nachrichtenformats, der Portnummer etc. Es liefert also die Informationen, die ein Agent zu der Nutzung des Dienstes benötigt.

Die Service-Ontologie referenziert externe Zeit- und Ressourcenontologien. Bei einer Einbindung von OWL-S sind diese ebenfalls zu integrieren bzw. anzupassen. Sie sind nicht Bestandteil der Service-Definitionen. Die Beschreibung der Services erfolgt auf der syntaktischen Ebene und ist für die Zielsetzung dieser Arbeit unzureichend (vgl. Kap. 4, Tab. 5). Das Prozess-Modell zur Beschreibung der inneren Struktur von Diensten, mit der Unterscheidung zwischen atomaren und zusammengesetzten Prozessen und der Modellierung der Prozesszustände ist davon jedoch unabhängig und kann daher weitgehend verwendet werden.

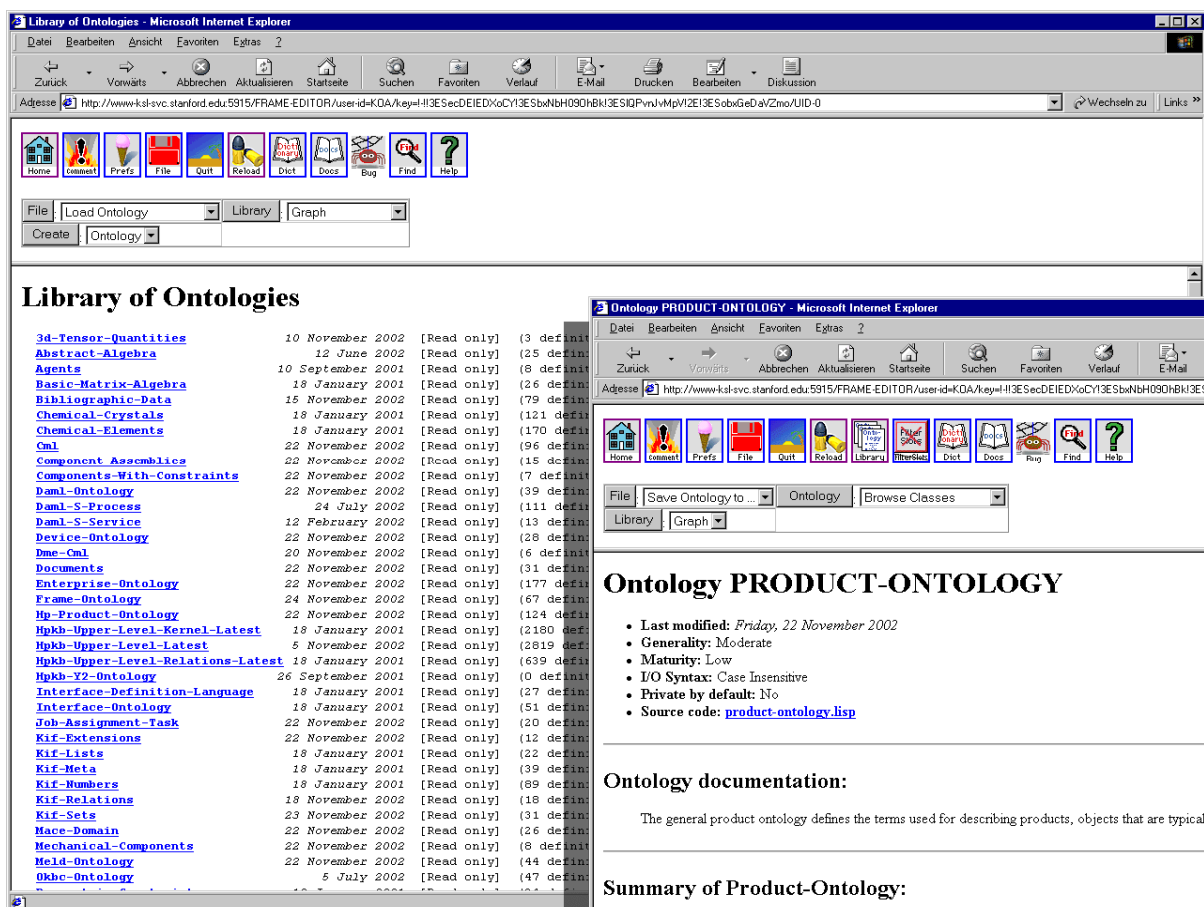


Abbildung 5-4: Internet basierter Zugriff auf Ontologien über die Universität Stanford.

Für den Bereich der Fernerkundung ist die SWEET Ontologie (Semantic Web for Earth and Environmental Terminology, <http://sweet.jpl.nasa.gov/index.html>) eine mögliche Grundlage. SWEET wurde von der NASA entworfen um die semantische Interoperabilität von Daten aus Erd- und Umweltwissenschaften zu ermöglichen. Die SWEET Ontologie ist in OWL verfasst. Sie besteht aus verschiedenen Teilontologien. Diese reichen von der Beschreibung des Planeten Erde über Materie bis hin zu menschlichen Aktivitäten. Die verschiedenen Teilontologien sind in der Form von einzelnen OWL-Dateien öffentlich zugänglich (<http://sweet.jpl.nasa.gov/products.html>). Die aktuell verfügbaren Teil-Ontologien stellen sich wie folgt dar:

- Human Activities: Beschreibung menschlicher Aktivitäten (z.B. Fischerei) im Bezug auf mögliche Einflüsse auf Umweltphänomäne.
- Phenomena: Konzepte zur Beschreibung temporärer Umwelt-Ereignisse (z. B. Vulkanausbruch).
- Spatial Entity: Räumliche Konzepte (z. B. Land, Antarktis) und räumliche Anordnungsbeziehungen (z. B. „northOf“).
- Temporal Entity: Beschreibung zeitlicher Begriffe (z. B. „Summer“, „Daytime“) und Beziehungen (z. B. „after“).
- Numerical Entity: Numerische Konzepte (z. B. Koordinatensysteme, Punkte) und Relationen, Operatoren, Funktionen (z. B. „greaterThan“).
- Units: Enthält Konzepte zur Beschreibung von Einheiten und Faktoren und dient zur Umrechnung von Einheiten untereinander.
- Physical Property: Beschreibung physikalischer Eigenschaften (z. B. Druck, Temperatur, Wärmeenergie).
- Living Element: Sie enthält die Beschreibungen von tierischen und pflanzlichen Spezies (z. B. Insekten, Pilze).
- Non-Living Element: Beschreibung von toter Materie (z. B. chemische Substanz, Strahlung).
- Earth Realm: Beschreibung der physikalischen Eigenschaften der Erde. Dazu gehören Konzepte wie Ozean, Atmosphäre etc. sowie dazugehörige Verfeinerungen, beispielsweise bei der Atmosphäre in Troposphäre und Ionosphäre.

Zusammenfassung zu den Anwendungen

Ausgeprägte, detaillierte Domänen-Ontologien, die zur Beschreibung von Informationen und Diensten in einem Netzwerk zur interaktiven Bildauswertung im Bereich der Fernerkundung geeignet wären oder mit Einschränkung in größeren Teilen direkt zugänglich und verwendbar wären, stehen mit Ausnahme von SWEET bisher nicht zur Verfügung. Eine Dokumentation der aufgeführten Ontologien liegt teilweise gar nicht oder nur in sehr beschränktem Umfang vor. So finden sich zwar Anhaltspunkte für Strukturierung und Konzepte, aber detaillierte Konzepthierarchien, Eigenschaften und Relationen lassen sich daraus nicht entnehmen. Die zuvor beschriebenen Ontologien konzentrieren sich sehr stark auf jeweils eine gewählte Taxonomie und die entsprechende Einordnung von Konzepten. Verschiedene Sichten werden somit nicht unterstützt. Allgemein ist der Detaillierungsgrad bezüglich der Verwendung von Attributen und Relationen sehr gering, was aufgrund der Bedeutung von Relationen für Ontologien doch auffällig ist. Bezüglich einer direkten Wiederverwendung ist die Größe der Ontologien (teilweise mehrere tausend Konzepte) hinderlich, da zum einen ein Großteil der Konzepte für die konkrete Anwendung nicht benötigt wird, dieser zum anderen aber auf Widersprüche und eventuelle Einflüsse auf die Gesamt-Ontologie geprüft und eventuell angepasst werden muss. Der daraus resultierende zeitliche Aufwand, unberücksichtigt von dem Problem unterschiedlicher Repräsentationssprachen der einzelnen Ontologien, ist bei einer Anpassung bzw. Eingliederung hoch, verglichen mit dem Aufwand für die Entwicklung einer speziell angepassten eigenen Ontologie unter Verwendung einzelner nützlicher beschriebener Konzepte.

Der Literaturüberblick über Ontologien verdeutlichte, dass eine Reihe von Entwicklungsarbeiten zur Erstellung von Ontologien stattfinden. Fertige Domänen-Ontologien mit hinreichend genauer Detaillierung sind allgemein nicht verfügbar. Allerdings existieren spezielle anwendungsbezogene Lösungen, bei denen naturgemäß die anwendungsübergreifende Wiederverwendung nicht im Vordergrund steht. Verschiedene Top-Level- und Kern-Ontologien wurden exemplarisch entwickelt und stehen im Internet zur Verfügung. Dabei ist die Ontolo-

gieentwicklung ein iterativer Prozess und die einfache und konsistente Erweiterbarkeit der Ontologie muss von Beginn an berücksichtigt werden. Insbesondere existiert nicht die eine Domänen-Ontologie (Noy & McGuinness 2002). Neben dem Anwendungsbereich in dem die Konzepte angesiedelt sind, beeinflussen die jeweilige Sicht der Ontologie-Entwickler und die eingeflossenen Kenntnisse der berücksichtigten Experten die resultierende Ontologie. Ontologieentwicklung ist ein kreativer Design-Prozess und damit eher eine Kunstfertigkeit als einer Ingenieurstätigkeit (Jakkilinki et al. 2004). Zunehmend werden aber Verfahren und Werkzeuge zur Erstellung und zum Management von Ontologien entwickelt, um die Aufwendungen für den Ontologie-Entwicklungsprozess durch zunehmende Automatisierung von Teilprozessen zu reduzieren. Als Vorbild dienen hier SW-Entwicklungs-Modelle. Auch bei der Ontologie-Entwicklung stellt dabei die Anforderungsanalyse einen entscheidenden Schritt dar.

Anforderungen: Eine Ontologie wird nur dann weiter verbreitet, wenn sie eine Domäne ausreichend beschreibt und ein Konsens zwischen den Nutzern der Ontologie vorliegt. Unzureichende unvollständige Beschreibungen resultieren leicht in eigenständigen Neuentwürfen. Eine Ontologie muss leicht zugänglich sein. Das heißt, sie muss in einer standardisierten Sprache abgelegt sein und mit geeigneten Werkzeugen leicht in Anwendungen integrierbar sein. Ein modularer Aufbau verbessert die Übersichtlichkeit, erleichtert die Wiederverwendbarkeit einzelner Teile und ermöglicht eine einfachere Erweiterbarkeit, dies gilt sowohl für Spezialisierung als auch für das Überschreiben von Konzepten. Eng zusammen hängende Konzepte sollten in entsprechenden Teil-Ontologien beschrieben werden. Bei lockeren, weniger zahlreichen Beziehungen sollte eine Aufteilung erfolgen. Um eine bessere Wiederverwendbarkeit zu ermöglichen sollten die Konzepte in den einzelnen Modulen nicht überspezifiziert werden, d. h. sie sollten nur mit der minimal ausreichenden Beschreibung der Konzepte versehen sein. Andererseits sind vollständige Definitionen zur Beschreibung von Konzepten einer Anwendungsdomäne zu bevorzugen, da der vorgesehene Zweck der Konzepte besser verdeutlicht wird und sie in der Regel leichter verständlich sind. Die alleinige Verfügbarkeit kann noch nicht als ein ausreichendes Kriterium angesehen werden, um eine Ontologie für eine Wiederverwendung bei der Erstellung eigener Ontologien zu berücksichtigen. Damit verschiedene Ontologien widerspruchsfrei gemeinsam verwendet werden können ist eine umfassende und detaillierte Dokumentation zu fordern, um die Semantik der Ontologie vollständig und richtig erfassen zu können.

Nach Auswertung der Literatur und der Analyse verfügbarer Ontologien ergibt sich als Fazit für die vorliegende Arbeit die Notwendigkeit der Neuentwicklung der Ontologie. Dahingehend werden im Folgenden zunächst Methoden zur Entwicklung von Ontologien beschrieben. Eine in dieser Arbeit entstandene notwendige Verfeinerung der Methodik zur Berücksichtigung verschiedener „Sichten“ wird eingeführt und erläutert. Anschließend werden Sprachen und Werkzeuge zur Ontologie-Entwicklung diskutiert. Eine Entwicklungsumgebung wird ausgewählt und festgelegt.

5.3 Methoden, Sprachen und Werkzeuge

Die Methodik zur Entwicklung einer Ontologie ist eingebettet in die Methodik zum Entwurf wissensbasierter Systeme. Zur Unterstützung der Entwickler existieren eine Reihe von vorgefertigten Formularen und Schablonen. Während allgemeine Vorgehensmodelle wie das V-Modell (Bröhl & Dröschel 1995) oder das NC3S – Framework (NC3S 2000) stärker die Systemaspekte durch vorgesehene Arbeitsabläufe sowie Formulare und Techniken berücksichtigen, stellen Methoden wie CommonKADS (Schreiber et al. 2000) Arbeitsblätter und Techniken zur Unterstützung des Wissens-Managements insbesondere zum Wissenserwerb und zur Wissensstrukturierung in den Vordergrund und folgen damit mehr dem klassischen

Modell der Entwicklung wissensbasierter Systeme. Verschiedene Arbeitsgruppen haben ihre Methoden aus dem praktischen Vorgehen heraus entwickelt (*Gruninger & Fox 1995, Uschold & King 1995, Swartout et al. 1997, Staab 2002*). In Abb. 5-4 wird die Ontologie-Entwicklung als 5-Phasen Modell nach Staab (*Staab 2002*) dargestellt. Dabei wird der iterative Charakter des Erstellungsprozesses sehr deutlich. Die fünf Phasen sind eingeteilt in:

1. Machbarkeits-Studie mit grobem Lösungsansatz
2. Kickoff-Phase mit der Erstellung der Anforderungs-Spezifikation und der Formulierung von ersten Kompetenzfragen
3. Verfeinerung und Formalisierung des Wissens, dabei Herstellen der Konsistenz und der Vollständigkeit, Festlegen der Anwendungsszenarien und Implementierung eines Prototyps
4. Evaluierung mittels Testdatensätzen, die auch die Kompetenzfragen umfassen
5. Erweiterung und Anpassung (Wartungsphase)

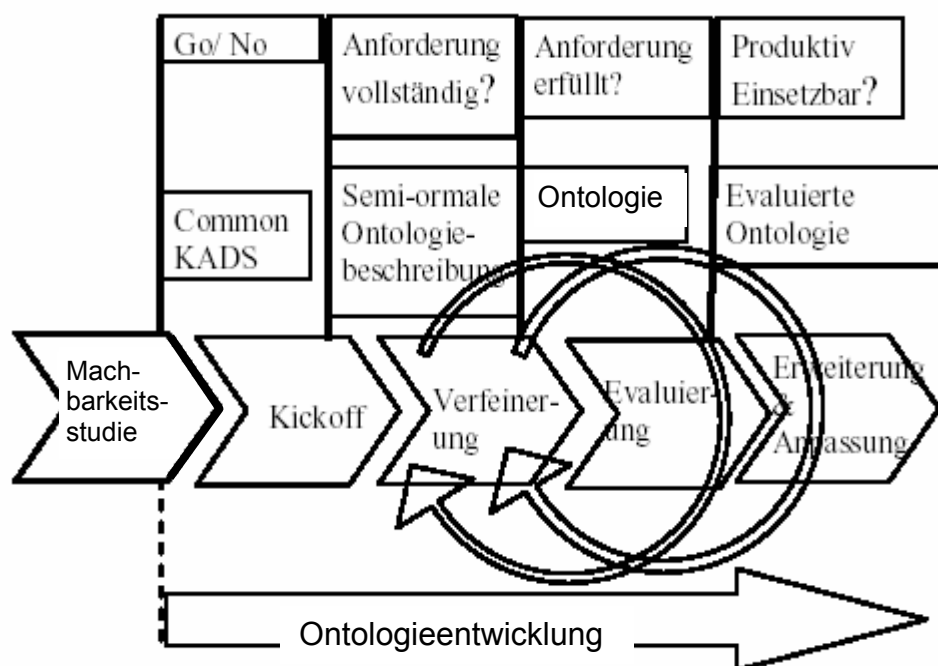


Abbildung 5-5: Ontologie-Entwicklung im Modell nach *Staab 2002*.

Eine Besonderheit der in *Staab 2002* vorgeschlagenen Methodik, ist die durchgängige Unterstützung durch ein Werkzeug („OntoEdit“). Damm (*Damm 2003*) unterscheidet zwischen induktivem und deduktivem Ansatz zur Ontologieentwicklung. Im induktiven Ansatz wird eine neue Ontologie durch Verfeinerung oder Zusammenführen von bestehenden Ontologien erstellt. Der deduktive Ansatz beinhaltet die vollständige Neu-Erstellung von Ontologien, wobei auch hier zur Erleichterung und Beschleunigung des Entwicklungsprozesses auf bestehende Ontologien mit höherem Abstraktionsniveau zurückgegriffen wird. Der Gesamtprozess der Ontologie-Entwicklung nach Damm ist in Abb. 5-6 dargestellt. Eine ähnliche Methode stellt die BPD/D Ontological Engineering Methodology (*Missikoff et al. 2002, Kim 2002*) dar. Gegenüberstellungen der Methoden finden sich in *Draba 2002* und *Stollberg 2002*. Während die vorgeschlagenen Methoden allgemeine Vorgehensweise unterstützen, existieren auch eine Reihe von „Daumenregeln“ zur Entwicklung einer Ontologie (*Noy & McGuinness 2002*).

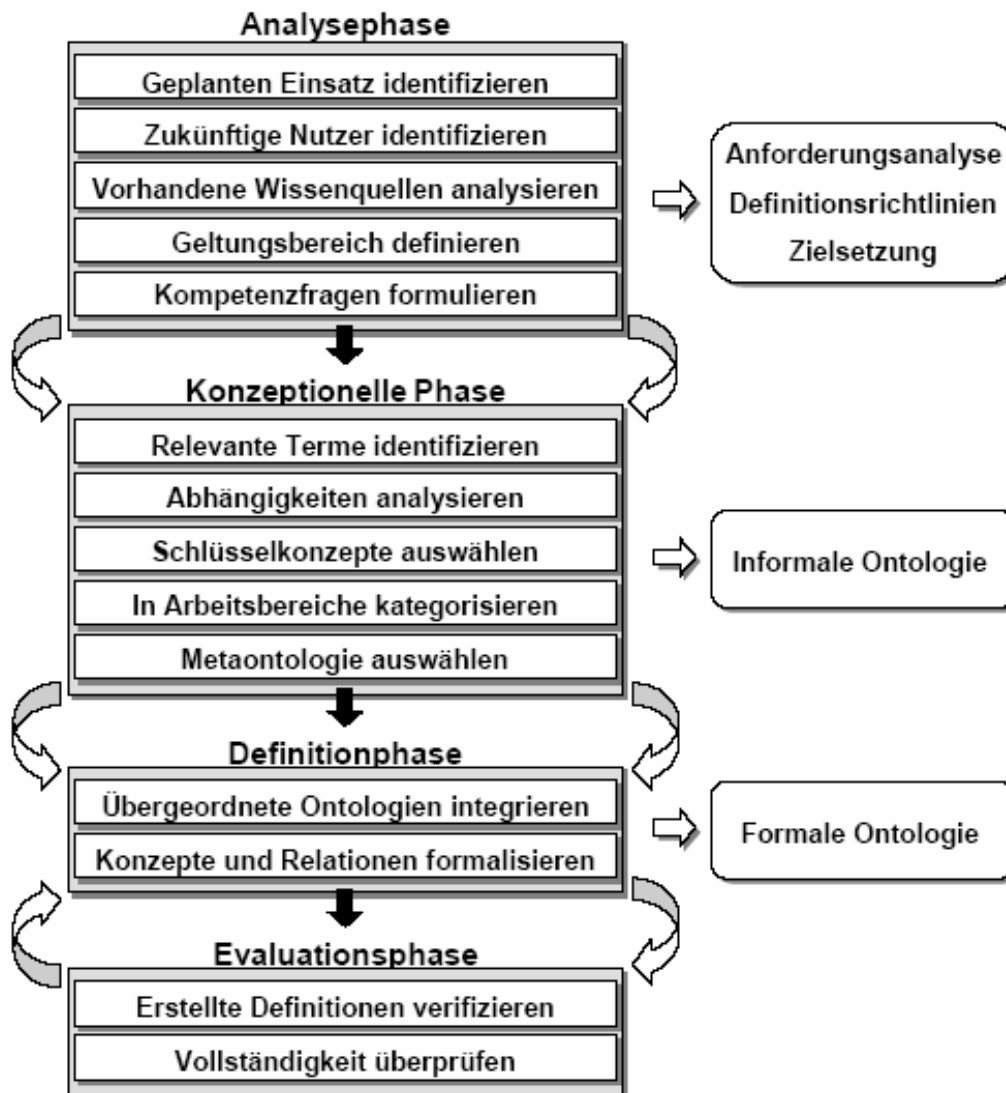


Abbildung 5-6: Gesamtprozess der Ontologie-Entwicklung nach Damm 2003.

Der Entwurf einer Ontologie ist abhängig von der Reihenfolge in der die Konzepte erfasst werden. Dabei kann unterschieden werden in (Uschold & Gruninger 1996):

- Der Top-Down-Ansatz verlangt, dass zunächst die allgemeinen Konzepte der Ontologie definiert werden und diese schrittweise zu erweitern und verfeinern. Dadurch kommt es oft zur Bildung willkürlicher Top-Level-Kategorien, die nicht zum Verständnis der Domäne beitragen.
- Die Vorgehensweise beim Bottom-Up-Ansatz ist genau entgegengesetzt. Es werden zunächst die detailliertesten spezifischen Begriffe beschrieben und danach übergeordneten, allgemeineren Klassen zugeordnet. Der Detaillierungsgrad ist hier sehr hoch. Dies hat zur Folge, dass ähnliche Konzepte sehr schwer zu erkennen sind und deshalb Inkonsistenzen auftreten können.
- Beim Middle-Out-Ansatz werden zunächst die grundlegenden Begriffe herausgearbeitet und davon ausgehend speziellere und allgemeinere Konzepte gebildet. Dieser Ansatz scheint ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Generalisierung und Spezialisierung zu sichern. Er ist daher nach Uschold und Gruninger einem reinen Top-Down-Ansatz und einem reinen Bottom-Up-Ansatz vorzuziehen.

Die aufgeführten Methoden zur Ontologie-Entwicklung unterscheiden sich in den Bezeichnungen und Unterteilungen der Teilschritte des Prozesses der Ontologieentwicklung. In allen Methoden beinhaltet die Analysephase die Identifikation der potentiellen Nutzer und die Ermittlung der Nutzeranforderungen. Doch eine Unterscheidung von zwar gemeinsamen Interessens-Objekten aber unterschiedlichen Sichten auf die Strukturierung der Objekte (vgl. Kap. 4.3) wird nicht vorgenommen. Diese von der Datenbank-Technologie bekannte Unterscheidung ist jedoch elementar für eine Ontologie zur Unterstützung der vernetzten interaktiven Bildauswertung, um zum einen die Konsistenz der Objektdefinitionen und zum anderen die nutzerspezifischen Interessen an diesen Objekten zu gewährleisten. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher eine verfeinerte Methodik entwickelt. Der Ablauf der Ontologie-Erstellung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Sichten und damit auch unterschiedlicher Taxonomien ist in Abb. 5-7 dargestellt.

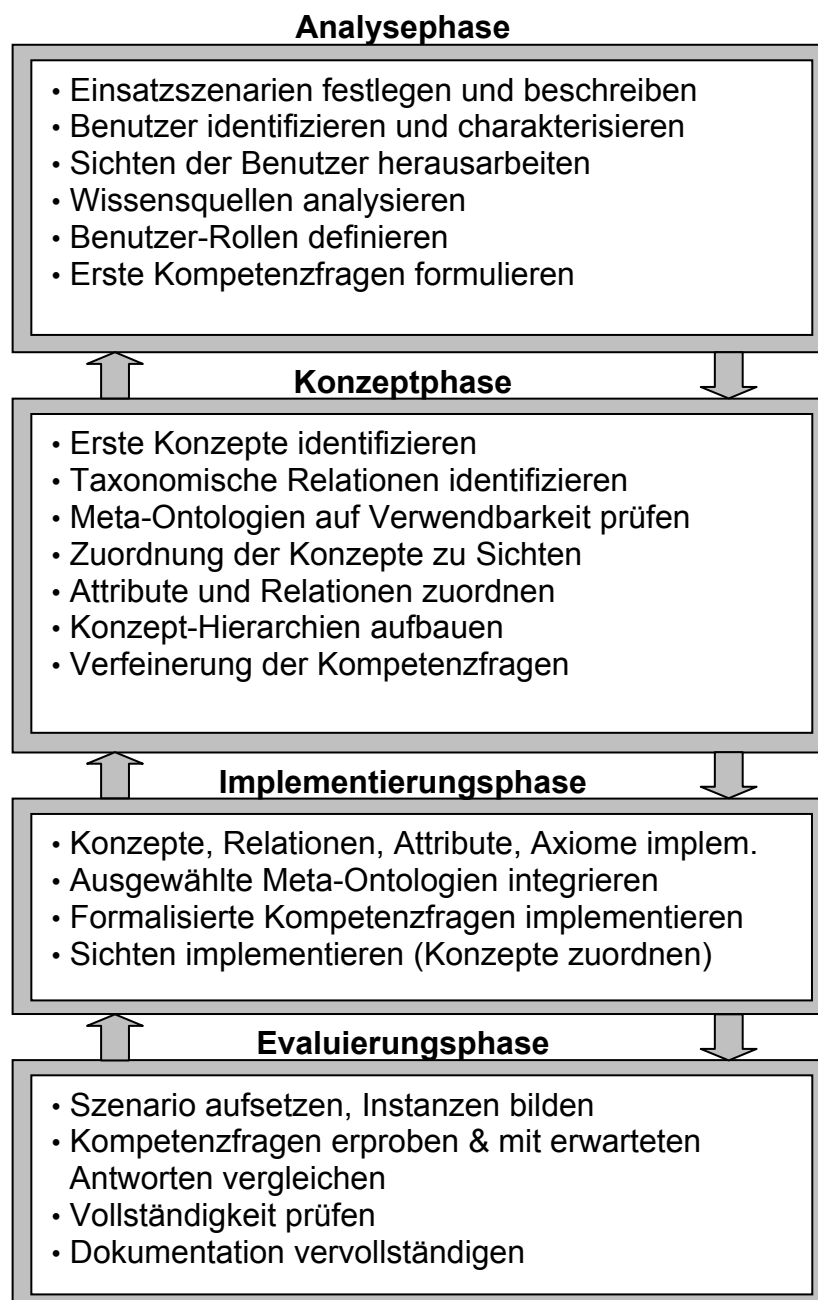


Abbildung 5-7: Verfeinerung des Ontologie-Entwicklungsprozesses unter Berücksichtigung benutzer-spezifischer Sichten.

Die systematische Formulierung und Evaluierung von Kompetenzfragen über alle Phasen hinweg ist dabei eine der wichtigsten Tätigkeiten bei der Erstellung der Ontologie. Die Erfahrung zeigt, dass die Phasen sehr stark ineinander „verzahnt“ sind und einen iterativen Charakter haben. Diese Iteration beschränkt sich nicht nur auf die konzeptionelle Phase. Die Identifikation und Konkretisierung der Konzepte, deren Hierarchien und Relationen, bedingt vielfach einen erneuten Übergang in die Analysephase, insbesondere in die Analyse von Wissensquellen. Es stellt sich heraus, dass in der Analysephase selten ein so detailliertes Wissen gewonnen werden kann, um alle Fragestellungen, die bei der eigentlichen Konkretisierung der Konzepte auftreten, abzudecken.

Um eine Ontologie zu bewerten werden objektive **Qualitätskriterien** benötigt, die sich auf die beabsichtigte Anwendung der Ontologie abstützen. Diese stellen ein Maß zur qualitativen Bewertung von Ontologien dar. Gruber (*Gruber 1994*) definiert dazu fünf Kriterien:

1. Klarheit („Clarity“)
Die in einer Ontologie beschriebenen Definitionen sollen objektiv und unabhängig vom sozialen und technischen Kontext sein. Die beabsichtigten Bedeutungen von Begriffen sollen durch objektive Definitionen klar ersichtlich sein. Vollständige Definitionen sollen partiellen Definitionen vorgezogen werden. Zusätzlich sollen alle Definitionen in natürlicher Sprache kommentiert werden.
2. Kohärenz („Coherence“)
Eine Ontologie soll zusammenhängend sein. Das bedeutet, dass die Folgerungen in keinem Widerspruch zu den gemachten Definitionen stehen. Die für die Definitionen eingesetzten Axiome sollen logisch konsistent sein
3. Erweiterbarkeit („Extendibility“)
Eine Ontologie soll für neue Anwendungen erweiterbar sein. Es soll möglich sein, über das existierende Vokabular neue Begriffe zu definieren, ohne dass die bisherigen Definitionen korrigiert werden müssen.
4. Minimale Verwendung von Implementationsdetails („Minimal encoding bias“)
Die Modellierung soll frei von Implementierungszwängen sein. Dies erleichtert die Übersetzung in andere Formalismen und damit die Wiederverwendbarkeit.
5. Minimale ontologische Festlegungen („Minimal ontological commitment“)
Eine Ontologie soll eine minimale, aber ausreichende Menge an Definitionen über die modellierte Domäne zusammenstellen. Zu viele ontologische Festlegungen können die Erweiterbarkeit einschränken.

Da es kaum möglich ist alle Kriterien einzuhalten, wird die Qualität einer Ontologie eher durch einen Kompromiss zwischen diesen einzelnen Anforderungen bestimmt sein.

Die Standardisierung und Wiederverwendbarkeit durch Ontologien müssen durch eine Standardisierung der **Repräsentationssprache** der Ontologien ermöglicht werden. Hierzu wurden vom W3C Empfehlungen gegeben. Abb. 5-8 stellt die Bausteine des zukünftigen „Semantic Web“ dar. Der Aufbau basiert auf mehreren Schichten (*Berners-Lee 2002, Schröder 2003, Bräunle 2003*).

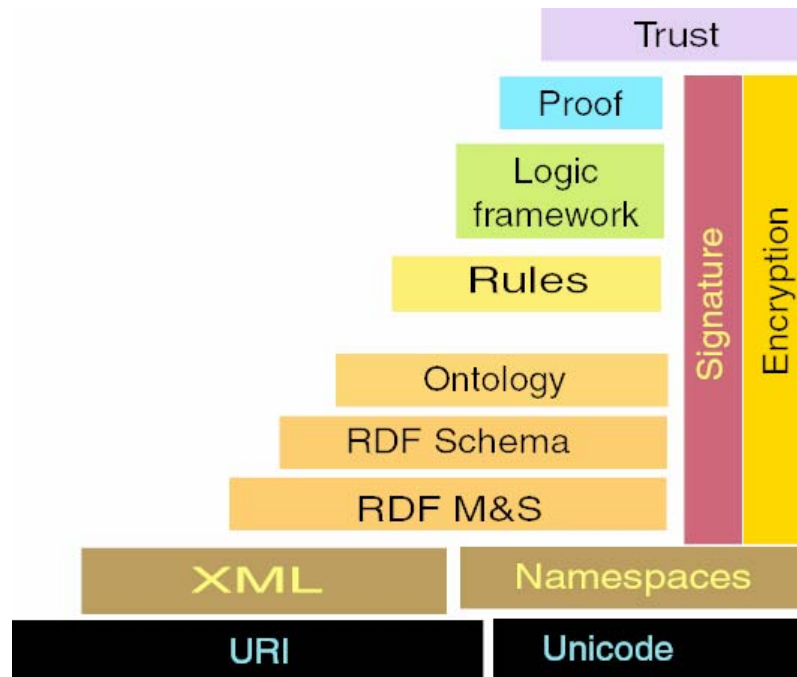


Abbildung 5-8: Bausteine des Semantic Web (Berners-Lee 2002).

Das „Semantic Web“ basiert auf der untersten Stufe auf URIs und Unicode. URIs dienen zur Identifikation von Dokumenten im Web. Der Unicode ermöglicht die Verwendung internationaler Zeichensätze. Darüber liegt die XML-Schicht (eXtensible Markup Language), die eine Erweiterung der „html“ Syntax ist. XML ist ein Datenaustauschformat und erlaubt die Darstellung strukturierter Daten sowie die Generierung eigener „Meta-Tags“ zur Annotation der Daten. XML-Schemata definieren die Struktur und „Meta-Tags“ für ein Dokument. „Namespaces“ dienen der Modularisierung und ermöglichen die Kombination von Dokumenten mit heterogenem Vokabular.

Die erste Schicht des „semantischen Netzwerkes“ bildet RDF – das Resource Description Framework (RDF). RDF M&S stellt dabei ein Modell zur Beschreibung von Semantik basierend auf Tripeln (Subjekt – Prädikat – Objekt Struktur) dar und stellt eine dementsprechende Syntax zur Verfügung. RDF Schema ist eine Modellierungssprache mit der Klassen, Eigenschaften und Beziehungen definiert werden können. Auch die Ontologie wird über RDF realisiert. Dabei wurden in den letzten Jahren allerdings einige Erweiterungen zur verbesserten Beschreibbarkeit von Ontologien eingebracht. Die Sprache DAML+OIL, die durch die Zusammenführung der Sprachen DAML (DARPA Agent Markup Language) und OIL (Ontology Inference Language) entstanden ist, definiert auf Basis von XML und RDF neue Sprachkonstrukte (z. B. Logik-Konstrukte, neue Typen von Relationen), die speziell im Hinblick auf die Konstruktion von Ontologien eingebracht wurden. Abgeleitet von DAML+OIL wird die OWL (Web Ontology Language) (<http://www.w3.org/TR/owl-features/#s5>) als offizielle Empfehlung der Arbeitsgruppe WebOnt des W3C (<http://www.w3.org/2001/sw/WebOnt/>) zukünftig der Standard zur Beschreibung von Ontologien sein. Wie DAML+OIL weist auch OWL einen Schichtenaufbau auf. Dieser Aufbau drückt sich in drei Untersprachen OWL Lite, OWL DL und OWL Full aus. Die Untersprachen zeichnen sich durch eine zunehmende Ausdrucksmächtigkeit aus. Mit OWL Lite lassen sich Ontologien mit einfacher Taxonomie und Einschränkungen auf Wertebereiche festzulegen. Dabei sind nur Kardinalitäten von 0 oder 1 zulässig. OWL DL und OWL Full besitzen den gleichen Sprachumfang. Der Unterschied zwischen den beiden liegt in der eingeschränkten Verwendung einiger Konstrukte unter OWL DL. Unter OWL DL ist es jedoch nicht möglich, Klassen als Instanzen anderer Klassen zu be-

schreiben. Damit ist die Verwendung von Metaklassen, z.B. zur Definition einer Metaontologie, nicht möglich. Alle Ontologien, die mit diesem Grundsatz brechen, sind zwangsläufig OWL Full Ontologien. Mit den Restriktionen unter OWL Lite wird erreicht, dass alle Schlussfolgerungen berechenbar sind und in endlicher Zeit abgeschlossen werden. Damit wird gewährleistet, dass auf der Grundlage von OWL DL Inferenzmechanismen implementiert werden können. OWL DL hat seine formale Grundlage in der Beschreibungslogik (Description Logic). OWL Full hat keine Restriktionen und ermöglicht das beliebige Mischen von OWL und RDF Schemata. Es benötigt keine strikte Trennung zwischen Klassen, Instanzen, Daten und Eigenschaften. Die vollständige Nutzung von Inferenzmechanismen in OWL Full ist bisher nicht gegeben.

Die digitale Signatur und Verschlüsselung (Encryption) dient zur Authentifizierung, Ver- und Entschlüsselung von Dokumenten. Eine entsprechende W3C-Empfehlung steht seit Anfang 2003 zur Verfügung. Die verschiedenen Ontologien können durch Regeln noch mächtiger gemacht werden, da Regeln erlauben würden, Wissen automatisch in eine Ontologie einzufügen. Dazu ist die Formulierung von Bearbeitungsschritten (Logic) notwendig, die entsprechend ausgeführt und überprüft werden müssen (Proof). Basierend auf der digitalen Signatur und dem „Web of Trust“, kann ein Netzwerk aufgebaut werden in dem der Nutzer ausgewählte andere Benutzer als vertrauenswürdig einstuft. Mit diesen können dann Daten inklusive der Annotationen ausgetauscht werden. An den oberen Schichten arbeiten entsprechende W3C-Arbeitsgruppen, aber es existieren noch keine W3C-Empfehlungen. Von diesen „Markup“-Ontologiesprachen sind die als traditionell anzusehenden Ontologiesprachen wie F-Logic, KIF oder LOOM zu unterscheiden, die hier der Vollständigkeit wegen erwähnt werden.

Zur formalen grafikgestützten Beschreibung hat sich die Sprache UML – Unified Modeling Language (*Booch et al. 1999, Fowler & Scott 2000*) durchgesetzt. So lassen sich UML Klassendiagramme zur Beschreibung von Objekten, ihrer Struktur und ihren Beziehungen einsetzen. Informationsflüsse werden mittels UML-Aktivitätsdiagrammen beschrieben und zur Darstellung des dynamischen Objekt-Verhaltens sind UML-Zustandsdiagramme gut geeignet. Diese Techniken werden von modernen Software-Entwicklungsumgebungen durch entsprechende Werkzeuge unterstützt, so dass den Entwicklern geeignete Editoren zur Modellierung zur Verfügung stehen. Auch eine Entwicklungsumgebung zur Erstellung von Ontologien sollte daher UML unterstützen.

Werkzeuge zur Unterstützung der Entwicklung einer Ontologie müssen Möglichkeiten zur Erstellung, Visualisierung, Auswertung, Überprüfung und zur Verknüpfung von Ontologien anbieten. Die Benutzungsoberflächen dieser Werkzeuge sind vor allem für Wissensingenieure und Domänenexperten zu gestalten und weniger für Programmierer. Daher ist eine gute Dokumentation mit erläuternden Beispielen ein wichtiger Bestandteil. Entsprechend dem Mangel an Standards zur Erstellung von Ontologien steht auch die Entwicklung der Ontologie-Werkzeuge noch am Anfang. Eine einfache Erweiterbarkeit der Werkzeuge ist daher eine ebenso wichtige Anforderung wie die Möglichkeit des Imports und Exports von Ontologien in unterschiedlichen Repräsentationssprachen. Auch die mögliche Versionierung von Ontologien ist eine wertvolle Eigenschaft eines Entwicklungswerkzeuges. Aufgrund der Komplexität der Ontologien sind Modularisierbarkeit und Unterstützung der parallelen Bearbeitung durch mehrere Benutzer wichtige Leistungsmerkmale. Bezogen auf die Ontologie sollten Mehrfachvererbung und die Möglichkeiten zu Einschränkungen auf Klassen- und Attributebene vorhanden sein. Im Folgenden werden mit OntoLingua, Protégé-2000 und Ontoedit drei fortgeschrittene Werkzeuge kurz erläutert, die im Forschungsbereich verwendet werden. Für einige weitere in Entwicklung befindliche Werkzeuge sei auf die Literatur verwiesen. Vergleichende Übersichten finden sich in *Jakkilinki et al. 2004* und *Kazakos & Urbanowicz 2001*.

Ontolingua wurde in den Knowledge Systems Laboratory (KSL) an der Stanford University entwickelt. Es ist ein Werkzeug zum „weltweit“ verteilten Erstellen, Überarbeiten und Suchen von bzw. nach Ontologien. Es basiert auf „Ontolingua“, einer als Standard zur formal-sprachlichen Spezifikation von Realitätsausschnitten entworfenen Sprache. Der Ontolingua-Server bietet Bibliotheken von Ontologien an, die in eigene Projekte integriert werden können. Ontolingua ist ein Werkzeug, das Erstellung, Archivierung, Evaluation, Zugriff, Benutzung und Wartung von Ontologien unterstützt. Es liefert Formen zur Definition von Klassen, Relationen, Funktionen, Objekten und Theorien. Ontologien, die mit Ontolingua erstellt wurden, können von mehreren Anwendern benutzt werden, wobei jeder seinen von ihm bevorzugten Repräsentationsformalismus benutzen kann, da Ontolingua die Übersetzung von Ontologien in Formate anderer Repräsentationssysteme ermöglicht. Ein und dieselbe Ontologie kann zu unterschiedlichen Zwecken in unterschiedlichen Systemen verwendet werden. Auf den Ontolingua-Server kann unter <http://www-ksl-svc.stanford.edu> zugegriffen werden.

Protégé wurde an der Stanford University School of Medicine (<http://protege.stanford.edu/>) entwickelt. Das ursprüngliche Ziel der 1991 begonnenen Arbeiten an Protégé war den Wissenserwerbengpass beim Erstellen von Wissensbasen durch Minimierung der Rolle des Wissensingenieurs zu verringern. ONCOCIN („Oncologic MYCIN“) war ein Beratungssystem für protokollbasierte Krebstherapie. Das Ziel von OPAL war, den Domänenexperten zu erlauben, direkt einige Formen von domänenspezifischem Wissen einzutragen. Die frühe Version von Protégé war erfolgreich in der Minderung der Probleme für den Wissenserwerb, aber sie hat auch den Engpass vom Wissenserwerb zur Wiederverwendbarkeit des Wissens verschoben. Das Nachfolgesystem Protégé-II konzentrierte sich mehr auf die Wiederverwendbarkeit durch die Trennung von Wissensbasis und Algorithmen. Protégé/Win vollzog eine pragmatische Änderung von einem wenig verbreiteten Betriebssystem auf NeXT-Workstations hin zu einem Windows-basierten System mit einigen Änderungen zur Verbesserung bzgl. der Modularisierung von Wissensbasen. Die Schwerpunkte des aktuellen Systems Protégé-2000 sind Kompatibilität mit anderen Wissensrepräsentationssystemen durch Unterstützung der Standards und Verbesserungen der Benutzungsoberfläche. Protégé-2000 wurde in JAVA entwickelt und stellt neben der Editorfunktion auch eine Java-Schnittstelle zur Verfügung, die genutzt werden kann, um mit dem Protégé -Framework zu interagieren. Abb. 5-9 zeigt einen Bildschirmabzug einer Protégé-2000 Nutzung. Das Wissensmodell von Protégé-2000 ist Frame-basiert.

Eine Protégé-Ontologie besteht aus Klassen, Slots, Facetten und Axiomen:

- Klassen sind Begriffe in der behandelten Domäne.
- Slots beschreiben Eigenschaften und Attribute der Klassen.
- Facetten beschreiben Eigenschaften von Slots
- Axiome spezifizieren zusätzliche Beschränkungen.

Eine Wissensbasis in Protégé-2000 schließt eine Ontologie und die individuellen Instanzen der Klassen mit bestimmten Werten für die Slots ein. Die Klassen in Protégé-2000 bilden eine taxonomische Hierarchie und realisieren die Konzepte. Relationen lassen sich als Klassen oder Slots spezifizieren. (Anmerkung: Die in dieser Arbeit spezifizierten „Sichten“- realisierenden taxonomischen Relationen, z. B. „looks_like“ werden als attributierte Klassen spezifiziert.) Die Unterklassenhierarchie wird in einem Baum dargestellt und es wird die Mehrfachvererbung unterstützt. Die Wurzel der Klassenhierarchie ist die eingebaute Klasse :THING. In Protégé-2000 können Klassen auch Instanzen von Klassen sein. Eine Metaklasse ist eine Klasse, deren Instanzen Klassen sind und durch Ableitung von der Standardklasse :THING erzeugt werden. Ein Slot ist ein Frame. In Protégé-2000 sind Slots unabhängig von jeder

Klasse definiert. Wenn ein Slot einem bestimmten Frame in der Ontologie zugeordnet ist, beschreibt er die Eigenschaften dieses Frames. Mit Facetten besteht die Möglichkeit Einschränkungen für die erlaubten Slot-Werte vorzunehmen. Die Kardinalität eines Slots, der Datentyp (z.B.: Integer, String, Boolean) oder minimale und maximale Werte für einen numerischen Slot sind Beispiele für solche Facetten. Facetten definieren Beschränkungen auf Zuordnungen eines Slots zum Klassen-Frame. Eine weitere Eigenschaft von Protégé-2000 ist seine „Plugin“-Architektur. Dazu sind eine ganze Reihe von Komponenten („Plugins“) über www.smi.stanford.edu/projects/protege verfügbar. Insbesondere finden sich hier einige nützliche Komponenten zur grafischen Darstellung einer Ontologie, zur Erweiterung der Import/Export-Möglichkeiten sowie zur Anbindung der erstellten Ontologie an eine Agentenplattform.

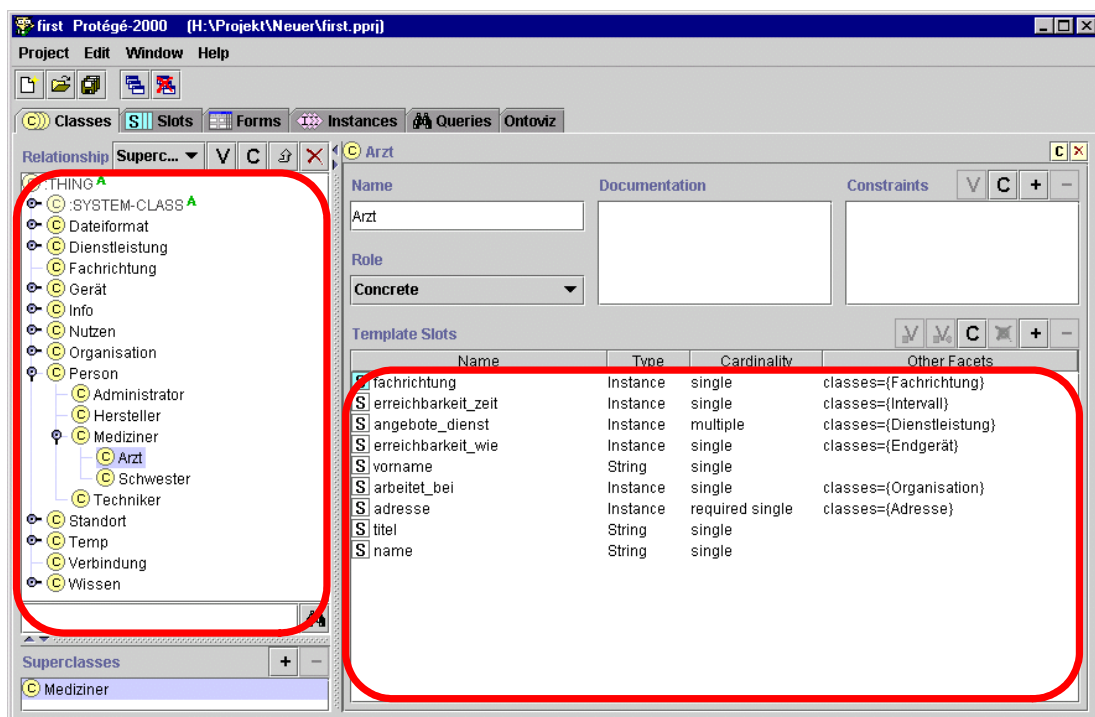


Abbildung 5-9: Bildschirmabzug einer Protégé-2000-Nutzung zum Aufbau einer Ontologie in der Medizin.

Das Java-basierte Werkzeug **OntoEdit** (Abb. 5-10) ist eine Entwicklung des Instituts für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB) der Universität Karlsruhe. OntoEdit wird seit 1999 von der Firma Ontoprise GmbH in Kooperation mit dem Institut weiterentwickelt. OntoEdit ermöglicht das Erstellen, Durchsuchen und Modifizieren von Ontologien. Das Wissensmodell in OntoEdit ist ähnlich dem von Protégé aufgebaut. Es werden ebenfalls Konzepte (Klassen), Attribute / Relationen (Slots) und Axiome definiert. Begriffshierarchien werden mittels Baumstrukturen graphisch erstellt und schrittweise aufgebaut. Jeder Begriff kann zusätzlich in beliebige Sprachen übersetzt werden und später auch in diesen angezeigt werden.

Die Relationen können einem Begriff direkt im Baum hinzugefügt werden. Dabei wird zwischen binären Relationen und Attributen unterschieden. Binäre Relationen sind Beziehungen zu einem Begriff der Ontologie, wogegen ein Attribut eine Eigenschaft in Form eines einfachen Datentyps wie Zahlen oder Zeichenketten darstellt.

Für die Regelerstellung und -bearbeitung stellt OntoEdit ein eigenes Register zur Verfügung, in dem zwischen symmetrischen, transitiven und inversen Relationen ausgewählt werden kann. Die Speicherung der Ontologiedaten erfolgt über das lokale Dateiformat OXML (Ontology Extended Markup Language). OntoEdit ermöglicht den Import und Export verschiedener Datenformate, die im Zusammenhang mit dem Semantic Web an Bedeutung gewonnen haben. Auch die Eingabe von Instanzen oder auch Fakten wird in Grundzügen von OntoEdit unterstützt. Darüber hinaus ist es möglich, Zusatzinformationen über die Ontologie wie ihren Titel und ihren Entwickler anzugeben. Detaillierte statistische Daten wie die Anzahl der Begriffe, Baumtiefe, Relationen und Axiome werden berechnet und angezeigt.

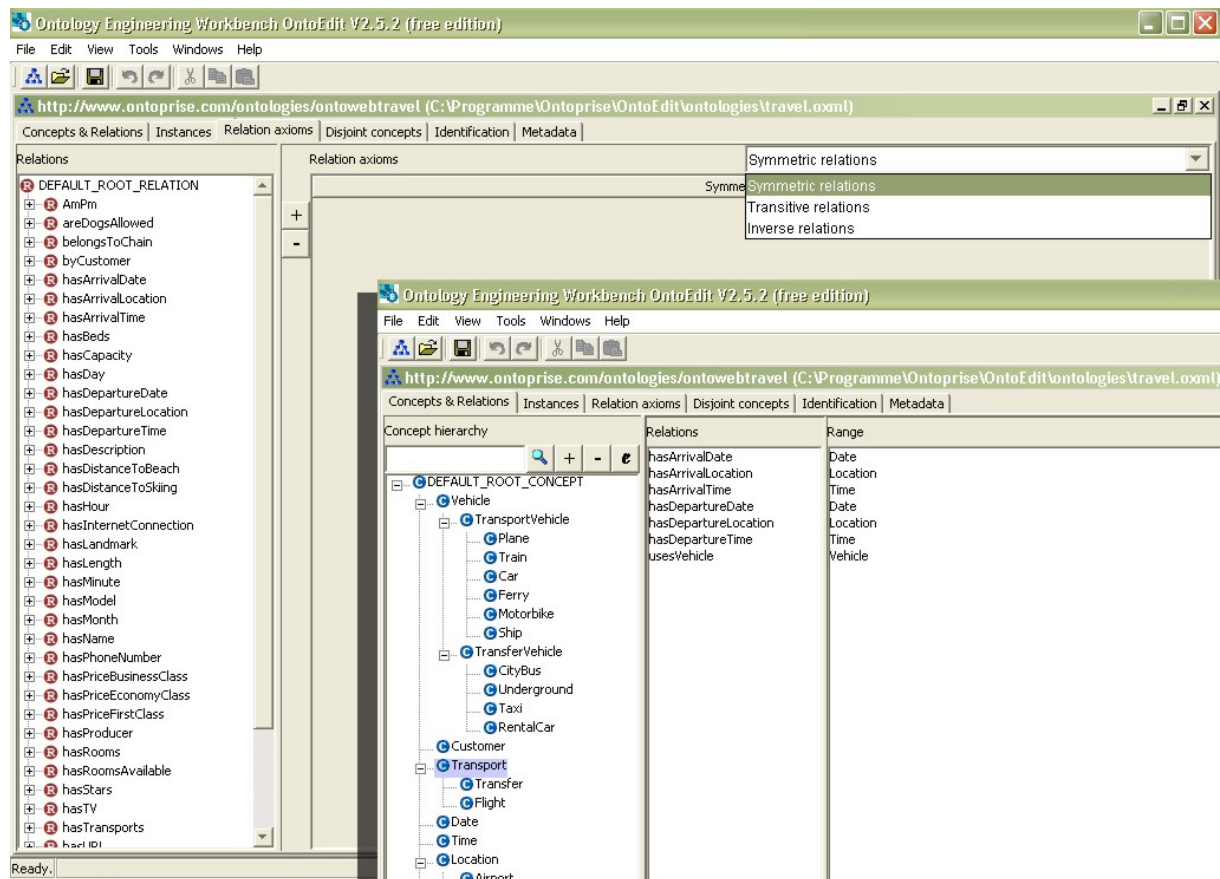


Abbildung 5-10: Bildschirmabzug – OntoEdit.

Durch die in den letzten Jahren vorgenommenen Standardisierungen für XML, RDFS und OWL ist zum einen zukünftig mit einem größeren Angebot an Werkzeugen zu rechnen, zum anderen besteht zunehmend mehr Freiheit bei der Auswahl kompatibler Werkzeuge. Die Unterstützung einheitlicher standardisierter Sprachen und Entwicklungsumgebungen wird auch die Wiederverwendung von Ontologien fördern.

Nach Analyse der Anforderungen für die vorgesehene Anwendung, prototypischen Experimenten mit verschiedenen Werkzeugen und nach Auswertung vergleichender Literatur (*Jaklinki et al. 2004, Kazakos & Urbanowicz 2001*) wurde Protégé-2000 für die prototypische Implementierung der Ontologie zur Unterstützung der interaktiven Bildauswertung im Bereich der Fernerkundung ausgewählt.

Mittels der spezifizierten Entwurfsmethode und dem ausgewählten Werkzeug „Protégé“ wird nun im Folgenden die neue „Ontologie für die bildgestützte Fernerkundung“ entworfen. Die Beschreibung der Konzepte erfolgt dabei mittels UML.

5.4 Entwurf einer Ontologie für die bildgestützte Fernerkundung

Das Vorgehen zur Entwicklung der Ontologie folgt dem in Abb. 5-7 dargestellten Schema. Die Analyse verfügbarer Ontologien, insbesondere SWEET und OWL-S, lieferte Anhaltspunkte zur Ableitung eigener Konzepte. Taxonomische Beziehungen zum Aufbau einer entsprechenden Ontologie-Struktur müssen vollständig neu entwickelt werden, da insbesondere die Sichten-Problematik in den verfügbaren Ontologien nicht berücksichtigt wurde. Die Anforderungsanalyse beruht auf den in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Arbeitsabläufen und funktionalen Anforderungen sowie den Konzepten zum Einsatz von Software-Agenten in der interaktiven Bildauswertung und wird daher im Folgenden nur kurz zur Ermittlung der anschließend beschriebenen Ontologie-Konzepte skizziert.

Die Zielsetzung der Ontologie ist die Unterstützung einer Anwendung, die eine Suche nach **Personen, Informationen und Dienstleistungen** auf dem Gebiet der Fernerkundung erleichtern soll und damit die interaktive Bildauswertung in diesem Anwendungsgebiet vereinfacht. Die Suche nach **Personen** oder **Organisationen** umfasst insbesondere auch **orts-** und **zeitbezogene** Optionen. Es soll zum Beispiel ein Experte oder Dienstleister in einem speziellen Umkreis des aktuellen Einsatzortes gefunden werden. Oder gesucht wird ein Experte mit spezieller Ortskenntnis der zu einer bestimmten Zeit erreichbar ist. Die Suche nach Informationen muss auch Eigenschaften der zugrunde liegenden Daten berücksichtigen. So sind hier das Erstellungsdatum, die Größe oder der Datentyp von Bedeutung für den Suchenden. Auch die **thematische** Einordnung der Daten in die **Domänen-Ontologie** ist ein wichtiger Aspekt. Neben der Berücksichtigung verschiedener Wissensgebiete müssen hier alternative nutzer- oder dienstspezifische Zusammenhänge zwischen Domänen-Objekten unterstützt werden. Eine Bildinterpretation oder dazu notwendige Teilarbeiten sind angebotene Dienstleistungen, die mit Hilfe dieser Ontologie den Anforderungen des Dienstanwenders entsprechend gefunden werden müssen. Dies erfordert eine möglichst detaillierte Spezifikation der Dienstleistung durch den Dienstanbieter. Darauf aufbauend lassen sich alternative Dienste ermitteln und vergleichen. Ebenso muss ein Dienstanwender seine Anforderungen an einen Dienst darlegen. Neben einem Namen und einer Dienstbeschreibung, handelt es sich dabei auch um die **Kosten**, den **Zeitaufwand** und die **Qualität** einer Dienstleistung.

Über einen personalisierten Zugang, soll der **Dienstanwender** Zugriff auf die angebotenen **Dienste** und **Informationen** haben. Der Dienstanwender gibt mit Hilfe von verschiedenen auf **Benutzerprofilen** und einer gemeinsamen Ontologie abgestützten Eingabemaschen seine Daten und die Kriterien für den gewünschten Dienst bzw. die angeforderte **Information** ein. Die Benutzungsoberfläche bietet durch Nutzung von **Interaktionskonzepten** auf Basis der Ontologie die jeweils möglichen Dienste zur Auswahl an. Der Dienstanwender kann einen der angebotenen Dienste auswählen oder weitere Eigenschaften des gewünschten Dienstes zur weiteren Einschränkung auswählen. Weitere Kriterien setzen sich aus den Vorgaben für **Kosten, Qualität** und verfügbarer **Zeit** für den Dienst zusammen. Dadurch können passende Dienstleistungen, den Anforderungen der Dienstanwender entsprechend, vom Vermittlungs-Agenten gesucht werden. Der Dienstanwender verfügt in seinem Profil neben seinen persönlichen Daten auch über Gewichtungsfaktoren für die Kriterien einer Dienstleistung. Der Dienstanwender hat auch die Möglichkeit einen Dienst zu bewerten. Die Bewertungen sind Teil der Qualitätsangaben im Nutzerprofil und sind jeweils bezogen auf die entsprechende Dienstleistung.

Auch der **Dienstanbieter** hat über diesen personalisierten Zugang Zugriff auf die Anwendung. Er muss seine persönlichen Daten eingeben. Dazu zählen **Name, Adresse, Arbeitsplatz** und **Qualifikation**. Auch die Erreichbarkeit einer **Person** bezogen auf **Ort** und **Zeit** muss angegeben werden. Das Besondere sind die Informationen zu den angebotenen Dienstleistungen. Diese sind neben der Dienstbeschreibung, die Kosten des Dienstes, der Zeitbedarf des

Dienstes und die Qualität des angebotenen Dienstes. Insbesondere beinhaltet die Beschreibung des Dienstes auch die Spezifikation der benötigten **Eingabedaten** sowie die der erzeugten **Ausgabedaten**. Diese Spezifikation erfolgt sowohl auf der syntaktischen Ebene, z. B. Anzahl, Typ und Wertebereich der **Parameter** als auch auf der semantischen Ebene durch Angabe der den Daten jeweils zugrunde liegenden Konzepte in einem **Ergebnisraum** auf Basis der gemeinsamen Ontologie. So ist z.B. bei einem Detektionsprogramm für Fahrzeuge das erzeugte Ergebnis durch Angabe des Ergebnistyps, z.B. annotierte Bilddatei im JPG-Format und durch Angabe der detektierbaren Objekte und der zugrunde liegenden **Domänen-Sicht** aus der Domänen-Ontologie zu beschreiben. Bei den Angaben der Objekte aus der Domänen-Ontologie handelt es sich um eine Liste von Objekten. Die jeweilige Domänen-Sicht beschreibt den Zusammenhang der Domänen-Objekte. Die in der Liste angegebenen Objekte schließen dabei alle aus den Objekten der Liste abgeleiteten Objekte mit ein. Die verfügbaren Konzepte sind dem Dienstanbieter durch den Interface-Agenten basierend auf der Ontologie geeignet zu präsentieren.

Die Beschreibungen der Fernerkundungsdaten in der Domänen-Ontologie umfassen die **„Auswertungs-Relevanten Objekte (ARO)“**, physikalische Eigenschaften (z. B. Datenformate, Aufnahmeverfahren, Sensorbeschreibungen), Merkmalbeschreibungen (z. B. Struktur, Textur, Muster) und Verfahrensbeschreibungen (angewendete Dienste). Die Spezifikationen der Interessensobjekte (ARO) bilden den Schwerpunkt der Domänen-Ontologie. Die taxonomischen Beziehungen zwischen den Objekten werden dabei über anwenderspezifische Sichten realisiert und bilden eigenständige attributierte Konzepte.

Datenmodelle und Klassifikationen aus den Bereichen der rechnergestützten Geographischen Informationssysteme (GIS) und der Umweltinformationssysteme enthalten viele zusätzliche Hinweise, die zu dem Aufbau einer Konzepttaxonomie von geographischen Objekten genutzt werden können. Als wertvoll erweist sich dabei das Datenmodell ATKIS („Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem“) der Landesvermessungsämter der Bundesrepublik Deutschland. Das ATKIS Datenmodell besteht aus insgesamt vier Komponenten. Diese umfassen die Beschreibung von Landschaftsmodellen bis hin zu der Beschreibung von Orthophotos. Der Objektkatalog umfasst Objektbereiche (z. B. Verkehr), Objektgruppen (z. B. Straßenverkehr), Objektarten (z. B. Straße) und Attribute (z. B. Fahrbahnbreite). Allerdings werden „mobile“ Objekte nicht erfasst. Einen Überblick über die Modelle findet sich in *Scholles 04*.

Für den einheitlichen Aufbau der Ontologien werden in dieser Arbeit verschiedene Regeln für die Benennung der Konzepte, Relationen und Attribute festgelegt. Dies verbessert die Übersichtlichkeit und erleichtert das Zusammenführen von Teil-Ontologien. Dabei sind Details der Regeln von dem zum Aufbau der Ontologie verwendeten Werkzeug abhängig. Bei der Benennung dürfen die in der System-Klasse reservierten Wörter nicht benutzt werden, z. B. „Class“, „Slot“, „Facet“. Darüber hinaus werden folgende Festlegungen getroffen:

- Der erste Buchstabe eines Klassennamens wird groß geschrieben.
- Zusammengesetzte Klassennamen werden dabei ohne Trennzeichen jeweils mit großen Anfangsbuchstaben bezeichnet, z.B. „RelativerOrt“.
- Der erste Buchstabe eines Attributes (Slotnamens) wird klein geschrieben.
- Zusammengesetzte Attributnamen werden durch Unterstriche verbunden, z.B. „relative_hoehe“.
- Umlaute in den Klassen- und Attributbezeichnern sind zu vermeiden, z.B. „hoehe“ statt „höhe“.
- Klassen sind in der Einzahl zu definieren, z.B. „Person“ und nicht „Personen“.

- Die Sprache der Basis- und der Kern-Ontologie ist vorzugsweise Deutsch.
- Bei den Domänen-Ontologien kann bei Bedarf aufgrund der vielen Fachbegriffe Englisch verwendet werden.
- Bestehen mehrere Assoziationen mit denselben Kardinalitäten und Richtungen zwischen zwei Klassen, so wird, um eine bessere Übersicht in Diagrammen zu gewährleisten, nur eine Verbindung eingezeichnet. Die Benennung der einzelnen Assoziationen erfolgt durch Bezeichner, die durch Komma getrennt werden.

5.4.1 Aufbau der Ontologie– „Schichten und Sichten“

Zum besseren Übersichtlichkeit und insbesondere zur Verbesserung einer möglichen Wiederverwendung wird die zu entwickelnde Projekt-Ontologie in mehrere aufeinander aufbauende Teil-Ontologien unterteilt (Abb. 5-11). Ausgehend von einer Top-Level-Ontologie mit den grundlegenden Basiskonzepten, über eine Bildauswertungs-Ontologie (Kern-Ontologie) mit den Beschreibungen von Konzepten der interaktiven Bildauswertung, wird eine Domänen-Ontologie für die interaktive Fernaufklärung erstellt. In dieser werden vor allem die Konzepte für die in den Bildern abgebildeten Objekte definiert.

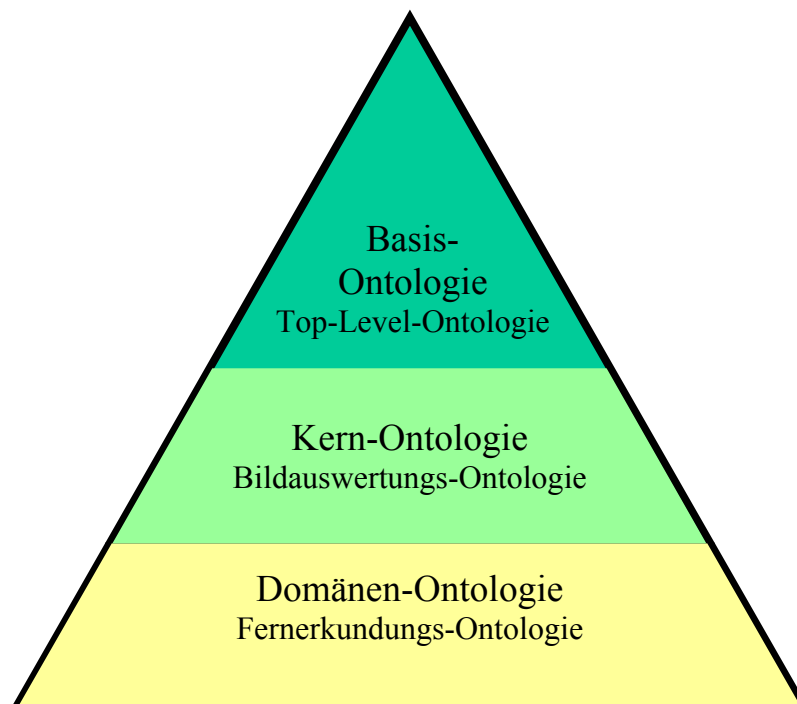


Abbildung 5-11: Prinzipieller Aufbau der Projekt-Ontologie.

- In der Basis-Ontologie werden die folgenden Konzepte modelliert: Person, Organisation, Adresse, Kommunikationsmöglichkeit, Ort, Richtung, Kalender (Zeit), Status und die dazu notwendigen Hilfskonzepte (bzw. für die Realisierung benötigte Hilfsklassen).
- Dienst, Dienstgruppe, Dienstparameter, Anbieter, Eigentümer, Nutzer, Benutzerprofil, Kosten, Qualität, Zeitbedarf, Information, Interaktionskonzept, geometrische Objekte und entsprechende Unterklassen gehören zur Bildauswertungs-Ontologie.

- Die Fernerkundungs-Ontologie enthält die Beschreibung der beobachtbaren Objekte (ARO - auswertungs-relevante Objekte, z. B. Luftfahrzeuge, Landfahrzeuge, Schiffe, Gebäude, Gelände etc. und POI – „Person of Interest“) und beinhaltet im Rahmen der Objekt-Eigenschaften neben statischen Zustandsbeschreibungen auch mögliche Aktivitäten der Objekte. Dazu werden auch „Rollen“, Bauformen und der Status von AROs explizit als Konzepte modelliert. Neben den AROs müssen hier auch Texturen, Muster und Strukturen definiert werden.

Eine entsprechende Darstellung einiger Konzepte mit der Zuordnung zu den verschiedenen Teilen der Ontologien verdeutlicht Abbildung 5-12. Die Einbettung der Basis-, Kern- und Domänen-Ontologie in eine Gesamt-Ontologie bedingt aufgrund der technischen Realisierung weitere Ergänzungen. Die Umsetzung der Ontologie mittels einer Sprache erfordert die grundlegende Definition einiger Begriffe (z.B. „Concept“, „Class“ oder „Relation“), die für die darauf aufbauenden Definitionen elementar sind. Letztlich wird dadurch die Anbindung an die Sprache zur Kommunikation mit der Ontologie realisiert.

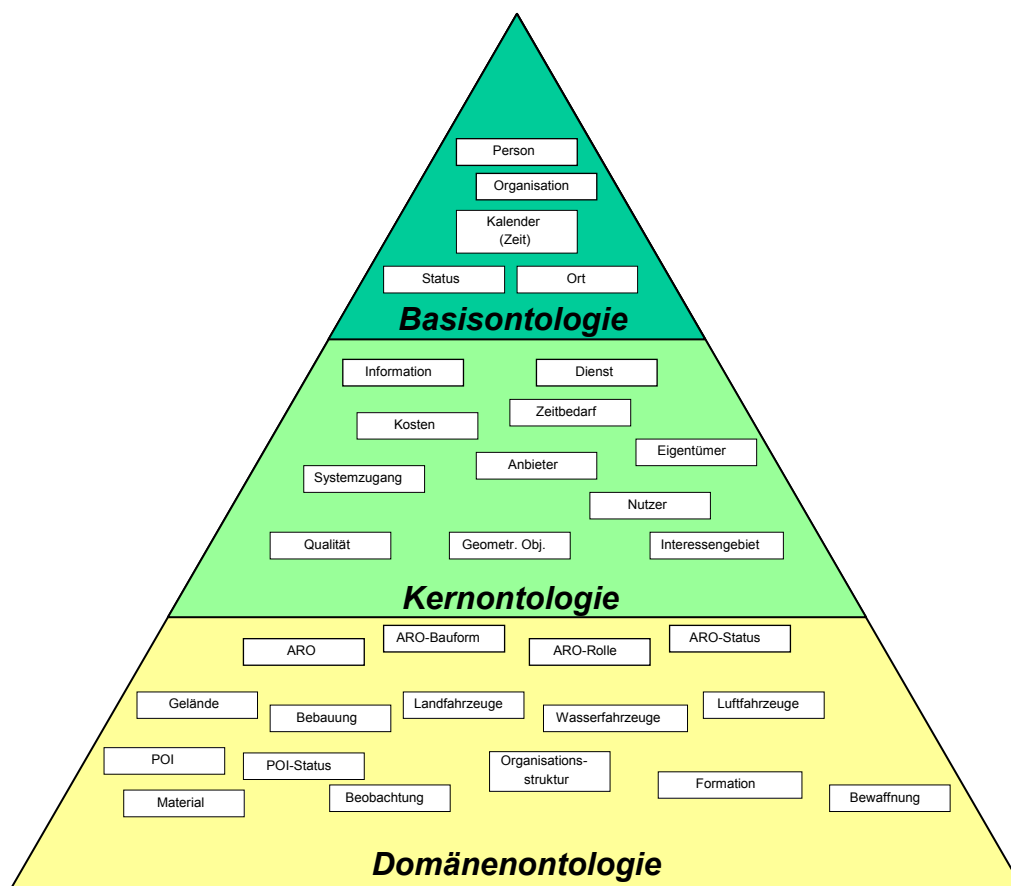


Abbildung 5-12: Zuordnung von Konzepten zu verschiedenen Schichten der Ontologie.
Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit ist nur eine Auswahl der Konzepte dargestellt.

In Abbildung 5-13 entspricht dieses den SJAO-Konzepten (SJAO- Simple JADE Abstract Ontology), da das Experimentalsystem (Kap. 6) basierend auf der JADE-Agentenplattform entwickelt wurde (<http://jade.cselt.it/>). Die Auswahl von JADE erfolgte nach einem detaillierten Vergleich der verschiedenen Kandidaten (Schönbein et al. 2005). Dabei bildeten Interoperabilität und Möglichkeiten zur Anbindung von Ontologien wichtige Kriterien. Weitere Konzepte werden als vorgefertigte Muster in einer „Superklassen“-Ontologie bereitgestellt und

ermöglichen eine vereinfachte Verwendung in den darauf aufbauenden Ontologien. Insbesondere werden hier die verschiedenen vordefinierten Beziehungsmuster modelliert. Die zusammengefasste Projekt-Ontologie lässt sich wiederum erweitern durch eine Enterprise-Ontologie, in welcher projektübergreifende Festlegungen vorgenommen werden. Neben den Konzepten enthalten alle vorgestellten Ontologien Relationen und Regeln (Axiome) für die ebenfalls die getroffene Einteilung gilt.

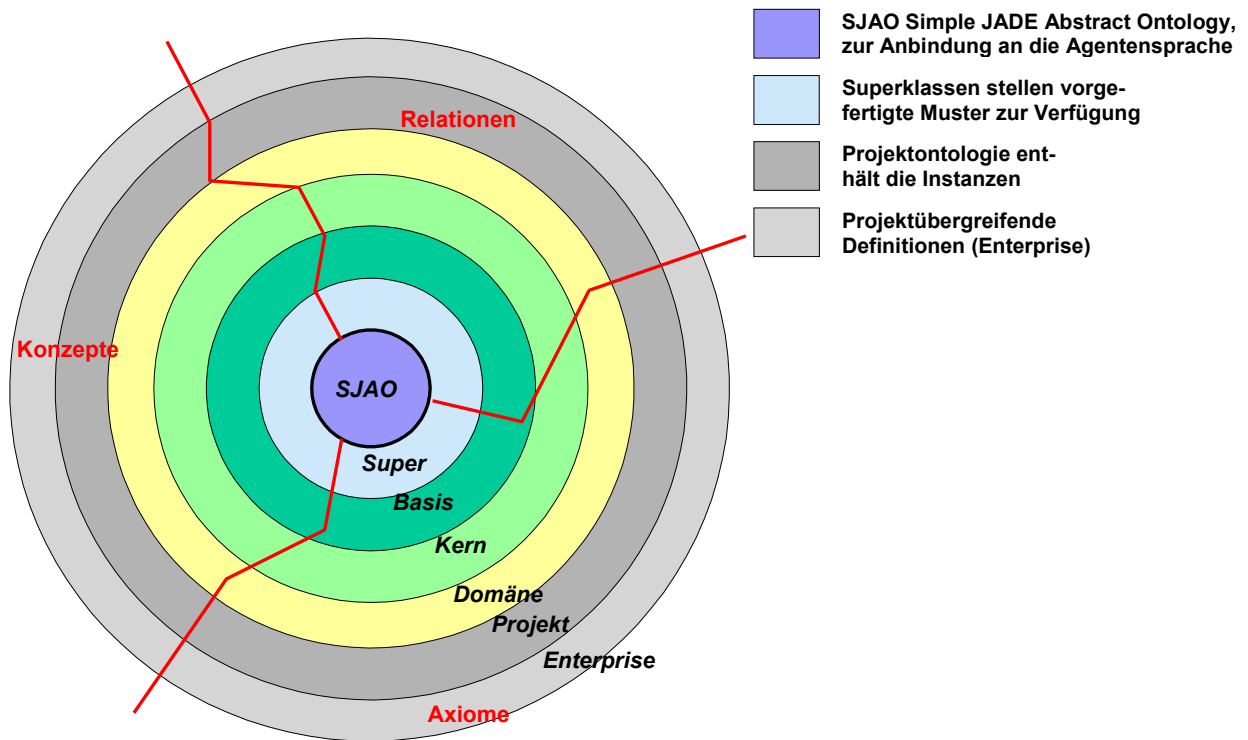


Abbildung 5-13: Projekt-zentrierter Aufbau der Ontologien. Die verschiedenen Ontologien werden ineinander geschachtelt, d.h. eine Ontologie beinhaltet eine Ontologie mit höherem Abstraktionsniveau.

Abbildung 5-14 stellt exemplarisch den Zusammenhang zwischen Konzepten der verschiedenen Ontologie-Teile in Form eines UML-Diagramms dar. Die Verwendung der „Package“-Struktur in diesem und den folgenden Diagrammen dient zur optischen Gliederung von Klassen. Sie hat keine Bedeutung hinsichtlich einer Realisierung. In den folgenden Abbildungen verdeutlicht die Farbcodierung der Konzepte die jeweilige Ontologie-Zugehörigkeit.

Zur Unterstützung der verschiedenen Ansichten einer Domäne werden taxonomische Beziehungen zwischen Objekten in der Domänen-Ontologie ebenfalls als Konzepte entworfen. Insbesondere dienen die Beziehungen „Acts_As“, „Looks_Like“ und „Has_A“ neben der Standardbeziehung „Is_A“ als Basis-Beziehungen auf denen entsprechende Ansichts-Graphen der Domäne aufgebaut werden können. Alle Basis-Beziehungen sind eigenständige Konzepte und haben ein Attribut „beziehungsstatus“. In dieser Eigenschaft der Beziehungen wird festgelegt ob es sich um die Standardbeziehung handelt, ob diese Beziehungen andere mögliche Beziehungen überschreiben oder zusätzlich anfügen.

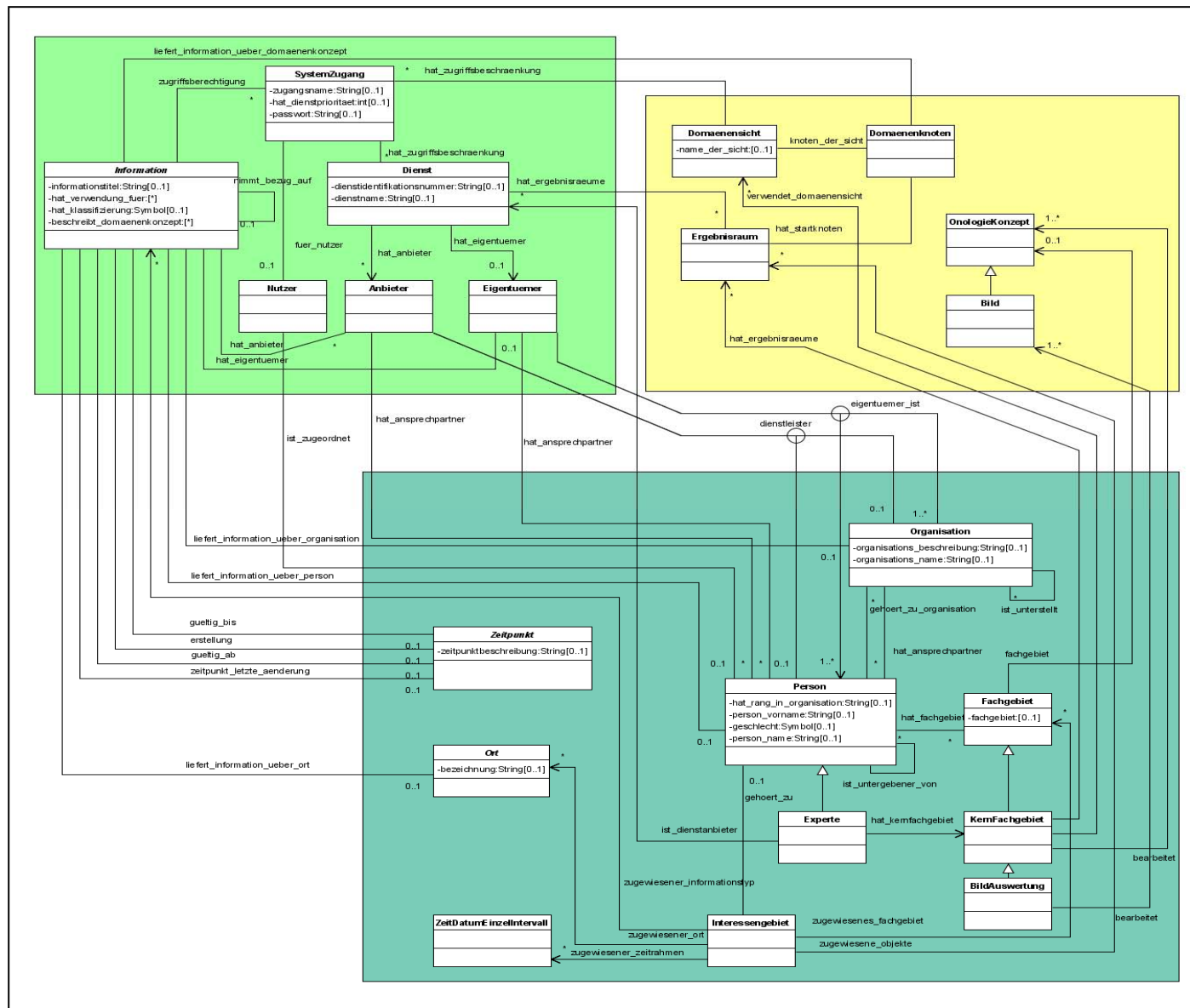


Abbildung 5-14: UML-Darstellung der Beziehungen zwischen den Konzepten „Dienst“, „Domäne“ und „Person“ im Überblick. Die Farbcodierung der Konzepte in dieser und den folgenden Abbildungen verdeutlicht die jeweilige Ontologie-Zugehörigkeit (Abb. B-1 im Anhang bietet eine vergrößerte Darstellung).

5.4.2 Kompetenzfragen zur Entwicklung der Ontologie

Die Erstellung einer Ontologie wird über alle Phasen hinweg durch Aufstellen, Modifizieren, Verfeinern und Erproben von **Kompetenzfragen** begleitet. Außer den Inhalten, die durch die Ontologie beschrieben werden sollen, müssen bei der Ontologieerstellung auch die geeigneten Begriffe und Relationen gefunden werden. Nach der Ermittlung der Begriffe und Relationen können die Zusammenhänge zwischen diesen untersucht werden. Die Zusammenhänge bilden eine Basis für die Aufstellung von Regeln. Die im Folgenden formulierten exemplarischen Kompetenzfragen dienen sowohl zum Design der Ontologie als auch zu deren späteren Validierung. Dabei sind die Kompetenzfragen bezogen auf die Ontologie eingebettet in die Aufgaben des agentenbasierten Gesamtsystems, in dem die Wissensbasis das instanziierte Wissen des Systems beinhaltet. Aufbauend auf dem agentenbasierten Gesamtkonzept greifen Interface-Agenten und Vermittlungs-Agenten auf die Ontologie zu. Kompetenzfragen dienen in der Analysephase der Entwicklung einer Ontologie dazu, Anwendungsfälle der Domäne zu identifizieren. Über diese Anwendungsfälle können Konzepte und Relationen abgeleitet werden. Die Fragen sind in dieser Phase zunächst sehr informal gehalten und werden dann zunehmend verfeinert und formalisiert. In der Evaluierungsphase dienen Kompetenzfragen dann vor allem dazu, die Richtigkeit und die Vollständigkeit der gestellten Anforderungen an einem konsolidierten Modell zu überprüfen. Im Rahmen dieser Tätigkeiten werden an das System zu stellende Fragen ausgewählt bzw. erarbeitet oder die bereits entwickelten Fragen weiter verfeinert und an die formalisierte Ontologie angepasst. Die in dieser Arbeit entwickelte systematisierte Strukturierung der Fragen an die Ontologie unterteilt die Fragen in verschiedene Gruppen. Die Implementierungen der einzelnen Fragen lassen sich insbesondere auch als Bausteine für Fragen an eine instantiierte Wissensbasis weiterverwenden.

1. **Strukturfragen:** Fragen nach einfachen strukturellen Zusammenhängen zwischen Konzepten. Diese Fragen stehen häufig am Anfang einer Interaktionsabfolge und dienen zur Ermittlung der Relationen und Attribute der Konzepte (z.B.: Welche Landschaftsformen gibt es?).
2. **Existenzfragen** zur Überprüfung der Modellierung einzelner Konzepte auf Vollständigkeit (z. B. Gibt es *Informationen* vom Typ *Bild* über ein *Wasserschutzgebiet*?). Diese Art Fragen gehen häufig auch an die Wissensbasis mit den Instanzen (z. B.: Gibt es eine Brücke nördlich von Ettlingen?).
3. **Definitionsfragen** (Was ist ...?): Fragen die von der Ontologie direkt beantwortet werden können (z.B. Was ist ein Wasserschutzgebiet? Was ist eine Information?). Diese Frage stellt sich in der Regel nachdem man ein Konzept identifiziert hat, beispielsweise auf der Grundlage einer vorhergegangenen Kompetenzfrage. Sie dient dazu, sich Klarheit über die Konzepteigenschaften zu verschaffen und daraus die Attribute abzuleiten. Infolge dieser Ableitung werden häufig weitere Konzepte identifiziert.
4. **Instanzfragen** werden an die Wissensbasis gestellt und dienen zur Ermittlung und Beschreibung einzelner Instanzen (z. B. Welche Adresse hat die Person X?).
5. Komplexere **Mischfragen** nach syntaktischen und semantischen Eigenschaften, die sich aus den obigen drei Fragetypen zusammensetzen (z. B.: Gibt es eine Industrieanlage, die als Deponie benutzt wird und sich westlich von einem Trinkwasserschutzgebiet befindet?).

Typische Fragestellungen beziehen sich auch auf zeitliche und topologische Anordnungsbeziehungen, die besser als Konzepte und nicht als Attribute zu definieren sind, da die Angaben subjektiv von der Art der Fragestellung abhängig sind. Zu jeder Frage werden die beteiligten Konzepte und Beziehungen berücksichtigt und das Anfrageergebnis vor einer Implementierung „auf dem Papier“ entwickelt. Man kann diese Phase als eine Art Schreibtischtest des Gesamtmodells betrachten. Nach der Implementierung eines Prototypen und der Instantiierung eines Szenarios erfolgt ein Abgleich mit den Antworten auf die implementierten Kompetenzfragen. Die Implementierung einiger ausgewählter sorgfältig getesteter Kompetenzfragen kann im Rahmen einer Funktions-Bibliothek als Schnittstelle zwischen Nutzern der Wissensbasis und der Wissensbasis selber weiter verwendet werden.

Frage	Begriffe	Relationen
Welche Adresse hat die Person?	Person Adresse	hat_adresse
Welche Dienstleistung bietet die Person an?	Person Dienstleistung	bietet_dienst_an wird_angeboten_von
Wann ist die Person erreichbar?	Person Kalender	ist_wann_erreichbar
Welche Kosten hat die Dienstleistung?	Dienstleistung Kostenmodell	hat_kostenmodell kosten_für_dienst
Welchen Zeitbedarf hat die Dienstleistung?	Dienstleistung Zeitbedarf	hat_zeitbedarf zeitbedarf_für_dienst
Wann wurde die Information erstellt?	Information Zeitpunkt	erstellungs_datum
Wer bietet eine Dienstleistung an, die Tumorzellen in einem Röntgenbild markieren kann?	Dienstleistung Anbieter Röntgenbild Tumorzellen	wird_angeboten_von bietet_dienst_an hat_spektralbereich hat_ergebnisraum
Wer bietet Ultraschallbilder in Form von JPEGs der Schilddrüse an?	Dienstleistung Anbieter Format Schilddrüse	wird_angeboten_von bietet_dienst_an hat_format hat_ergebnisraum

Tabelle 11: Beispiele zu Kompetenzfragen an die Wissensbasis (Instanzfragen).

Bei den Fragen in Tabelle 11 handelt es sich um Fragen an die Wissensbasis, die ihrerseits wieder Fragen an die Ontologie generieren. Es können damit Instanzen abgefragt werden. Bei den letzten zwei Beispielen werden sowohl syntaktische, als auch semantische Eigenschaften abgefragt. Tabelle 12 stellt Beispiele von Fragen dar, die direkt von der Ontologie beantwortet werden können.

Frage	Mögliche Antworten (auszugsweise)	
Was ist eine Adresse?	Strasse Hausnummer Postleitzahl Wohnort	Strasse Hausnummer Postleitzahl Wohnort Telefonnummer Postfach
Was kennzeichnet eine Person?	Vorname Name Geburtstag	1. Vorname 2. Vorname Nachname Qualifikation
Was kennzeichnet eine Information?	Eigentümer Erstellungsdatum	
Welche Einsatzrollen existieren für einen „Airbus“	Personentransporter, Frachttransporter (Abfrage der „acts_as“-Beziehung)	

Tabelle 12: Kompetenzfragen an die Ontologie (Definitions- und Strukturfragen).

Aufbauend auf diesen elementaren Fragen lassen sich auch komplexere Zusammenhänge beschreiben. Das System muss z. B. folgende Aufgabenstellung bearbeiten können:

„Stelle alle neuen Informationen bzgl. landwirtschaftlicher Nutzfahrzeuge in meinem Bereich dar.“

Dabei können einige Varianten der Fragestellung auftreten, z.B.:

- a) integrierte Darstellung der Informationen,
- b) nur Bilder in einem spezifischen Format,
- c) nur Fahrzeuge die sich nördlich meines Standorts in Richtung Süden bewegen.

In der letzten Variante taucht das Problem der relativen Ortsangabe auf. In der Wissensbasis muss die Angabe „Richtung Süden“ in Beziehung gesetzt werden zu einer Angabe „Richtung Ort X“ welcher südlich von „meinem Standort“ liegt. Dazu ist die Kenntnis notwendig, dass „mein Standort“ nördlich von Ort X liegt und daher die Aussagen „Richtung Süden“ und „Richtung Ort X“ äquivalent sind. Die obige Aufgabenstellung impliziert die Suche nach Informationen, die Suche nach passenden Diensten zur Beschaffung und evtl. Bearbeitung der Informationen, teilweise durch automatischen Aufruf von Diensten, teilweise durch das Angebot von Diensten zur interaktiven Parametrierung oder zur Auswahl von Alternativen und letztendlich die Darstellung der Ergebnisse. Betrachtet man die enthaltenen Teilaufgaben, so ergibt sich als erste Aufgabe:

„Suche alle neuen Informationen bzgl. landwirtschaftlicher Nutzfahrzeuge in meinem Bereich“

Daraus leiten sich wiederum verschiedene Fragestellungen ab. Zunächst die **Fragen an die Ontologie**:

- Was sind „Informationen“?
- Was sind „landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge“?
- Was ist ein „Bereich“?

Die Antworten werden benötigt von der Benutzungsoberfläche für die Gestaltung des Informationsangebots und vom Vermittlungssystem zur Formulierung der Suchanfragen. Die Antworten bestehen dabei aus Listen von Konzepten. Die **Fragen an die Wissensbasis**

- Was ist „neu“?
- Was ist der „Bereich“ des Benutzers?

die mittels nutzerspezifischen Systeminformationen (<last_inform_time>, <region_of_interest>) ausgewertet werden, liefern dann die system-interne Suchanfrage nach passenden Informationen in Form

„Finde <Liste von Konzepten: Informationen> mit Inhalten aus der <Liste von Konzepten: landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge > für die gilt <Liste von Konzepten zu Ort> in <region_of_interest> und <date_time> später als <last_inform_time>“.

Dazu werden Dienste gesucht, deren Beschreibungen bzgl. des Ergebnisraumes die gewünschten Informationen liefern. Die notwendigen Dienste werden automatisch aktiviert: z.B. Datenbankzugriffe über Ressource-Agenten, Datentransfer und evtl. notwendige Konvertierungen in Variante b obiger Fragestellung. Sind weitere interaktiv zu parametrierende Dienste notwendig, Variante a erfordert z.B. eine interaktive Georeferenzierung oder eine Auswahl der zur Annotation verwendeten Textgruppen eines Auswertungsberichts, so werden mögliche Dienste ermittelt und dem Nutzer zur Aktivierung angeboten.

Die obige Anfrage verwendet die Standard-Baumuster-Beziehung „Is_A“ zur Definition landwirtschaftlicher Nutzfahrzeuge. Alternativ ließe sich diese Frage auch interpretieren, als Suche nach Landfahrzeugen, die landwirtschaftlich nutzbar sind. Dies würde die Nutzung der „Act_As“- anstelle der „Is_A“-Beziehung erfordern und entsprechende Änderungen der Ergebnismenge nach sich ziehen. Die Auswahl der jeweils verwendeten Beziehungen kann durch Vorgaben des Nutzers gesteuert werden. Die jeweiligen „Standards“ werden durch die Dienstbeschreibungen festgelegt. Nähere Erläuterungen der unterschiedlichen Beziehungen erfolgen bei den Beschreibungen der Dienste in der Kern-Ontologie und der Konzepte in der Domänen-Ontologie.

5.4.3 Konzepte der Basis-Ontologie

Basiskonzepte werden in der Basis-Ontologie beschrieben und zeichnen sich durch größere Allgemeinheit und weitgehende Wiederverwendungsmöglichkeiten aus. Abbildung 5-15 gibt einen Überblick über die wichtigsten Konzepte in der Basis-Ontologie. Eines der zentralen Konzepte stellt dabei „Person“ dar. Personen agieren als Dienstanbieter, Nutzer oder Eigentümer als Akteure im Informations-Netzwerk, aber auch als „Person_of_Interest – POI“, als Akteur in einer realen Szene und damit als Gegenstand einer Beobachtung oder Informationsabfrage. Das Konzept „Person“ dient im Folgenden als Aufhänger zur Erläuterung der Konzepte in der Basis-Ontologie.

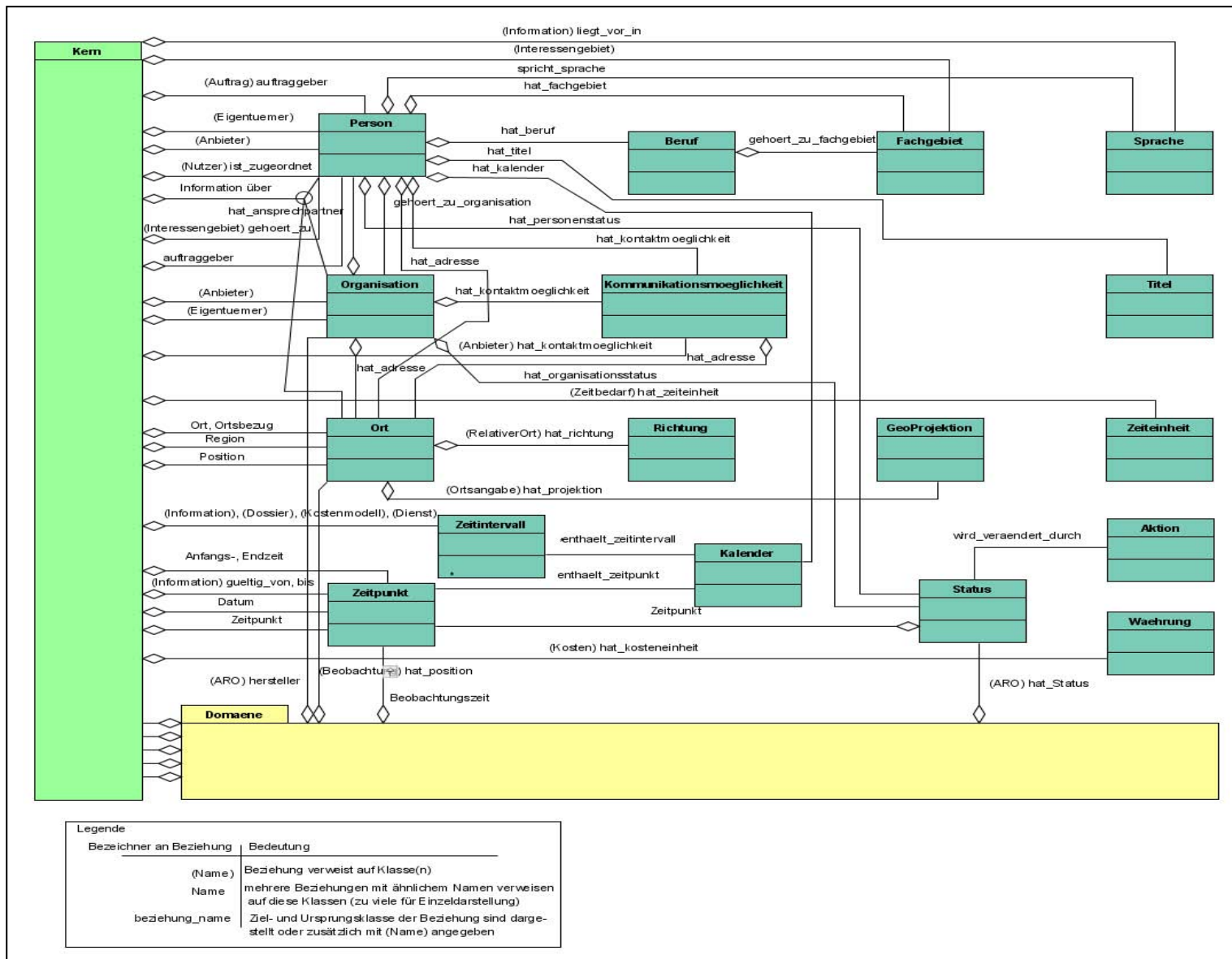


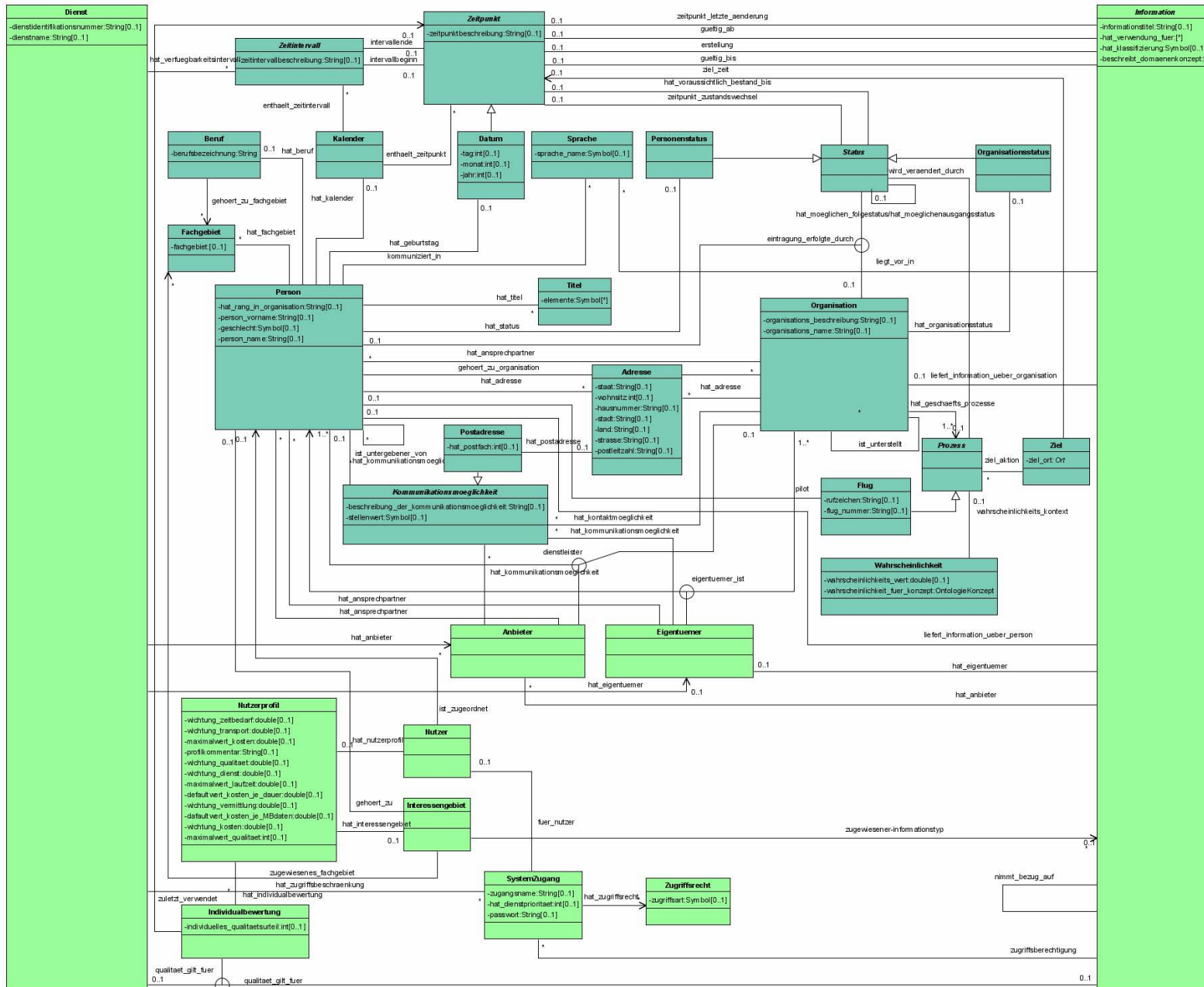
Abbildung 5-15: Konzepte in der Basis-Ontologie – Überblick über die wichtigsten Konzepte und die Anbindung an Kern- und Domänen-Ontologie (Abb. B-3 im Anhang bietet eine vergrößerte Darstellung).

Das Konzept „Person“ (Abb. 5-16) verfügt über eine ganze Reihe von Merkmalen. Neben Namen, Vornamen, Titel und Geschlecht werden mittels Verknüpfungen Angaben zum Personenstatus, zur Erreichbarkeit (Kommunikationsmöglichkeit), zum Beruf, zum Interessensgebiet, zur Sprache und zu angebotenen Dienstleistungen berücksichtigt. Auf die Angaben der einzelnen Attribute wird zu Gunsten einer übersichtlicheren Darstellung in den Grafiken verzichtet. In der Abbildung wird ebenso der Bezug zum Konzept der „Organisation“ verdeutlicht. Zum einen sind Personen Angehörige einer Organisation oder fungieren als Ansprechpartner einer Organisation, zum anderen können Organisationen ebenso wie Personen als Eigentümer oder Anbieter von Diensten und Informationen auftreten. Diese Organisationen können Firmen, private oder auch öffentliche Einrichtungen sein. Sie sind ebenso wie eine Person erreichbar, zu einer vorgegebenen Zeit und mit vorgegebenen Geräten. Organisationen haben wie Personen eine „Adresse“.

Der Bezug zu einer Adresse leitet über zum „Orts-Konzept“. Die Angaben zur Adresse können Name, Strasse, Hausnummer, Postleitzahl, Postfach, Stadt, Land und Geometrie des Ortes beinhalten. Zwar wird ein Ort häufig durch einen Namen gekennzeichnet, doch hat nicht jeder Ort eine Adresse. Er kann auch nur über einen Namen und seine Koordinaten identifizierbar sein. Dazu wurden entsprechende Grundmuster modelliert, die ihrerseits auf „geometrische Objekte“ (Abb. 5-17) Bezug nehmen. Neben absoluten Ortsangaben berücksichtigt das „Orts-Konzept“ (Abb. 5-18) dabei auch relative Ortsangaben. Die im Rahmen dieser Arbeit spezifizierte Granularität des „Orts-Konzeptes“ wird durch die vorgegebenen Anwendungsszenarien festgelegt.

Die Geometrie wird für die genaue Ortsbestimmung mit Hilfe von GIS-Systemen benötigt. Die Geometrie unterteilt sich ebenso wie das Basis-Konzept für den Ort in Punkt, Kreis und Polygon. Ein Punkt hat eine Position. Ein Kreis hat einen Mittelpunkt und einen Radius. Ein Polygon besteht aus mehreren Punkten. Die Position dieser Punkte setzt sich aus den Geokoordinaten und einer Höhe zusammen.

Abbildung 5-16:
UML-Darstellung
zu den Konzepten
„Person“ und
„Organisation“
aus der Basis-
Ontologie sowie
deren Anbindung
an die Kern-
Ontologie (Abb.
B-4 im Anhang
bietet eine vergrößerte Darstellung).



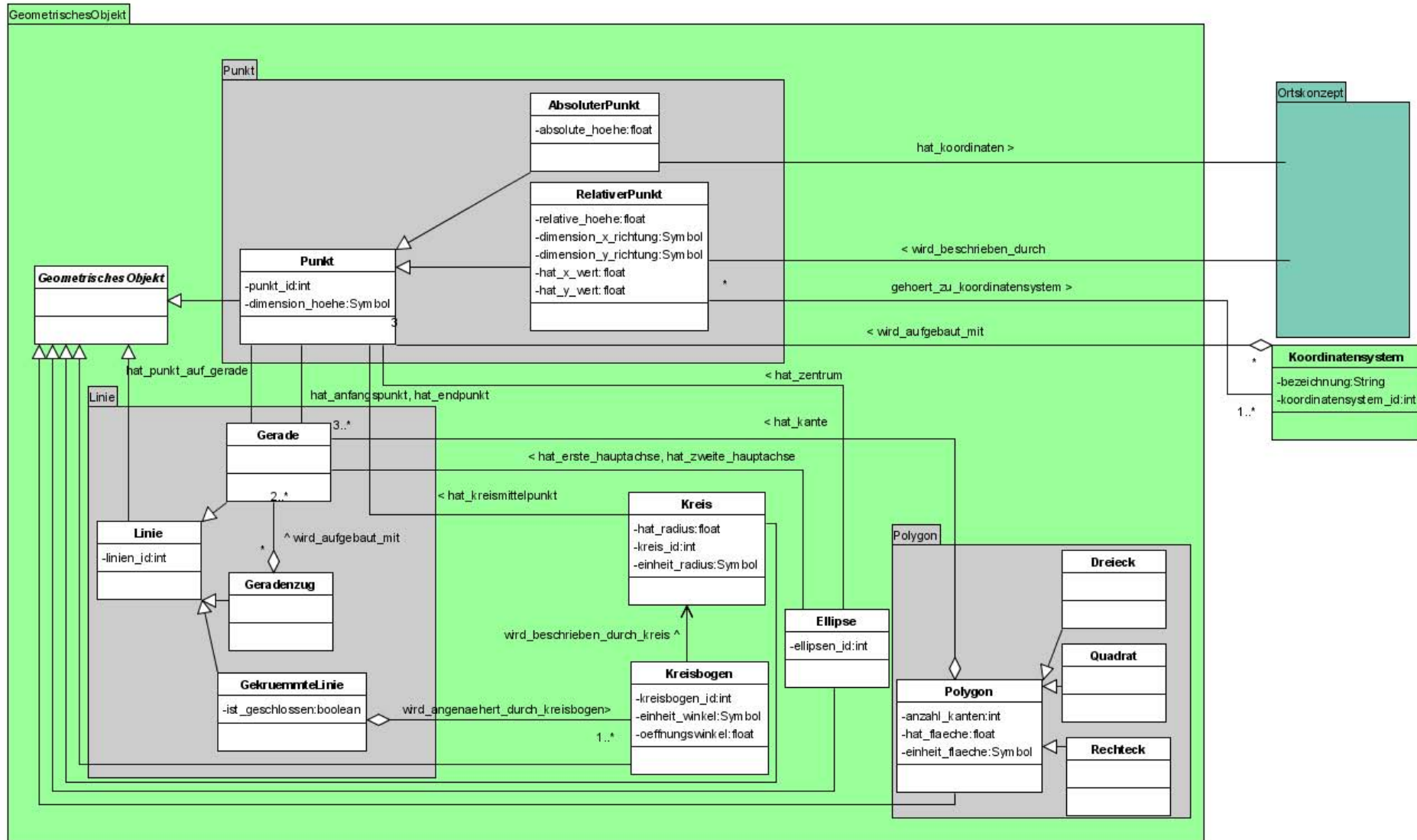


Abbildung 5-17: Das Konzept "GeometrischesObjekt".

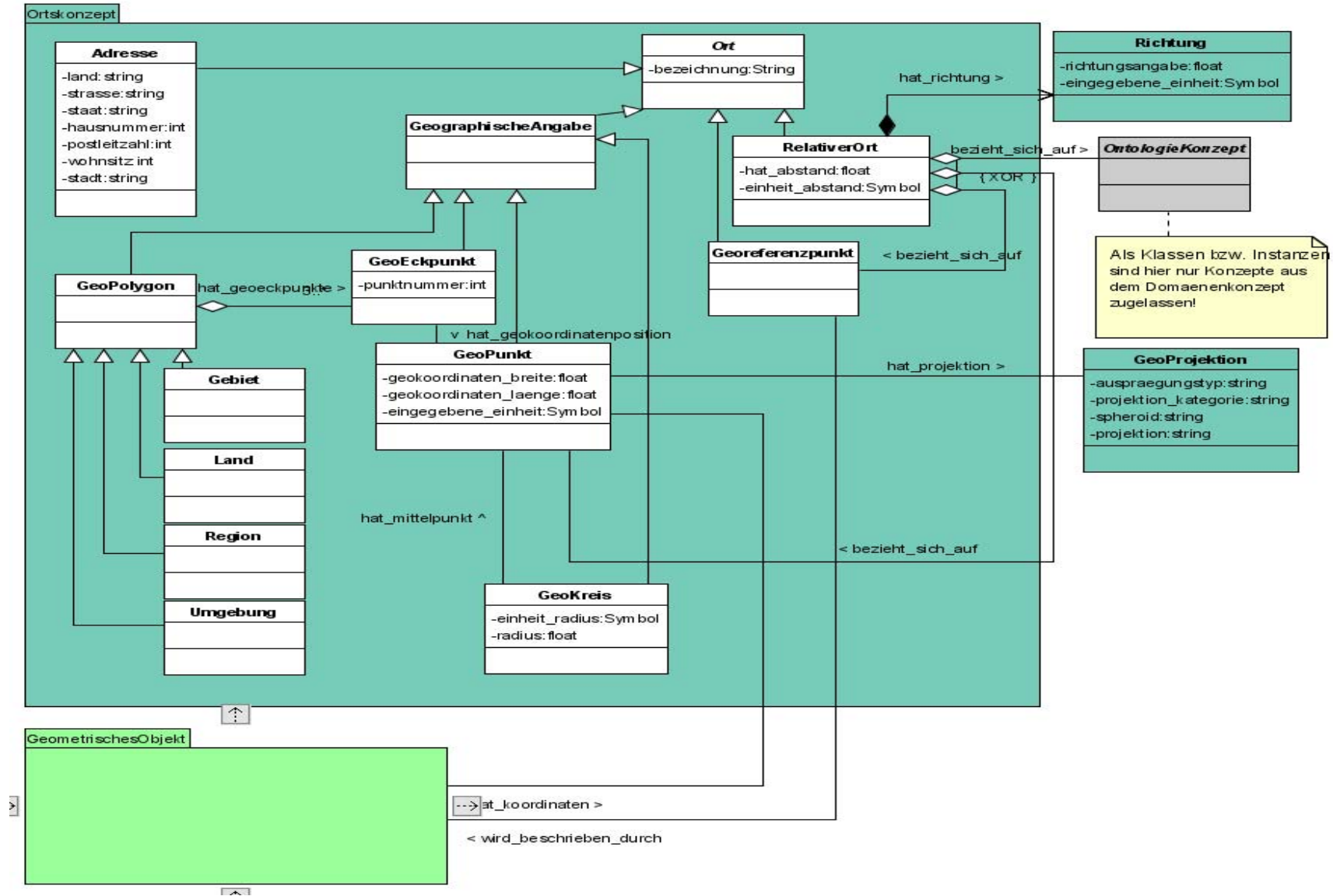


Abbildung 5-18: Das „Orts-Konzept“ in UML-Darstellung.

Eine weitere wichtige Beziehung des Konzeptes „Person“ betrifft die Verbindung zum Kommunikationskonzept (Abb. 5-19). Damit können Personen und Organisationen verschiedenen Kommunikationsmöglichkeiten zugeordnet werden. Dabei kann es sich zum Beispiel um einen Telefon- oder Videokonferenzanschluss, eine Internet-Verbindung oder auch den Postweg handeln. Im Diagramm vereinfacht als Postadresse, E-Mail, Telefon und Videokonferenz modelliert. Über einen Stellenwert können dabei Prioritäten zugeordnet werden.

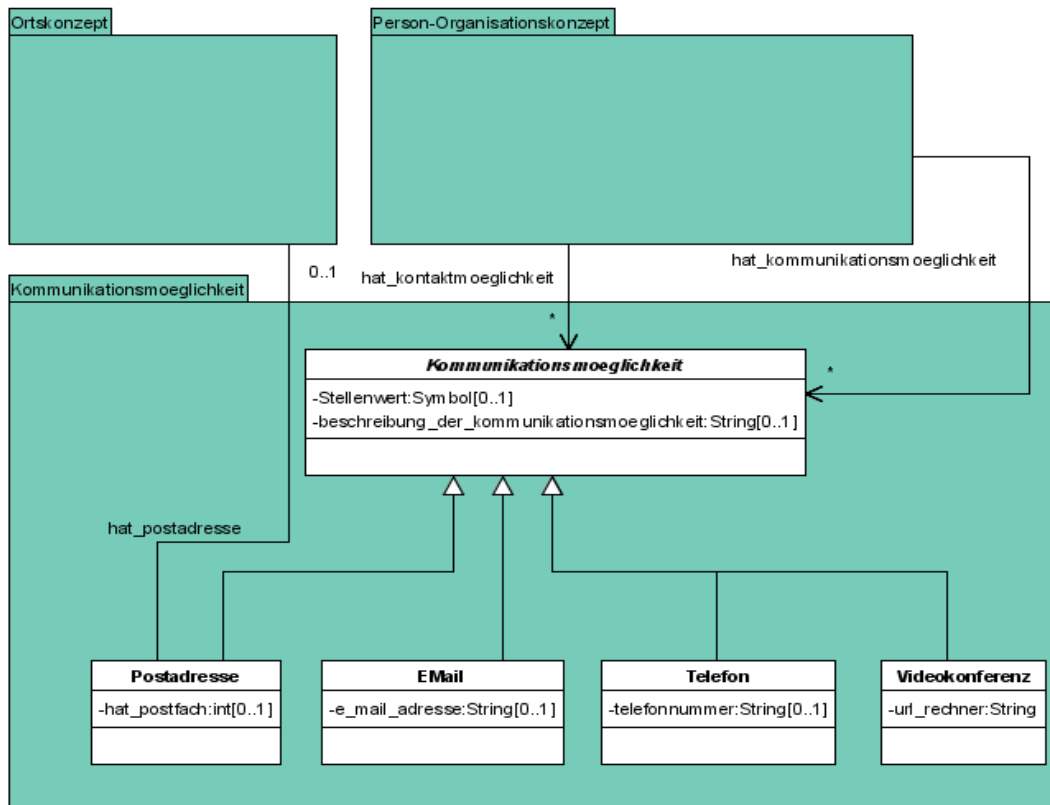


Abbildung 5-19: Das Konzept „Kommunikationsmöglichkeit“.

Neben dem „Personen-Konzept“ (Wer?) und dem „Orts-Konzept“ (Wo?) stellt der Zeitbegriff (Wann?) ebenfalls ein zentrales Konzept dar³. Abb. 5-20 verdeutlicht das Konzept „Kalender“, welches mit „Person“ über verschiedene Relationen in Verbindung steht. In der Klasse „Kalender“ sind sowohl die Arbeitszeiten in der Woche, wie auch Urlaub, Feiertage und Termine enthalten. Die Arbeitszeit in der Woche besteht aus den einzelnen Wochentagen, denen die jeweiligen Zeiten zugeordnet werden. Dieses Vorgehen ist erforderlich, da für verschiedene Dienste, die genaue Zeit gebraucht wird, in der eine Person erreichbar ist. Diese Zeit kann unter der Woche variieren.

Zur Vereinfachung und für den speziellen Zweck der vorgesehenen Anwendungen wird davon ausgegangen, dass eine feste Wocheneinteilung vorhanden ist, die sich in jeder Woche wiederholt. So kann beispielsweise angegeben werden, dass eine Person am Montag von 08.00 Uhr bis 16.00 Uhr erreichbar ist, am Dienstag aber von 06.00 Uhr bis 11.30 Uhr und von 14.00 Uhr bis 20.00 Uhr. Für diese Zeitdarstellung ist es erforderlich, die Zeit für jeden Wochentag einzeln anzugeben. Urlaub, Termin und Merker sind jeweils Spezialisierungen von der Klasse Zeitintervall. Ein Intervall hat einen Anfangs- und einen Ende-Zeitpunkt. Ein Zeitpunkt wiederum besteht aus einer Uhrzeit und/oder einem Datum. Die Uhrzeit setzt sich

³ Die Kern- und die Domänen-Ontologien beantworten die Fragen nach dem Was?

aus Stunde, Minute und einer Angabe über die Zeitzone zusammen. Letzteres ist im Modell zur Vereinfachung nicht berücksichtigt. Die Anführung von Sekunden ist für diese Form der Zeitangabe nicht erforderlich. Datum setzt sich aus Tag, Monat, Jahr und Wochentag zusammen. Der Wochentag ist erforderlich, da zum Beispiel für eine Termin-Verabredung ein Vergleich mit der zeitlichen Erreichbarkeit einer Person gemacht werden muss und diese über die Wochentage modelliert ist. Bei der Angabe der Erreichbarkeit einer Person ist die Berücksichtigung von Angaben zum Urlaub notwendig.

Eine Person kann Dienstleistungen anbieten. Diese werden aus der Sicht der Dienste in der Kern-Ontologie beschrieben. Zusätzlich ist die Klasse Person noch mit einem Benutzerprofil verbunden, das unter anderem zur Auswahl der Rolle dient. Für eine Rolle entscheidet sich eine Person schon bei der Anmeldung am System. Zur Auswahl stehen dabei: Administrator, Dienstanbieter und Dienstnutzer. Der Administrator hat alle Zugriffsrechte. Nur er kann die Ontologie verändern und erweitern. Die Dienstanbieter und die Dienstnutzer haben nur eingeschränkte Rechte. Sie können Instanzen eingeben, aber die Ontologie selbst kann nicht von ihnen verändert werden.

Die Angaben zum Beruf und zu den Interessensgebieten sind zunächst unabhängig von einer Anbindung an die Domänen-Ontologie. Das Dienst-Angebot einer Person wird hier vom Beruf oder Interessensgebiet getrennt. Im Kontext der Fernerkundung wird nur eine eingeschränkte Menge von Berufsklassen und Interessensgebieten vorgegeben, die sich allerdings leicht erweitern lässt.

Personen kann ebenso wie Organisationen, auswertungsrelevanten Objekten und Diensten ein „Status“ zugeordnet werden (Abb. 5-21). Dieser kann sich durch Aktionen zu entsprechenden Zeitpunkten verändern. Die Festlegung der Statusveränderung wird von einer Person oder Organisation veranlasst.

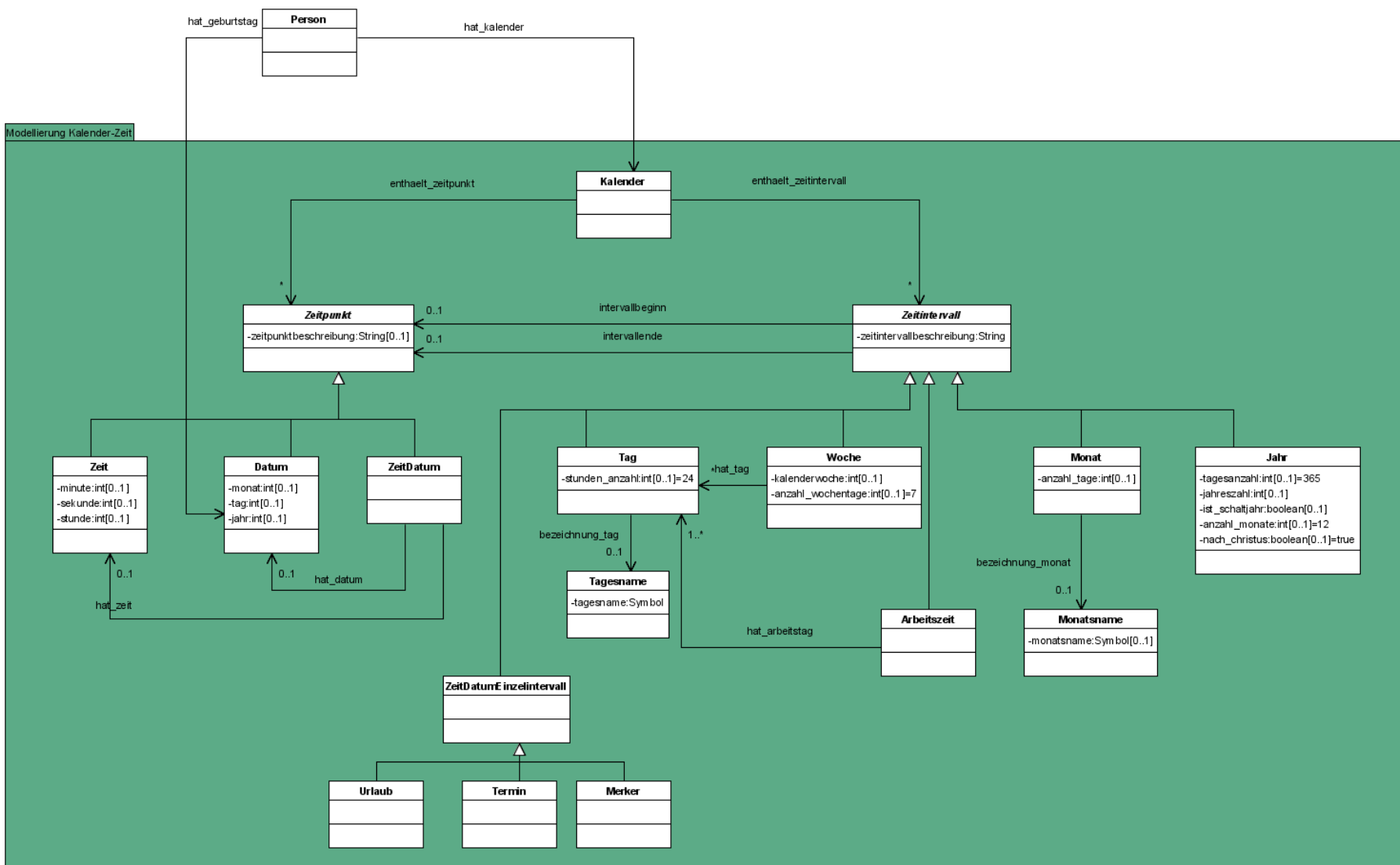


Abbildung 5-20: Das Konzept "Kalender".

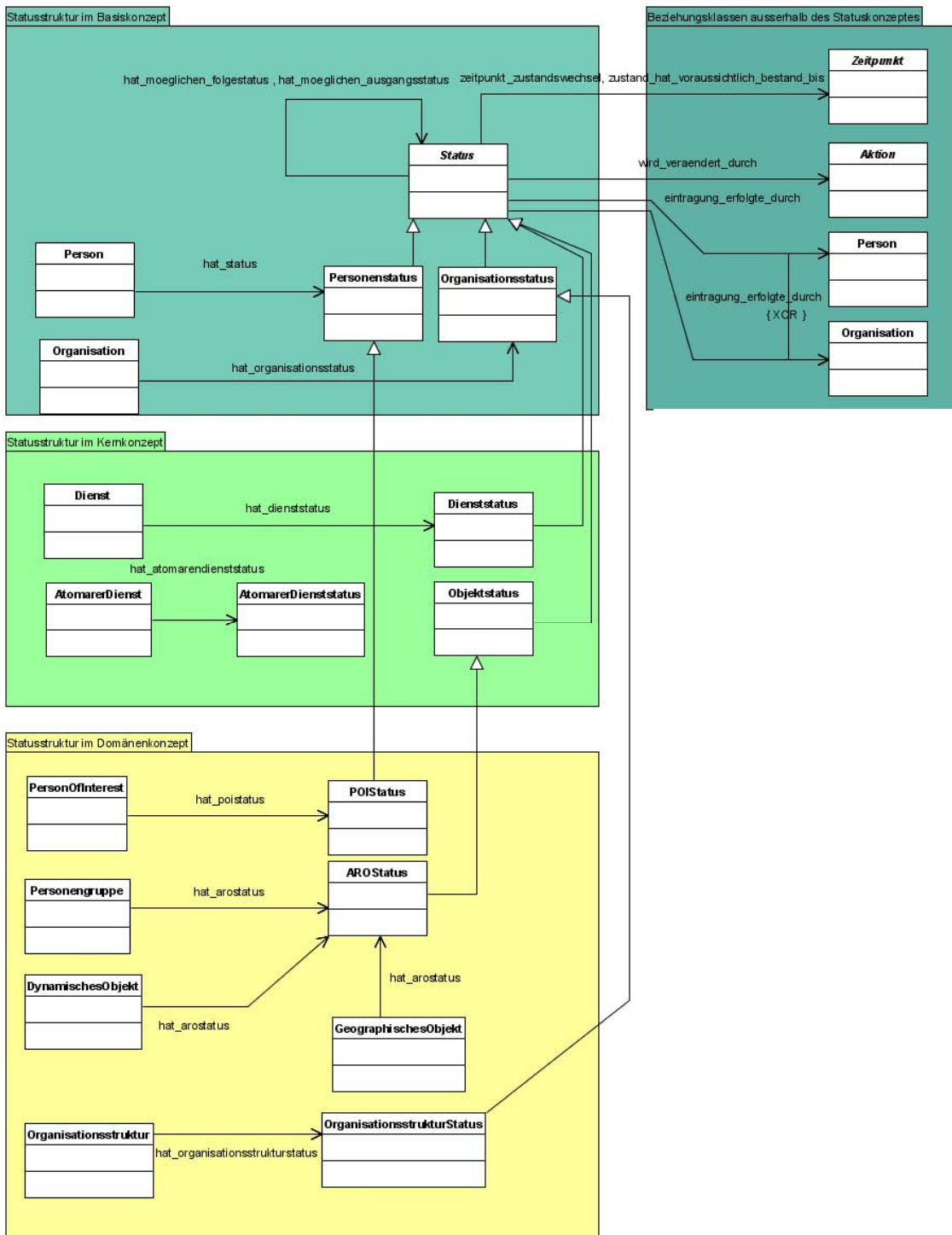


Abbildung 5-21: Das Konzept "Status" und die Nutzung in Kern- und Domänen-Ontologie.

5.4.4 Kern-Ontologie

Im Folgenden werden mit den Konzepten „Dienst“, „Kostenmodell“ und „Information“ drei Komponenten der Kern-Ontologie vorgestellt. Die Klasse „**Dienst**“ implementiert eines der zentralen Konzepte der in dieser Arbeit entworfenen Kern-Ontologie (Abb. 5-22). Im Bereich der interaktiven Bildauswertung sollen Dienstleistungen sowohl angeboten, als auch gesucht und genutzt werden.

Bei Dienstleistungen handelt es sich um Recherchen, Vermittlungen, Transporte und andere Auftragsdienste. Die Recherche beinhaltet die Suchen nach Informationen und Personen.

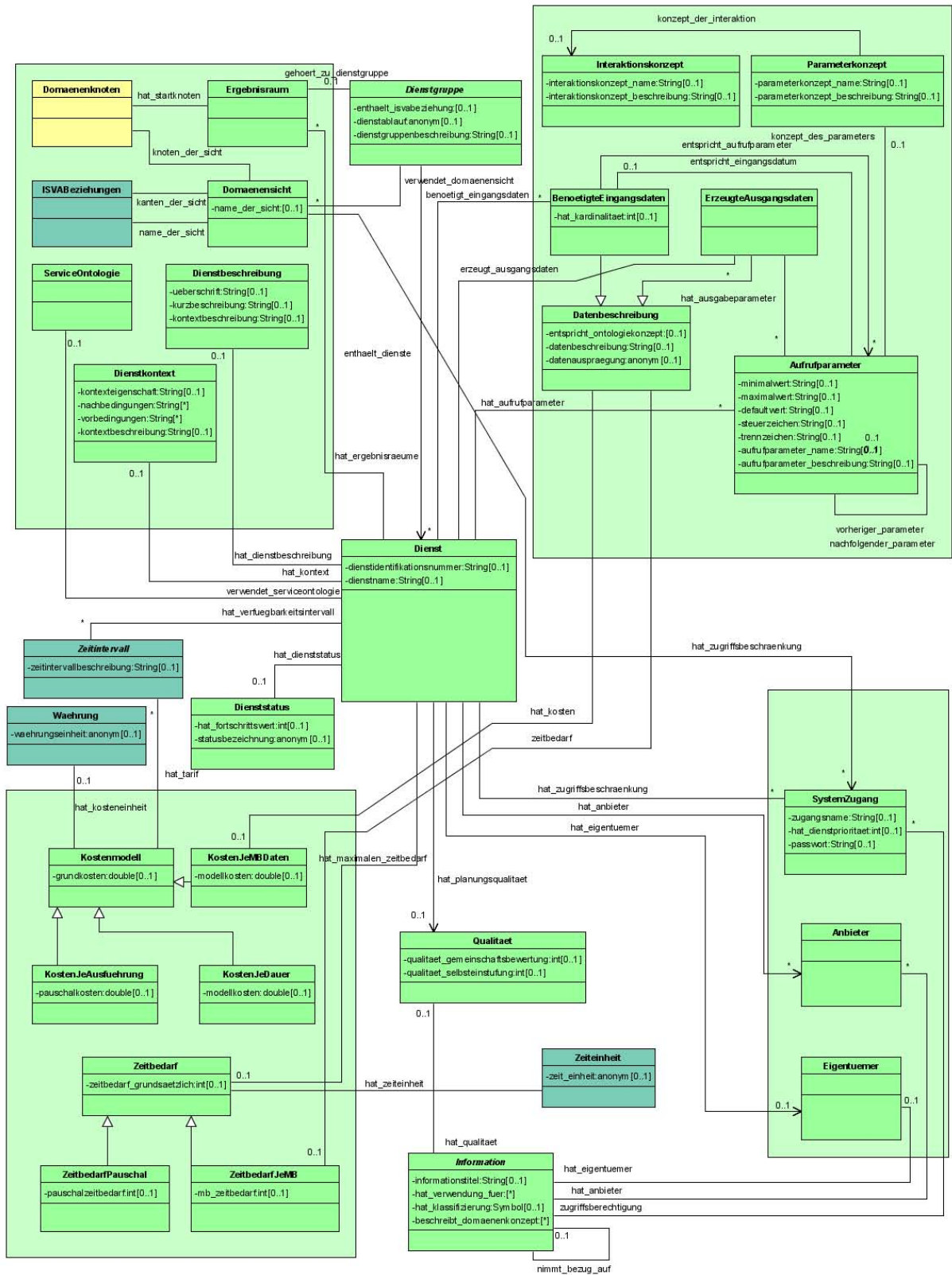


Abbildung 5-22: UML-Darstellung des Konzeptes „Dienst" (Abb. B-2 im Anhang bietet eine vergrößerte Darstellung).

Auch eine Vermittlung verfügt als Dienstleistung über die gleichen Eigenschaften wie andere Dienste, benötigt eine gewisse Zeit zur Durchführung und es entstehen ebenso Kosten. Basierend auf dem Kosten-Nutzen-Modell können daher verschiedene alternative Vermittlungen im gleichen Netz verfügbar sein. Der Transport kann sowohl eine eigenständige, als auch eine integrierte Dienstleistung sein. Viele Dienstleistungen bieten den Transport als integrierte Leistung an. Daneben muss der Transport allerdings eigenständig modelliert werden, da auch er eine Dienstleistung ist, die eigenständig angeboten werden kann. Unter den Begriff Auftragsdienste fallen zum Beispiel die Bildinterpretation, die Diagnoseerstellung, die Bildbearbeitung sowie die daraus abgeleiteten spezialisierten Dienstleistungen, z.B. Detektion, Klassifikation oder Identifikation von Objekten.

Das Konzept „Dienst“ muss neben der syntaktischen Einbindung auch eine semantische Beschreibung eines Dienstes unterstützen. Dies erfolgt mittels einer Reihe von Attributen. Neben dem Namen und einer kurzen Beschreibung des Dienstes existieren Verknüpfungen zu der Person oder Organisation, die diese Dienstleistung anbietet und zu dem Nutzer, der einen Dienst verwendet. Dabei müssen die entsprechenden Zugriffsrechte berücksichtigt werden. Weitere Eigenschaften eines Dienstes sind die Kosten, die Qualität und der Zeitbedarf der Dienstleistung. Die Attribute „hat_kosten“, „hat_qualität“ und „hat_zeitbedarf“ stellen die entsprechenden Relationen dar. An diesen Eigenschaften kann eine Dienstleistung gemessen und mit anderen gleichartigen Diensten verglichen werden. Angaben zur zeitlichen Verfügbarkeit der Dienste erfolgen mittels Verknüpfungen zu „Zeitintervallen“.

Über die Konzepte „**Aufrufparameter**“, „**Parameter-**“, und „**Interaktionskonzept**“ (rechter oberer Teil in Abb. 5-22) werden notwendige Eingabeparameter bzgl. Stellenwert, Typ und Wertebereiche angebinden. Die Interaktionskonzepte werden als Vorgabe für den Interface-Agenten zur interaktiven Parametrierung benötigt. Neben der syntaktischen Anbindung durch die Konzepte „**ErzeugteAusgabedaten**“ und „**BenötigteEingabedaten**“ erfolgt die semantische Anbindung der Dienste durch die Angaben zum „**Ergebnisraum**“ und zur „**Domänensicht**“ (Bereich links oben in Abb. 5-22). Die Domänensicht beschreibt die dem Dienst zugrunde liegende Ansicht der Domänen-Objekte (z. B. „Acts_As“). Dadurch werden die Kanten („taxonomische Beziehungen“) im Ergebnisraum bestimmt. Der Ergebnisraum beschreibt daneben die für den Dienst relevanten Teilbereiche der Domänen-Ontologie durch die Angabe von **Domänen-Knoten** („Knotenlisten“). Die Angabe eines Domänenknotens in der Liste impliziert jeweils alle untergeordneten Knoten eines Konzeptes. Die Anbindung der Datenbeschreibung an die Ontologiekonzepte (z.B. „Bild“, „Bericht“) ermöglicht eine Zuordnung von Medien- und Strukturbeschreibungen als Ontologiekonzepte zu den jeweiligen Ein- und Ausgangsdaten. Dies ist eine Voraussetzung für die Auswahl geeigneter Dienste durch den Vermittlungs-Agenten. Diese erfolgt sowohl durch Prüfung der syntaktischen Verschaltbarkeit von zwei Diensten als auch durch Prüfung der semantischen Verbindungsmöglichkeit. Kontextbedingungen und Kontextdienste sind für Steuerung der Auswahl eines Dienstes bzw. für die Verkettung von Diensten erforderlich. Dies dient unter anderem zur Modellierung von Arbeitsabläufen. So kann z.B. eine Rechnungserstellung einem kostenpflichtigen Dienst nachgeschaltet werden. Dienste werden zu Dienstgruppen mit gleichartigen Diensttypen zusammengefasst. Im Anhang B ist die vollständige Modellierung von Diensten, atomaren Diensten und zusammengesetzten Diensten (Abb. B-6) dargestellt. Abb. B-7 verdeutlicht die Strukturierung nach Dienstgruppen.

Das Konzept **Kostenmodell** (Abb. 5-23) hat als Komponente des Kosten-Nutzen-Modells (Kap. 4.6) ebenso wie die hier nicht dargestellten Konzepte **Zeitbedarf** und **Qualität** die Verbindung zum Konzept „Dienst“. Auch die Unterteilung in Kosten für den Transport, für die Vermittlung und für die Dienstleistung gilt äquivalent für Zeitbedarf und Qualität. Die

Gesamtkosten ergeben sich aus der Summe der Einzelkosten. Analog ergibt sich die Gesamtqualität aus der Summe der Einzelangaben. Die Klasse Zeitbedarf hat einen direkten Bezug zu einer Dienstleistung. Dieser wird über die Verknüpfung „hat_zeitbedarf“ realisiert. Darüber hinaus teilt sich der Zeitbedarf in drei Kategorien für die Vermittlung, für den Transport und für die Dienstauführung. In der Anwendung ist die Unterscheidung zwischen der Ansicht für den Dienstanbieter und der Ansicht für den Dienstanutzer zu machen. Dabei werden nicht in jeder Ansicht alle Werte zu sehen sein. Eine Person oder Organisation, welche eine Dienstleistung anbietet, muss allerdings alle Werte ausfüllen. Nur so wird die Vergleichbarkeit der verschiedenen Dienstleistungen gewährleistet. Für den Dienstanutzer ist in der Regel die Darstellung der insgesamt für einen Dienst benötigten Zeit interessant, für die Optimierung der Dienstaufwahl ist aber eine Aufteilung in einzelne Teil-Dienste mit getrennten Zeitangaben notwendig. Entsprechendes gilt auch für die Angaben zur Qualität. Die Konzepte „Zeitintervall“ und „Währung“ sind als Hilfsklassen in der Basis-Ontologie spezifiziert um unterschiedliche Einheiten für die Zeit und Kosten zu unterstützen. Die system-interne Umrechnung von Zeitbedarf in Zeitbedarfswert erfolgt in jeder Abfrage neu, da die Berechnung immer mehrere Dienstleistungen einbezieht.

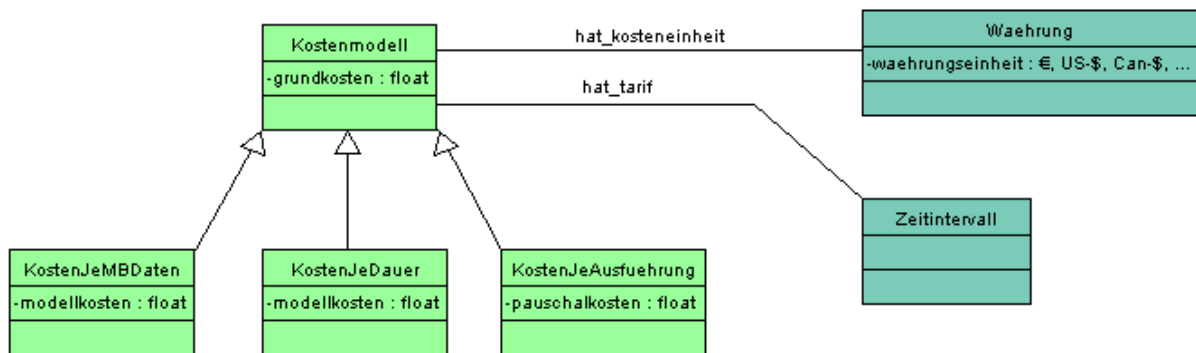


Abbildung 5-23: Das Konzept „Kostenmodell“ mit seinen Slots in UML.

Neben dem „Dienst“ stellt das Konzept „**Information**“ eine der zentralen Klassen der Kern-Ontologie dar (Abb. 5-24). Dabei werden textuelle Informationen, bildbezogene Informationen, kartografische und multimediale Informationen unterschieden. Dabei sind für die einzelnen Konzepte jeweils verschiedene Formate zu unterstützen. Die bildbezogenen Informationen berücksichtigen unterschiedliche Spektralbereiche, Aufnahmeumgebungen, Kollateraldaten, Sensorangaben und Verarbeitungsstufen des Bildmaterials. Bei den kartografischen Informationen existiert ein enger Bezug zum Orts-Konzept. Aufbauend auf die Basis-Ontologie werden auch abgeleitete Konzepte von „Zeit“ (z.B. Aufnahmezeitpunkt) und „Person“ (z.B. Eigentümer) verwendet. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit sind diese Angaben bzgl. der Zeit (z.B. Aufnahmezeitpunkt, Eingabedatum) und zu Personen (z.B. Eigentümer, Bearbeiter, Zugriffsrechte) hier nicht dargestellt. Eine ausführlichere Darstellung findet sich im Anhang (Abb. B-8).

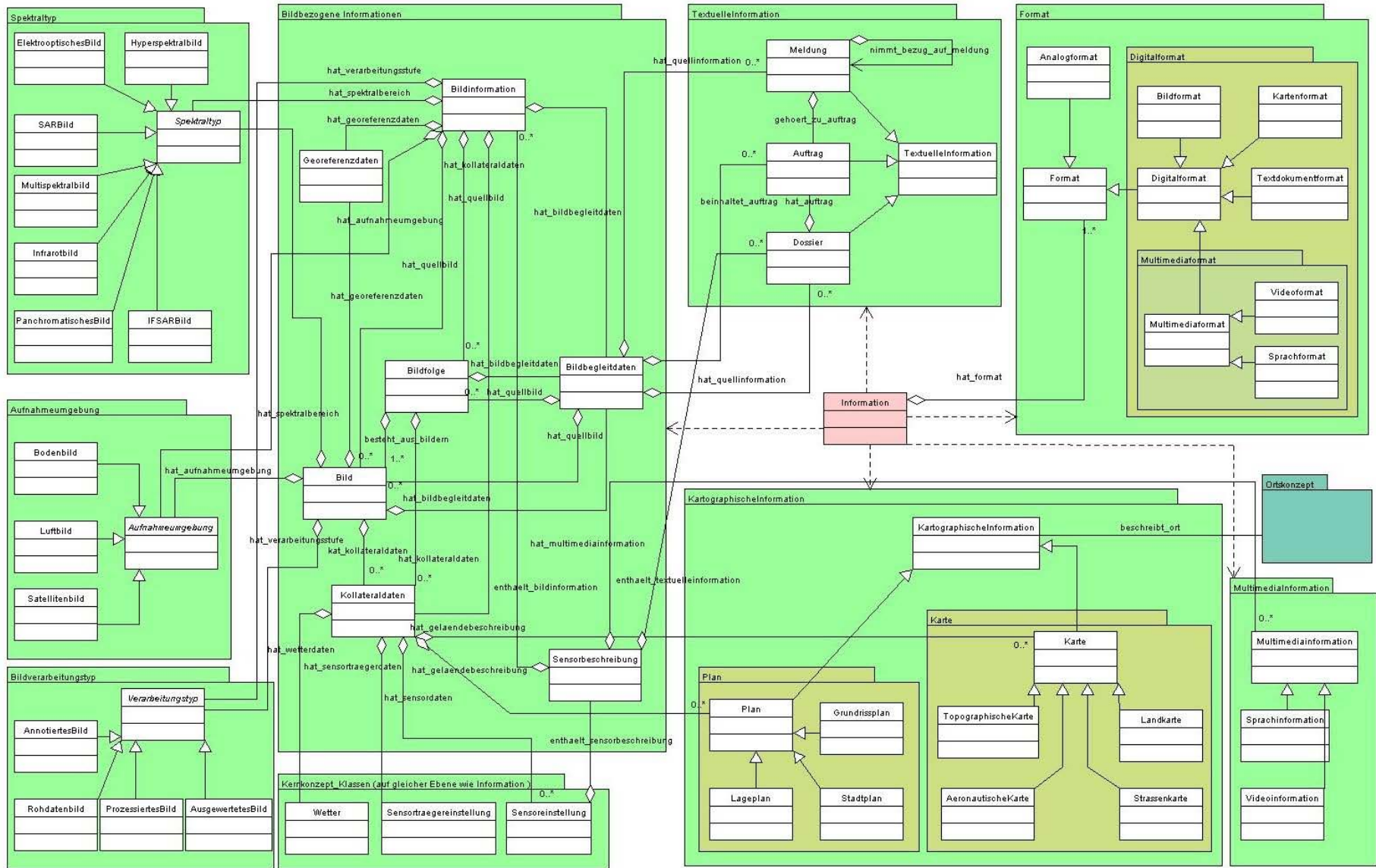


Abbildung 5-24: Das Konzept "Information" (Abb. B-5 im Anhang bietet eine vergrößerte Darstellung).

5.4.5 Domänen-Ontologie

Die Domänen-Ontologie „Fernerkundung“ dient zur semantischen Beschreibung von verteilten Ressourcen (Fernerkundungsdaten und -diensten) der Domäne und der daraus abgeleiteten Daten. Dazu werden Konzepte, Relationen und Regeln modelliert. Die im Rahmen dieser Arbeit entworfene Struktur unterscheidet vier verschiedene Bereiche der Domänen-Ontologie (Abb. 5-25):

- Konzepte zur Beschreibung physikalischer Eigenschaften von Fernerkundungsdaten; Feinklassifizierung der Sensoren; Verfeinerungen der Informationskonzepte (z.B. Ergänzung des Konzeptes „Bild“ mit den Standardattributen Farbtiefe, Pixelzahl, Format, Bildgröße etc. um die in der Fernerkundung verwendeten Attribute Emissions- oder Reflexionsgrad).
- Konzepte zur strukturellen Beschreibung von Fernerkundungsdaten (Anordnungsbeziehungen sowie verschiedene Texturen und Mustern).
- Verfeinerungen der Konzepte für Methoden und Verfahren, die auf Fernerkundungsdaten angewendet werden können („Dienste“ und „Dienstgruppen“).
- Beschreibung der Inhalte der Fernerkundungsdaten auf der Grundlage von Objekten der alltäglichen Wahrnehmung. **Diese inhaltliche Beschreibung der auswertungsrelevanten Objekte (ARO) bildet im Folgenden den Schwerpunkt der weiteren Ausführungen.**

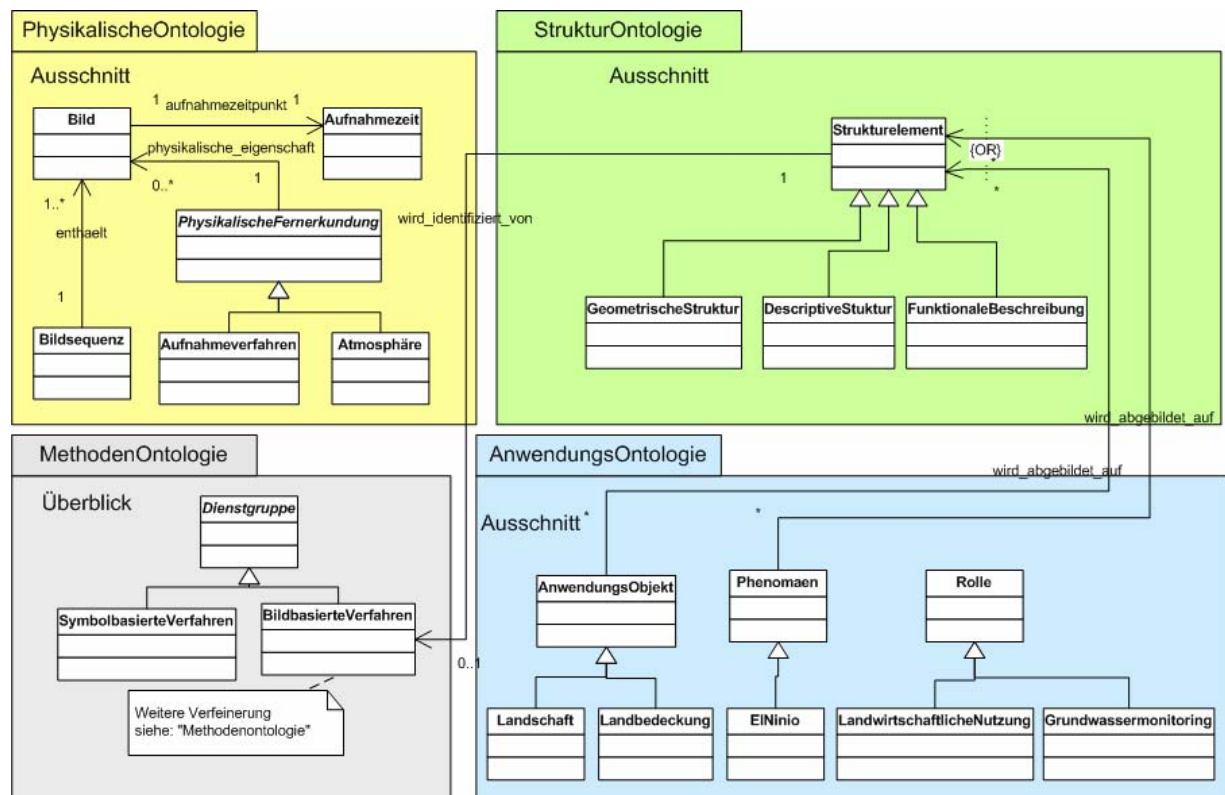


Abbildung 5-25: Untergliederung der Domänen-Ontologie zur Fernerkundung. Die Darstellung illustriert die Aufteilung der Konzepte und ist keineswegs vollständig. Die Beziehungen zur Kern-Ontologie der Konzepte sind nicht dargestellt (siehe auch Reinert 2004).

AROs werden in verschiedene Kategorien eingeteilt: Landfahrzeuge, Luftfahrzeuge, Schiffe, Bebauung, geografische Objekte (z. B. Gelände, zur Taxonomie s. Abb. B-9), etc. die alle in eine ganze Reihe von Unterklassen aufgeteilt sind. Neben einer Vielzahl von ebenengerechten Attributen modellieren Beziehungen zu weiteren Klassen den Zustand (Status) von Objekten oder die Zugehörigkeit zu Gruppierungen oder Organisationsstrukturen. In der Darstellung des Konzept-Baumes in Abb. 5-26 ist die Unterteilung in ARO, Bauform und Rolle erkennbar. Zur Erläuterung der Benutzungsoberfläche des Protégé-2000-Editors sei auf die Literatur verwiesen (<http://protege.stanford.edu/>).

Die Beziehungen „Is_A“ ist die Standard-Vererbungsbeziehung (taxonomische Relation), welche grundsätzlich in Protégé-2000 vorhanden ist. Ihre Verwendung zur Modellierung einer Begriffs-Hierarchie mit festgelegter Syntax ergibt die Baumstruktur des Protégé-Modells. In der Regel drückt diese Beziehung eine Spezialisierung der abgeleiteten Klasse gegenüber ihrer Oberklasse aus. Die Verwendung als reine Spezialisierungs-Beziehung ist jedoch nicht durchgängig durchzuhalten. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn „Begriffe“ bzw. „Ausdrücke“ im Modell als Klassen vorkommen müssen, um sie später, beispielsweise bei Anfragen an das System, verwenden zu können. In diesem Fall dient diese Beziehung zu einer logischen Gruppierung. Innerhalb der ARO-Strukturen wird „Is_A“ als Baumuster-Beziehung interpretiert. Zusätzlich zu der „Is_A“ Beziehung existieren noch zahlreiche weitere konzept-spezifische Beziehungen im Modell, die als Slot ausgebildet sind. Die Unterstützung der nutzer- und aufgabenspezifischen Sichten auf die Ontologie erfordert neben der Berücksichtigung rollen- und bauformenspezifischer Konzepte die Modellierung taxonomischer Beziehungen: „Looks_Like“ (Bauform), „Acts_As“ (Rolle) sowie „Has_A“ (Fähigkeiten) und „Part_Of“ (Bauteilbeziehungen) bilden eigenständige taxonomische Konzepte. Dabei können alle taxonomischen Beziehungen über Attribute gesteuert additiv oder überschreibend wirken. Zur Verdeutlichung der Beziehungspartner sind taxonomische Beziehungen mit den Endungen „CC“, „IC“ und „II“ typisiert (z. B. Acts_As_CC). CC kennzeichnet eine Beziehung zwischen zwei Klassen. Die „Is_A_CC“- Beziehung ersetzt die Standard-Spezialisierungsbeziehung aus Protégé 2000. „IC“ kennzeichnet die Beziehung zwischen einer konkreten Instanz und einer Klasse. „II“ drückt aus, dass die Beziehung zwischen zwei konkreten Instanzen, d.h. Ausprägungen zweier Klassen besteht. In der Regel wird diese Art der Beziehung zur Modellierung der Wissensbasis verwendet.

Abbildung 5-27 zeigt exemplarisch wie Konzepte oder deren Instanzen in verschiedene Sichten integriert werden können. Das erlaubt es, verschiedene Sichten flexibel den Anforderungen der jeweiligen Benutzer anzupassen. Dabei ist es nicht notwendig, dass ein Konzept in allen Sichten vorhanden ist. In der Abbildung ist zum Beispiel der „VW Transporter“ in allen Sichten enthalten (Bauform - Kleinbus, Rolle - Sanitätsfahrzeug, Baumuster – Volkswagen), der „Actros“ hingegen nur in zwei Sichten. Verfeinerungen können zusätzlich durch die verschiedenen Stati der Beziehungen, die zum Aufbau der Sichten verwendet werden, gemacht werden.

Die Verwendung von Rollen und Bauformen erlaubt die spezifische und sichtgebundene Erweiterung der Eigenschaften von Grundkonzepten bei gleichzeitiger Erweiterung der Begriffswelt und ermöglicht eine leichte Erweiterung der Ontologie. Es ist bei der Verwendung von Rollen und Bauformen jedoch darauf zu achten, dass sich keine Widersprüche innerhalb der Sicht ergeben bzw. keine Widersprüche innerhalb der Ontologie auftreten. Hier würde die Spezifikation der Ontologie mittels einer Beschreibungslogik (z. B. OWL-DL) Vorteile bieten, da zur Prüfung geeignete Inferenzmechanismen implementiert werden könnten. Die in dieser Arbeit spezifizierte Ontologie basiert jedoch auf der Verwendung von Metaklassen und kann daher nur in „OWL Full“ beschrieben werden, was die vollständige Verwendung von automatischen Inferenzmechanismen nicht gestattet (vgl. Kapitel 5.3) und daher eine manuelle Überprüfung erfordert. Dementsprechend dürfen Bezeichnungen von Konzepten innerhalb

der Ontologie nur einmal verwendet werden. Bei einer möglichen gleichzeitigen Nutzung mehrerer Sichten muss darauf geachtet werden, dass in der Ontologie keine logischen Inkonsistenzen auftreten.

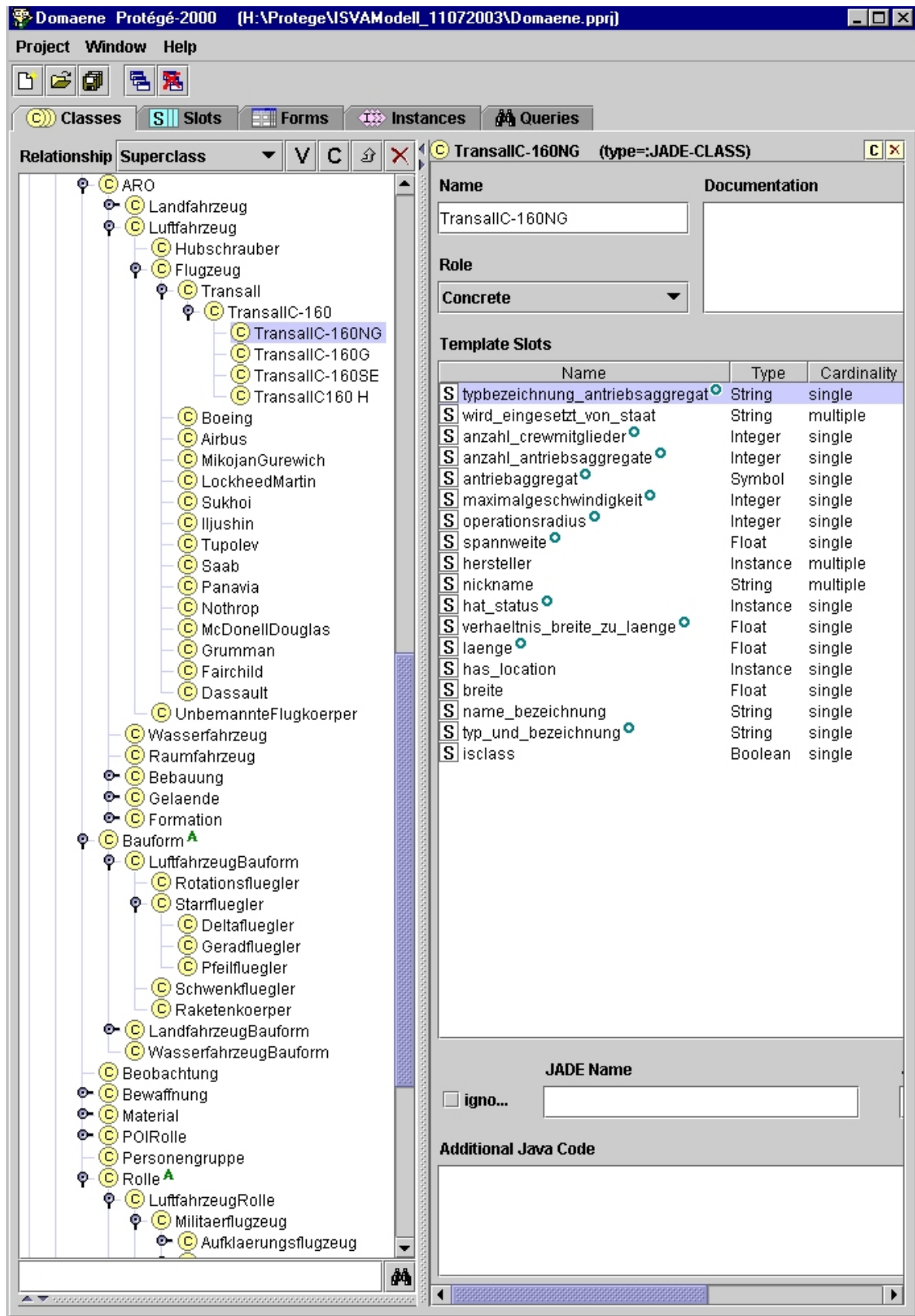
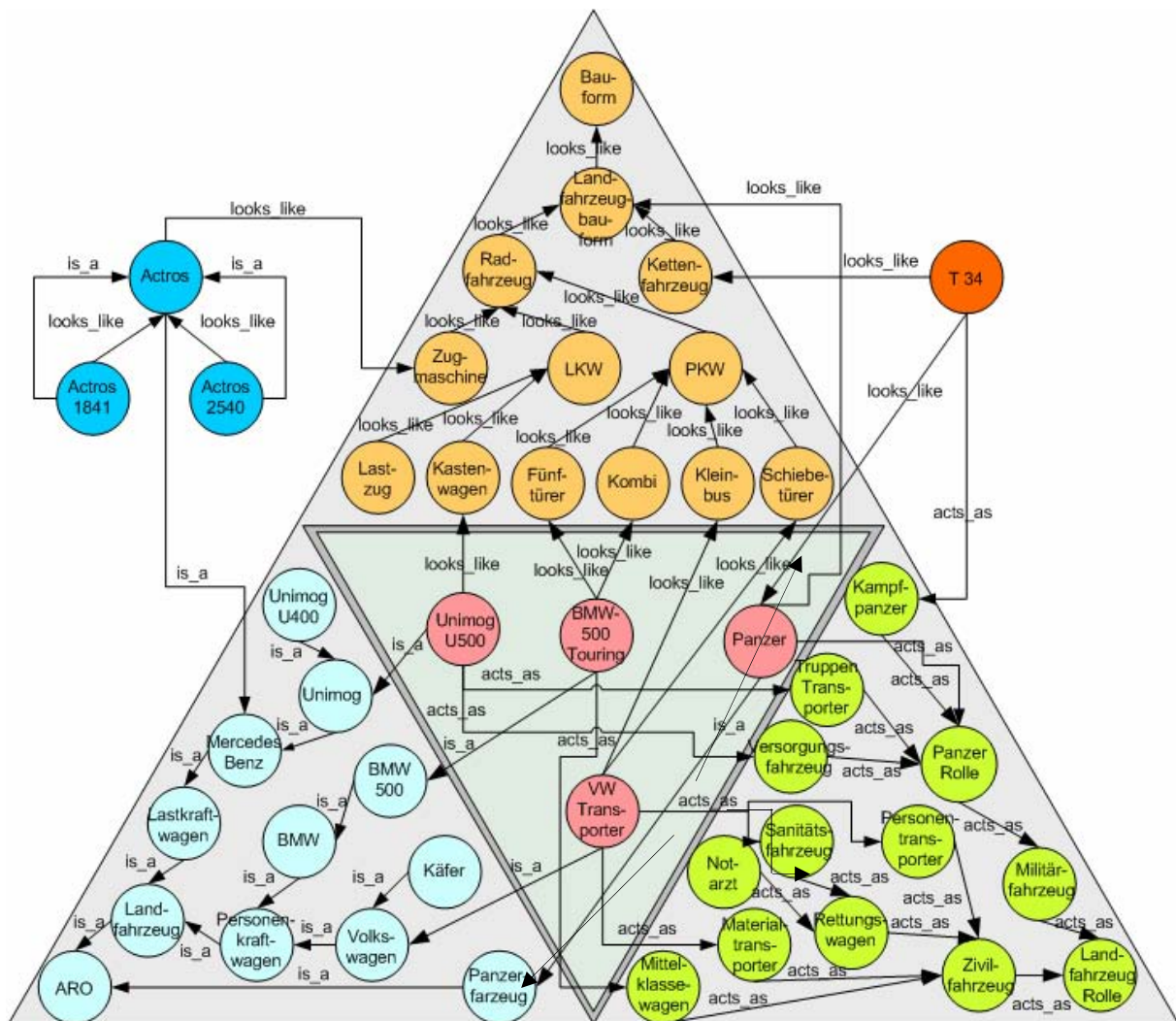


Abbildung 5-26: ARO („TransallC-160NG“) in der Domänen-Ontologie - Ausschnitt.



Legende

- Konzepte, die in der „looks_like“ Sicht verwendet werden
- Konzepte, die in der „acts_as“ Sicht verwendet werden
- Konzepte, die in den Sichten „looks_like“ und „is_a“ verwendet werden
- Konzepte, die in der „is_a“ Sicht verwendet werden
- Konzepte, die in den Sichten „acts_as“ und „looks_like“ verwendet werden
- Konzepte, die in allen Sichten verwendet werden

Abbildung 5-27: AROs mit unterschiedlichen Beziehungen. Beispiel zur Zuordnung von Konzepten zu den verschiedenen Sichten und damit zur Nutzung unterschiedlicher Taxonomien.

Allerdings ist die Unterstützung verschiedener, an die Benutzer anpassbarer Sichten bei der Konzeptfindung nicht unproblematisch. Die Probleme stellen sich dahingehend, dass es schwierig ist, die Konzepte so zu identifizieren, dass sie ohne Probleme in den verschiedenen Sichten angewendet werden können. Einige Begriffe der Umgangssprache verbinden in der Vorstellung der Benutzer Typ, Verwendung und Aussehen („Form follows Function“). Die Problematik besteht nun darin, die geeigneten Begriffe für die einzelnen Aspekte in den verschiedenen Taxonomien herauszufinden. Diese müssen allgemein verständlich und trennungswirksam sein. Bei einigen Begriffen wird aufgrund dieser Problematik auf die explizite Modellierung der „Bauform“ verzichtet. So steht häufig für die „natürlichen Objekte“, insbe-

sondere für alle Konzepte vom Typ „Geographisches Objekt“ (s. Anhang B, Abb. B-9) keine allgemeingültige Definition zur Verfügung. (Was ist die Form eines Berges? Wo beginnt ein Berg und wo endet das Umland?). Im Gegensatz dazu werden Rollen von „Geographischen Objekten“ explizit modelliert (z.B. „Naturschutzgebiet“, „Deponie“, „Transportweg“). Ebenso werden die „Benutzerrollen“ explizit modelliert.

Die ausschließliche Unterstützung einer einzelnen taxonomischen Sicht bei der Entwicklung verführt andererseits leicht dazu, nur einen eingeschränkten subjektiven Teil der Wissensmodellierung zu berücksichtigen. Andere Anwender, die eine davon verschiedene „Weltsicht“ benötigen, werden mit Eigenschaften konfrontiert, die in ihrer Sichtweise überflüssig oder sogar falsch sind. Um dieser Problemstellung gerecht zu werden, werden spezielle Rollen- und Bauformkonzepte eingeführt. Diese Konzepte können dann in Zusammenhang mit Beziehungen die Semantik eines Konzeptes anwenderspezifisch erweitern. Darüber hinaus wird ein „Aufblähen“ der Taxonomie verhindert, die durch ein alternatives Anhängen von Subkonzepten z. B. für verschiedene Nutzungskonzepte entstehen würde.

Bei den Attributen ist die Möglichkeit zur Einschränkung von Wertebereichen eine wichtige Modellierungstechnik. Dieses wird in der Abb. 5-28 am Beispiel des Kampfpanzers „Leopard“ und des abgeleiteten Konzeptes für den „Leopard 1“ verdeutlicht. Dabei wird der erlaubte Wertebereich für ein Attribut („Kettenvarianten“) eingeschränkt. Die Abb. 5-26 und 5-28 verdeutlichen die feine Granularität der Attribute in der Domänen-Ontologie. Dieses resultiert aus dem Anwendungsbereich der interaktiven Bildauswertung. Eine wichtige Aufgabe bildet dabei die Klassifikation der in verschiedenem Sensormaterial abgebildeten Objekte (vgl. Kap. 2). Je nach Sensor- und Kollateraldaten zeichnen sich dabei unterschiedliche Charakteristiken der Objekte in den Daten ab. Insbesondere sind dabei nicht nur visuelle Attribute zu berücksichtigen. Zur Interpretation der Szenen müssen eine ganze Reihe von Referenzinformationen berücksichtigt werden (Kap. 2.4). Die Domänen-Ontologie bietet die Möglichkeit die Objektdefinitionen einheitlich im Netzwerk zur Verfügung zu stellen. Die „Definitionsfragen“ („Was ist ein VW-Transporter?“, vgl. Kompetenzfragen in Kap. 5.4.2) stellen damit für den Anwendungsbereich der interaktiven Bildauswertung die ideale Basis für ein Werkzeug zur Klassifikationsunterstützung dar. Auf diese mögliche Anwendung wird in Kapitel 6 bei der Beschreibung einer prototypischen Implementierung näher eingegangen.

Neben den Attributen mit den Vorgaben für Typ und Wertebereiche bilden **Regeln** (Axiome) einen weiteren Bestandteil einer Ontologie. Regeln dienen in der Ontologie dazu, die exakte und kompaktere Definition von Konzepten zu vereinfachen, insbesondere Regeln, welche konzeptübergreifend wirksam sind. Es werden durch die Verbindung von Werten von Instanzen bereits definierter Konzepte neue Instanzen bereits definierter Konzepte erzeugt, beispielsweise zur automatischen Klassifizierung/Zuordnung auf der Grundlage bestimmter Wertebereiche von klassifizierenden Attributen. Die definierten Regeln sind vorwärtsverkettende Regeln. Das bedeutet, dass nach der Auswertung des Regelkopfes (Bedingung) beim Zutreffen der Bedingung der Regelkörper (Folgerung), die darin festgelegten Aktionen ausgeführt werden. Tabelle 13 stellt einige Beispiele für Regeln in einer informellen Formulierung zusammen. Eine Formalisierung muss in der entsprechenden Sprache der verwendeten Regelmaschine erfolgen. Entsprechende Beispiele werden bei der Beschreibung des Prototypen im folgenden Kap. 6 erläutert.

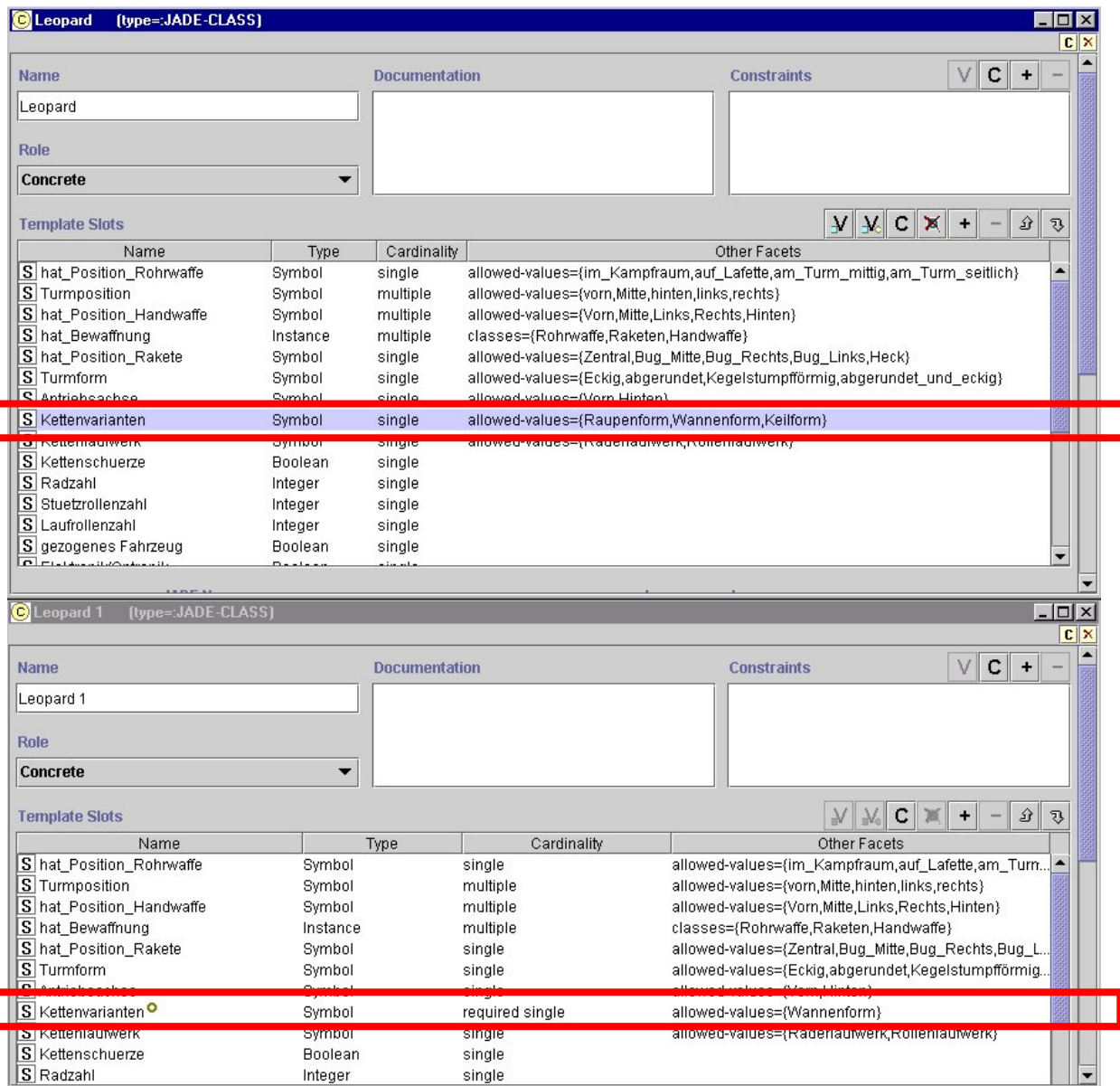


Abbildung 5-28: Unterschiede bei den Attributwerten.

Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung einer Kolonne sind gleich der Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung des Führungsfahrzeugs.

Ein Gewässer mit einer Strömungsgeschwindigkeit $> 0,2$ m/s ist ein Fließgewässer.

Eine Ebene mit einer Erhöhung > 1000 m ü.NN ist eine Hochebene

Ein Bild, das mit einem SAR-Sensor aufgenommen wurde, hat den Spektraltyp SAR-Bild

Ein Fahrzeug mit einem Hoheitszeichen Rotes Kreuz agiert als Sanitätsfahrzeug

Tabelle 13: Regeln als Bestandteile der Ontologie – Beispiele in informeller Darstellung.

6 Prototypische Realisierung / Fallstudie Fernerkundung

Anhand ausgearbeiteter Szenarien aus dem Bereich der Fernerkundung wurden in der vorliegenden Arbeit geeignete Informationen und Dienstleistungen ausgewählt und in einem Netzwerk zur Verfügung gestellt. Verschiedene Datenbanken stellen relevante Bilder, Karten, Berichte, Meldungen und Objektbeschreibungen bereit. Dienste werden zum einen durch Experten der Anwendungsdomäne erbracht, zum anderen stehen verschiedene Programme zur teilautomatischen Detektion und Klassifikation von Objekten zur Verfügung. Software-Agenten ermöglichen den Nutzern die Bereitstellung von und den Zugriff auf Informationen und Dienste. Die agenten- und ontologiebasierten Recherche-Dienste unterstützen insbesondere die Suche nach Experten, Informationen und Diensten. Der Zugriff auf die Informationen und Dienste erfolgt nutzerspezifisch mit personalisierten Zugängen und wird durch automatische Assistenten unterstützt. Dieses gilt ebenso für die Vermittlung von und Kommunikation mit geeigneten Experten. Interface-Agenten passen automatisch die Benutzungsoberflächen der Netzwerkteilnehmer an Aufgabenstellung und Interessensbereiche an. Dazu wurden geeignete Nutzerprofile implementiert.

Im Rahmen des Projektes „Intelligenter Sensorverbund Aufklärung (ISVA)“ (*Schönbein 2002*) wurde ein Basis-System prototypisch realisiert. Das im Labor „Interaktions- und Assistenzsysteme“ des IITB aufgebaute Netzwerk wurde mit anderen Instituten und Firmen über das Internet und zusätzliche Verschlüsselungssysteme vernetzt und bildet mit den so angeschlossenen Teil-Netzwerken den Systemverbund zur verteilten kooperativen interaktiven Bildauswertung. Für den Anwendungsbereich der Fernerkundung wurde in dieser Arbeit eine Domänen-Ontologie mit den für die Szenarien auswertungs-relevanten Objekten und Diensten entwickelt. Die einzelnen Konzepte wurden mit potentiellen Nutzern diskutiert und implementiert. Zur Erprobung und Weiterentwicklung der Ontologie wurde ein eigenständiger Ontologie-Demonstrator entwickelt. Die dazu implementierten Kompetenzfragen dienen zur Unterstützung der Evaluierung mittels automatisierter Testprozeduren und können im agentenbasierten Demonstrator intern zur Anbindung an die Ontologie verwendet werden.

6.1 Szenarien

Die Abb. 6-1 bis 6-3 stellen räumliche Interessensgebiete der implementierten Szenarien dar. Zu jedem Szenario wurden Informationen in Form von Bildern, Karten und Berichten bereitgestellt. Nutzer und Experten wurden ebenso wie verschiedene Dienste definiert und instantiiert.

Zur Spezifikation der Anforderungen an den Demonstrator dienen verschiedene „Use-Cases“, die auf der obersten Ebene das Angebot sowie die Suche nach Informationen und Diensten verdeutlichen (Abb. 6-4). Des Weiteren leiten sich aus den „Use-Cases“ und den Szenarien die notwendigen Schritte zur Erstellung der Wissensbasis ab. So müssen z. B. für den Fall („Use-Case“) „Anmelden beim System“ die Konzepte Person, Nutzer, Anbieter, Organisation, Organisationsstruktur mit den beteiligten Konzepten wie z. B. Kalender, Kommunikationsmöglichkeit, Beruf, Fachgebiet und Nutzerprofil (incl. den Komponenten für die individuelle Bewertung von Diensten und Informationen) instantiiert werden. In einem zukünftigen erweiterten System könnte auch der Ontologie-Pfleger als „Hotline“ im System „On-line“ eingebunden werden.



Abbildung 6-1: Auszug aus einem Szenario für den Ontologie-Demonstrator (*Reinert 2004*). Rote (sensitive) Vierecke markieren Bereiche zu denen Informationen vorliegen.

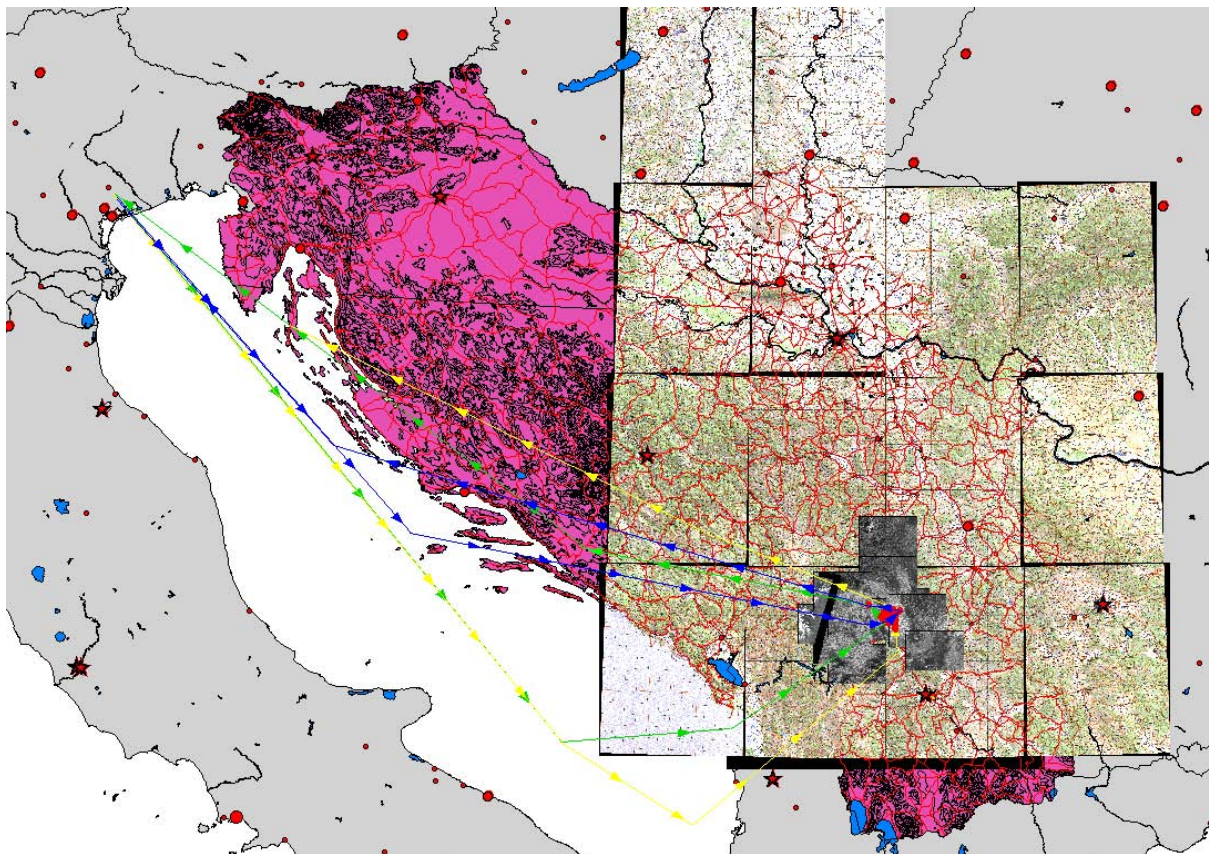


Abbildung 6-2: Auszug aus einem Test-Szenario mit vorliegenden Karten, Bildern und Flugwegen.

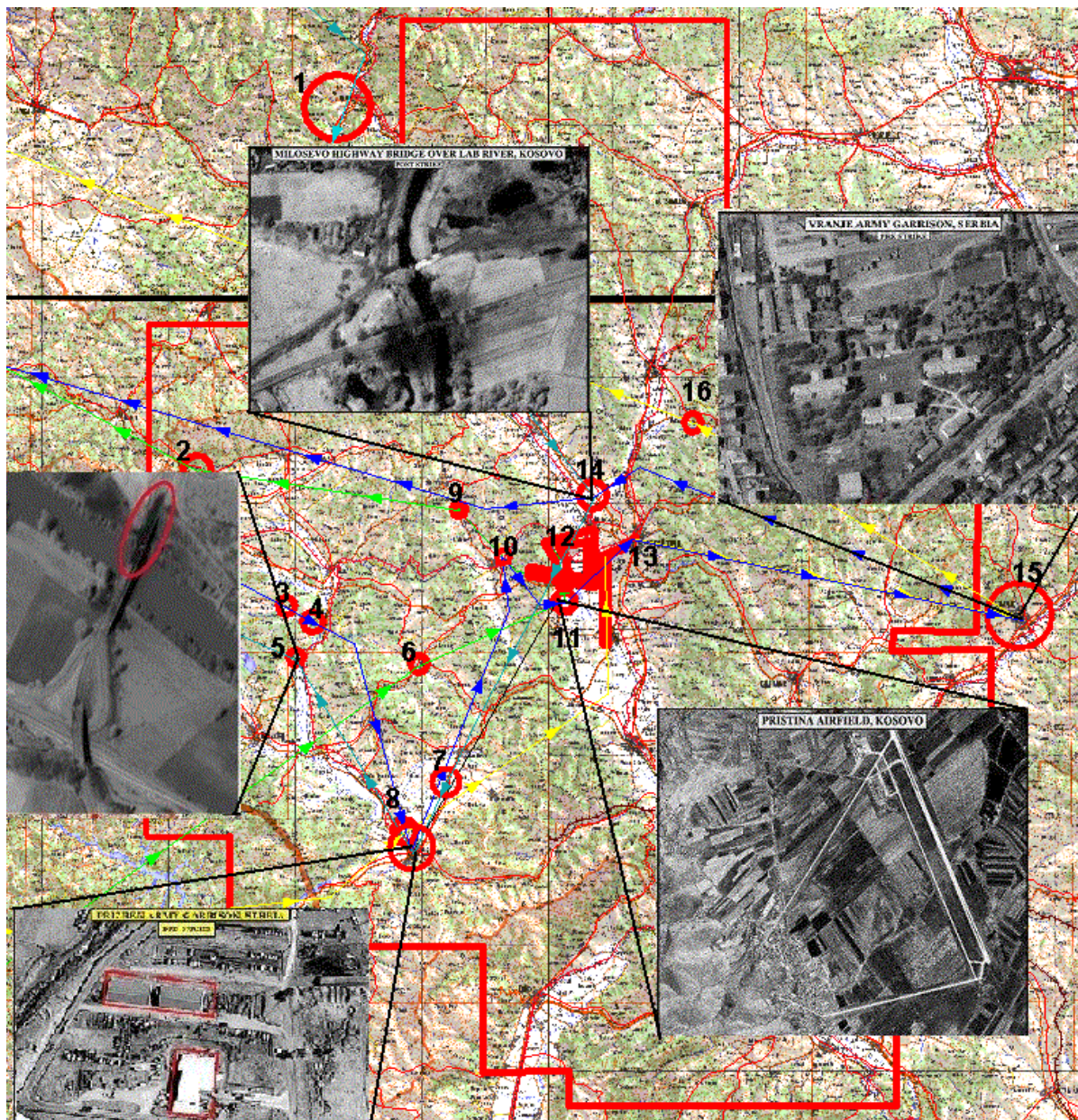


Abbildung 6-3: Auszug aus einem Test-Szenario mit Karte, Bildern und Hinweisen auf Berichte.

Zur Unterstützung der Nachfrage nach Experten und Informationen wurden verschiedene Fach- und Interessengebiete ausgeprägt. Dazu gehören die Konzepte Information, Ort, Ergebnisraum, Domänensicht und Zeit. Zur Erprobung der Recherche-Dienste wurden für die im Netzwerk bereitgestellten Karten, Bilder, Bildbegleitdaten, Georeferenzdaten, Kollateraldaten, Referenzinformationen, textuellen Informationen und Berichte entsprechende Instantiierungen vorgenommen. Bezüglich des Kosten-Nutzenmodells wurden die beteiligten Konzepte ebenfalls ausgeprägt. Auch die Konzepte für die Flüge, die entsprechenden Sensorplattformen mit den Sensorbeschreibungen bzgl. der Spektralbereiche und Verarbeitungsstufen der Bilder und insbesondere die Konzepte für die abgebildeten und beschriebenen Objekte wurden realisiert und instantiiert. Die berücksichtigten Dienste umfassen rein „syntaktische“ Verfahren wie die Geo-referenzierung und „semantische“ Verfahren wie eine Fahrzeugdetektion. Die angebotenen Dienste wurden im Netzwerk zur Verfügung gestellt, mit Agenten „gekapselt“, in der Ontologie modelliert und in der Wissensbasis beschrieben.

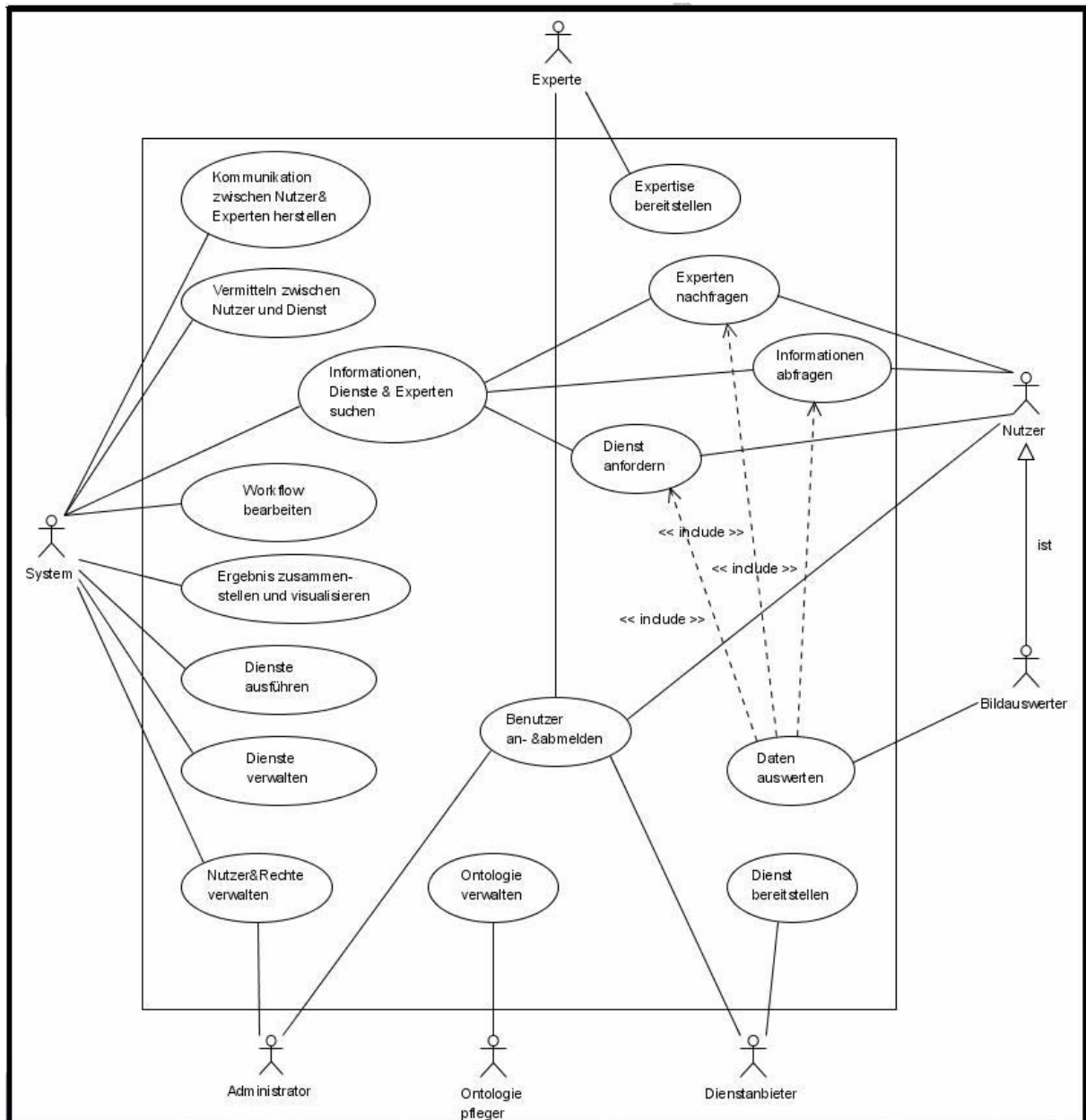


Abbildung 6-4: Use-Case für den System-Demonstrator.

Im Folgenden sei ein exemplarischer Ablauf einer Nutzung des Prototypen skizziert (siehe auch Tab. 14). Dabei soll die Nutzung der Suche nach Informationen, Diensten und Experten im Vordergrund stehen. Verfügbarkeit, Kosten, Nutzen und Qualität werden in diesem Beispiel der Übersichtlichkeit halber weggelassen, können aber leicht in den Ablauf integriert werden. Die Aufgabe des Benutzers besteht in der Detektion, Markierung und Feinklassifizierung von Fahrzeugen in dem zugeordneten Interessensgebiet. Die entsprechenden Bildbereiche sind mit den Bezeichnungen der Fahrzeuge zu annotieren. Dazu muss auf verschiedene Bilder und Berichte zugegriffen werden. Über das Benutzerprofil sind räumlicher und zeitlicher Interessensbereich des Nutzers voreingestellt. Eine passende Karte wird in der Benutzungsoberfläche dargestellt. Die Suche nach „Informationen“ liefert dem Benutzer Bilder und Berichte zu dem Interessensgebiet. Bilder werden auf die Karte referenziert eingezeichnet, Orte, zu denen Berichte vorliegen, werden markiert (Abb. 6-3). Der Benutzer wählt über das ontologiebasierte Themen-Menü „Fahrzeuge“ als thematischen Interessensbereich. Im „Dienste“-Menü wird daraufhin ein Fahrzeugdetektionsdienst zur Anwendung auf die „aktiven“ (auswählbaren) Bilder angeboten. Dieser Dienst bekommt das Quellbildmaterial als Eingabedaten übergeben und liefert ein annotiertes Bild als Ergebnis. Das Detektionsverfahren wird

auf dem spezifischen Rechner im Netzwerk durch den Vermittlungsagenten aktiviert. Parametrierung und Übermittlung der Ein- sowie Ausgabedaten erfolgen automatisch. Im Bild eines SAR-Sensors (bildgebendes Radar) wird ein Objekt vom Detektionsdienst als „Kandidat“ markiert. Eine nähere Inspektion dieser Stelle im Bild zur Klassifikation des Fahrzeuges führt den Benutzer zu der Grob-Klassifikation „Ketten-Fahrzeug“, aber zu keiner eindeutigen Entscheidung. Der Benutzer verwendet nun die Suche nach „Experten“ mit der Expertise-Einstellung „Bildauswertung“, „SAR“ und „Ketten-Fahrzeuge“. Das Vermittlungssystem ermittelt einen Experten mit der Expertise „Bildauswertung“, „SAR“ und „Fahrzeuge“ als bestgeeigneten Fachmann. Die Verbindung zu dem Experten wird automatisch hergestellt. Der Benutzer markiert den relevanten Ausschnitt des Bildes zur kooperativen Bearbeitung. Der Experte betrachtet den Ausschnitt, annotiert den Bereich mit der Fahrzeugbezeichnung und beendet die Verbindung, der Benutzer übernimmt die Annotation des Experten. Berichte mit Hinweisen auf Fahrzeuge werden durch farbliche Markierungen in der Karte angeboten. Der Benutzer inspiziert die Berichte mit den enthaltenen Fahrzeugangaben durch Selektion der Markierung und übernimmt hier ebenfalls Texte zur Annotation der Bildbereiche. Nach Speicherung und Versand des Ergebnisses sowie der Abmeldung des Benutzers ist der exemplarische Ablauf beendet. Eine Bewertung der Arbeitsabläufe, insbesondere der agenten- und ontologiebasierten Aspekte wird in Kap. 6.5 vorgenommen.

Benutzeraktion	Systemreaktion	Kommentar
Anmelden beim System.	Einstellen der Präferenzen aus dem Nutzerprofil (räumlich, zeitlich, thematisch); Aufbau der Benutzungsoberfläche; Eintragen der gefundenen Daten aus bestehenden Abonnements.	
Auftrag entgegennehmen und zur Bearbeitung festlegen; Aktivitäten von „Fahrzeugen“ im Bereich XY („Feinklassifikation von Fahrzeugen“) im Zeitraum T melden.	Anpassen der Interessensbereiche (räumlich, zeitlich, thematisch); Anpassung des Funktionsangebotes; Aktualisieren der gefundenen Daten aus bestehenden Abonnements.	
Arbeitsvorbereitung: „Suche nach Informationen“.		Evtl. neue Abonnements festlegen.
Räumlichen Bereich auf der Karte als Interessensbereich markieren.	Markierung von Positionen auf der Karte und auf der Zeitachse an denen Informationen (Aufträge, Bilder, Meldungen) vorliegen.	
Zeitlichen Bereich festlegen.	Aktualisieren der Anzeige; Ausfiltern der nicht relevanten Informationen.	Evtl. zusätzlich Informationstyp einschränken.
Auswahl des „aktuellsten“ Bildes; Durchmustern dieses Bildes.	Vollbilddarstellung mit Interaktionsmöglichkeiten zur Anpassung der Bilddarstellung.	
Anforderung von Unterstützung zur Detektion von Fahrzeugen im Bild.	Angebot an entsprechenden Diensten tabellarisch darstellen.; sortierbar nach Qualität, Verfügbarkeit, Kosten.	Selektion eines Dienstes liefert Detailinformationen.

Auswahl eines Fahrzeugdetektionsdienstes (Qualität 80 %).	Aktivierung des Dienstes und Versorgung des Dienstes mit benötigten Daten; Ergebnisdarstellung, als (rot) markierte Fahrzeuge.	Alternativ zweites Verfahren (70 %) mit anderen Ergebnissen (grüne Markierungen).
Ergebnisinspektion; Interaktive Grob-Klassifikation der Fahrzeuge (Annotation einiger Fahrzeuge).	Darstellung des annotierten Bildes.	
Anforderung interaktiver Unterstützung (Experten) zur Klassifikation eines Fahrzeuges im Bild.	Angebot an entsprechenden Experten (tabellarische Darstellung); sortierbar nach Qualität, Verfügbarkeit, Kosten, Ort.	Selektion eines Experten liefert Detailinformationen.
Auswahl eines Experten mit Videokonferenz-Anschluss.	Herstellen der Verbindung.	
Kommunikation mit Experten; Annahme der Experten-Annotation zur Feinklassifikation.	Übernahme der Steuerung zur Bildinspektion durch den Experten (z. B. Zoom, Beschriftung); Darstellung des Expertenurteils als Annotation.	Experte mit 90 % nicht verfügbar; Wahl des mit 80 % eingestuften Experten.
Verabschiedung des Experten.	Abbau der Verbindung zum Experten.	
Anforderung von Referenzinformationen zu dem vom Experten klassifizierten Objekttyp zur Überprüfung des Expertenurteils.	Interaktive Darstellung mit Möglichkeiten zur iterativen Eingrenzung alternativer Kandidaten; Steckbriefdarstellung der Kandidaten.	
Suche nach vorliegenden Berichten in der ROI zur Absicherung der Ergebnisse.	Darstellen relevanter Berichte in dem vorliegenden Interessensgebiet mit referenzierten Markierungen des jeweiligen Ortes.	
Ontologie-basierte Suche nach Berichten über „Fahrzeuge“ in der ROI.	Textuelle Darstellung eines Berichtes über einen beobachteten „Scania“ mit referenziertem Ort.	
Übernahme eines Textes aus einem Bericht zur Annotation eines Fahrzeuges; Vervollständigung der Annotation der übrigen Fahrzeuge.	Darstellen (Übernahme der Annotation) des Textes „Scania“ für das klassifizierte Fahrzeug; Interaktive Beschriftung.	
Speichern und Ergebnisversand.	Abspeichern und versenden des Ergebnisbildes.	Versand an Vorgesetzten oder Kunden.
Abmelden beim System.	Aktualisieren der Profildaten.	

Tabelle 14: Exemplarischer Ablauf eines Szenarios in tabellarischer Darstellung.

6.2 Architektur des Prototypen

Die Architektur des Prototypen zur interaktiven Bildauswertung folgt der in Kapitel 4 beschriebenen Konzeption. Das im Labor aufgebaute Netzwerk ist mit anderen Instituten und Firmen über das Internet und zusätzliche Verschlüsselungssysteme vernetzt und bildet mit den so angeschlossenen Teil-Netzwerken den Systemverbund zur verteilten kooperativen interaktiven Bildauswertung. Der Geräteanteil umfasst die Nutzung des Internets als Weitverkehrsnetz. Dabei wird auf Basis des Internets ein „virtuelles privates Netzwerk (VPN)“ aufgebaut und mit Verschlüsselungssystemen (SINA – Secure Inter-Network Architecture der Firma Secunet Security Networks AG) abgesichert. Das Internet verbindet verschiedene lokale Netzwerke, in denen die Datenbanken und Dienstleistungen angeboten werden. Anwender („Clients“) können in den lokalen Netzwerken angeschlossen oder auch direkt über eine Verschlüsselungseinheit an das VPN angeschlossen werden. Um direkten Einfluss auf die Datenerfassung vornehmen zu können wurde ein Netzwerk mit „Live“-Sensoren zusätzlich berücksichtigt. Auf den verschiedenen Datenbanken sind Bilder und Berichte in unterschiedlichem Format gespeichert. Abb. 6-5 stellt die prinzipielle HW-Architektur des Netzwerkes dar.

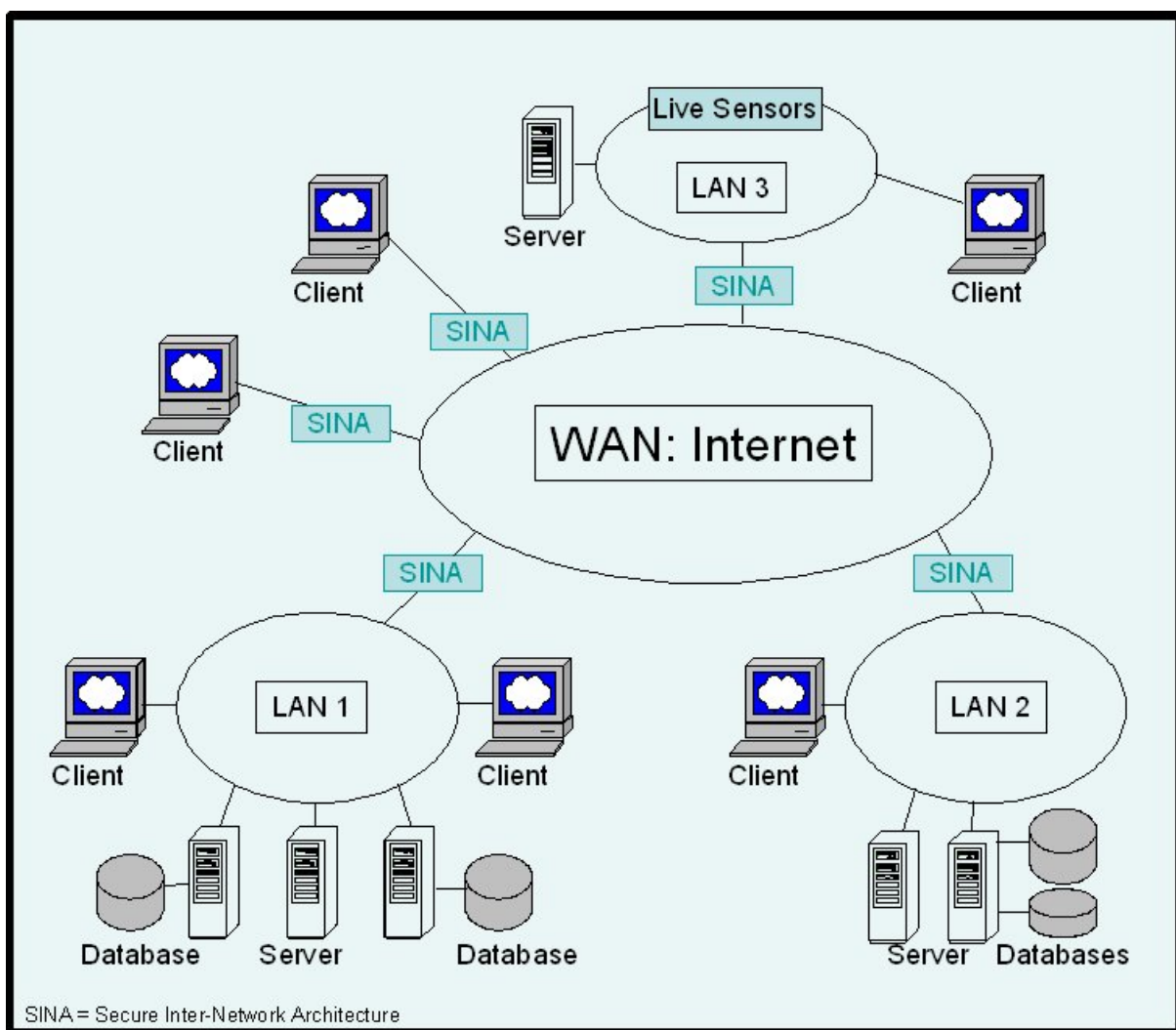


Abbildung 6-5: Aufbau eines Netzwerkes zur kooperativen Bildauswertung. Experimente können im LAN oder WAN durchgeführt werden. Die Sicherheit im WAN wird durch die SINA-Technologie gewährleistet (Secunet Security Networks AG).

Im Rahmen der Erprobungen und Experimente wurden Netzwerke verschiedener Projektpartnerfirmen mit unterschiedlichen Datenbanken und Diensten zusammengeschaltet. Hierzu wurden aus Gründen der Vertraulichkeit der Projekte teilweise eigene Netze aufgebaut, die

aber alle dem beschriebenen Aufbau entsprechen. Zur Unterstützung der Kommunikation mit Experten und Kollegen stehen den Benutzern „Web-Kameras“ und „Headsets“ zur Verfügung. Auf den verschiedenen Rechnern waren mit Windows, HP-UX, Solaris oder Linux unterschiedliche Betriebssysteme im Einsatz. Die Datenbanken basierten auf Oracle (Oracle Corporation) und MS-Access (Microsoft Corporation).

Abb. 6-6 stellt den schichtenförmigen Aufbau der Software-Architektur dar. Als Grundfunktionsblöcke werden unterschieden:

- Präsentationsschicht mit der Benutzungsoberfläche, den Interface-Agenten und Nutzerprofilen.
- Querschnittliche Software, bestehend aus der Agentenplattform, dem Vermittlungsagenten, einem interaktiven Web-Portal, der Kommunikations-Software, der Ontologie und internen Diensten.
- Ressource-Agenten, unterschieden nach den jeweils gekapselten Diensten und Ressourcen;
- sowie den Daten- und Informationsquellen in Datenbanken und Dateisystemen und die unterschiedlichen Dienstleistungsprogramme. Der Vollständigkeit halber sind hier die Experten „quasi als Dienst“ mit eingezeichnet.

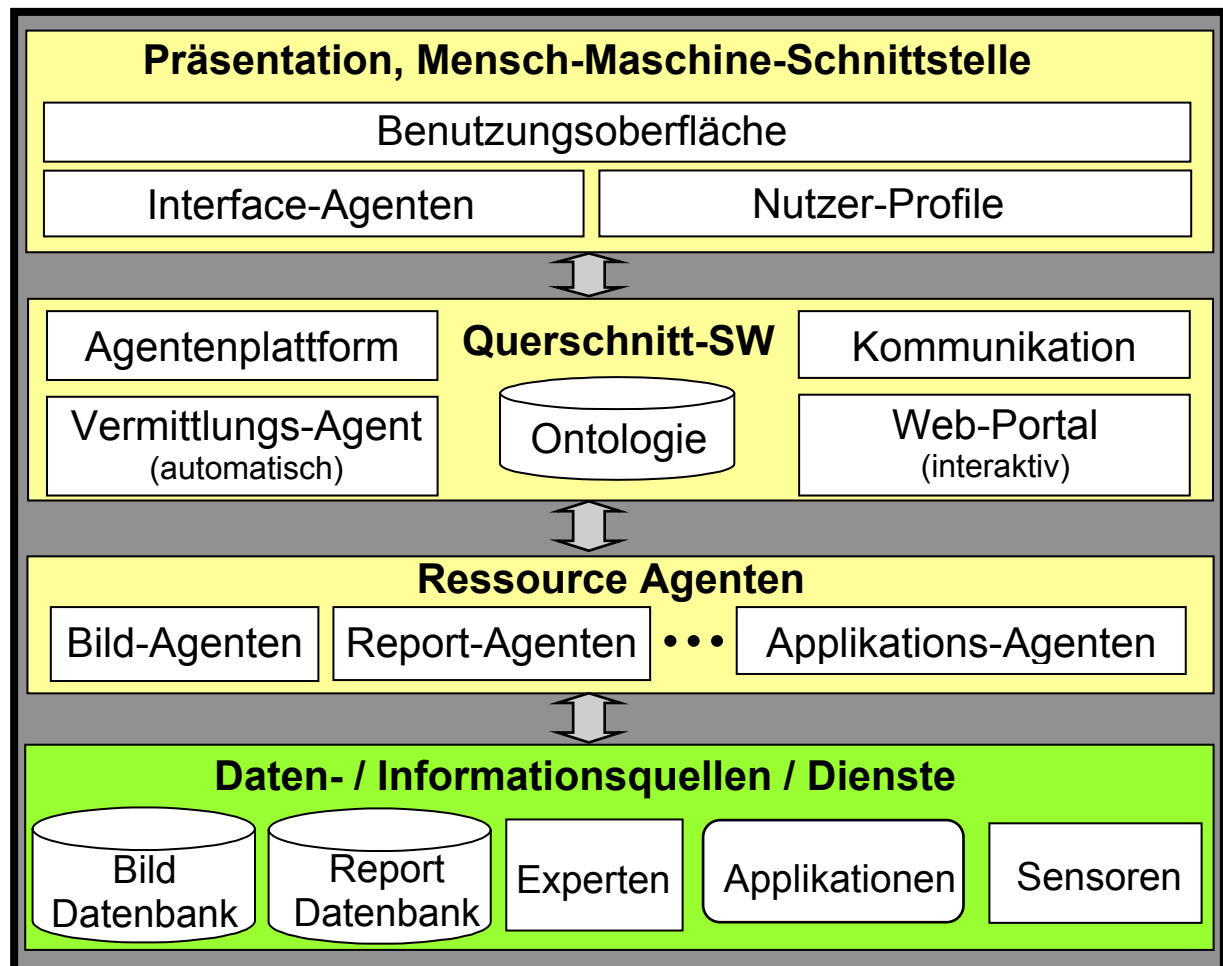


Abbildung 6-6: Prinzipieller Software-Aufbau des prototypischen Bildauswertungssystems zur Fernerkundung. Kapselung der Informations- und Datenquellen sowie der Dienste. Der Zugriff auf Sensoren und Experten wird als Dienst interpretiert.

Der letzte Grundfunktionsblock (grün markiert) ist im engeren Sinne nicht Bestandteil des Systems, sondern sollte an den jeweiligen Knotenpunkten bereits vorhanden sein. Gegebenenfalls sind hier Anpassungen durchzuführen, z. B. zur Unterstützung des minimalen Datenmodells. Die SW-Agenten wurden mittels JADE (JAVA Agent Development Framework) in JAVA entwickelt. JADE stellt auch die Agenten-Kommunikationssprache „ACL“ bereit.

Zur Anmeldung von Diensten, Datenbanken und Experten wurden Web-basierte Benutzungsoberflächen entwickelt. Die Benutzungsoberflächen zur Informationsabfrage und Dienst Anforderung beruhen auf ausgearbeiteten Nutzerprofilen. Der Prototyp bietet eine netzwerkweite geordnete Organisation aller im Szenario verfügbaren Fernerkundungsinformationen und -daten und unterstützt den Zugriff auf diese durch autorisierte Benutzer unter Nutzung der Internettechnologie. Ein Web-Portal erlaubt auch ein interaktives Durchmuster der vorhandenen Informationen und steht damit alternativ zu den SW-Agenten zur Verfügung. Der Zugriff auf die Daten, Informationen, Dienste und Experten erfolgt damit:

- **nutzerspezifisch**, d. h. gesteuert durch Zugriffsberechtigungen und die durch den Arbeitskontext vorgegebenen Zugriffsinteressen und
- **assistentenunterstützt**, d. h. Interface-Agenten nehmen Befehle des Nutzers entgegen, arbeiten diese autonom ab und präsentieren dem Nutzer die Ergebnisse.

Ressource-Agenten kapseln neben den Datenbanken auch Dienste zur Unterstützung der Benutzer. Unter Nutzung der mit semantischer Information angereicherten Dienstbeschreibungen und des Kosten-Nutzen-Modells können geeignete Dienste ausgewählt, verglichen und angewendet werden. Dieses wird durch die Benutzungsoberflächen entsprechend unterstützt. Die Gewichtung der Einzelkriterien beim Vergleich der Dienste ist für den Nutzer aufgabenspezifisch einstellbar. Zur Kommunikation mit den Experten wird „kommerzielle Basis-SW“ verwendet. Darunter fallen „Microsoft NetMeeting“ oder „Click2Meet (Image Media, Canada)“ zur Unterstützung von Video-Konferenzen mit „Whiteboard“ und „Application Sharing“ Technologien.

6.3 Ontologie und Wissensbasis – Ontologie-Demonstrator

Die Umsetzung und Evaluierung der Ontologie erfolgte mit Hilfe des Programms Protégé-2000 (Version 3.0). Die Formulierung der Abfragen beruht auf der Protégé-Programmierschnittstelle. Die zur Entwicklung der Ontologie eingesetzten Kompetenzfragen dienen zur Unterstützung der Evaluierung mittels automatisierter Testprozeduren. Die codierten Kompetenzfragen stehen darüber hinaus dem Vermittlungsagenten zum Zugriff auf die Ontologie und Wissensbasis zur Verfügung. Der Aufbau der Ontologie folgt den in Abb. 5-12 und Abb. 5-13 dargestellten Strukturen. Die verschiedenen Ebenen der Ontologien werden in getrennten Dateien abgespeichert. Die Ebene der Projekt-Ontologie enthält die Instanzen des Systems und bildet einen Baustein der Wissensbasis. Weitere Bausteine der Wissensbasis werden von speziellen Diensten oder Agenten systemintern verwaltet, z.B. die „Gelben Seiten“ des Agentensystems. Im Demonstrator werden die Meta-Informationen (Klassen-Definitionen) und die Instanzen mittels des Protégé-Systems verwaltet. Sie können in Dateien oder Datenbanken gespeichert werden. Mit Hilfe dieser Daten erfolgt eine Konsistenzprüfung der Ontologie. In einer zukünftigen Ausbaustufe des Systems soll eine stärkere Trennung zwischen der Ontologie mit den Meta-Informationen und der Wissensbasis mit den Instanzen vorgenommen werden. Dieser Aspekt wird im Kapitel Ausblick noch näher betrachtet. Zur Erprobung des Systems ist die Datenhaltung innerhalb des Protégé-Systems ausreichend. Die Ontologie des Demonstrators beinhaltet:

- abstrakte Beschreibungen der Konzepte (Objektklassen) mit ihren Attributen, Einschränkungen und Kardinalitäten,

- Beziehungen zwischen den Konzepten,
- Regeln zur Beschreibung von Konzepten und deren Zusammenhang,
- Terminologische Beschreibungen.

Die Ontologie wurde gemäß den in Kapitel 5 beschriebenen Schichten und Sichten implementiert. Dazu wurden mehr als tausend Konzepte und Beziehungen definiert. Für die Szenarien wurden Instanzen aus den jeweiligen Klassen gebildet und in der Projektschicht der Wissensbasis abgelegt. Den Schwerpunkt in der Domänen-Ontologie bilden dabei Beschreibungen von Land- und Luftfahrzeugen. Die in der Anforderungsanalyse aufgestellten Kompetenzfragen wurden zur Überprüfung verwendet. Anhand der Beispieldaten, wurde überprüft, ob die aufgestellten Fragen beantwortet werden können. Exemplarisch sei hier die Suche nach einem „Experten“ näher erläutert. Das Modell des Konzeptes „Experte“ ist in Abb. 6-7 dargestellt.

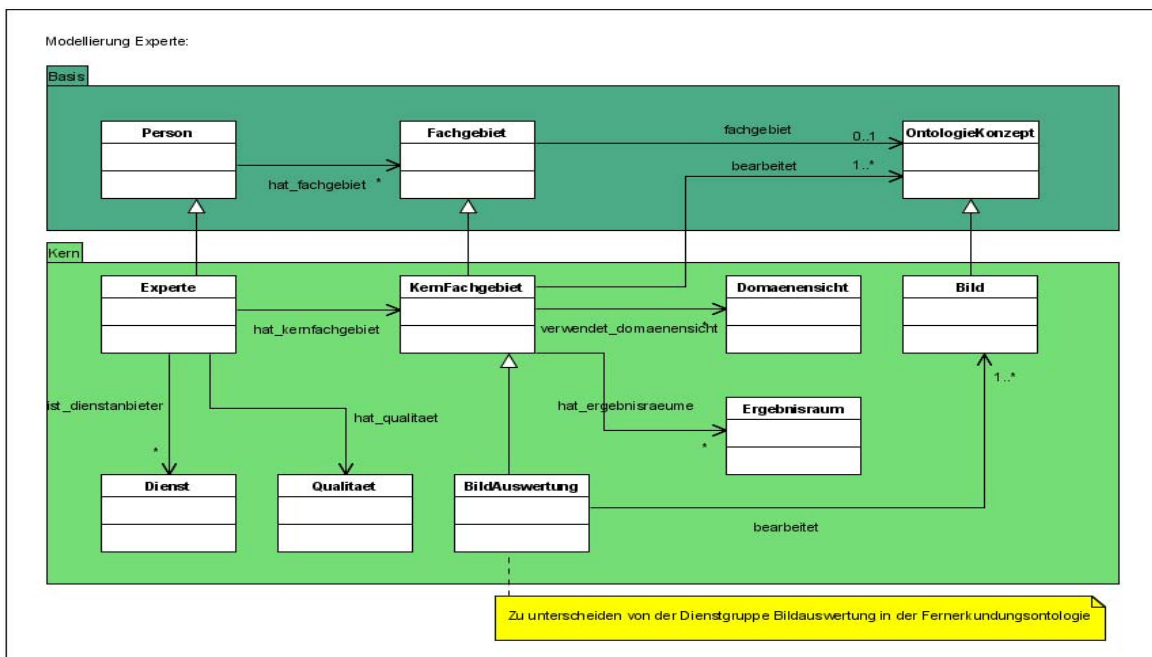


Abbildung 6-7: Modellierung des Konzeptes "Experte" im Demonstrator.

In Abb. 6-8 ist der Ausschnitt eines Sensorbildes aus dem Szenario mit einem abgebildeten Fahrzeug dargestellt. Die Suche nach einem Experten zur Klassifikation dieses Fahrzeuges beinhaltet zunächst die Vorgabe einer gewünschten Kernkompetenz. In diesem Beispiel-Dialogschritt wurde „Bildauswertung“ ausgewählt (Abb. 6-9).



Abbildung 6-8: Suche nach Experten - Ausschnitt eines Sensorbildes mit relevantem Fahrzeug.



Abbildung 6-9: Suche nach Experten - Wahl des Fachgebietes.

Die Angaben zur Kernkompetenz entsprechen der Vorgabe eines Startknotens für die Suche im Ergebnisraum der Experten, also der Angabe der Objektklassen, für die die Fachexpertise gesucht wird. Diese können in einer Baumdarstellung ausgewählt werden. Der weitere Aufbau des Baumes unterhalb des gewählten Knotens basiert auf einer Sicht, die in diesem Beispiel mit „Bauform“ ausgewählt werden kann („looks_like“). Diese Möglichkeit wird dem Endbenutzer in der Regel nicht angeboten, da die Sicht über das Benutzerprofil voreingestellt ist. Zu Testzwecken wurde diese Möglichkeit jedoch in den Demonstrator übernommen. Das Kernfachgebiet Bildauswertung ermöglicht weitere Einschränkungen der Ergebnismenge über die Suchparameter betreffend Spektralbereich und Aufnahmetyp des Bildes sowie Vorgaben bzgl. der „Qualität“ und der „Adresse“ des Experten (Abb. 6-10).

Das System antwortet mit kurzen Beschreibungen der gefundenen Experten und der Darstellung der relevanten Kompetenzen (Abb. 6-11). Der Deckungsgrad zwischen den geforderten Kompetenzen (Erwartungsraum) und den angegebenen Kompetenzen (Kompetenzraum) der gefundenen Experten bestimmt die Reihenfolge der Darstellung. Alternative Reihenfolgen, basierend auf dem Kosten-Nutzen-Modell können leicht realisiert werden. Die jeweiligen Beschreibungen der Experten enthalten Angaben zu den Kommunikationsmöglichkeiten. Die entsprechenden sensitiven Darstellungsbereiche sind verbunden mit den integrierten Kommunikationsprogrammen für Videokonferenz-, Mail- und Chat-Dienste. Dadurch kann die Verbindungsaufnahme ohne Verzögerung vollzogen werden. Im Falle der Video-Konferenz kann mittels „Application Sharing“ ein dargestelltes Objekt gemeinsam betrachtet und ausgewertet werden. Alternativ kann ein Bild oder ein Ausschnitt mittels „ftp“ an den Experten verschickt werden. Weitere Möglichkeiten werden im folgenden Kapitel über Dienste beschrieben. Die Suche nach Diensten erfolgt analog zu der beschriebenen Suche nach Experten.

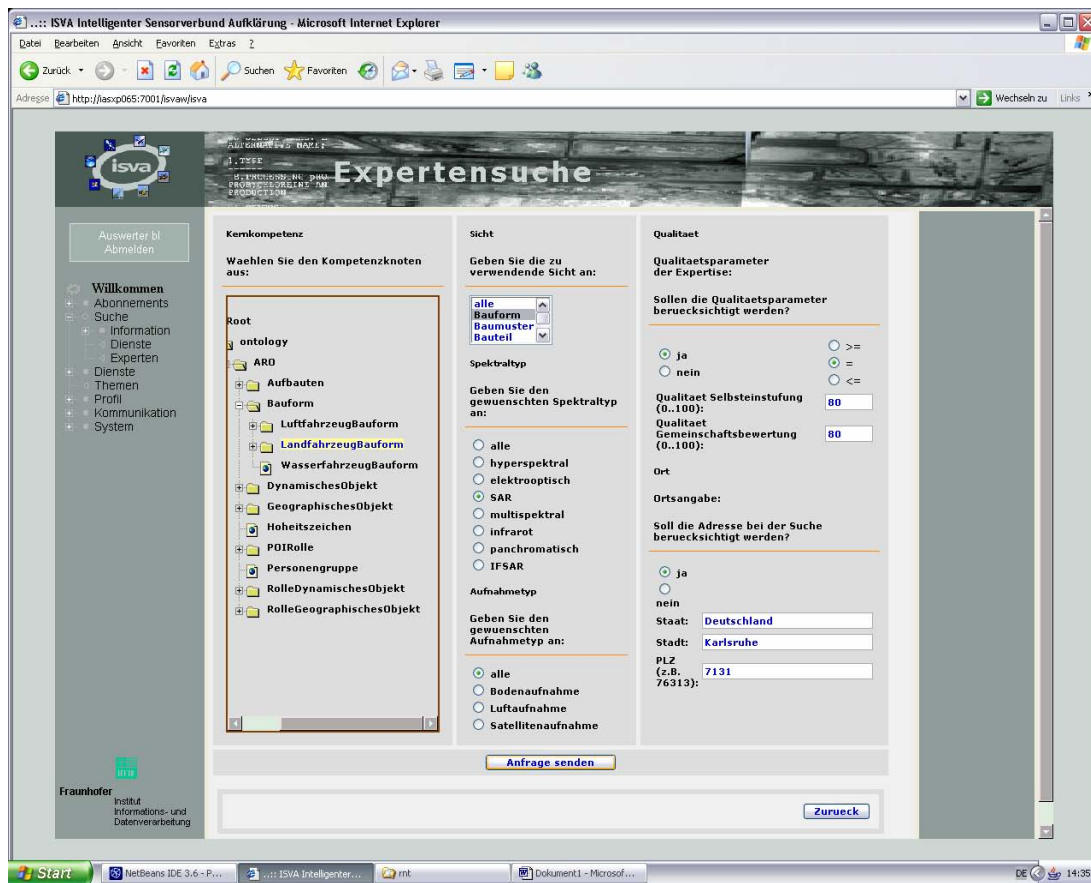


Abbildung 6-10: Suche nach Experten – Vorgaben für Kompetenzen und weitere Einschränkungen.

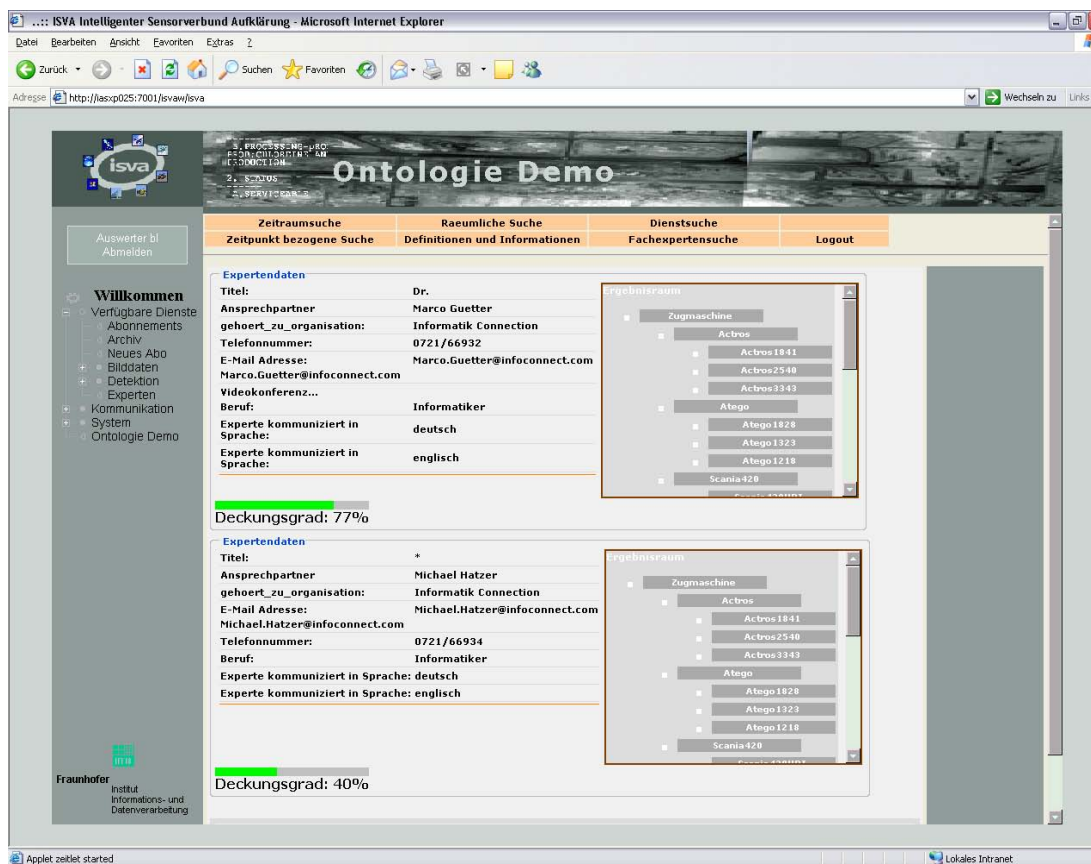


Abbildung 6-11: Gefundene Experten – Deckungsgrad und jeweilige Kompetenzen (Testdatensatz).

Während Eigenschaften und einfache Zusammenhänge zwischen Objekten mittels des in Protégé integrierten Abfragewerkzeuges (Abb. 6-12) abgefragt werden können, wurde für eine Überprüfung größerer und stärker verzahnter Wissensbasen ein eigenes angepasstes Werkzeug entwickelt. Damit können zum einen „Definitionsfragen“ nach Konzepten und Relationen gestellt werden, zum anderen können Instanzen abgefragt werden (Abb. 6-13 und Abb. 6-14). Der Vergleich der Ergebnisse mit gespeicherten Referenzdaten ist ein wichtiger Schritt im Rahmen der Evaluierung einer Ontologie.

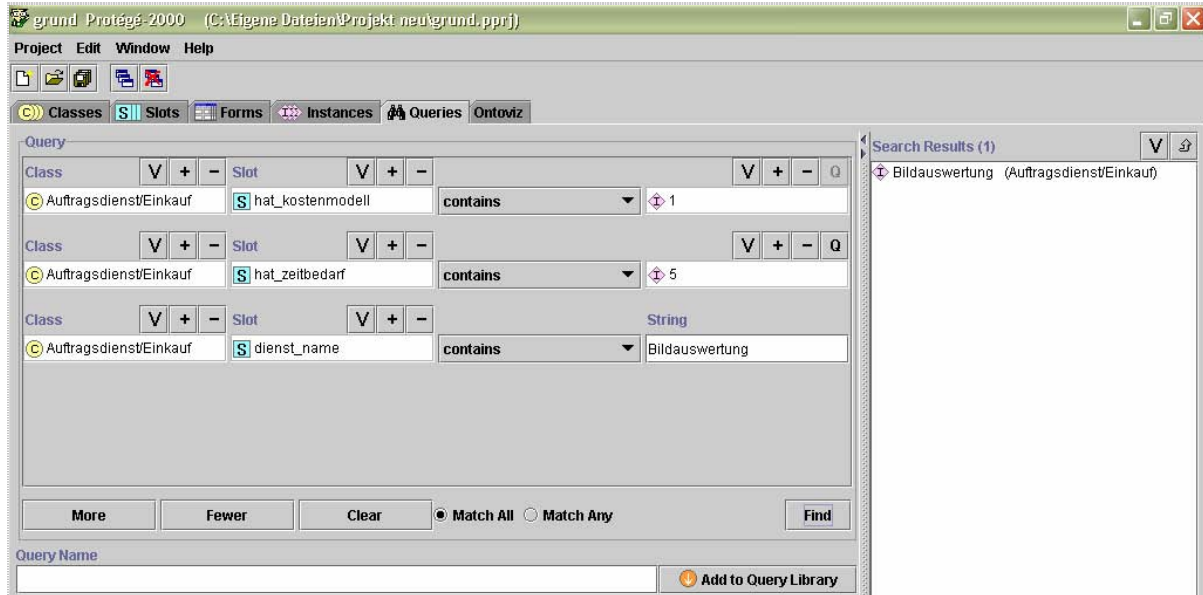


Abbildung 6-12: Screenshot einer Nutzung des Queries-Tools aus Protégé-2000.

In dieser Arbeit wurde der Schwerpunkt bei der Modellierung auf die thematischen Aspekte gelegt. In der Regel setzen sich Nutzeranfragen an die Wissensbasis aus räumlichen, zeitlichen und thematischen Aspekten zusammen („Concept at location in time“, *Visser 2004*). Eine Reihe von Koordinaten- und Zeitbezügen sind in die jeweiligen Konzepte integriert. Die Vorgaben durch den Nutzer sowie die Ergebnisdarstellung basieren auf der Verwendung interaktiver Grafik-Komponenten (vgl. Kap. 4). Damit lassen sich Abfragen der Form „Gibt es Informationen über ein Wasserschutzgebiet aus dem Gebiet XY aus dem Jahr Z?“ beantworten. „Information“ und „Wasserschutzgebiet“ sind als thematische Konzepte modelliert, das räumliche „Gebiet XY“ und die zeitliche Vorgabe „Jahr Z“ werden interaktiv (grafisch) über Koordinatenangaben spezifiziert.

Dynamische räumliche und zeitliche Eigenschaften für ein Konzept lassen sich allerdings über Attribute nur schwerlich festlegen, da hier die räumlichen und zeitlichen Zu- bzw. Einordnungen der Instanzen in der Wissensbasis untereinander variabel sind und von der jeweiligen Sichtweise, Fragestellung und der aktuellen Position des Benutzers abhängen. Daher wurden im Demonstrator diese Beziehungen nicht als Attribute sondern als eigenständige Konzepte (z. B. „enthält“) modelliert. Die Realisierung als eigenständige Konzepte zur Beschreibung gerichteter Beziehungen erlaubt auch effizientere Abfragen durch die direkten Zugriffe auf vorliegende Beziehungen im Vergleich zu den sonst jeweils neu zu berechnenden Konstellationen.

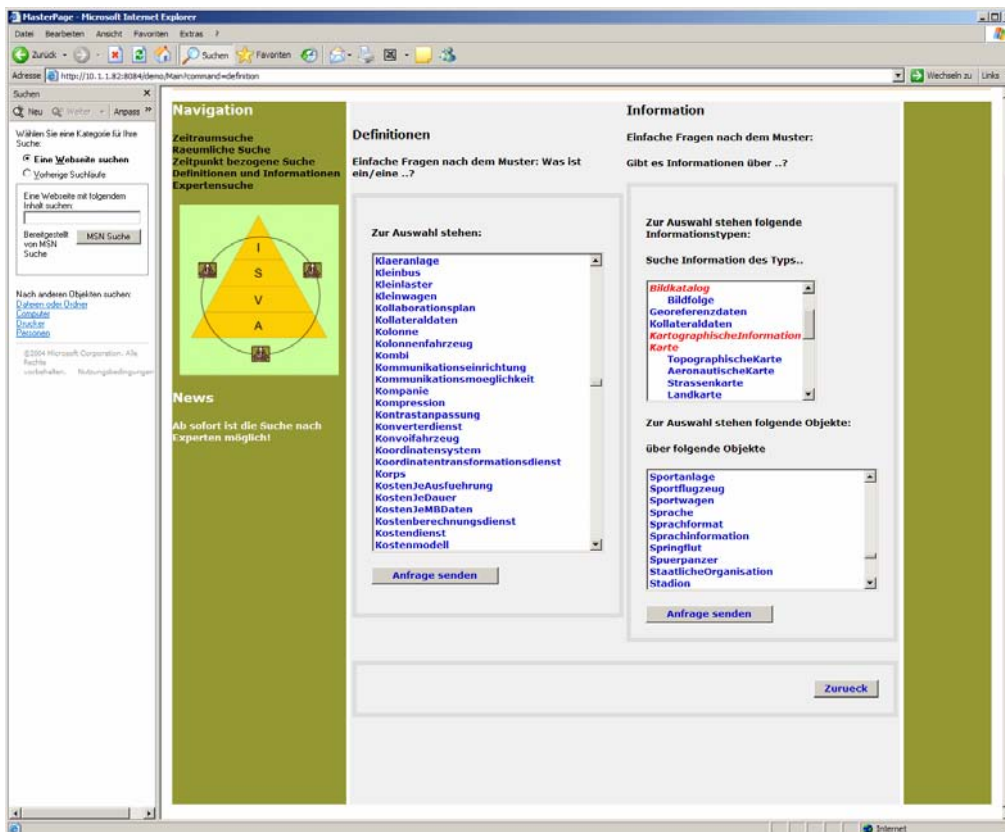


Abbildung 6-13: Test der Wissensbasis – Definitionsfragen und Informationsabfragen.

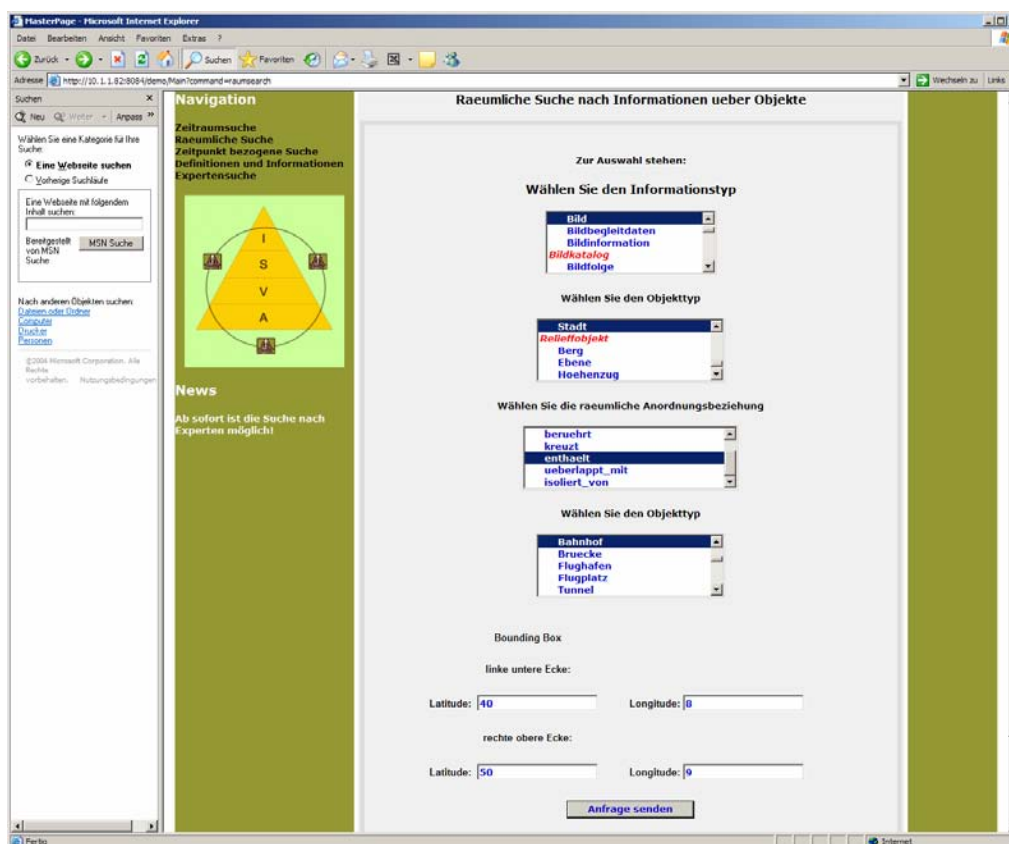


Abbildung 6-14: Test der Wissensbasis - Abfrage nach Bildern von "Stadt" mit abgebildetem "enthält" "Bahnhof" in angegebenem Koordinatenbereich.

Zur Erprobung des Zugriffs auf Informationen wurden im Szenario verschiedene, existierende und genutzte Datenbanken aus unterschiedlichen Projekten zur Luft- und Satellitenbilddauswertung angebunden. Jeweils zwei Bilddaten- und Berichtsdatenbanken wurden mit einer gemeinsamen Zugriffsschicht (minimales Datenmodell) gekapselt. Diese einheitliche Sicht auf die Inhalte der heterogenen, historisch gewachsenen Datenbanken beschreibt die Attribute, die an einer generischen Datenbankschnittstelle des Demonstrationssystems bereitgestellt werden müssen. Eine zusätzliche Datenbank enthielt Referenzinformationen über aufklärungsrelevante Objekte in Form von sensorbezogenem Anschauungsmaterial mit Leistungs- und Erkennungsmerkmalen. Mittels des Referenzdatendienstes wird der Zugriff auf diese Referenzinformationen ermöglicht. Weitere formale Berichte wurden als Textdateien im Dateisystem abgelegt. Auf Basis des Textsuchalgorithmus „Lucene“ ([//jakarta.apache.org/lucene](http://jakarta.apache.org/lucene)) für Freitexte wurde eine ontologiebasierte Suche in Textdateien implementiert. So liefert die Suchanfrage nach Dokumenten zu dem Konzept „Lastwagen“ durch die entsprechende Expansion der Begriffe und Wahl der Sichten auch Dokumente in denen z. B. „Actros“ (Mercedes-Benz Lastfahrzeug) vorkommt. Nähere Ausführungen zur ontologiebasierten Freitextsuche werden in Kapitel 6.4 dargestellt.

Im Rahmen des aufgebauten Demonstrators wurde auf die Implementierung von speziellen Managementfunktionen für die Wissensbasis verzichtet. Ein operationelles System muss hier stärker zwischen den Möglichkeiten der Speicherung und Wiedergewinnung von Informationen differenzieren. Dabei ist darauf zu achten, dass bei einer Wiederbeschaffung Informationen nicht überschrieben und verändert werden, da die Entscheidungsgrundlagen nicht nachträglich verändert werden dürfen. Weiterhin müssen explizite Lebenszyklen für die Informationseinheiten konzipiert und mittels entsprechender Dienste abgebildet und unterstützt werden.

Ein geeignetes Framework für diese Aufgaben steht mit JENA 2 (<http://jena.sourceforge.net/inference>) zur Verfügung. Zur Reduktion der Komplexität wurde für die Erprobung der agenten- und ontologiebasierten Bildauswertung auf diese Funktionalität zunächst verzichtet. Entsprechende Systemerweiterungen sind jedoch vorgesehen.

6.4 Agenten und Dienste

Der Demonstrator stellt seinen Benutzern eine Reihe von Hilfsmitteln für die netzwerkbasierete kooperative Bildauswertung zur Verfügung. Insbesondere unterstützen Abonnementdienste und Suchalgorithmen das automatische Sammeln und Filtern nutzerrelevanter Informationen in einem räumlichen, zeitlichen und thematischen individuellen Interessensbereich. Die Suche in Bild- und Berichtsdatenbanken wird ergänzt durch eine ontologiebasierte Freitextsuche in Dateisystemen. Dabei kann nach Einzeltermen und zusammengesetzten Phrasen gesucht werden. Ebenso werden boolesche Operatoren, „Wildcards“ und Ähnlichkeiten basierend auf Nachbarschaften und räumlichen Distanzmaßen (Abstand der Begriffe in den Dokumenten) unterstützt. Die „Expertensuche“ und die integrierten Kommunikationsfunktionen erlauben eine flexible und schnelle Zusammenstellung geeigneter Teams für die Diskussion und kooperative Auswertung schwieriger oder komplexerer Szenen. Der verzugsarme Zugriff auf „bestmögliche menschliche Expertise“ bildet in vielen Szenarien eine der wichtigsten Anforderungen. Zur Erprobung des Demonstrators wurde eine Reihe von automatischen Diensten beschrieben und durch Agenten gekapselt. Die Dienste werden von anderen Forschungsgruppen, Instituten und Firmen im Netzwerk zur Verfügung gestellt. Daher stellen die entsprechenden Angaben im Kosten-Nutzen-Modell nur fiktive Werte dar. Bisher wurden die folgenden Dienste integriert:

- Landebahnidentifizierer; Mit dem Verfahren der Landebahnidentifikation können in optischen, infraroten- oder SAR-Bilddaten Objekte, die die Attribute einer Landebahn besitzen, detektiert werden.

- Fahrzeugdetektionsdienste; Zur Entdeckung und Markierung von Fahrzeugen in SAR-Bildern (Abb. 6-15) und als getrenntes zweites Verfahren in Infrarotbildern.
- Annotationsagent; Der Dienst annotiert automatisch georeferenzierte Bilder über die Inhalte von Auswertemeldungen, die in einem speziellen Berichtsformat (RECCEXREP – Reconnaissance Exploitation Report) vorliegen. Die im Bericht mit Positionsangaben versehenen Objekte werden als graphische Symbole mit Beschriftung in Bild oder Karte eingeblendet. Voraussetzung hierfür ist eine hinreichend genaue Georeferenzierung des Bildes.
- Automatische Georeferenzierung; Zuordnung von Bild zu Karte basierend auf der automatischen Extraktion und Zuordnung von linienförmigen Strukturen.
- Interaktive Fahrzeugklassifikation; Ein Referenzdatendienst ermöglicht den Zugriff auf eine Datenbank mit Referenzinformationen über Fahrzeuge in Form von sensorbezogenem Anschauungsmaterial sowie Leistungs- und Erkennungsmerkmalen (Abb. 6-16).

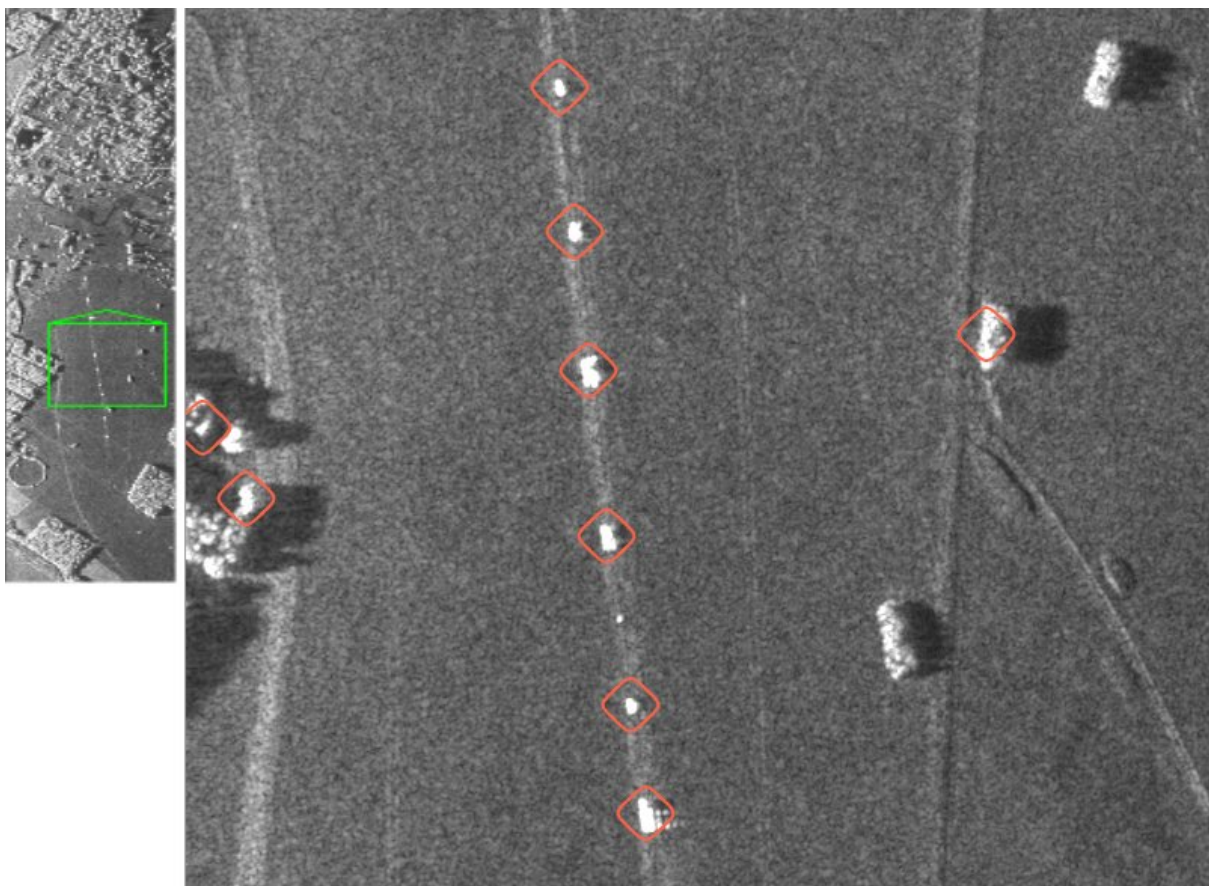


Abbildung 6-15: Ergebnis der Anwendung des Fahrzeugdetektionsdienstes (SAR-Bild).

Im Rahmen des geschilderten Szenarios wird eine Information (z. B. das in Abb. 6-15 dargestellte Bild) durch aktive Suche oder den integrierten Abonnementdienst gefunden. Der Benutzer entscheidet nach einer kurzen Inspektion des Bildes, einen Fahrzeugdetektionsdienst zu beauftragen. Die Aufgabenbeschreibung führt zu einem Angebot an entsprechenden Diensten. Nach Auswahl und Anwendung des Dienstes werden die relevanten Objekte im Bild markiert. Zur Unterstützung bei der Klassifikation sucht der Benutzer nun einen geeigneten Experten. Auch hier führt die Auswahlmaske zur Ermittlung eines kompetenten Experten. Die integrierten Videokonferenz- und „Application Sharing“ – Funktionen ermöglichen die Auswahl eines relevanten Bildbereiches, die Darstellung des Bereiches beim Experten und die Annotation

des Objektes durch den Experten (Abb. 6-17). Unter Verwendung der Experten-Annotation kann eine neue Informationssuche spezifiziert werden, die eventuell weitere Details zum abgebildeten Vorgang liefert. Im Test-Szenario können hier Berichte über verschiedene LKW-Typen („Actros“ u. a.) gefunden werden. Ebenso können mittels Zugriff auf die Referenzdatenbank Beschreibungen und Eigenschaften des klassifizierten Objektes abgefragt und somit das Expertenurteil überprüft werden. Damit sei die Beschreibung eines typischen Test-Szenarios zur kooperativen Bildauswertung unter der Verwendung von Informationen, Diensten und menschlicher Expertise abgeschlossen.

Anfrage nach Landfahrzeugen

Bitte geben Sie Werte (1: genau einen, 1+: mindestens einen) zu den Attributen an, die für Ihre Anfrage relevant sind. Werden mehrere Attributwerte ausgewählt (durch <Strg> + <linke Maustaste>) oder eingetragen, wird dies so verstanden, dass mindestens einer dieser Werte zutrifft.

Fahrzeugname (1+)

Typfamilie (1+)

Verwendung (1+)

- ABC Aufklärungsfahrzeug
- ABC Dekontaminationsfahrzeug
- Abhör- und Peilfahrzeug
- Amphibisches Brücken- und Fährenfahrzeug
- Amphibisches Brücken- und Fährenfahrzeug (Mittelteil)
- Amphibisches Brücken- und Fährenfahrzeug (Rampenteil)
- Amphibisches Transportfahrzeug
- Artillerie Aufklärung Drohnenwerfer

Nutzerland (1+)

- Afghanistan
- Albanien
- Algerien
- Angola
- Argentinien
- Armenien
- Aserbaidschan
- Australien

Fahrzeugart (1+)

- Rad
- Kette
- Halbkette
- Gezogen

Kettenfahrwerk (1)

- Räderlaufwerk
- Rollenlaufwerk

Radachsenanzahl (1)

- eins
- zwei
- drei
- vier oder mehr

Hauptwaffe (1)

- Rohrwaffe
- Raketenwaffe
- Keine

Turm (1)

- Vorhanden
- Nicht vorhanden

Radar (1)

- Vorhanden
- Nicht vorhanden

Anfrage

Abbildung 6-16: Anfrage zur interaktiven attributs-gestützten Klassifikation von abgebildeten Fahrzeugen. Ein iteratives Vorgehen dient zur Einschränkung der Kandidatenliste. Das System liefert auf Anforderung die „Objekt-Steckbriefe“.

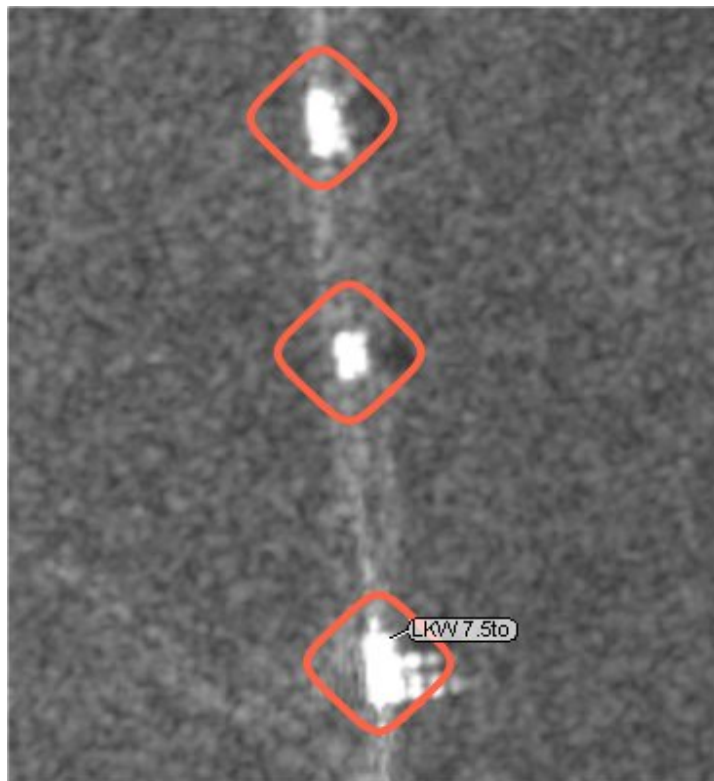


Abbildung 6-17: Durch Experten annotiertes Objekt nach Markierung durch einen automatischen Fahrzeugdetektionsdienst.

Die Anbindung einer Reihe weiterer Verfahren ist in verschiedenen Projekten vorgesehen. Dabei handelt es sich um die Detektion von Brücken, Verkehrswegen, Häfen, Schiffen und Flugzeugen. Der Zugriff auf Kollateraldaten soll um verfügbare Wetter- und Höhendaten ergänzt werden. Die Suchfunktionen werden um bildinhaltsbasierte Suchverfahren („Content based image retrieval“) erweitert. Dazu werden aktuell verschiedene Verfahren untersucht. Um das Anwendungsszenario „Planung der Gewinnung neuer Bilddaten“ besser zu unterstützen, ist die Anbindung von Simulationsdiensten („Sensorsimulationen“) in Arbeit. Die Integration von Bildverbesserungsverfahren (zum Beispiel Filter), Formatwandlern und anderen Konvertierungsprogrammen erfolgt nach Bedarf, stellt aber kein Thema für diese Arbeit dar. Da diese Verfahren unabhängig von den in den Bildern dargestellten Objekten arbeiten, also für die Auswahl und Aktivierung keine semantischen Aspekte berücksichtigt werden müssen, können die Verfahren ebenso lokal wie auch über ein Netzwerk verwendet werden. Unter dem Aspekt der Ressourcenoptimierung bezogen auf Rechenleistung, Speicher und Kommunikationsbandbreite ist aber auch die netzwerkbasierte Nutzung dieser Funktionen von Interesse. Dies ist das Forschungsgebiet der „Grid-Services“. Vergleiche und Verbindungsmöglichkeiten von SW-Agenten und Web-Services finden sich in *Fischer 2004* und speziell für Grid-Services in *Eule et al. 2004*.

Eine zentrale Rolle im Demonstrator fällt dem Vermittlungsagenten zu. Vermittelt wird zwischen Nutzer-Anfragen und angebotenen Diensten und Experten. Dazu greift der Vermittlungsagent auf die Ontologie mit den Konzepten, Relationen und Regeln zu. Eine Anfrage an den Vermittlungsagenten erzeugt einen Meta-Agenten (Abb. 6-18), der für die Bearbeitung dieser Anfrage verantwortlich ist und dessen Lebenszyklus nach Abarbeitung dieser Anfrage (z. B. nach Kündigung eines Abonnements) endet. Der Meta-Agent ist verantwortlich für die Dekomposition des Problems, die Planung und die Ausführung der Planungsschritte. Dieser Aufgabenbereich erfordert Zugriff auf die Ontologie, auf die Wissensbasis um auf gespeicherte Instanzen (z.B. Informationsobjekte) zuzugreifen bzw. neue Instanzen dort abzulegen und auf die Dienste (Agenten) um die Planungsschritte auszuführen.

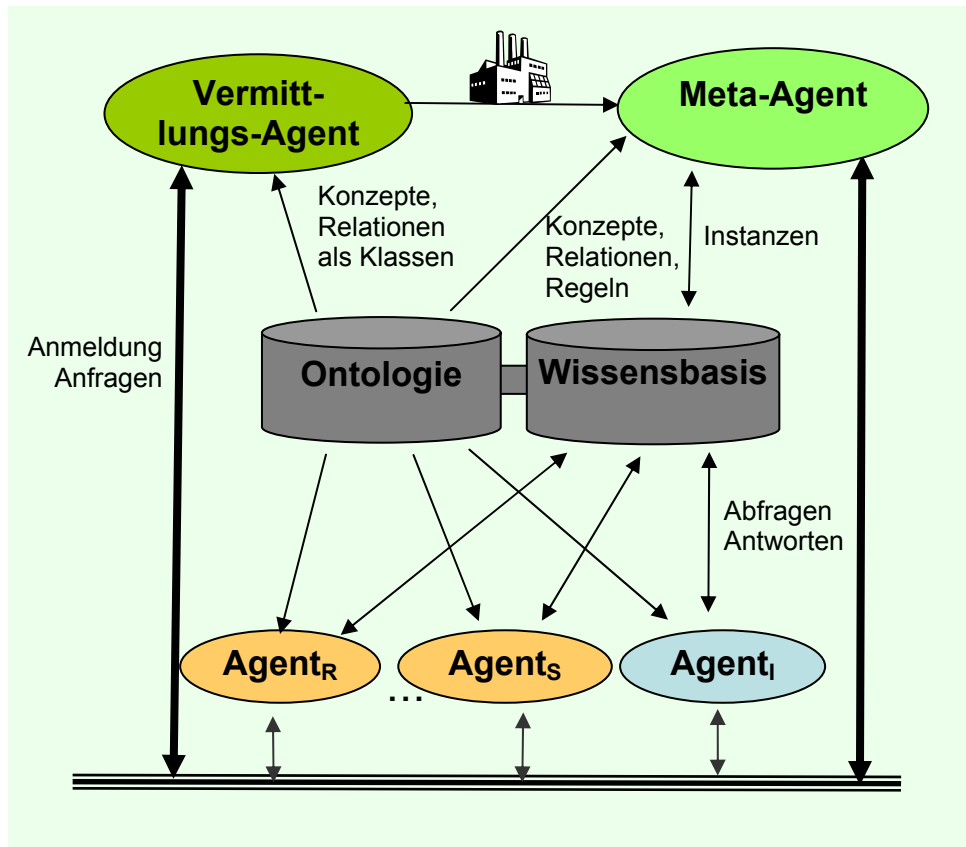


Abbildung 6-18: Das Zusammenspiel von Vermittlungs-, Ressource-, Service-, Interface- und Meta-Agenten.

Die Ausführung der auf Grundlage der Dienstangebote vom Meta-Agenten erstellten Pläne wird durch ein BDI-Framework (Belief Desire Intension) abgedeckt. Dazu wird vor jedem Ausführungsschritt der aktive Regelsatz geprüft. Die Funktion zur Abwicklung von Verhandlungsprotokollen wird für die Auswertung zeitabhängiger Parameter eines Dienstes (z. B. Kosten) benötigt. Der aktuelle Wert muss dann in der Verhandlungsphase erfragt werden (Angebot). Bewegt sich der Wert innerhalb des im jeweiligen Nutzerprofil definierten erlaubten Wertebereiches, so wird das Angebot für diese Verhandlung (Anfrage) in die Auswahl mit aufgenommen. In diese Auswahl kommen alle Pläne, die das gesuchte Informationsobjekt liefern („Matchmaking“). Dies beinhaltet auch die sichtenspezifischen Unterklassen der Objekte. Die regelbasierte Entscheidung zur Auswahl der Dienste berücksichtigt die in den Nutzerprofilen abgelegten Kosten-Nutzen-Parameter des Nutzers.

Zur Protokollierung verfügt der Meta-Agent über eine Schnittstelle zu einem speziellen Protokollierungs-Agenten, der im Rahmen von Systemevaluierungen und zukünftig geplanten Anpassungen eine wichtige Rolle spielt. Weitere Komponenten des Vermittlungsagenten umfassen die Verwaltung der Abonnements und Dienste, die Schnittstellen zur Agentenplattform, zu möglichen Verbundsystemen („Federations“) und die Verbindung zu den Interface-Agenten. Eine Anfrage nach Informationen („Request for Information“) initiiert das „Matchmaking“, die Planungsphase und schlussendlich die Ausführung der Pläne, die das geforderte Informationsobjekt an den Interface-Agenten liefern. Bei der Kommunikation mit den Interface-Agenten können die zuvor beschriebenen Kompetenzfragen in Form von Bibliotheksfunktionen verwendet werden.

Im Gegensatz zu den Diensten und Datenbanken, bei denen eine Nutzung im Demonstrator ohne notwendige Änderungen im Vordergrund steht, wurden die Benutzungsoberflächen angepasst an Benutzer, Aufgabenstellung und Endgeräte neu gestaltet. Dazu wurden nutzbare Basiskomponenten wie web-basierte Bild- und Kartendarstellungen verwendet. Für den Demonstrator wurden hier verschiedene Entwürfe realisiert und erprobt. Nach ausführlichen Diskussionen mit potentiellen Anwendern wurden speziell angepasste Benutzungsoberflächen in verschiedenen Projekten implementiert. Im Folgenden soll auf einige grundlegende Aspekte der Demonstrator-Benutzungsoberflächen eingegangen werden. Die Benutzungsoberflächen sind in Form von HTML-Dateien implementiert, die von einem gängigen Browser (Internet Explorer, Netscape) interpretiert und dargestellt werden können. Um dynamische und statische Inhalte zu mischen werden „Java Server Pages“ eingesetzt. Die Seitengestaltung berücksichtigt die zentrale Bedeutung von Orts- und Zeitangaben bei der Abfrage und Darstellung von Informationen. Die Kartendarstellung des aktuellen geographischen Interessengebiets des Nutzers bildet den Seiten-Hintergrund (Abb. 6-19). Die darunter dargestellte steuerbare Zeitleiste ermöglicht eine Veränderung des zeitlichen Interessensbereiches. Farbige Markierungen stellen gefundene relevante Informationen geordnet nach Informationstypen dar. Die Selektion einer bildrepräsentierenden Markierung führt zu einer Überblicksdarstellung (oben rechts) und zur Kennzeichnung des Bezugsortes in der Karte. Je nach Auflösung wird aufgrund der besseren Erkennbarkeit ein Symbol oder der „Footprint“ des Bildes eingezeichnet. Auf Nutzeranforderung kann auch das Bild selbst passgenau in die Karte eingezeichnet werden. Zur Darstellung von Informationen in der Karte und zur Manipulation des dargestellten Kartenausschnitts stehen Overlay, Annotationsfunktionen, Pan und Zoom zur Verfügung.

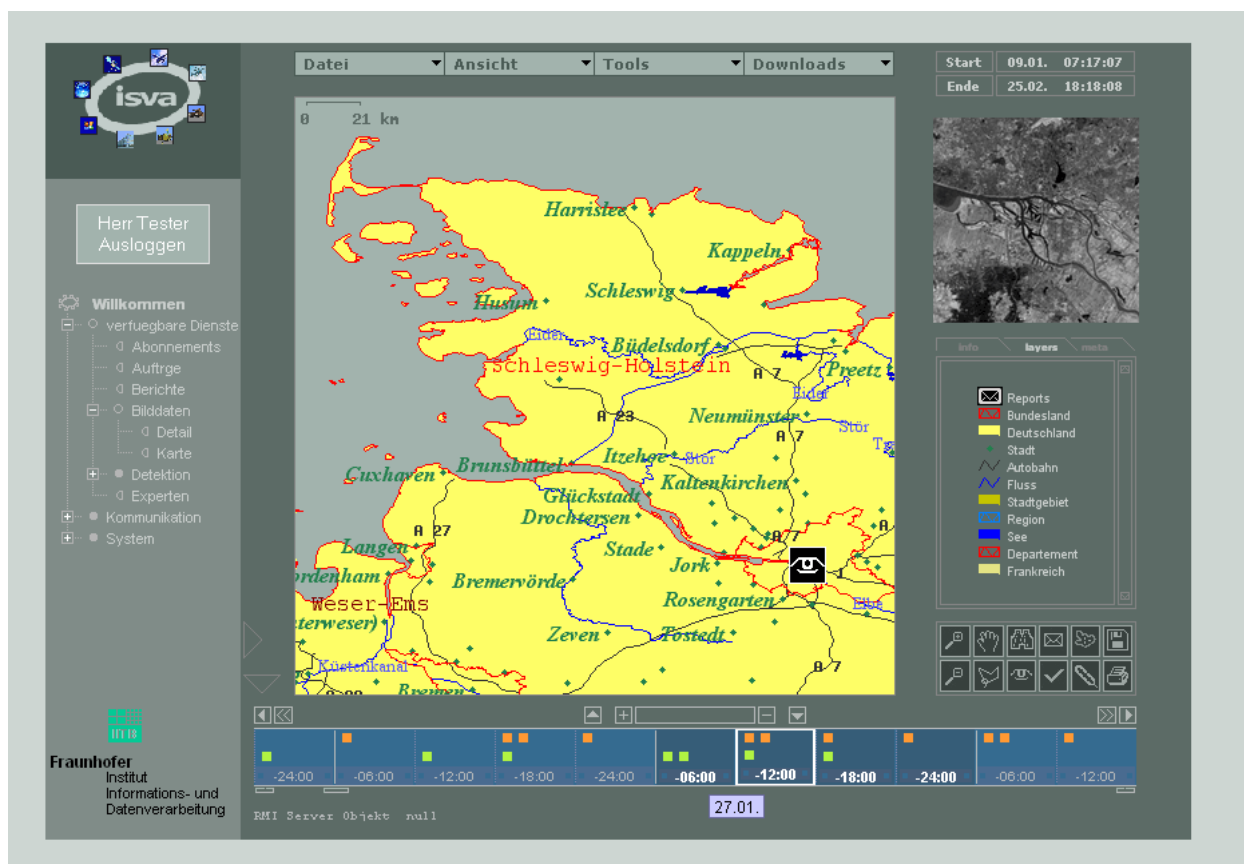


Abbildung 6-19: Benutzungsoberfläche im Demonstrator ISVA (Intelligenter Sensorverbund Aufklärung).

Eine Menüleiste (links) bietet Zugriff auf Verwaltungsfunktionen (An- und Abmeldung, Profilanpassung), Such- und Abonnementdienste sowie auf die Dienste zur Bildauswertung und Kommunikation. Kartendarstellung, Zeitachse und die Menüs zur Spezifikation des thematischen Interessensprofils werden ebenso wie die Dialogsprache und die Vorgaben für das Kosten-Nutzen-Modell auf Basis des aktuellen Benutzerprofils eingestellt. Zur Verwaltung von Zwischenmaterial stehen jedem Benutzer elektronische Arbeitsmappen zur Verfügung. Der Zugriff erfolgt ebenfalls über die Menüleiste. Zur Erprobung des Systems wurden kleinere Szenarien mit entsprechend angepassten Benutzungsoberflächen verwendet, dabei fanden unterschiedliche Basiskomponenten und -technologien Verwendung.

6.5 Bewertung des Prototypen

Der aufgebaute Konzept-Demonstrator oder auch Prototyp bietet eine geordnete Organisation verfügbarer Fernerkundungsinformationen und –daten und unterstützt den autorisierten Zugriff durch SW-Agenten. Dabei werden aktuelle sichere Internettechnologien sowie speziell entwickelte Ontologien und SW-Agenten eingesetzt. Der Demonstrator wurde im Rahmen verschiedener Tests, aufbauend auf den mit Fachleuten gemeinsam ausgearbeiteten Szenarien, erprobt und unterschiedlichen Benutzergruppen demonstriert. Dabei wurden angepasste Nutzerprofile und ontologiebasierte Abonnements eingesetzt. Die Aussagen potentieller zukünftiger Benutzer weisen deutlich auf die Notwendigkeit an Unterstützung bei der interaktiven Bildauswertung hin. Dieser Unterstützungsbedarf besteht in den Bereichen:

- Finden, Zugreifen und Filtern relevanter Informationen
- Finden und Nutzen von automatischen Diensten zur Bildauswertung
- Finden von und Kommunizieren mit geeigneten Experten

Mit dem Prototyp konnten die in dieser Arbeit beschriebenen Konzepte und Grundprinzipien der netzwerk- und ontologiebasierten verteilten interaktiven Bildauswertung erfolgreich umgesetzt und demonstriert werden. Der Demonstrator unterstützt den Nutzerbedarf durch:

- Abonnementgestützte Suche nach neuen Daten und Informationen, gefiltert nach räumlichen, zeitlichen und thematischen Vorgaben. Die Suche erfolgt in verteilten Datenbanken und Dateisystemen und wird durch die Ontologie unterstützt. Zur Bereitstellung einer homogenen syntaktischen wie semantischen Dienstschnittstelle werden die Datenbanken gekapselt. Insbesondere zeitintensive Recherchen können automatisch durchgeführt werden, während der Nutzer sich zwischenzeitlich anderen Aufgaben widmet.
- Anpassung der Benutzungsoberfläche an die Aufgabenstellung und Geräte des Benutzers, basierend auf ausgearbeiteten Nutzerprofilen. Dies beinhaltet auch die kontextbasierte Anpassung des Angebots der zur Verfügung gestellten Dienste.
- Unterstützung durch verfügbare automatische Bildauswertungsverfahren. Damit ergibt sich auch die Möglichkeit zur parallelen Auswertung des Bildes mit verschiedenen Verfahren und dem anschließenden Vergleich der Ergebnisse zur Auswahl des am Besten geeigneten Verfahrens.
- Vermitteln von geeigneten Experten sowie die Kommunikation und kooperative Auswertung.
- Optimierung des Einsatzes von Diensten zur Auswertung oder der Unterstützung durch Experten im Hinblick auf Kosten und Zeitbedarf. Im Demonstrator wurden dazu geschätzte, realistische Werte angesetzt.
- Einfache Einbindung von automatischen Bildauswertungsverfahren und –ressourcen zum kontinuierlichen Ausbau des Systems.

Die entscheidende Komponente bildet die anwendungsspezifische Ontologie. Die Semantik bildet den Schlüssel zu gezielter Informationsrecherche, intelligenter Vermittlung sowie zu effizienten dynamischen Arbeitsabläufen. Die Ontologie umfasst sowohl Konzepte des Diskursbereichs, Beschreibungen von Diensten, Dienstleistern und Verbindungen als auch Kosten-Nutzen-Aspekte. Die Beschreibung der ausgewählten Konzepte wurde speziell für die Szenarien erstellt, für allgemeinere Aussagen müssen weitere Dienste mit anderen Aufgabenstellungen einbezogen werden. Dazu muss insbesondere die Domänen-Ontologie entsprechend ausgebaut werden. Dies gilt sowohl in der „Breite“ der anwendungsrelevanten Objekte als auch in der Tiefe des Detaillierungsgrades der einzelnen Beschreibungen. Dabei gilt, je mehr Information in den Wissensbasen über Dienste und den Diskursbereich der Dienste abgelegt sind, desto wirkungsvoller kommt das System zum Einsatz.

Erst die Verwendung von Ontologien erlaubt die Anreicherung der Dienstbeschreibungen um semantische Aspekte und ermöglicht dadurch ein gemeinsames Verständnis zwischen den Kommunikationspartnern. Die Erfahrung zeigt, dass eine Ontologie lange Zeit iterativen Veränderungen und Erweiterungen unterworfen ist. Daher ist die Aufteilung in Schichten mit unterschiedlicher Wiederverwendungsrate sehr hilfreich. Des Weiteren ist die Aufteilung nach Objektklassen von Vorteil, die einzelnen Teams zur Ausarbeitung überantwortet werden. Die verschiedenen Sichten bewähren sich bei Benutzern mit unterschiedlichem Zugang zu den relevanten Objekten unter Beibehaltung konsistenter Modelle. Aufgrund der Beschränkung der verwendeten Werkzeuge wurden alle Attribute den jeweiligen Objekten direkt zugeordnet. Eine Zuordnung einzelner Attribute zu den speziellen Sichten auf die Objekte („sichtenspezifische Attribute“) würde die Übersichtlichkeit der Ontologien verbessern. Diese Einschränkung zeigte aber im Rahmen der Erstellung des Demonstrators keine Nachteile.

Aufgrund von Plausibilitätsbetrachtungen und Erprobungen des Konzept-Demonstrators können die Ergebnisse wie folgt zusammengefasst werden: Die im Demonstrator eingesetzte SW-Agenten-Technologie ermöglicht eine Integration heterogener Systeme auf einer semantischen Ebene auf der Basis einer Domänen-Ontologie. Die Beschreibung der Dienste auf der semantischen Ebene ermöglicht eine intelligente Vermittlung von Diensten, die Modellierung des Benutzers ermöglicht eine Visualisierung, die auf Rolle, Ebene und Aufgabe des Benutzers zugeschnitten wird. Damit wird

- der Zugriff auf Informationen aus heterogenen, verteilten Systemen vereinfacht und beschleunigt,
- der Benutzer bei der Bildauswertung entlastet,
- ein kontextsensitiver Vermittlungsdienst zu Spezialisten (Mensch oder SW-Agent) angeboten,
- eine automatische Anpassung an Nutzer und unterschiedliche Endgeräte ermöglicht.

Die übergeordnete Aufgabenstellung der entwickelten Systemarchitektur zielte darauf ab, die Qualität und Geschwindigkeit der interaktiven Bildauswertung zu verbessern. Die folgende Tabelle 15 fasst daher die durch Agenten und Ontologien realisierten Eigenschaften des Demonstrators unter den Aspekten: Zeitersparnis, Qualität und Kosten/Nutzen noch einmal zusammen. Basierend auf den ersten Erfahrungen wird eine qualitative Wertung des jeweiligen Beitrages zum Nutzen dargestellt.

Um zu quantitativen Leistungsdaten zu kommen sind weitergehende Untersuchungen erforderlich. Als Basis können die bei der Messung von Beobachterleistung verwendeten Detektions-, Klassifikations- und Identifikationsraten eingesetzt werden (siehe z. B. *Peinsipp-Byma et al. 2004*). Gemeinsam mit Falschalarm- und Fehlerkennungsrate kann so ein Zuverlässigkeitsfaktor bestimmt werden, der, kombiniert mit Zeitmessungen, die Ableitung quantitativer Aussagen ermöglicht. Diese Untersuchungen umfassen den Ausbau der Ontologie, die ständig

weiterentwickelt wird, und die Integration weiterer Dienste und Experten, um zu umfangreicheren Szenarien zu kommen, die dann in einer ausgedehnteren Erprobungsphase mit unterschiedlichen Anwendern untersucht werden können. Der Hauptaufwand besteht in der Ausarbeitung der Ontologie, die nur unter Einbeziehung der Anwender entwickelt werden kann. Aber auch die jeweils verfügbare Bandbreite in den Netzwerken wird die Bewertung des Systems deutlich beeinflussen.

Bewertungsaspekt	Systemeigenschaft	Wertung
Zeitersparnis:	Automatische Profilanpassungen reduzieren notwendige interaktive Systemeinstellungen.	++
	Abonnements entlasten den Benutzer von aktiven Rechercharbeiten; Informationen sind dadurch schneller nutzbar.	++
	Agenten agieren im Hintergrund; Benutzer ist frei für andere Arbeiten.	+
	Zugriff auf verfügbare teilautomatische Unterstützungsfunktionen.	+
Qualität:	Ontologiebasierte Informationssuche findet zusätzliches Material.	+++
	Unterstützung durch Experten / Zugriff auf Expertise.	+
	„Gemeinsame Sprache“ vermeidet Missverständnisse durch „divergente Informationsmodelle“.	++
	Möglichkeit zur kooperativen Auswertung durch integrierte Basis-Dienste.	+
Kosten / Nutzen:	Direkter Zugriff auf aktualisierte und neue Dienste. Vergleichbarkeit von Dienstergebnissen.	++
	Adaptierbarer systemgestützter Vergleich von Dienstangeboten erlaubt die Auswahl des geeignetsten Kandidaten.	+
	Berücksichtigung der Erfahrungen anderer Nutzer.	+
	Rückmeldung für Dienstanbieter dient der besseren Bedarfsanpassung.	+

Tabelle 15: Qualitative Bewertung des Demonstrators.

Geplante Erweiterungen

Für einen praktischen Einsatz ist die Beschränkung auf eine einzige gemeinsame Ontologie hinderlich. Eine Erweiterung des Systems zur Berücksichtigung multipler Ontologien und entsprechenden Abbildungsfunktionen ist daher einer der nächsten notwendigen Schritte. Derartige mediatorbasierten Informationssysteme bilden einen eigenständigen aktuellen Forschungsbereich (siehe z. B. *Busse 2002*). Mit diesem Ansatz kann auch das in dieser Arbeit nicht berücksichtigte Gebiet der „Multilingualität“ angebunden werden.

Auch die automatische ontologiebasierte Erweiterung der Anfragen oder kurz „ontologiebasierte Freitextsuche“ verfügt über ein noch nicht vollständig untersuchtes Potenzial. So wurde insbesondere der Einfluss unterschiedlicher Distanzmaße zwischen den einzelnen Konzepten zur Ermittlung der relevanten Konzepte bisher nicht untersucht.

Die Benutzungsoberflächen wurden für die Demonstration der Konzepte ausgearbeitet. Die Beschreibungen der Dienste und Experten wurden mittels spezieller Dialogmasken von den Entwicklern des Demonstrators eingegeben. Zukünftig soll diese Beschreibung von den Diensteanbietern und Experten selbst eingegeben werden. Dazu sind geeignete Benutzungsoberflächenkomponenten zu entwickeln. Der Ausbau der Ontologie um weitere Konzepte ist bisher ebenfalls nur den Entwicklern möglich. Auch hier ist an spezielle Benutzungsoberflächen gedacht, die einen Anwender bei der Spezifikation neuer Konzepte unterstützen. Diese Änderungen müssen allerdings von den Systembetreuern überprüft und freigegeben und dann an alle Anwender verteilt werden. Innerhalb von „anwendungsspezifischen Intranets“ könnte dazu ein „trust center“ dienen (Ontologie-Pfleger in Abb. 6-1). Die Parametrierung der Bildauswerteverfahren erfolgt über Parameter-Editor-Module, die aufgrund der Beschreibung der einzelnen Parameter entsprechende Benutzungsoberflächen generieren. Die Entwicklung von Bausteinen als wiederverwendbare Muster für die Parametrierung ist angedacht, bisher aber noch nicht implementiert.

Das System erlaubt die benutzerspezifische Vorgabe der Modellkriterien für das Kosten-Nutzen-Modell. Die Entscheidung zwischen angebotenen alternativen Diensten oder Experten basiert auf diesen individuell einstellbaren Parametern. Anhand der Vorgabe verschiedener fiktiver Experten mit unterschiedlichen Kostenangaben für ihre Dienstleistungen wurde das Modell erfolgreich getestet. Für weiterreichende Aussagen muss das System mit vielfältigen und zahlreichen Einsatzfällen erprobt und dazu zunächst deutlich um größere Szenarien mit weiteren Diensten, Informationen und Daten erweitert werden.

Die Agenten-Technologie unterstützt explizit die Verwendung von Ontologien. Eine stabile Agentenplattform ermöglicht eine rasche Implementierung von SW-Agenten und erlaubt eine Kommunikation auf der Anwendungsebene. Im Unterschied zur Kommunikation mittels Web-Services stellt diese Technologie eine höhere abstrakte Ebene dar. Die im Vergleich zu Web-Services mangelnde Unterstützung von Sicherheitskonzepten konnte in diesem Szenario mit „getunneltem“ und über Verschlüsselungskomponenten abgesichertem Netzwerk ausgeglichen werden. Der FIPA-Standard für Software-Agenten gewährleistet zwar Interoperabilität zwischen FIPA-konformen Plattformen, deckt jedoch noch nicht die Bereiche Security und mobile Agenten ab. Erweiterungen der Sicherheitsfunktionen sind daher proprietäre Ergänzungen der Hersteller von Agentenplattformen. Im Demonstrator wurden bisher nur stationäre Agenten eingesetzt. Aufgrund der beschränkten Bandbreite sind Szenarien vorstellbar, bei denen der Agent und der damit gekapselte Dienst zu den Daten transportiert werden, anstatt die Daten zu den Diensten zu senden. Für derartige zukünftige Systemerweiterungen sind jedoch ausgefeilte Sicherheitskonzepte zum Schutz der Dienste, Informationen und Ressourcen sowie zur fairen Kosten-Nutzen-Abschätzung zu entwickeln.

Auf Dienste und Agenten zum Management der Wissensbasis wurde, wie bereits im vorangehenden Kapitel erwähnt, im Konzept-Demonstrator verzichtet. Die Entwicklung eines Verfahrens zur Entscheidung zwischen Wiederverwendung und Neuberechnung bzw. Neubeschaffung von Informationen stellt dabei eine der interessantesten Herausforderungen dar. Allgemein erleichtert die modulare Architektur mit der Zerlegung des Systems in einzelne Interface-, Vermittlungs- und Ressource-Agenten die Entwicklung und Pflege der Programme gleichermaßen. Allerdings ist der notwendige Anschluss aller Teilnehmer an die Agentenplattform eine unabdingbare, einschränkende Voraussetzung.

Ausfallsicherheit und Redundanz standen nicht im Blickpunkt des Demonstrators, doch sei an dieser Stelle auf die Konzepte für ein „semantisches Grid“ (<http://www.semanticgrid.org>) hingewiesen. Unter diesem Ansatz könnten die Welten der SW-Agenten und des „Grid-Computing“ zusammenwachsen. Für das „Grid-Computing“ wurden Konzepte und Werkzeu-

ge für verlässliche und sichere verteilte Ressourcennutzung in unsicherer und dynamischer Umgebung entwickelt. Die Agentenwelt liefert Konzepte für autonome kooperative zielgetriebene Problemlösung in verteilten Systemen. Gemeinsam ist die Bildung dynamischer oder aufgabenbezogener Gemeinschaften zur kooperierenden Bearbeitung von Aufgaben, in der Welt des „Grid-Computing“ als „virtuelle Organisationen“ bezeichnet. Der Schwerpunkt der Anwendungen von SW-Agenten beschäftigt sich mit der Modellierung von Gemeinschaften mit regelbasiertem und zielgetriebenem Verhalten, unterstützt durch Verhandlungsstrategien und entsprechende Sprachakte. Konzepten für Skalierbarkeit, Konfigurierbarkeit, Sicherheit und Prozess-Monitoring wurde wenig Beachtung geschenkt. Den Agenten fehlt damit eine robuste verteilte Laufzeitumgebung. Diese Komponenten bilden andererseits die Schwerpunkte von Grid-basierten Architekturen. Hier fehlen wiederum flexible verteilte Problemlösungsstrategien um die wachsenden Anforderungen der Nutzer effektiv umzusetzen. Die „Low Level“ Schnittstellen des Grid mit der abstrakteren Agententechnologie zu verbinden stellt eine Herausforderung für die Zukunft eines „Semantic Grid“ dar.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die schnellen technologischen Fortschritte im Bereich von Sensoren und Rechnern und die Vertiefung der theoretischen Basis bei der Interpretation von Bildern führte in den letzten Jahren zu einer erheblichen Ausweitung der Möglichkeiten einer Rechnerunterstützung für menschliche Bildauswerter. Die Zielvorstellung einer voll-automatischen Bildauswertung wurde aber nicht in allen Anwendungsgebieten erreicht. Sind sowohl im Bild auszuwertende Objekte als auch Objekt- und Aufnahmeumgebungen vollständig definiert, können automatische Verfahren eingesetzt werden. Dies gilt z.B. bei der bildgestützten Fertigung im Bereich der Robotik. Auch bei der Auswertung variabler Objekte in definierter Umgebung wie bei der Qualitätskontrolle durch fortgeschrittene Sichtprüfsysteme oder bei definierten Objekten in variablen Umgebungen wie bei der Verkehrsüberwachung sind automatische Auswertungen weitgehend erreichbar. In vielen Anwendungsbereichen, insbesondere in der Medizin, bei der Fernerkundung und bei der Aufklärung und Überwachung lässt sich eine voll-automatische Bildauswertung allerdings in absehbarer Zeit nicht verwirklichen. In diesen Anwendungsbereichen, die das Betrachtungsgebiet dieser Arbeit abstecken sind unbekannte (undefinierte) Objekte in nicht modellierter (undefinierter) Umgebung auszuwerten. Dies ist das Einsatzgebiet der interaktiven Bildauswertung. Hier müssen Fähigkeiten und Erfahrungen des Menschen mit den Möglichkeiten von Sensoren und Rechnern geeignet kombiniert werden um eine effektive und effiziente Bildauswertung zu ermöglichen. Dabei muss der Mensch die letzte Entscheidung über das Auswertergebnis und damit auch die Verantwortung für dieses Ergebnis behalten.

Fortschrittliche interaktive Lösungen unter Nutzung automatischer Komponenten für Teilfunktionen bieten auch in diesem Bereich effizientere Möglichkeiten für Anwendungen der interaktiven Bildauswertung. Neben den auch schon in der Vergangenheit vorhandenen Funktionen zur Verbesserung der Bilddarstellung gewinnen jetzt zunehmend Verfahren zur teilautomatischen und Möglichkeiten zur kooperativen Bildauswertung zwischen räumlich weit entfernten Menschen an Bedeutung. Die gestiegenen Anforderungen und das Vordringen automatischer Hilfen zur Beherrschung der Datenflut erfordern dabei begleitende Fortschritte in der Interaktion des Benutzers mit einem zukünftigen maschinellen Assistenten. Der rasche Zugriff auf weltweit verfügbare Informationen und die zunehmende globale Vernetzung von Maschinen und Experten an unterschiedlichen Orten werden die Arbeitsabläufe bei der interaktiven Bildauswertung deutlich verändern, erfordern aber auch ein gemeinsames Verständnis zwischen den Beteiligten. Die Lösung dieser Interoperabilitäts-Problematik ist eine entscheidende Voraussetzung zur erfolgreichen Nutzung der Netzwerk-Technologie. Dabei liegt die Herausforderung in der semantischen Interoperabilität. Es reicht nicht aus, Dienste und Informationen nur syntaktisch zu beschreiben. Vielmehr wird eine gemeinsame Sprache („Common Language“) mit expliziten Modellen der Objekte aus der Anwendungsdomäne benötigt. Basierend auf diesen Modellen müssen Informationen, Dienste und menschliche Experten in dieser gemeinsamen Sprache beschrieben werden.

Um das Wirkungsvermögen leistungsfähiger Sensoren voll auszuschöpfen, sind Anstrengungen erforderlich, die in den Sensorbildern verborgenen, direkt und indirekt ableitbaren relevanten Informationen rasch und zielgerichtet auszuwerten und verständlich in eine handlungsbegründende Aussage umzusetzen. Die hierzu erforderlichen Systeme, die die Vielfalt der Signale ebenso berücksichtigen wie die weltweite Verfügbarkeit der Daten und Informationen, erfordern einen ganzheitlichen Systemansatz, vom Sensorsignal bis zur Berichtserstellung und –verteilung. Dabei können sowohl auszuwertende Sensordaten als auch Auswertebereiche und Zusatzdaten über Netzwerke ausgetauscht werden. Neben der verteilten kooperativen Bildauswertung wird so eine Reihe von zusätzlichen netzwerkgestützten Dienstleistungen

im Bereich der Bildauswertung ermöglicht. Dabei können Rechenleistung und spezielle Auswertungsalgorithmen zur Datenaufbereitung, -konvertierung oder automatischen Mustererkennung, ebenso genutzt werden wie der interaktive Beratungsmodus mit Expertensystemen oder das Consulting von Spezialisten mit Fach- oder Objektexpertise, wie bei der Zweitbefundung in der Telemedizin. Diese Form der Ressourcennutzung ermöglicht ein effizientes Dienstleistungssystem zur Unterstützung der interaktiven Bildauswertung und damit auch eine zukünftige Kosten-Nutzen-Optimierung.

7.1 Ansatz und Ergebnis

In dieser Arbeit wird eine netzwerkgestützte, agenten- und ontologiebasierte SW-Architektur für Systeme zur interaktiven Bildauswertung entworfen und prototypisch realisiert. Dazu wird ein allgemeines Modell für einen Systemverbund zur verteilten kooperativen interaktiven Bildauswertung erstellt. Ein Wirkungsverbund von Dienstleistungen für die interaktive Bildauswertung wird strukturiert und, ebenso wie die Assistenzfunktionen, als agentenbasiertes System konzipiert. Basierend auf einer Analyse kommerzieller Bildauswertesysteme und der Betrachtung von Anforderungen und Problemen der Benutzer wird ein Experimentalsystem für den Anwendungsbereich der bildgestützten Fernerkundung entworfen und prototypisch implementiert. Damit lassen sich Möglichkeiten und Eigenschaften agentenbasierter Bildauswertesysteme darstellen und untersuchen. Dabei steht die Interoperabilität in heterogenen Netzwerken im Vordergrund. Zentrales Element des Modells ist eine agentenbasierte SW-Architektur, die neben Interface-, Ressource- und Vermittlungs-Agenten eine Ontologie beinhaltet, die die Voraussetzung für eine semantische Interoperabilität in dem Verbund bildet. Die Systemarchitektur ist Grundlage für den vereinfachten Zugriff auf heterogene verteilte Informationsbestände, ermöglicht ein beschleunigtes Auffinden nutzer-relevanter Informationen, entlastet den Bildauswerter durch die Möglichkeit Aufgaben zu delegieren und erlaubt die automatische Vermittlung von geeigneten Spezialisten – menschliche Experten oder SW-Agenten. Sie ermöglicht eine automatische Anpassung der Benutzungsoberfläche an verschiedene Benutzer und/oder Endgeräte und vermeidet damit eine Überfrachtung der Benutzungsoberfläche mit Funktionen sowie die dadurch bedingte Ablenkung der Bildauswerter. Die Verbesserung des jeweiligen Verhältnisses von Nutz- zu Störinformation und die Reduktion der parallel angebotenen Funktionen ermöglicht eine Verbesserung der Qualität der interaktiven Bildauswertung.

Einen zentralen Aspekt dieser Arbeit bildet der Entwurf der Ontologie. Ontologien werden einen wichtigen Bestandteil zukünftiger „semantischer“ Netze bilden. In einem Verbund zur verteilten kooperativen interaktiven Bildauswertung sind Ontologien als explizite Modelle des deklarativen und des prozeduralen Wissens unabdingbar, da sie das gemeinsame Vokabular zur Beschreibung von Fakten und Arbeitsabläufen zwischen den Kommunikationspartnern festlegen. Die Modellierung erfolgt anwendungsorientiert, um die Komplexität beherrschbar zu halten. In dieser Arbeit wird die Fernerkundung als Diskursbereich festgelegt, eine dementsprechende Ontologie entworfen und exemplarisch implementiert. Dazu wurde eine verfeinerte Methodik zur Ontologie-Gestaltung entwickelt. Als entscheidende Strukturierungselemente für die Ontologien werden verschiedene Schichten und Sichten definiert. Schichten berücksichtigen den Grad der Wiederverwendbarkeit und der Anpassbarkeit und verbessern die Übersichtlichkeit über komplexe Ontologien. Sichten ermöglichen, insbesondere in der Domänen-Ontologie zur Fernerkundung, eine Modellierung von Konzepten des Diskursbereiches unter Berücksichtigung nutzer- oder aufgabenspezifischer Sichtweisen auf Objekt-Hierarchien. So können insbesondere im Bereich der Fernerkundung die Begriffshierarchien, die mittels „looks_like“ – Relationen gebildet werden und die die visuelle Ähnlichkeit von Objekten modellieren, verschnitten werden mit „acts_as“ – Hierarchien, die die Rolle eines Objektes bzw. den Verwendungszweck von Objekten als Taxonomie-Kriterium verwenden. Erst durch diese Sichten ist es möglich, konsistente Modelle zur Unterstützung von verschie-

denen Benutzern mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen in einem Auswerteverbund zu berücksichtigen. Damit liefert diese Arbeit einen grundlegenden Beitrag zur Lösung des Problems der Interoperabilität in heterogenen verteilten Systemen zur interaktiven Bildauswertung.

Während die syntaktische Interoperabilität zwischen Dienstanfordernern und Dienstnutzern durch den Einsatz von Web-Services zur externen Kommunikation gewährleistet werden kann, entscheiden SW-Agenten über die Nutzung geeigneter Dienste auf einer semantischen Ebene. Dabei stellen Vermittlungs-Agenten aufgrund der Dienstbeschreibungen die notwendigen Verbindungen her und erlauben auch eine geeignete Zusammenschaltung von Diensten. Die Nutzung der Ontologie erlaubt die Anreicherung der Dienstbeschreibung um semantische Aspekte und ermöglicht es, die Einsatzmöglichkeiten und –voraussetzungen von Diensten zu beschreiben. Die in dieser Arbeit entwickelte Struktur zur Dienstbeschreibung berücksichtigt neben der ontologiebasierten semantischen Beschreibung zusätzlich ein neu entwickeltes Kosten-Nutzen-Modell, das die nutzer- und aufgabenspezifische Auswahl alternativer Dienste erlaubt und insbesondere unterschiedliche Verkettungsmöglichkeiten von Diensten unterstützt. Dadurch werden nicht nur syntaktische und semantische Abhängigkeiten zwischen den Diensten modellierbar sondern auch zusätzliche Gesichtspunkte wie z.B. Anbietervorgaben bzgl. Einschränkungen der Verwendbarkeit⁴. Die explizite Modellierung und Berücksichtigung eines Kosten-Nutzen-Modells berücksichtigt mögliche zukünftige Vermarktungsstrategien, die die Nutzung von Bildauswertekomponenten, -funktionen oder –dienstleistungen über Netzwerke erlauben werden.

Aufbauend auf dem in dieser Arbeit entwickelten allgemeinen Modell für interaktive Bildauswertesysteme wurde ein prototypisches Experimentalsystem zur interaktiven Bildauswertung im Bereich der Fernerkundung implementiert. Damit kann der Wirkungsverbund von Ontologie und SW-Agenten in verschiedenen Szenarien dargestellt, erprobt und untersucht werden. Zur Überprüfung dienen ausgearbeitete Szenarien und Kompetenzfragen, die ebenfalls in dieser Arbeit strukturiert entwickelt und in Form von ausführbaren Testspezifikationen umgesetzt wurden. Plausibilitätsbetrachtungen und Erprobungen des Systems zeigen, dass die agentenbasierte SW-Architektur, basierend auf einer geschichteten Ontologie mit nutzer- und aufgabenorientierten Sichten, funktionell umgesetzt und damit eine Verbesserung der verteilten kooperativen interaktiven Bildauswertung erreicht wurde.

Für eine operationelle Umsetzung dieser Konzepte muss die Infrastruktur der SW-Agenten in Bezug auf ein verbessertes Ressourcenmanagement und Sicherheit weiter entwickelt werden. Hier zeichnet sich eine Verbindung mit „Grid“-Systemen ab. Der Aufbau einer verteilten Wissensdatenbank mit entsprechenden Wissensmanagement-Komponenten ist eine weitere wichtige Voraussetzung. Die entscheidende Komponente für den sinnvollen Einsatz von Agenten und Diensten bildet die Ontologie. Die Verwendung von Ontologien erlaubt die Anreicherung der Dienst-, Personen- und Objektbeschreibungen um semantische Aspekte und ermöglicht dadurch erst ein gemeinsames Verständnis zwischen den Kommunikationspartnern. Die Ontologie soll zukünftig noch weiter ausgebaut werden um umfangreichere Szenarien abzudecken, an dem auch Experimente mit potentiellen Anwendern vorgenommen werden können. Diese Arbeit basiert auf langjähriger Erfahrung bei der Entwicklung und Inbetriebnahme der Luftbildauswertestationen der Bundeswehr mit den unterschiedlichen Ausprägungen für Luftwaffe, Heer, Marine und Nachrichtendienst. Damit bieten sich auch dementprechende Erprobungsszenarien an. Dieselben Vorgehensweisen eignen sich für die interaktive Bildauswertung in der Medizin oder in der Verkehrstechnik. Durch einen vernetzten Zugriff auf Datenbanken, Dienste und Experten wird dabei angestrebt, dass der jeweilige Nutzer auf unterschiedlichen Entscheidungsebenen auf mehr, jedoch nur für ihn relevante

⁴ Eine mögliche Vorgabe wäre eine Beschränkung auf eine Familie von Diensten eines Anbieters.

Aufklärungsinformationen in kürzerer Zeit assistentenunterstützt zugreifen kann, um so seine jeweilige Aufgabe besser und schneller erfüllen zu können. Die in dieser Arbeit erstellte Konzeption und die vorgenommenen Erprobungen stellen wichtige Meilensteine auf diesem Weg dar.

7.2 Zukünftige Arbeiten

Das vordringliche Ziel ist zunächst der weitere Ausbau der Ontologie. In Absprache mit Anwendern verschiedener Projekte muss die Domänen-Ontologie sowohl verbreitert als auch in der Tiefe weiter ausgearbeitet werden. Daraufhin lassen sich weitere Agenten, Dienste und Experten einbinden, anhand derer größere flexiblere Szenarien in längeren Einsatzphasen erprobt werden können. Die Anpassung der Benutzungsoberflächen stellt dazu eine wichtige Aufgabe dar. Insbesondere müssen geeignete Editoren entwickelt werden, die den Benutzer stärker bei der Beschreibung seiner Dienste und möglicher angebotener Expertisen unterstützen und auf eventuelle Konflikte bei einer Erweiterung der Ontologie hinweisen. Zur Parametrierung der Dienste sollten wiederverwendbare Basis-Bausteine entwickelt werden, die geeignete Benutzungsoberflächen zur Parametrierung nicht nur auf Basis der Parameterbeschreibungen sondern auch unter Verwendung vorgefertigter Dialogkonzepte generieren. Größere strukturelle Veränderungen der Ontologie bleiben einem Ontologie-Administrator überlassen. Dieser übernimmt die Anforderungen und Vorschläge, erarbeitet nach einer Prüfungsphase eine neue Version und verteilt diese an alle Anwendungssysteme. Auch hier sind Unterstützungsfunktionen notwendig. Es ist weiter zu untersuchen, ob neben „räumlichen Distanzmaßen“ auch „thematische Distanzmaße“ zwischen verschiedenen Suchbegriffen in der Ontologie nutzbringend berücksichtigt werden können. Dabei kommt der Modellierung der verschiedenen Sichten mit spezifischen Attributen verstärkte Bedeutung zu.

Größere Szenarien beinhalten auch die Verarbeitung umfangreicheren Wissens. Die Konzeption einer verteilten Wissensdatenbank mit unterstützenden Management-Komponenten, die den gesamten Lebenszyklus von Wissens-Elementen unterstützen, stellt eine übergreifende Aufgabe in der Fernerkundung dar, die unabhängig von der Verwendung agentenbasierter Software angegangen werden muss. Anhand dieser größeren Szenarien lässt sich auch das Kosten-Nutzen-Modell weiter erproben und ausbauen.

Aufgrund der heute noch unzureichenden Agenten-Infrastruktur für operationelle Anwendungen sollte eine mögliche Verbindung mit „Grid“-Diensten untersucht werden. Das Grid liefert die Infrastruktur, Anwendungen und Werkzeuge für verlässliche und sichere verteilte Ressourcennutzung in dynamischer Umgebung. Die Agenten stellen die „intelligente“ zielgetriebene kooperative Problemlösungskomponente. Eine geschickte Kombination von Agenten, Grid-Services und Ontologien unterstützt die Entwicklung eines „semantischen Grid“ bei dem eine weitestgehende Interoperabilität in heterogenen Netzwerken im Vordergrund steht.

Zur Optimierung des Bandbreitenbedarfs sollten zukünftig „mobile Agenten“ eingesetzt werden um im Falle umfangreicherer Daten die Programme gegebenenfalls zu den Daten zu transportieren. Dazu müssen jedoch sowohl entsprechende Sicherheits- als auch Abrechnungskonzepte entwickelt werden. Vermittlung, Transport und Garantie der Sicherheit können dabei als eigenständige Dienstleistungen unterschiedlicher Anbieter mit entsprechenden Kostenmodellen beschrieben und berücksichtigt werden.

Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich insbesondere im Bereich der Informations- und Datenfusion. Zeitliche, räumliche und thematische Aspekte unterschiedlicher Daten und Informationen aus verschiedenen Quellen in heterogenen Formaten könnten durch Gruppen von „Fusionsagenten“ bearbeitet werden. Die von einzelnen Agenten eruierten Informationen würden lokal ausgewertet, untereinander ausgetauscht und damit mit anderen Informationsquellen in

Beziehung gebracht werden. Generierte Hypothesen könnten zwischen den Agenten abgestimmt und einer Entscheidungsinstanz, dem Vermittlungsagenten oder einem eigenständigen „Decision Support Agenten“ vorgelegt werden. Grundlage dieser Arbeiten ist eine mathematisch durchgängige Methodik für die Fusion, die ontologiebasiert sowohl nominale, ordinale und metrische Beschreibungsmerkmale als auch Fakten und Unsicherheiten berücksichtigt.

Das Ziel besteht darin, benötigtes Wissen zur richtigen Zeit an die richtigen Personen mit der richtigen Granularität über angemessene Verbindungswege, angepasst an die verwendeten Endnutzengeräte zu verteilen. Die Erbringer wissensintensiver Dienstleistungen sollen darin unterstützt werden sich auf Ihre Kernkompetenzen und Kreativität zu fokussieren. Die ausgearbeiteten Konzepte und der entwickelte Demonstrator stellen wichtige Schritte zur Lösung der damit verbundenen Interoperabilitäts-Problematik dar.

A Verzeichnisse

A.1 Literatur

Albertz, J. 2001

Einführung in die Fernerkundung –
Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern.
J. Albertz
Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, 2001
ISBN 3-534-14624-7

Bartelme 2003

Europäische Geodatenpolitik.
Norbert Bartelme
TU Graz, Juni 2003 Kolloquium,
Institut für Geodäsie der Technischen Universität Graz
www.kfunigraz.ac.at/geowww/fernerkundung/site/gfe_start/geo_kolloquium/pdf/Geodatenpolitik%20GeoKolloquium.pdf und
www.donauuni.ac.at/ztnk/downloads/verkehrstelematik/bartelme.pdf

Berners-Lee et al. 1999

Weaving the web: The original design and ultimate destiny of the World Wide Web by its inventor.
Berners-Lee, T., Fischetti, M. & Francisco, H.
First Paperback edition published 2000 by
HarperCollin Books, New York
ISBN 0-06-251587-x

Berners-Lee et al. 2001

The Semantic Web.
Berners-Lee, T., Hendler, J. & Lassila, O.
Scientific American, May 2001.

Berners-Lee 2002

Tim Berners-Lee
<http://www.w3.org/2002/Talks/04-sweb>

Blömer 2003

Architektur eines lernenden wissensbasierten Systems zur Konfiguration eines Bildauswertesystems.
A. Blömer
Dissertation, Universität Hannover, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik
Fortschrittsberichte VDI, Reihe 10, Nr. 723, ISBN 3-18-372310-7, 2003.

Booch et al. 1999

Das UML – Benutzerhandbuch.
Grady Booch; Jim Rumbaugh; Ivar Jacobson
Addison-Wesley Longhorn Verlag GmbH, 1999
ISBN 3-8273-1486-0

Böttcher, E. 2002

Projektdokumentation ISVA -Technische Notiz – 2002.
E. Böttcher
Benutzungsoberflächen im „Intelligenten Sensorverbund Aufklärung“
Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung – IITB.

Bradshaw 1997

Software Agents.
J. M. Bradshaw
AAAI Press / The MIT Press, Menlo Park, CA, USA, 1997
ISBN 0-262-52234-9

Breuker et al. 1999

Ontological Modelling for Designing Educational Systems.
Breuker, J., Muntjewerff, A., Bredeweg, B.
Dept. of Computer Science & Law, Social Science Informatics
University of Amsterdam, 1999
In: *Proceedings of the AI-ED 99 Workshop on Ontologies for Educational Systems*, Le Mans, France, IOS Press, 1999
<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/aied99/a-papers/J-Breuker.pdf>

Brin & Page 2003

The Anatomy of a Large-scale Hypertextual Web Search Engine.
Sergey Brin, Lawrence Page
Computer Science Department,
Stanford University, Stanford, CA 94305, USA
<http://www.rankforsales.com/news/036-seo-apr-17-03.html> und
<http://www-db.stanford.edu/~backrub/google.html>, 2003.

Bröhl & Dröschel 1995

Das V-Modell: Der Standard für die Softwareentwicklung mit Leitfaden.
Hrsg.: A.-P. Bröhl, W. Dröschel
2. Auflage, Oldenbourg-Verlag GmbH, München, Wien, Oldenbourg, 1995
ISBN: 3-486-23470-6

Busse 2002

Modellkorrespondenzen für die kontinuierliche Entwicklung mediatorbasierter Informationssysteme.
S. Busse
Dissertation, Technische Universität Berlin, Fachbereich Informatik, 2002
Logos-Verlag, Berlin.

Cassell et al. 2000

Embodied Conversational Agents.
Eds.: J. Cassell, J. Sullivan, S. Prevost, E. Churchill
The MIT Press, Cambridge (MA), London (UK), 2000
ISBN 0-262-03278-3

Damm 2003

Eine IS-Plattform zur Unterstützung kooperativer interorganisationaler Netzwerke.

Daniela Damm

Dissertation der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich, 2003

http://www.ifi.unizh.ch/ifiadmin/staff/rofrei/Dissertationen/Jahr_2003/thesis_damm.pdf

Davenport und Prusak 1998

Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know.

Thomas H. Davenport; Laurence Prusak

Harvard Business School Press, 1998

ISBN 3-925-14718-7

Davies et al. 2003

Towards the Semantic Web: Ontology-Driven Knowledge Management.

Eds.: J. Davies, D. Fensel, F. van Harmelen

J. Wiley & Sons Ltd. , Chichester, UK, 2003

ISBN 0-470-84867-7

Dech 1997

Anwendung der Satellitenfernerkundung,

von der geowissenschaftlichen Forschung zum operationellen Einsatz.

S. Dech,

Forschungsbericht 97-52, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,

Oberpfaffenhofen, pp. 51-62, 1997.

Ding 2001

Ontology: The enabler for the Semantic Web.

Ying Ding

Division of Mathematics and Computer Science

Free University, Amsterdam

Journal of Information Science, 27(6), 2001.

Draba 2002

Anwendungen von Ontologien.

Karsten Draba

www.dbis.informatik.hu-berlin.de/lehre/WS0203/SemWeb/artikel/11/

Draba_Anwendung-von-Ontologien-Text2.pdf

2002.

ECCET 2003

Programmpaket zur Verarbeitung und Visualisierung von Tomographiedaten.

Institut für Informatik, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

<http://www.cs.uni-duesseldorf.de/~eccet/index.html>

Eule et al. 2004

F&T Vorhaben ISVA2Grid, Grid2ISVA.

R.-P. Eule, D. Pallmer, D. Mühlenberg

Abschlussbericht zu den Forschungsvorhaben E/E810/4C022/X5166 &

E/E810/4C024/3F073 im Auftrag des Bundesamts für Wehrtechnik und Beschaffung,

Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB, Karlsruhe,

IITB-Bericht-Nr. 10633, Dezember 2004.

Fensel et al. 1999

Ontobroker: Semantic-Based Access to Information Sources at the WWW.
Fensel, D., Angele, J., Decker, S., Erdmann, M., Schnurr, H., Staab, S., Studer, R. & Witt, A.
In: Proceedings of the World Conference on the WWW and Internet (WebNet 99), Honolulu, Hawaii, USA, October 25-30, 1999.

FIPA 2002

FIPA Agent Management Specification.
www.fipa.org/specs/fipa00023
3.12 .2002.

Fischer 2004

Nutzungsmöglichkeiten und Bewertung von Web Services und Agenten.
Kai Fischer
Diplomarbeit, Fachhochschule Schmalkalden, Fachbereich Informatik,
angefertigt im Fraunhofer Institut IITB,
Karlsruhe, November 2004.

Flake et al. 2003

Self-Organisation and Identification of Web-Communities.
Gary Flake; Steve Lawrence; C. Lee Giles; Frans M. Coetzee
IEEE Computer, März 2002, S. 66.

Fowler 1997

Analysis Pattern. Reusable Object Models.
M. Fowler
Addison-Wesley Verlag, 1997.

Fowler & Scott 2000

UML konzentriert: Eine strukturierte Einführung in die Standard-
Objektmodellierungssprache.
M. Fowler, K. Scott
Addison-Wesley Verlag, 2000
ISBN 3-8273-1617-0

Gadamer 1975

Wahrheit und Methode: Grundzüge einer philosophischen Hermeneutik.
Hans-Georg Gadamer
Tübingen, Mohr, 1975, 4. Auflage, S. 450.

Geisler et al. 2000

RecceMan - interactive interface for target recognition support and training.
Geisler, Jürgen; Pallmer, Dirk; Littfass, Michael; Kerker, Robert; Schönbein, Rainer;
Schumacher, Wilfried:
In: Veridian ERIM International, Ann Arbor, Mich. / Infrared Information Analysis
Center: Proceedings of the fourth joint international military sensing symposium
(MSS), [held at The Ecole Polytechnique, Palaiseau, France, 19-22 September 2000],
Vol. 45, No. 1. Ann Arbor, Mich. : Veridian ERIM International, 2000, S. 347-360.

Geisler et al. 1997

Interaktive Bildauswertung und Lagedarstellung.

J. Geisler, W. Schumacher, E.-J. Blum, R. Eck, R. Haller, M. Littfaß, M. Müller, D. Pallmer, R. Schönbein; IITB-Bericht Nr. 10449 vom 15.07.97; Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben T/R 340/P0049/P1312, 1997.

Geisler & Eck 2000

COBALT - ein Experimentalfeld für neue Interaktionskonzepte in der Bildauswertung.

Geisler, Jürgen; Eck, Ralf

In: Gärtner, K.-P. (Hrsg.); Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR), Bonn u.a.: Multimodale Interaktion im Bereich der Fahrzeug- und Prozessführung : 42. Fachauschußsitzung Anthropotechnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt am 24. und 25. Oktober 2000 in München, Bonn, 2000, S. 223-233 (DGLR-Bericht 2000-02).

Gomez-Perez & Benjamins 1999

Overview of knowledge sharing and reuse components: Ontologies and problem-solving methods.

Gomez-Perez, A. & Benjamins, V.R.

In: Proceedings of IJCAI-99

Workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods: Lessons Learned and Future Trends, in conjunction with the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, August 1999, Stockholm, Sweden.

Gomez-Perez et al. 2004

Ontological Engineering.

A. Gomez-Perez, M. Fernandez-Lopez, O. Corcho

Springer-Verlag, London Berlin Heidelberg, 2004

ISBN 1-85233-551-3

Gong 1998

Intelligent Image Databases: Towards Advanced Image Retrieval.

Yihong Gong

Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, 421, 1998

ISBN 0-79238-015-0

Greve & Kramer 1999

Interoperable Katalogdienste in öffentlichen Umweltinformationssystemen.

K. Greve, R. Kramer

13. Internationales Symposium "Informatik für den Umweltschutz" der Gesellschaft für Informatik (GI), Magdeburg 1999,

Hrsg.: Claus Rautenstrauch & Michael Schenk, Metropolisverlag Verlag, Marburg.

Gruber 1993

A translation approach to portable ontology specifications.

Gruber, T. R.

Knowledge Acquisition; 5: S. 199-220; 1993.

Gruber 1994

Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing.

Gruber, T. R.

International Journal of Human-Computer Studies, 43, pp. 907-928, 1994.

Gruninger & Fox 1995

The logic of enterprise modelling.
Gruninger, M. & Fox, M.S.
In: Brown, J. & O'Sullivan, D. (Eds.). Reengineering the Enterprise.
Chapman and Hall, 1995, pp. 83-98.

Guarino 1997

Understanding, Building and Using Ontologies: A Commentary to
"Using Explicit Ontologies in KBS Development".
by van Heijst, Schreiber, and Wielinga.
Guarino, N.
International Journal of Human and Computer Studies, 46(2/3), pp. 293-310; 1997.

Guarino et al 1997

OntoSeek: Content-based access to the Web.
Guarino, N., Masolo, C., & Vetere, G.
IEEE Intelligent Systems, May/June, 1997, pp. 70-80.

Halcon 1998

Handbuch des Bildverarbeitungspakets HALCON, Version 5.1,
Firma MVTec Software GmbH, April 1998.

Holstein et al. 2000

Web-basierte Bildverteilung im Krankenhaus – Das JAVA-Projekt JIVE.
J. Holstein, K. Kleber, A. Schröter, P. Kriener, T. Geisbe, D.H.W. Grönemeyer
In: Bildverarbeitung für die Medizin 2000 – Algorithmen, Systeme, Anwendungen
A. Horsch, T. Lehmann (Hrsg.)
Proceedings des Workshops vom 12.-14. März 2000 in München
Springer-Verlag Heidelberg, New York, Barcelona (Informatik aktuell), S. 192-197.
ISBN 3-540-67123-4

Hura et al. 2000

Interoperability – A Continuing Challenge in Coalition Air Operations.
M. Hura, G. McLeod, E. Larson, J. Schneider, D. Gonzales, D. Norton, J. Jacobs, K.
O'Connell, W. Little, R. Mesic, L. Jamison
RAND, Santa Monica, CA, 2000
ISBN 0-8330-2912-6

Jakkilinki et al. 2004

Developing an Ontology for Teaching Multimedia Design and Planning.
Roopa Jakkilinki, Nalin Sharda, Mladen Georgievski
School of Computer Science and Mathematics
Victoria University
<http://sci.vu.edu.au/~nalin/MUDPYOntologyPreprintV2.pdf>

Jennings 2000

On Agent-Based Software Engineering.
Jennings, N. R.
Artificial Intelligence 117, pp. 277–296, 2000.

Kazakos & Urbanowicz 2001

Ontologie- und Metadatenwerkzeuge im Vergleich.
Seminar Informationsintegration und Semantic Web
Wassili Kazakos; Adrianna Urbanowicz
FZI Forschungszentrum Informatik an der Universität Karlsruhe, 20.12.2001.

KIBASX-Benutzungshandbuch 1995

Konfigurierbares interaktives Bildauswertungssystem basierend auf X Window.
Rainer Schönbein; Dirk Pallmer
Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung, Karlsruhe
Version 3.0 vom 03.07.1995.

Kim 2002

Predicting How Ontologies for the Semantic Web Will Evolve.
Henry Kim.
Communications of the ACM Vol 45, No. 2 (February 2002), Pages 48-54.

Kleinrock 2001

Breaking Loos.
Leonard Kleinrock
Communications of the ACM, 9/2001, Vol 44, No. 9, pp 41-45.

Klien et al. 2002

An Architecture for Ontology-Based Discovery and Retrieval of Geographic Information.
Eva Klien, Udo Einspanier, Michael Lutz, Sebastian Hübner
ifgi.uni-muenster.de/~lutzm/agile04_klien_et_al.pdf

Kogut & Heflin 2003

Semantic Web Technologies for Aerospace.
IEEE Aerospace Conference, March 2003, Big Sky, MT, USA.

Koukal 2001

Landschaftserfassung mit Luftbildern und Satellitenbildern.
Tatjana Koukal
Tagung für die Jägerschaft, Februar 2001
Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irnding, Österreich
<http://www.bal.bmlf.gv.at/publikationen/jaeger2001/koukal.pdf>

Lindberg et al. 1993

The Unified Medical Language System.
Lindberg, D., Humphreys, B. and McCray, A.
In: van Bommel, J. (Ed.), Yearbook of Medical Informatics,
International Medical Informatics Association, Amsterdam, pages 41-53, 1993.

Mädche et al. 2003

SEmantic PortAL - The SEAL approach.
Alexander Maedche, Steffen Staab, Nenad Stojanovic, Rudi Studer, York Sure
In: Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential
[outcome of a Dagstuhl seminar]. MIT Press 2003, ISBN 0-262-06232-1, pp. 317-359.

Mädche & Staab 2001

Seminar über Wissensdatenbanksysteme.
Alexander Mädche, Steffen Staab
Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren - AIFB &
Forschungszentrum Informatik - FZI an der Universität Karlsruhe, 2001.

Mallah & Shaikh 2004

Vulnerability Assessment Through Mobile Agents.
Mallah, Ghulam Ali; Shaikh, Zubair A.
Proceedings of the IEEE International Multi-topic conference E-Tech 2004,
NED University, Karachi, Pakistan, 31.7.2004, pp. 92-96.
ISBN 0-7803-8655-8

Masolo et al. 2002

The WonderWeb Library of Foundational Ontologies.
C. Masolo, A. Gangemi, N. Guarino, A. Oltramari, L. Schneider
IST Project 2001 – 33052 WonderWeb
Preliminary Report, 30-06-2002.

May et al. 2000

CORBA-basierte verteilte Berechnung medizinischer Bilddaten mit SPM.
M. May, F. Munz, T. Ludwig
In: Bildverarbeitung für die Medizin 2000 – Algorithmen, Systeme, Anwendungen
A. Horsch, T. Lehmann (Hrsg.)
Proceedings des Workshops vom 12.-14. März 2000 in München
Springer-Verlag Heidelberg, New York, Barcelona (Informatik aktuell), S. 213-217.
ISBN 3-540-67123-4

Meier 2003

Entwicklung einer Ontologie für die Bildinterpretation zur Unterstützung der medizini-
schen Diagnose.
A. Meier
Diplomarbeit, Fachhochschule Lausitz, Senftenberg, angefertigt im Fraunhofer Institut
IITB, Karlsruhe, Mai 2003.

Miller 1995

WORDNET: A lexical database for English.
Miller, G.A.
Communications of ACM (11), 1995, pp. 39-41.

Missikoff et al. 2002

The Usable Ontology: An Environment for Building and Assessing a Domain Ontol-
ogy.
Michele Missikoff, Roberto Navigli, Paola Velardi
Proceedings der International Semantic Web Conference, Sardinia, Italien, ISWC
2002, S. 39-53.

Monmonier 2002

Spying with maps: surveillance technologies and the future of privacy.
M. Monmonier
University of Chicago Press Ltd. London, Chicago 60637, 2002
ISBN: 0-226-53427-8

Müller et al. 2001

Mitarbeit an der Konzeption eines Aufklärungssystems zur großflächigen, weiträumigen, operativen Aufklärung.
W. Müller; E.-J. Blum; J. Kerstner
Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben E/F31B/Z0078/Z5130
Berichtnr. 10546,
Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung, Karlsruhe, 2001.

Mutschler 1980

Beobachterleistung bei ferngelenkten Flugkörpern (RPV).
Zusammenfassende Darstellung für die Anwendung.
Hartmut Mutschler
Bericht zum Forschungsvorhaben T/RF36/71530/71334, Untersuchung der Leistungsfähigkeit eines Fernsehbeobachters bei Echtzeitaufklärung, Berichtnr. A104204,
Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung, Karlsruhe, 1980.

NATO 2002

NATO Standard Image Library Interface – NSILI.
STANAG 4559 (Standardisation Agreement)
http://www.nato.int/structur/AC/224/ag4/4559/ag4_stanag4559_erreta1.pdf

NC3S 2000

NATO C3 System (NC3S) Architecture Framework.
December 2000
<http://www.nc3a.nato.int/>

NC3TA 2003

NATO C3 Technical Architecture.
A new "OPEN SYSTEMS" approach for NATO, Version 5.0, 2003
<http://nc3ta.nc3a.nato.int/>

NID 2003

NATO Interoperability Directive (NID).
Document: AC322-SC/2-WG/4 WP(2003)0015-REV2
Erreichbar über <http://www.nc3a.nato.int/>

Nikolai et al. 1999

WWWUDK 4: Die neue Generation eines Web-Portals zu deutschen und österreichischen Umweltdaten.
Nikolai, R., Kazakos, W., Kramer, R., Behrens, S., Swoboda, W., Kruse, F.
13. Internationales Symposium "Informatik für den Umweltschutz"
der Gesellschaft für Informatik (GI), Magdeburg 1999,
Hrsg.: Claus Rautenstrauch & Michael Schenk
Metropolisverlag Verlag, Marburg.

Nolan 2003

An Agent based Architecture for Collaborative Imagery and Geospatial Computing Systems.
James Nolan
Dissertation, George Mason University, Fairfax Virginia, USA, 2003.

Nolan et al. 2001

Developing an Ontology and ACL in an Agent-based GIS.

Nolan, James J., Simon, Robert, Sood, Arun K.

In: Proceedings of the Workshop on Ontologies in Agent Systems
pp. 99-101. May 29, 2001, Montreal, QC, Canada.

Noy & McGuinness 2002

Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology.

Natalya F. Noy and Deborah L. McGuinness.

Stanford University, Stanford, CA, 94305

http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101-noy-mcguinness.html

Nwana 1996

Software Agents: An Overview.

Nwana, H. S.

Knowledge Engineering Review, Vol. 11, No 3, pp. 1-40

Cambridge University Press, 1996.

Odell 1999

Objects and Agents: Is there room for both?

Odell, J.

Distributed Computing, pp. 44–45 (November 1999).

OMG 91

The Common Object Request Broker: Architecture and Specification.

OMG Document Number 91.12.1; Dezember 1991.

OMG 98

CORBA Services: Common Object Services Specification.

Updated: December 1998. Kapitel 16: Trading Object Service Specification.

Oswald et al. 1999

Kooperative Bildverarbeitung und Lokalisierung in einem Team von Robotern.

Oswald, Norbert; Lafrenz, Reinhard; Levi, Paul

University of Stuttgart, Faculty of Computer Science, Technical Report No. 1999/14.

Partmann 2004

GIS- und Datenbankentwicklung in SaLVe.

Thomas Partmann

Vortrag im Seminar der Abteilung Interaktions- und Assistenzsysteme, 2004

Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB, Karlsruhe.

Peinsipp-Byma et al. 2000

Satelliten- und Luftbilddauswertung für Verifikationsaufgaben.

E. Peinsipp-Byma, A. Berger, B. Büchenschütz, S. Fries, E. Korres, T. Partmann,

W. Roller, G. Saur, M. Pahl, S. Growe, U. Thönnessen, H. Schütte, R. Fiedler,

H- Maier-Herburger, J. Geppert, M. Kling, K. Hoffmann

Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben T/F41B/V0125/P0304 (SaLVe Phase III)

im Auftrag des Bundesamts für Wehrtechnik und Beschaffung

Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB, Karlsruhe, IITB-

Bericht-Nr. 10519, 2000.

Peinsipp-Byma et al. 2004

Multimodale Auswertung von multisensoriellen Satellitenbildern.
E. Peinsipp-Byma, W. Roller, A. Berger, L. Berger, T. Partmann, U. Oberheide
Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben E/F31E/2A493/X5221 (SaLVe Phase V)
im Auftrag des Bundesamts für Wehrtechnik und Beschaffung
Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB, Karlsruhe, IITB-
Bericht-Nr. 10618, 2004.

Piaget 1981

Jean Piaget über Jean Piaget: sein Werk aus seiner Sicht.
Jean Piaget
Hrsg.: R. Fatke, Kindler-Verlag, München, 1981.

Pisanelli et al. 1997

WWW-available Conceptual Integration of Medical Terminologies: The ONIONS
Experience.
Domenico M. Pisanelli, Aldo Gangemi, Geri Steve
In: Proceedings of AMIA 97 (American Medical Informatics Association) Conference,
Philadelphia, Hanley&Belfus, 1997.

Ramses 2001

RAMSES - Regional earth observation Application for Mediterranean Sea Emergency
Survey.
ESPRIT-Project 28245
Final Report – RAMSES-FIN-018-1.1; 23. März 2001.

Reiner 2003

Terminologiesysteme als Grundlagen für die semantische Interoperabilität von
Heterogenen Anwendungssystemen sowie deren fachsprachlicher Zugang.
J. L. Reiner
Dissertation, Technische Universität München, 2003
ISBN 3-89838-040-8

Reinert 2004

Entwurf und Implementierung einer Ontologie zur Beschreibung von Informationen
und Diensten in einem Netzwerk zur Fernerkundung.
Frank Reinert
Diplomarbeit FH Karlsruhe, Fachbereich Informatik, angefertigt am Fraunhofer IITB,
Karlsruhe, August 2004.

RoboCup 2004

<http://www.ais.fraunhofer.de/GO/2004/>

Rost 2000

Maschinelles Lernen für die Adaption von Parametern in Bildverarbeitungssystemen.
U. Rost
Dissertation, Universität Hannover, Fachbereich Elektrotechnik und Informations-
technik
Fortschrittberichte VDI, Reihe 10, Nr. 633, 2000, ISBN 3-18-363310-8

Scholles 04

Informationssysteme & –verarbeitung 2:
Informationssysteme in der Raum und Umweltplanung, elektronisches Script.
Frank Scholles
Institut für Landesplanung und Raumforschung, Universität Hannover, 2004
<http://www.laum.uni-hannover.de/ilr/>

Schönbein 1989

Effiziente Verfahrensentwicklung für die Bildauswertung durch objekt-orientierten, adaptierbaren Dialog und videoschnelle Verarbeitung im Funktionsverbund KIBAS-VISTA.
Rainer Schönbein
11. DAGM-Symposium Mustererkennung 1989, Hamburg, 2.-4..10.1989, H. Burkhardt, K. H. Höhne, B. Neumann (Hrsg.), Informatik-Fachbericht 219, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S. 364-371, 1989.

Schönbein 2000

Interaktive Luft- und Satellitenbildauswertung.
Rainer Schönbein
Symposium: Aufklärung und Bildverarbeitung
Bundesakademie für Wehrverwaltung und Wehrtechnik, Mannheim
Mannheim, 25.09.2000 – 27.09.2000, S. 15.1 -15.10.

Schönbein 2002

ISVA – Intelligenter Sensorverbund Aufklärung.
Rainer Schönbein
Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung,
Jahresbericht 2002, S. 40-41.
www.iitb.fraunhofer.de/Publikationen

Schönbein et al. 2002

German Smart Sensor Web.
R. Schönbein, W. Müller, D. Pade, H. P. Eule
Fifth International Military and Sensing Symposium (MSS), Vol. 47 No. 1
Washington D. C., USA, 9.-12.12.2002.

Schönbein et al. 2002a

Operations- und Architekturkonzept für einen Intelligenen Sensor-Verbund Aufklärung. Abschlussbericht Smart Sensor Web 2, Teil 2, Version 1, 16.9.2002
R. Schönbein, D. Mühlenberg, Fraunhofer Institut IITB,
D. Pade, R. P. Eule, EADS Dornier.

Schönbein 2002b

Kommunikation und Kontrolle – Informations-Leitwarte für die Luft- und Satellitenbildauswertung.
Rainer Schönbein
In VISIT 2/2002, Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung,
ISSN 1616-8240

Schönbein 2003

CISSA – Kooperative Informationssysteme auf Basis von SW-Agenten.
Rainer Schönbein
In VISIT 1/2003, Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung,
ISSN 1616-8240

Schönbein 2004

IxReport - Produktblatt zur rechnergestützten Meldungserstellung.
Rainer Schönbein
Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung, 2004.

Schönbein 2004a

OSHelp - Produktblatt zu elektronischen Steckbriefen.
Rainer Schönbein
Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung, 2004.

Schönbein et al. 2004a

Progress in German Smart Sensor Web – Concept Development and Experimentation.
R. Schönbein, D. Mühlenberg, D. Pallmer, D. Pade, H. P. Eule
Sixth Joint International Military and Sensing Symposium (MSS),
Dresden, 18.-21.10.2004.

Schönbein et al. 2004b

Software Agents for Semantic Interoperability in German Smart Sensor Web.
R. Schönbein, D. Mühlenberg, W. Müller, D. Pallmer
Workshop “Military Applications of Agent Technology in ICT and Robotics”,
Den Haag, November 23 and 24, 2004.

Schönbein et al. 2005

Operations- und Architekturkonzept für einen Intelligenen Sensor-Verbund Aufklärung. Abschlussbericht Smart Sensor Web 3, Januar 2005, in Vorbereitung
R. Schönbein, D. Mühlenberg, E. J. Blum, Fraunhofer Institut IITB
D. Pade, R. P. Eule, EADS Dornier.

Schreiber et al. 2000

Knowledge Engineering and Management (CommonKADS).
Guus Schreiber, Robert de Hoog, Hans Akkermans, Anjo Anjewierden, Nigel Shadbolt,
Walter Van de Velde
The MIT Press 2000.

Schröder 2003

Web der Zukunft – RDF – Der erste Schritt zum Semantischen Web.
Andrea Schröder
XML und Web Services Magazin 1.03, S. 40-43, Januar 2003
Software und Support Verlag GmbH, Frankfurt.

Schröder et al. 2003

Harte Fakten – Engineering-Daten im Web.
Andrea Schröder, Michael Schwan, David Leal
XML und Web Services Magazin 1.03, S. 47-51, Januar 2003
Software und Support Verlag GmbH, Frankfurt.

Schweiger et al. 2002

XML + uri = LuMriX - Eine Suchmaschine auf Basis von XML und Topic Maps.
Ralf Schweiger; Dirk Rudolf; Jörg Rieger; Anette Köpcke
XML und Web Services Magazin 3.02, Ausgabe 3 / 2002, S. 47-50.

Sester 2002

Echtzeitgeneralisierung räumlicher Daten für mobile GIS.
Monika Sester
Institut für Kartographie und Geoinformatik, Universität Hannover,
http://www.ikg.uni-hannover.de/publikationen/2002/koenigslutter_sester_2002.pdf

Shoham 1993

Agent-oriented Programming.
Shoham, Yoav
Artificial Intelligence, 60(1), pp. 51-92, 1993.

Shoham 1997

An Overview of Agent-Oriented Programming.
Shoham, Yoav
In: Bradshaw, J. M. (ed.): Software Agents. AAAI Press 1997, pp. 271–290.

Sowa 1999

Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundation.
John F. Sowa
Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA, 2000. Actual publication date,
16.08.1999.

Staab 2002

Wissensmanagement mit Ontologien und Metadaten.
Staab, Steffen
Habilitationsschrift, Universität Karlsruhe,
Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren - AIFB,
http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/Publikationen/showPublikation?publ_id=10
Mai 2002.

Stal 1997

World Wide CORBA – verteilte Objekte im Netz.
M. Stal
In: Objektspektrum 6/97, S. 22-34, 1997.

Stollberg 2002

Ontologiebasierte Wissensmodellierung.
Michael Stollberg
Magisterarbeit, Institut für Publizistik & Kommunikationswissenschaft,
Freie Universität Berlin, 2002.

Straub 2004

Perspektiven der Medizininformatik.
Hansrudolf Straub
http://www.sgmi-ssim.ch/bulletin/B37_Straub.htm

Stuckenschmidt & Ranze 1999

Intelligenter Zugang zu Umweltinformationen durch ontologiebasiertes Information Retrieval.

Stuckenschmidt, H.; Ranze, K.C.

2. GI-Workshop Hypermedia im Umweltschutz, Metropolis-Verlag Marburg, 1999.

Studer 2002

Informations- und Wissensmanagement für Informationswirte.

R. Studer

Vorlesungsskript, Universität Karlsruhe,

Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren – AIFB,

2002.

Suck 2003

Suchmaschinen.

M. Suck

CHIP – Computer und Communications, Februar 2003, S. 222-227.

Sure 2003

Methodology, Tools and Case Studies for Ontology based Knowledge Management.

Y. Sure

Dissertation, Universität Karlsruhe, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Mai 2003.

Swartout et al. 1997

Towards Distributed Use of Large Scale Ontologies.

Swartout, B., Patil, R., Knight, K. & Russ, T.

Symposium on Ontological Engineering of AAAI. Stanford, California, 1997.

Tochtermann & Maurer 2000

Umweltinformatik und Wissensmanagement - Ein Überblick.

Klaus Tochtermann und Hermann Maurer

Tagungsband des 14. Internationalen GI-Symposiums Informatik für den Umweltschutz, Bonn, Metropolis Verlag, S. 462-475.

Tolk & Muguira 2003

The Levels of Conceptual Interoperability Model.

A. Tolk; J. A. Muguira

Fall Simulation Interoperability Workshop 2003, Paper 03F-SIW-007,

Orlando, Florida, September 2003.

Torrellas 2004

A Network Security Architectural Approach for Systems Integrity using Multi Agent Systems Engineering.

Torrellas, Gustavo A. Santana

Proceedings of the 7th International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks (ISPAN '04), 10.-12.05.2004, Hong Kong, pp. 600-606.

<http://csdl.computer.org/comp/proceedings/ispan/2004/2135/00/2135toc.htm>

Uschold & Gruninger 1996

Ontologies: principles, methods, and applications.

Uschold, Mike & Gruninger, Michael

Knowledge Engineering Review, 11(2), 93-155, 1996.

Uschold und King 1995

Towards a Methodology for Building Ontologies.

Mike Uschold & Martin King

Presented at Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing,
held in conjunction with IJCAI-95 in Montreal, 1995.

Uschold 1996

Building ontologies: Towards a unified methodology.

Uschold, M.

In: Proc. of Expert Systems'96, the 16th Annual Conference of the British Computer,
Society Specialist Group on Expert Systems, 16-18 December 1996, Cambridge, UK.

Usländer 2000

Effizienz durch ganzheitliche Bearbeitung – Vernetzte Informationssysteme zur Be-
antwortung komplexer Umweltfragen.

Thomas Usländer

In: VISIT 1/2000, Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung,
ISSN 1616-8240

Van Heijst 1995

The Role of Ontologies in Knowledge Engineering.

G. van Heijst

Dissertation, Universität Amsterdam, Niederlande, Mai 1995

ISBN 90-5470-032-7.

Visser & Stuckenschmidt 1999

Intelligent, Location-dependent Acquisition and Retrieval of Environmental Informa-
tion.

Visser, U., Stuckenschmidt, H.

Proceedings of the 21st Urban Data Management Symposium (UDMS '99), Italy.

Visser & Stuckenschmidt 2002

Interoperability in GIS - Enabling Technologies.

U. Visser & H. Stuckenschmidt

In: Ruiz, M., M. Gould & J. Ramon (eds.):

5th AGILE Conference on Geographic Information Science, 2002, pp. 291-297.

Visser 2004

Intelligent Information Integration for the semantic Web.

Ubbo Visser

Lecture Notes in Artificial Intelligence

Eds.: J.G. Carbonell, J. Siekmann

Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2004-10-14

ISBN 3-540-22993-0

Volz 2001

Einführung in Ontologien.

Raphael Volz

Beitrag zum Workshop "Begriffliche Formalisierung von Prozessen und Systemen"

Technische Universität Dresden, 2.11.2001

http://www.math.tu-dresden.de/%7Erudolph/Dresden_Workshop.pdf

Walther 2002

Analyse von Programmsystemen zur Luft- und Satellitenbildauswertung.
Jan Walther
Diplomarbeit , Westsächsische Hochschule Zwickau (FH),
Fachbereich Physikalische Technik/Informatik,
angefertigt im Fraunhofer Institut IITB, Karlsruhe, 2002.

Woolridge & Jennings 1995

Intelligent agents: Theory and practice.
Woolridge, M., and Jennings, N.
Knowledge Engineering Review 10(2), 995, pp.115-152.

World and Press 2004

World and Press No. 1296, Jan. 2004
Eilers & Schünemann Verlag, Bremen.

XML & Web Services 2002

Web Services und SW-Agenten.
In: XML & Web Services Magazin 3.02, April 2002
Software & Support Verlag GmbH, Frankfurt
www.xmlmagazin.de

A.2 Abbildungen und Tabellen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: CT-Aufnahme des Abdomen (1 – Leber, 2 - linke und rechte Niere, 3 – Milz, 4 – Bauchspeicheldrüse, 5 – Magen) (http://www.anatomie1.med.uni-erlangen.de).....	7
Abbildung 2-2: Beispiel zur interaktiven Bildauswertung aus dem Bereich „Militärische Aufklärung und Überwachung“ (<i>Quelle: FAS.ORG</i>).	8
Abbildung 2-3: Interaktive Bildauswertung – Externe Schnittstellen (1).....	9
Abbildung 2-4: Arbeitsabläufe bei der interaktiven Bildauswertung. Externe Schnittstellen (2).	9
Abbildung 2-5: Bildauswertung als Bestandteil des Geschäftsprozesses „Informationsmanagement“. (Foto zur 3D-Bildauswertung aus COBALT (<i>Geisler & Eck 2002</i>), Tafelbild aus Beschreibung von Heyewall (www.heyewall.de)).	10
Abbildung 2-6: Architektur-Sichten und ihr Zusammenhang aus <i>NC3S 2000</i>	19
Abbildung 2-7: Modell einer 5-Schichten Architektur für ein physikalisch verteiltes Archiv basierend auf CORBA (Common Object Request Broker Architecture) (<i>Müller et al. 2001, Fowler 1997</i>).	20
Abbildung 2-8: ERDAS Imagine Benutzungsoberfläche (http://www.geosystems.de/).	21
Abbildung 2-9: Architektur von Auswertestationen zur Luft- und Satellitenbildauswertung basierend auf einer standardisierten offenen Kommunikationsarchitektur (CORBA) (<i>Schönbein 2000</i>).	21
Abbildung 2-10: ISIS (Interactive Satellite Image Server) components in RAMSES (Regional earth observation Application for Mediterranean Sea Emergency Survey) (aus <i>Ramses 2001</i>).	22
Abbildung 2-11: Trennung von Objektbeschreibungen und Objektbeziehungen.	24
Abbildung 2-12: Ergebnis einer Anfrage an die Bilddatenbank „SaLve-BDB“. Einblendung der in einer Region verfügbaren Sensordaten in eine thematische Kartendarstellung (<i>Partmann 2004</i>).	26
Abbildung 2-13: Elektronischer Steckbrief zum Flugzeug MiG-29. Zugriffsmöglichkeiten auf bildliche Darstellungen, textuelle Beschreibungen, Maßangaben, 3D-Modelle sowie Verweise auf übergeordnete, parallele und untergeordnete Flugzeugtypen (<i>Schönbein 2004a</i>).	27
Abbildung 2-14: Rechnergestützte Berichtserstellung bei der Luftbildauswertung - Ausschnitte der Benutzungsoberfläche zur Auswertung von Brücken mittels "IxReport" (<i>Schönbein 2004</i>).	30
Abbildung 2-15: Infrastruktur einer Agentenplattform (nach <i>FIPA 2002</i>).....	33
Abbildung 2-16: Prinzipieller Aufbau eines kooperativen Informationssystems mit SW-Agenten und Diensten.	35
Abbildung 2-17: Prototyp einer DAML-S Architektur aus Kogut & Heflin 2003. Agenten zur Bildbeschaffung („Imagery“ & „SAR“) lassen sich beim Vermittlungsdienst („Matchmaker“) als Dienste registrieren. Der Bildagent benötigt als Eingabe die gewünschten Koordinaten und die Auflösung des Bildes, der SAR Agent zusätzlich noch das geforderte Frequenzband. Das Semantic Operational Net Assessment Tool generiert die Anforderung bzgl. der benötigten Bilder und übermittelt diese an den ISR-Agenten („Intelligence, Surveillance and Reconnaissance“). Der ISR-Agent fordert geeignete Dienstbeschreibungen vom Matchmaker an. Dieser reicht die notwendigen Daten zur Aktivierung der geeigneten Dienste an den ISR-Agenten zurück, der daraufhin die entsprechenden Agenten aktivieren kann. Eine semantische Modellierung der in den Bildern abgebildeten Objekte wird nicht berücksichtigt.	36
Abbildung 4-1: Zusammenspiel der Software-Agenten.....	44
Abbildung 4-2: Entwurf der Benutzungsoberfläche eines Interface-Agenten (aus <i>Böttcher 2002</i>).	46
Abbildung 4-3: Struktur einer Objektdatenbank mit Beschreibungen & beziehungsspezifischen Sichten.	49
Abbildung 4-4: Beispiel eines Dienst-Makros mit einem Kollaborationsplan (aus <i>Reinert 2004</i>).....	54
Abbildung 4-5: Konstruktionsregeln für ein "Dienst-Makro" (aus <i>Reinert 2004</i>).....	54
Abbildung 4-6: Modellierung des Historienkonzeptes am Beispiel „Bild“ (aus <i>Reinert 2004</i>).	55
Abbildung 5-1: Ontologie: Unterschiede in Sprache und Kultur (<i>World and Press 2004</i>).	65
Abbildung 5-2: Klassifizierung von Ontologien nach <i>Breuker et al.1999</i> (aus <i>Meier 2003</i>).	71
Abbildung 5-3: Klassifizierung von Ontologien nach <i>Draba 2002</i>	72
Abbildung 5-4: Internet basierter Zugriff auf Ontologien über die Universität Stanford.	77
Abbildung 5-5: Ontologie-Entwicklung im Modell nach <i>Staab 2002</i>	80
Abbildung 5-6: Gesamtprozess der Ontologie-Entwicklung nach <i>Damm 2003</i>	81
Abbildung 5-7: Verfeinerung des Ontologie-Entwicklungsprozesses unter Berücksichtigung benutzerspezifischer Sichten.	82
Abbildung 5-8: Bausteine des Semantic Web (<i>Berners-Lee 2002</i>).	84
Abbildung 5-9: Bildschirmabzug einer Protégé-2000-Nutzung zum Aufbau einer Ontologie in der Medizin.	87
Abbildung 5-10: Bildschirmabzug – OntoEdit.	88
Abbildung 5-11: Prinzipieller Aufbau der Projekt-Ontologie.	91

Abbildung 5-12: Zuordnung von Konzepten zu verschiedenen Schichten der Ontologie. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit ist nur eine Auswahl der Konzepte dargestellt.	92
Abbildung 5-13: Projekt-zentrierter Aufbau der Ontologien. Die verschiedenen Ontologien werden ineinander geschachtelt, d.h. eine Ontologie beinhaltet eine Ontologie mit höherem Abstraktionsniveau.....	93
Abbildung 5-14: UML-Darstellung der Beziehungen zwischen den Konzepten „Dienst“, „Domäne“ und „Person“ im Überblick. Die Farbcodierung der Konzepte in dieser und den folgenden Abbildungen verdeutlicht die jeweilige Ontologie-Zugehörigkeit (Abb. B-1 im Anhang bietet eine vergrößerte Darstellung).....	94
Abbildung 5-15: Konzepte in der Basis-Ontologie – Überblick über die wichtigsten Konzepte und die Anbindung an Kern- und Domänen-Ontologie (Abb. B-3 im Anhang bietet eine vergrößerte Darstellung).....	99
Abbildung 5-16: UML-Darstellung zu den Konzepten „Person“ und „Organisation“ aus der Basis-Ontologie sowie deren Anbindung an die Kern-Ontologie (Abb. B-4 im Anhang bietet eine vergrößerte Darstellung).....	101
Abbildung 5-17: Das Konzept "GeometrischesObjekt".....	102
Abbildung 5-18: Das „Orts-Konzept“ in UML-Darstellung.	103
Abbildung 5-19: Das Konzept „Kommunikationsmöglichkeit“.....	104
Abbildung 5-20: Das Konzept "Kalender".....	106
Abbildung 5-21: Das Konzept "Status" und die Nutzung in Kern- und Domänen-Ontologie.....	107
Abbildung 5-22: UML-Darstellung des Konzeptes „Dienst" (Abb. B-2 im Anhang bietet eine vergrößerte Darstellung).....	108
Abbildung 5-23: Das Konzept „Kostenmodell“ mit seinen Slots in UML.....	110
Abbildung 5-24: Das Konzept "Information" (Abb. B-5 im Anhang bietet eine vergrößerte Darstellung)... ..	111
Abbildung 5-25: Untergliederung der Domänen-Ontologie zur Fernerkundung. Die Darstellung illustriert die Aufteilung der Konzepte und ist keineswegs vollständig. Die Beziehungen zur Kern-Ontologie der Konzepte sind nicht dargestellt (siehe auch <i>Reinert 2004</i>).	112
Abbildung 5-26: ARO („TransallC-160NG“) in der Domänen-Ontologie - Ausschnitt.	114
Abbildung 5-27: AROs mit unterschiedlichen Beziehungen. Beispiel zur Zuordnung von Konzepten zu den verschiedenen Sichten und damit zur Nutzung unterschiedlicher Taxonomien.....	115
Abbildung 5-28: Unterschiede bei den Attributwerten.	117
Abbildung 6-1: Auszug aus einem Szenario für den Ontologie-Demonstrator (<i>Reinert 2004</i>). Rote (sensitive) Vierecke markieren Bereiche zu denen Informationen vorliegen.....	120
Abbildung 6-2: Auszug aus einem Test-Szenario mit vorliegenden Karten, Bildern und Flugwegen.....	120
Abbildung 6-3: Auszug aus einem Test-Szenario mit Karte, Bildern und Hinweisen auf Berichte.	121
Abbildung 6-4: Use-Case für den System-Demonstrator.	122
Abbildung 6-5: Aufbau eines Netzwerkes zur kooperativen Bildauswertung. Experimente können im LAN oder WAN durchgeführt werden. Die Sicherheit im WAN wird durch die SINA-Technologie gewährleistet (Secunet Security Networks AG).	125
Abbildung 6-6: Prinzipieller Software-Aufbau des prototypischen Bildauswertungssystems zur Fernerkundung. Kapselung der Informations- und Datenquellen sowie der Dienste. Der Zugriff auf Sensoren und Experten wird als Dienst interpretiert.....	126
Abbildung 6-7: Modellierung des Konzeptes "Experte" im Demonstrator.....	128
Abbildung 6-8: Suche nach Experten - Ausschnitt eines Sensorbildes mit relevantem Fahrzeug.....	128
Abbildung 6-9: Suche nach Experten - Wahl des Fachgebietes.....	129
Abbildung 6-10: Suche nach Experten – Vorgaben für Kompetenzen und weitere Einschränkungen.....	130
Abbildung 6-11: Gefundene Experten – Deckungsgrad und jeweilige Kompetenzen (Testdatensatz).	130
Abbildung 6-12: Screenshot einer Nutzung des Queries-Tools aus Protégé-2000.....	131
Abbildung 6-13: Test der Wissensbasis – Definitionsfragen und Informationsabfragen.	132
Abbildung 6-14: Test der Wissensbasis - Abfrage nach Bildern von "Stadt" mit abgebildetem "enthält" "Bahnhof" in angegebenem Koordinatenbereich.....	132
Abbildung 6-15: Ergebnis der Anwendung des Fahrzeugdetektionsdienstes (SAR-Bild).....	134
Abbildung 6-16: Anfrage zur interaktiven attributs-gestützten Klassifikation von abgebildeten Fahrzeugen. Ein iteratives Vorgehen dient zur Einschränkung der Kandidatenliste. Das System liefert auf Anforderung die „Objekt-Steckbriefe“.....	135
Abbildung 6-17: Durch Experten annotiertes Objekt nach Markierung durch einen automatischen Fahrzeugdetektionsdienst.	136
Abbildung 6-18: Das Zusammenspiel von Vermittlungs-, Ressource-, Service-, Interface- und Meta-Agenten.....	137
Abbildung 6-19: Benutzungsoberfläche im Demonstrator ISVA (Intelligenter Sensorverbund Aufklärung).	138

Abbildung B-1: UML-Darstellung der Beziehungen zwischen den Konzepten „Dienst“, „Domäne“ und „Person“ im Überblick (entsprechend Abb. 5-14).....	179
Abbildung B-2: UML-Darstellung des Konzeptes „Dienst“ (entsprechend Abb. 5-22).....	180
Abbildung B-3: Konzepte in der Basis-Ontologie – Überblick (entsprechend Abb. 5-15).	181
Abbildung B-4: UML-Darstellung zu den Konzepten „Person“ und „Organisation“ (entsprechend Abb. 5-16).....	182
Abbildung B-5: Das Konzept "Information" (entsprechend Abb. 5-24).	183
Abbildung B-6: Modellierung der Dienste und der prozeduralen Konzepte zur Modellierung von Dienst-Makros.....	184
Abbildung B-7: Strukturierung der Dienste zur Anwendung auf Fernerkundungsdaten.	185
Abbildung B-8: Aufgeschlüsselte UML-Darstellung der "Information".....	186
Abbildung B-9: Taxonomie des Konzeptes „Geographisches Objekt“.....	187

Die Abbildungen im Anhang B sind nur in der elektronischen Version enthalten.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufgaben und Funktionen bei der interaktiven Bildauswertung.	13
Tabelle 2: Werkzeuge zur Bilddaten-Auswertung und Berichtserstellung.....	14
Tabelle 3: Merkmale von SW-Agenten (<i>FIPA 2002</i> -FIPA-Foundation of Intelligent Physical Agents).	32
Tabelle 4: Interoperabilitätsstufen (modifiziert nach <i>NID 2003</i>).	40
Tabelle 5: Angaben zur Beschreibung eines Dienstes.	51
Tabelle 6: Kostenbegriffe.	59
Tabelle 7: Begriffe zum Zeitbedarf.....	60
Tabelle 8: Festlegungen zum Begriff "Qualität".....	61
Tabelle 9: Einstellbare Parameter im Nutzerprofil (gelten pro Dienstleistung).....	62
Tabelle 10: Beispiel - Auswahl einer Dienstleistung „Detektion von Fahrzeugen im Bild“.	63
Tabelle 11: Beispiele zu Kompetenzfragen an die Wissensbasis (Instanzfragen).....	96
Tabelle 12: Kompetenzfragen an die Ontologie (Definitions- und Strukturfragen).	97
Tabelle 13: Regeln als Bestandteile der Ontologie – Beispiele in informaler Darstellung.	117
Tabelle 14: Exemplarischer Ablauf eines Szenarios in tabellarischer Darstellung.....	124
Tabelle 15: Qualitative Bewertung des Demonstrators.	141

A.3 Begriffe

- SW-Architektur:** Der IEEE STD 610.12 beschreibt SW-Architektur als eine Repräsentation eines Systems durch seine Komponenten, die Aufgaben der Komponenten, die Struktur und Beziehungen zwischen den Komponenten und die Regeln und Bedingungen unter den die Komponenten interagieren.
- Begriff:** Ein Begriff ist eine Denkeinheit, die diejenigen gemeinsamen Merkmale zusammenfasst, welche Gegenständen zugeordnet werden. Begriffe sind nicht an spezielle Sprachen gebunden, sie sind jedoch von dem jeweiligen gesellschaftlichen und/oder kulturellen Hintergrund beeinflusst (DIN 2342, 1992).
- Concept:** A concept is a mental construct and unit of thought to structure knowledge and perception of the surrounding world (ISO 704, 1987). Das deutsche "Konzept" wird daher häufig als Synonym zu "Begriff" verwendet.
- Bildverarbeitung:** Die Aufgabe der Bildverarbeitung besteht in der Transformation des zu verarbeitenden Quellbildes in ein für den menschlichen Betrachter oder ein nachgeschaltetes Maschinenprogramm geeignetes Ergebnisbild.
- Bildauswertung:** Das Ziel der Bildauswertung besteht in der Generierung expliziter Aussagen über das dargestellte Geschehen. Grundlage der Bildauswertung ist damit in der Regel eine geschickt durchgeführte Bildverarbeitung.
- Teilautomatische Bildauswerteverfahren:**
Bildauswerteverfahren, die vom Benutzer gestartet und ggfs. parametrisiert werden. Ergebnisse werden dem Benutzer in Form von Vorschlägen präsentiert. So können automatisch detektierte Objekte markiert werden und dem Benutzer zur Bestätigung angezeigt werden. Entsprechendes gilt für automatisch generierte Klassifikationsvorschläge.
- Geographisches Informationssystem (GIS):**
Geographische Informationssysteme(GIS) sind wichtige Hilfsmittel bei der Satelliten- und Luftbildauswertung. Ein GIS besteht aus technischer Sicht aus einer Sammlung von Werkzeugen, die den Benutzer bei der Eingabe, Speicherung, Manipulation, Auswahl und Analyse raumbezogener Daten unterstützen. Dabei dient ein GIS, wie alle Informationssysteme, zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung über Daten, die hier in diesem speziellen Fall, einen zusätzlichen Ortsbezug aufweisen. In Anlehnung an ein Data Warehouse, das die Daten in einen zeitlichen Bezug setzt, erweitert das GIS die Abfrage- und Analysemöglichkeiten von Datenbanken um die zusätzliche Dimension „Raum“. Die in einem GIS bearbeiteten sach- und raumbezogenen Daten werden in einzelnen thematischen Karten zusammengefasst und ebenenweise nach Bedarf miteinander kombiniert um Zusammenhänge darzustellen.
- Dot-Net (.Net):** Microsoft-Strategie basierend auf XML
- DAML** DARPA Agent Markup Language

OIL	Ontology Inference Language
SOAP	Simple Object Access Protocol
WSIL	Web Service Inspection Language zur Beschreibung von Services
JADE	JAVA Agent Development Framework, Agentenplattform
Grasshopper	Agentenplattform, Kommunikation über Methodenaufrufe von Proxy-Objekten
LARS	Living Agent Runtime System, Agentenplattform von Living Systems Kommunikation über Messages
OWL	Web Ontology Language
XSLT	Extensible Style Sheet Language Transformation
UDDI:	Universal Description, Discovery and Integration definiert auf XML basierende Standards zur Beschreibung von Web-Services (Gelbe Seiten) – Protokoll zur Ansprache einer Registry
URI	Uniform Ressource Identifier
Interoperabilität:	stellt ein Maß für die mögliche Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Organisationen, Personen, Systemen oder Komponenten dar. Sie beschreibt deren Fähigkeiten, Informationen und Dienste anderen Organisationen, Personen, Systemen oder Komponenten zur Verfügung zu stellen und deren Angebote zu nutzen.
IRI	Internationalized Ressource Identifier
WSDL Diensten	Web Service Description Language zur Beschreibung von Web-
WSML	beschreibt die Form der Bindung zwischen WSDL-Datei und Service
URL	Uniform Ressource Location
White Pages:	enthalten Namen, Adressen und Identifizierungsmerkmale für Anbieter.
Gelbe Seiten:	Liste von Anbieter nach Branchen, Produktspektrum und Kontaktmöglichkeiten
Green Pages:	enthalten Informationen über registrierte und angebotene Web-Dienste.

A.4 Index

5-Phasen Modell.....	80	Beschreibungslogik.....	113
Abonnementdienste.....	133	Bewertung der Dienste.....	47
Abonnementgestützte Suche.....	139	Bewertung des Prototypen.....	139
<i>Abonnements</i>	64	Bildauswertung als Dienstleistung.....	43
Agenten und Dienste.....	133	Bildauswertungs-Assistenten.....	15
agentenbasierte Bildauswertung.....	43	Bildauswertungs-Ontologie.....	91
agentenbasierter Bildauswertesysteme..	146	Bildbegleitdaten.....	22
Agentenplattform.....	32, 126	Bilddaten auswerten.....	12
AIGA.....	17	Bilddaten vorsichten.....	12
Aktive Signaturen.....	25	Bilddatenbanken.....	24
Anforderungen an Ontologien.....	79	bildinhaltsbasierte Suchverfahren.....	136
Annotation.....	14	Capability-Brokering.....	53
Annotationsagent.....	134	CAR – Computer Aided Reporting.....	30
Anpassung der Benutzungsoberfläche ...	45, 139	Content Based Image Retrieval.....	27
Anwendungen von Ontologien.....	65, 72	CORBA.....	20
anwendungsspezifische Ontologie.....	140	Cyc.....	75
Arbeitsabläufe.....	7, 123	DAML+OIL.....	84
Arbeitsnachbereitung.....	13	DAML-S.....	35
Arbeitsvorbereitung.....	12	Daten- und Informationsquellen.....	126
Architektur des Prototypen.....	125	Deckungsgrad.....	129
ARO.....	112	Definitionen der Ontologie.....	66
Assistenzfunktionen.....	11	Dermatologie-Atlas.....	74
ATCCIS-Modell.....	17	Detektionsverfahren.....	122
ATKIS.....	90	Dienstbeschreibungen.....	50
Aufbau der Ontologien.....	90, 93	Dienste.....	52, 121
Aufbau der Projekt-Ontologie.....	91	Dienste zur Auswertung.....	139
Aufbau der Sichten.....	113	Dienstgruppen.....	56
Aufgabe von Ontologien.....	66	Dienst-Konzept.....	53
Aufklärung und Überwachung.....	1, 2, 145	Dienst-Makro.....	53
aufklärungsrelevante Objekte (ARO).....	69	Dienststruktur.....	53
Auftragsmanagement.....	12	Domänen-Interoperabilität.....	40
Auswerteberichte.....	31	Domänen-Ontologie.....	112
Auswertungs-Relevanten Objekte (ARO)	90	Domänen-Ontologie zur Fernerkundung	112
.....	90	Dublin Core.....	75
automatische Bildauswertungsverfahren	139	Eigenschaften von SW-Agenten.....	32, 41
.....	139	Einbindung von automatischen	
automatische Dienste.....	133	Bildauswertungsverfahren.....	139
Automatische Georeferenzierung.....	134	Enterprise.....	76
Axiome.....	67	Entwicklung der Ontologie.....	89
Basis-Ontologie.....	91, 98	Entwicklung einer Ontologie.....	79
Bauform.....	129	Entwurf einer Benutzungsoberfläche.....	46
BDI-Framework.....	137	Erfahrung des Benutzers.....	45
Begriffe zum Zeitbedarf.....	60	Ergebnis prüfen und Produkt erstellen ...	13
Benutzerprofil.....	105	Evaluierung der Ontologie.....	127
Benutzungsoberflächen.....	29, 37, 127, 138, 142	Evaluierung einer Ontologie.....	131
Beobachterleistung.....	140	Execution Agents.....	50
Bericht erstellen.....	12	exemplarischer Ablauf.....	122
Berichtsdatenbanken.....	133	Fahrzeugdetektionsdienste.....	134
Beschreibung eines Dienstes.....	51	Federation.....	52

Fernerkundung	1, 4, 5, 7, 77, 78, 88, 89, 146	Konzept „Kommunikationsmöglichkeit“	104
Fernerkundungs-Ontologie.....	92	Konzept „Person“	98
Festlegungen zu Kosten und Zeitbedarf..	58	Konzept Kostenmodell	109
Finanzielle Kosten.....	57	Konzepte	67
<i>FIPA</i>	32, 142	Konzepte „Zeitintervall“ und „Währung“	110
<i>Formulare</i>	45	Konzepte Zeitbedarf und Qualität	109
Frameworks	18	konzeptuelles minimales Datenmodell ..	19
Funktionen zur Bilddaten-Auswertung ...	11	kooperative Auswertung.....	139
GALEN	73	kooperative Informationssysteme.....	33
Gefährdung des Agenten	42	Kosten /	141
Gefährdung des Zielsystems	42	Kostenbegriffe	59
gemeinsames Datenmodell.....	48	Kosten-Nutzen-Modell	43, 57, 64, 109, 129, 142
Geographische Informationssysteme (GIS)	24	Kosten-Nutzen-Optimierung	58
GETESS	74	Kosten-Nutzen-Parameter.....	137
Gewichtungsfaktoren	63	Kosten-Nutzen-Rechnung.....	53
Grid-Services.....	136	Landbahnidentifizierer	134
Historie	55	Leistungsdaten	140
HW-Architektur	125	Lexikon	67
IFOMIS	74	Lucene.....	133
Informationalter	57	Luft- und Satellitenbilddauswertung	133
Informationsrecherche.....	47	Markierung	14
Instanzen.....	128	mediatorbasierte Informationssysteme .	141
Intelligenter Sensorverbund Aufklärung (ISVA).....	119	Meta-Agenten	136
Interaktive Bildauswertung	7	Meta-Informationen.....	127
Interaktive Fahrzeugklassifikation	134	minimales Datenmodell	133
interaktiven Bildauswertung	1, 145	Modellbildung und Simulation	41
Interessensbereich des Nutzers.....	122	Multi-Agenten System.....	33
Interessensgebiet des Benutzers	47	netzbasierte Dienstleistung	43
<i>Interface-Agenten</i>	34, 45, 126	Nutzen einer Dienstleistung.....	58
Interoperabilität	39	Nutzerprofil.....	62
Isolierte Interoperabilität	40	Nutzwert	58, 62
JADE	92, 127	Objekt-Beobachtung	69
Kartendarstellung	138	Objektdatenbanken	49
Kernkompetenz	129	OntoBroker	76
Kern-Ontologie.....	107	OntoEdit.....	87
Klassifizierung von Ontologien	69	OntoKnowledge	76
Knowledge Web.....	76	Ontolingua	86
Kollaborationsplan	53	Ontologie	126, 140, 146
Kollateraldaten	22	ontologiebasierte Freitextsuche	133
Kommerzielle Bildauswertungssysteme .	15	ontologiebasierte Recherche-Dienste ...	119
Kompetenzfragen	83, 95, 127	ontologiebasierte Suche	133
Kompetenzraum	129	Ontologie-Demonstrator	119
Konzept "GeometrischesObjekt"	102	Ontologie-Ebenen.....	71
Konzept "Information"	111	Ontologie-Entwicklungsprozess.....	82
Konzept "Status"	107	Ontologien	65
Konzept „Dienst“	108	Ontologie-Pfleger	119
Konzept „Information“.....	110	OntoSeek.....	75
Konzept „Kalender“	104	OntoWeb.....	76
		OntoWise	76

operationelle Sicht.....	18	Suche nach „Experten“	123
<i>Organisationseinheit Auswertung</i>	9	SW-Agenten	31
Orts-Konzept	100	SW-Architektur.....	18
OWL.....	76, 84	SWEET	77, 78
Page Ranking.....	47	Syntaktische Interoperabilität	39
Parallelisierbarkeit.....	17	syntaktischer Vermittler.....	52
passive Signaturen.....	25	Systemsicht	18
Physikalische Interoperabilität	40	Systemverbund	125
Planungskomponente	53	Szenarien.....	119
Pragmatische Interoperabilität.....	39	Taxonomien	69
Profileinstellungen	45	taxonomische Beziehungen	93
Protégé.....	86	taxonomische Sichten	69
Qualität	61, 141	Technische Interoperabilität	39
Qualität einer Dienstleistung.....	58	technische Sicht	18
Qualitätsangaben	64	Teilergebnisse zusammenführen	13
Qualitätskriterien.....	83	Teil-Ontologien.....	91
RDF	84	Typ und Wertebereiche.....	116
Referenzdatenbasen.....	11	UML	85
Referenzinformationen.....	22, 38, 133	UMLS	73
Regeln.....	67, 116	Umweltinformatik.....	75
Relationen.....	67	Unternehmens-Interoperabilität.....	40
Repräsentationssprache	83	Unterstützung durch Experten	139
<i>Ressource-Agenten</i>	34, 126	Unterstützungswerkzeug.....	14
Rollen und Bauformen	113	Use-Cases	119
Rückmeldungen des Benutzers	63	Vermessung & Zählen	14
ScadaOnWeb.....	75	Vermittlungsagent.....	52
Schichten der Ontologie	92	<i>Vermittlungsagenten</i>	34, 136
Schichten und Sichten	91	Verwaltungsfunktionen.....	139
SEKT	76	Visualisierung	13
Semantic Web	65, 84	Vorgehensmodelle	79
Semantische Interoperabilität.....	39	Vorteile des Agentenansatzes.....	42
semantische Vermittlung.....	53	VPN	125
semantisches Grid	142	Wissen.....	66
Sensornetze.....	44	Wissensbasis.....	67, 86, 127, 132, 142
Sensorsimulationen	136	WonderWeb.....	75
Sensorsteuerung	12	WordNet	75
Sichten.....	115	WSDL	50
SINA.....	125	Zeitbedarf.....	57
SOAP.....	50	Zeitersparnis	141
Software-Architektur.....	126	Zeitleiste	138
Standardisierung.....	40	Zielsetzung der Ontologie.....	89
Standardkommunikationsdienste	47	Zusammenspiel der Software-Agenten... 44	
Style-Guides	38		

B Anhang

B.1 UML-Modelle (nur in der elektronischen Fassung enthalten)

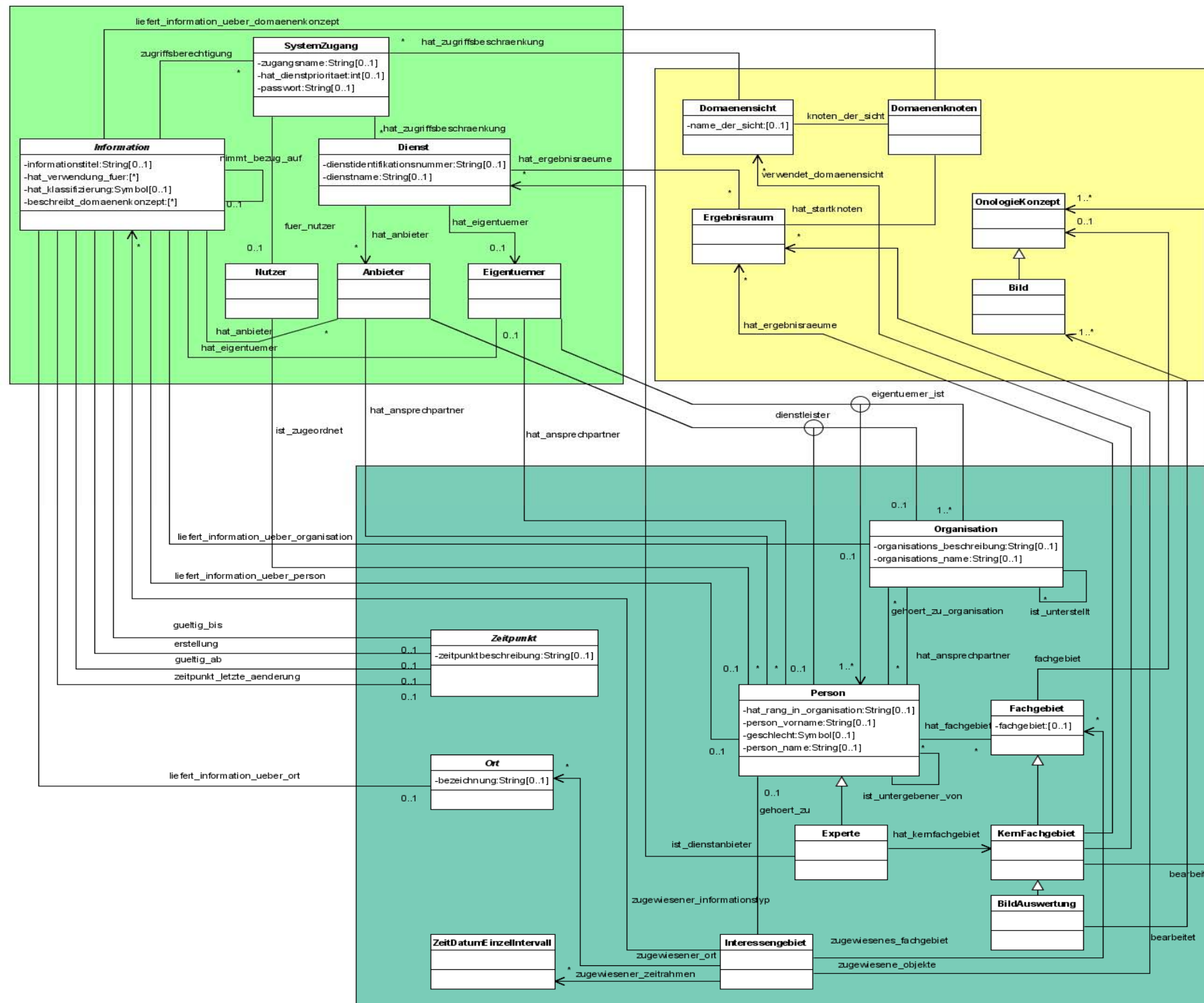


Abbildung B-1: UML-Darstellung der Beziehungen zwischen den Konzepten „Dienst“, „Domäne“ und „Person“ im Überblick (entsprechend Abb. 5-14).

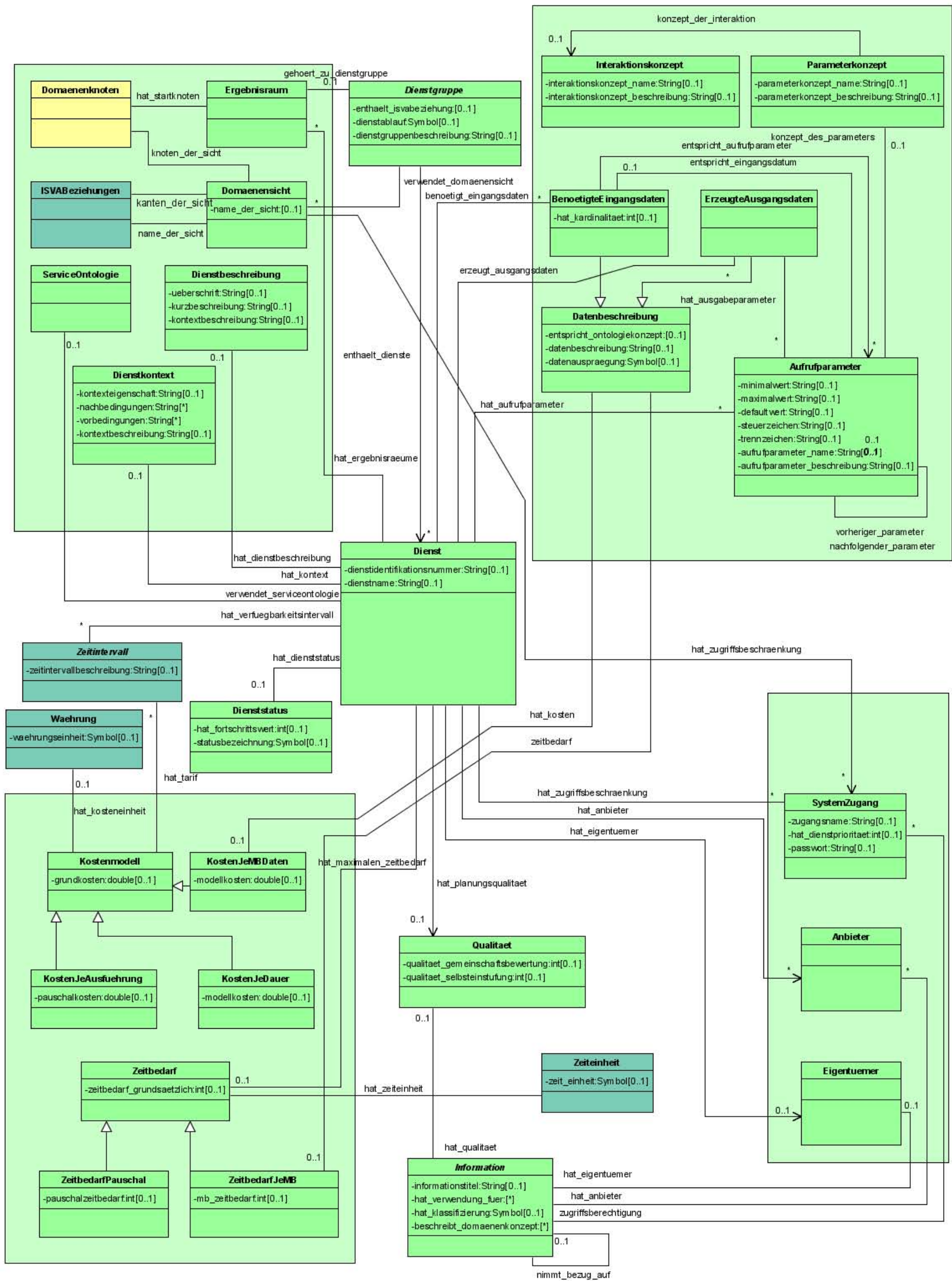
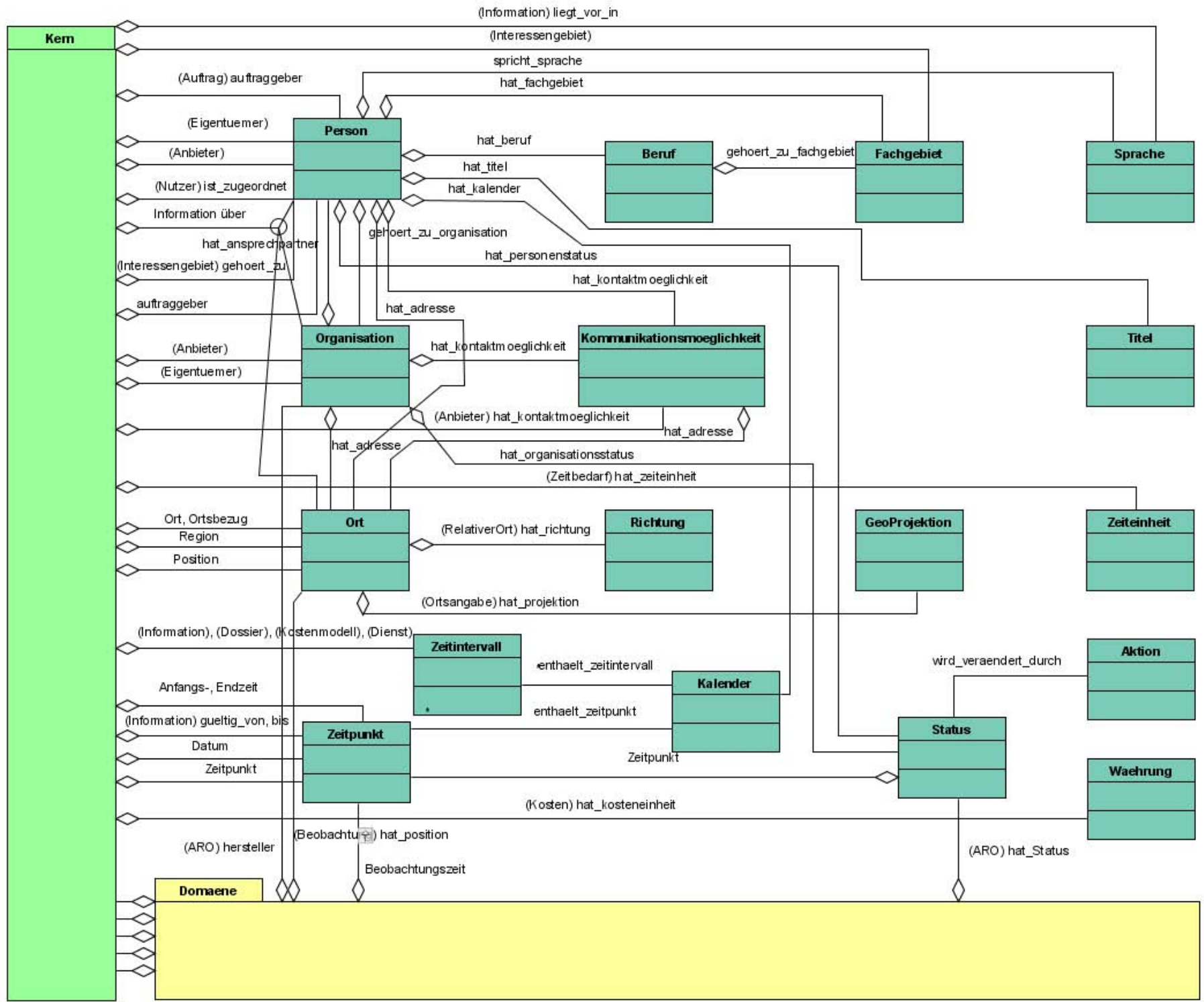


Abbildung B-2: UML-Darstellung des Konzeptes „Dienst“ (entsprechend Abb. 5-22).



Legende

Bezeichner an Beziehung	Bedeutung
(Name)	Beziehung verweist auf Klasse(n)
Name	mehrere Beziehungen mit ähnlichem Namen verweisen auf diese Klassen (zu viele für Einzeldarstellung)
beziehung_name	Ziel- und Ursprungs-klassen der Beziehung sind dargestellt oder zusätzlich mit (Name) angegeben

Abbildung B-3: Konzepte in der Basis-Ontologie – Überblick (entsprechend Abb. 5-15).

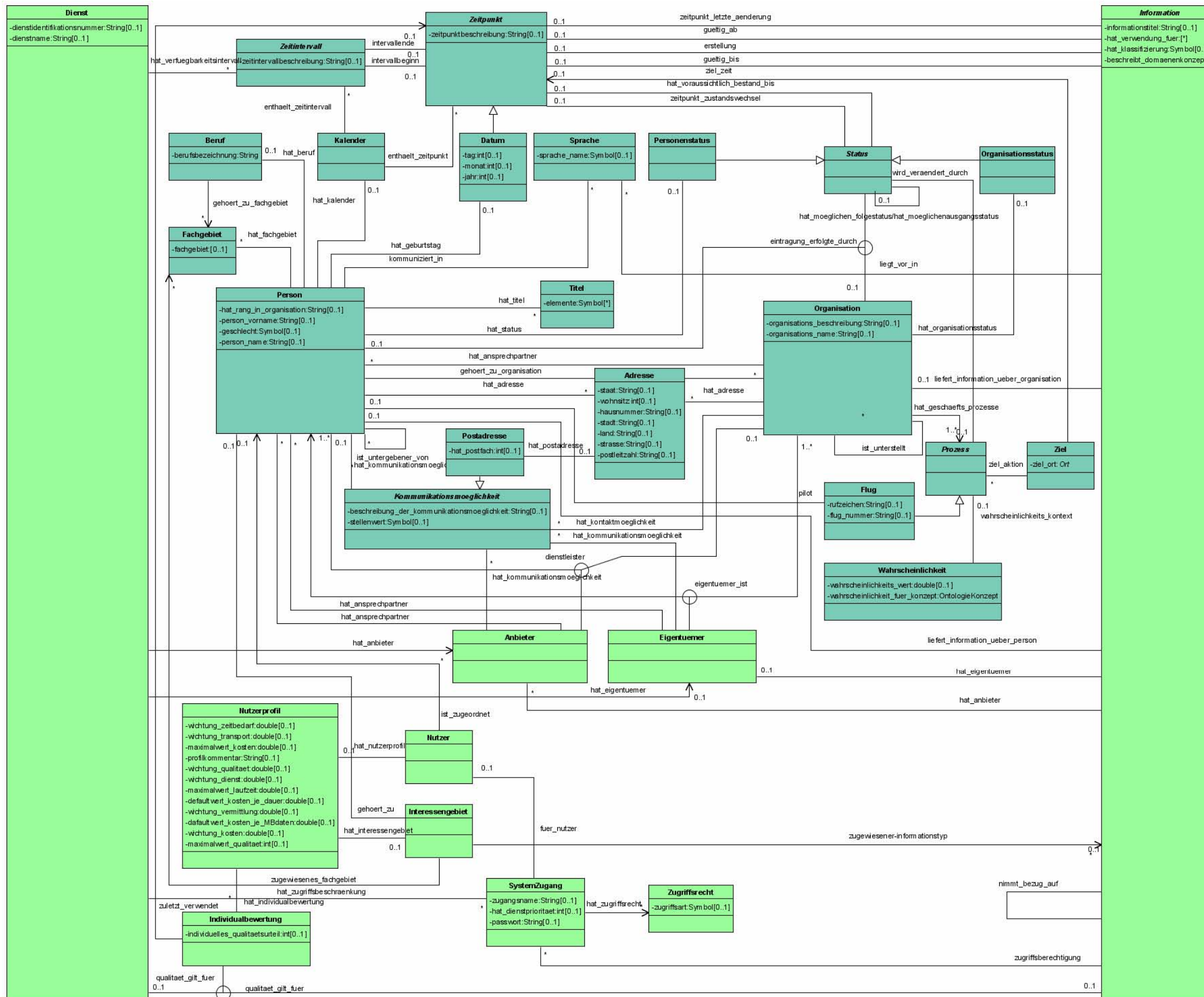


Abbildung B-4: UML-Darstellung zu den Konzepten „Person“ und „Organisation“ (entsprechend Abb. 5-16).

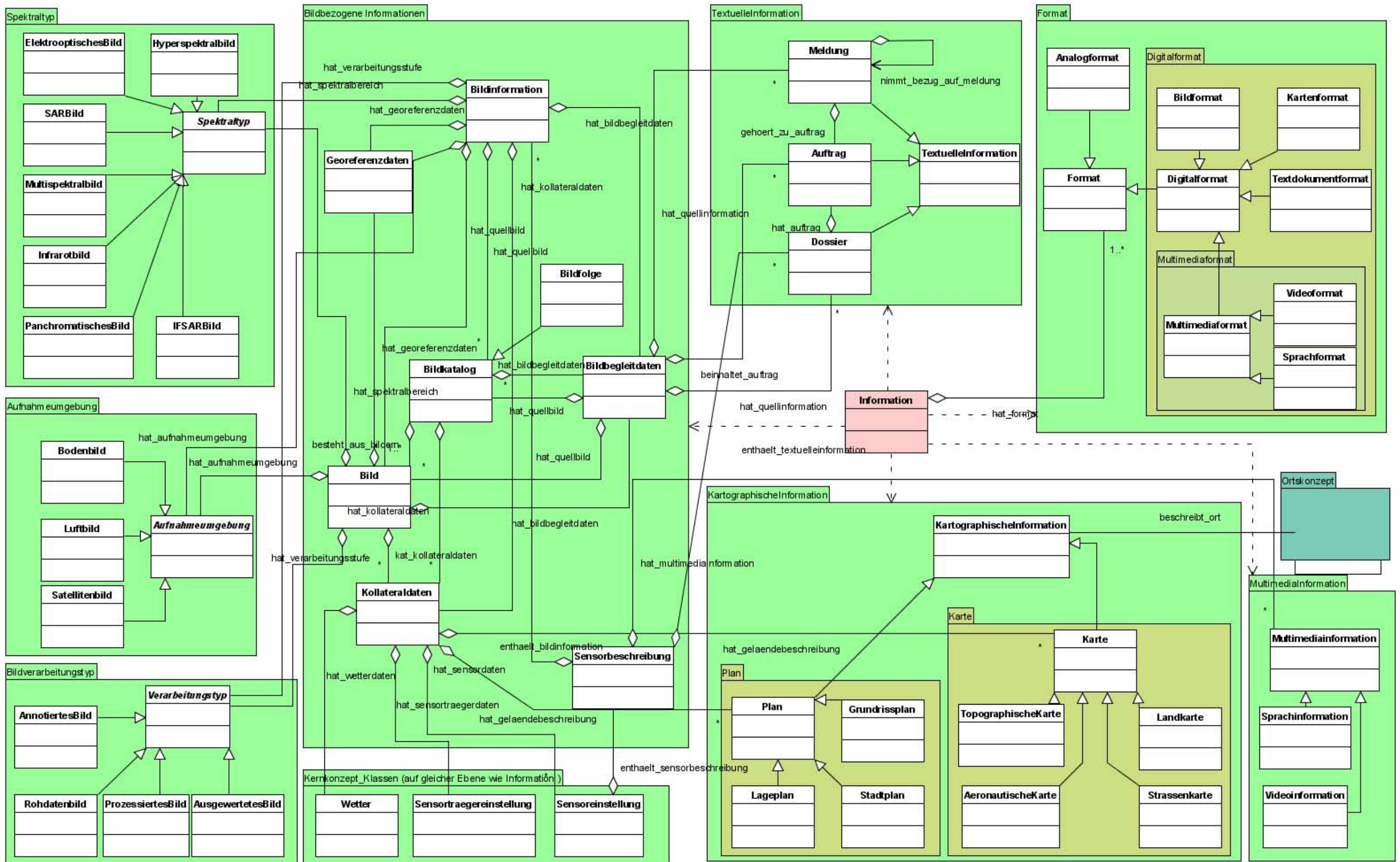


Abbildung B-5: Das Konzept "Information" (entsprechend Abb. 5-24).

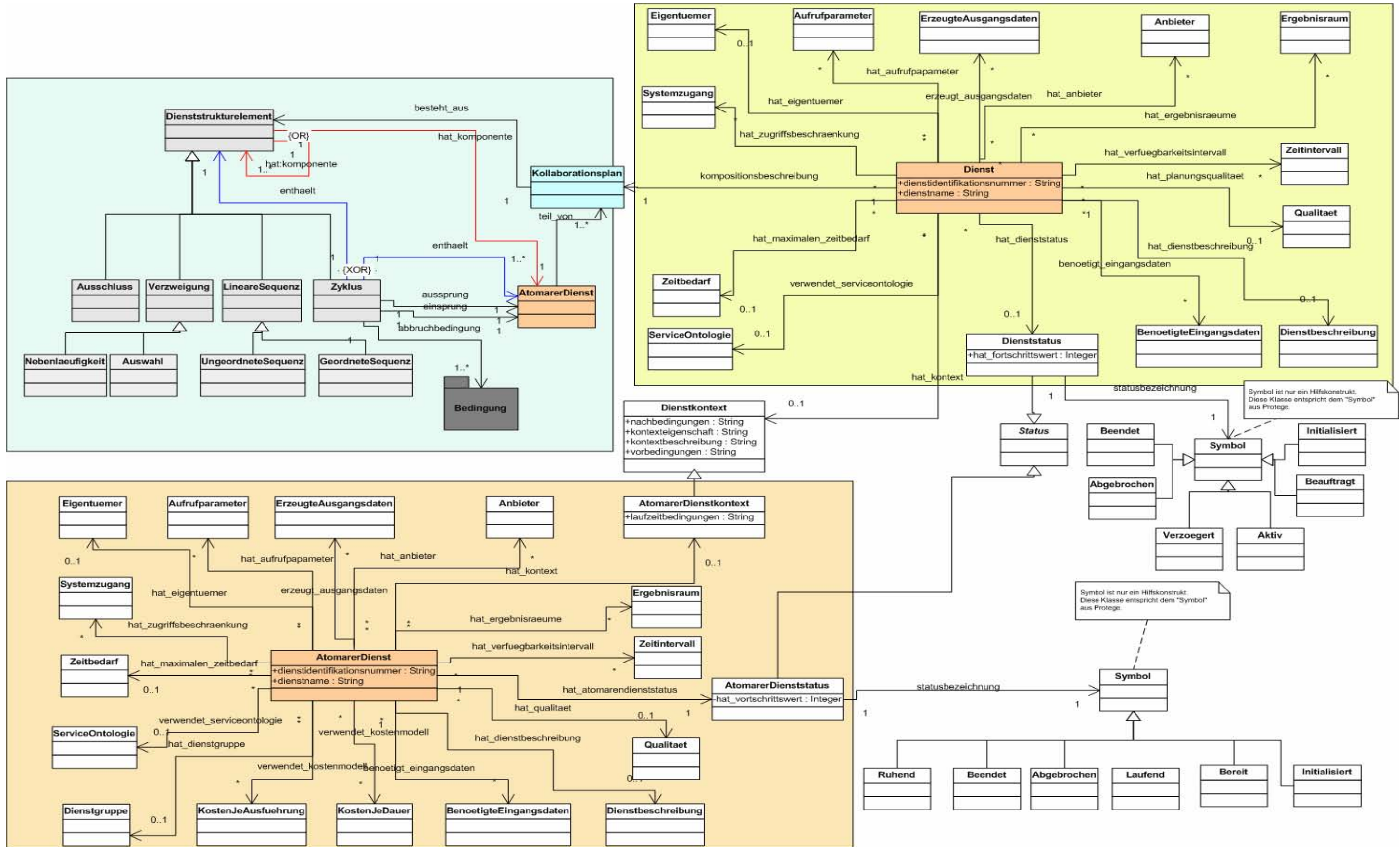


Abbildung B-6: Modellierung der Dienste und der prozeduralen Konzepte zur Modellierung von Dienst-Makros.

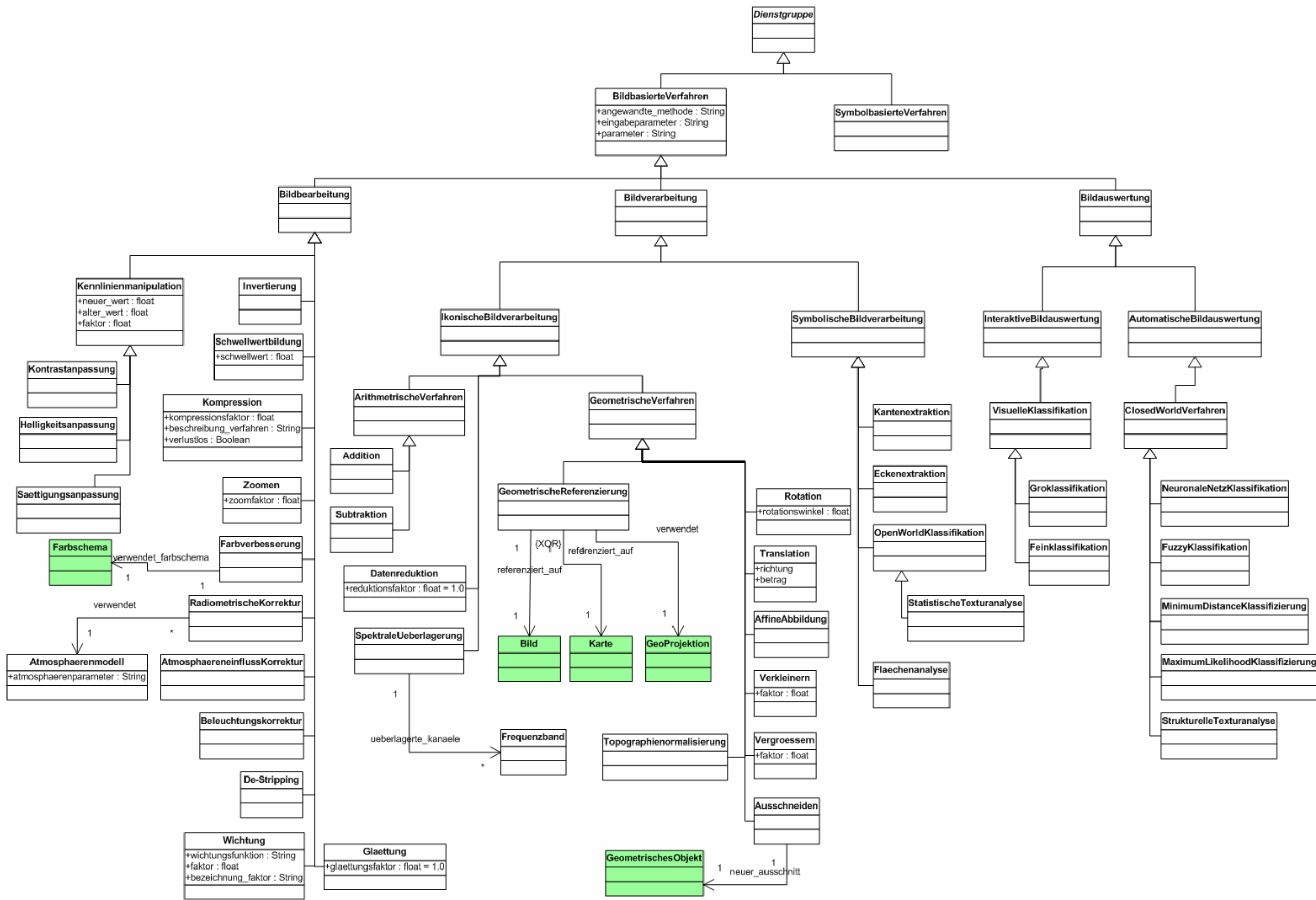


Abbildung B-7: Strukturierung der Dienste zur Anwendung auf Fernerkundungsdaten.

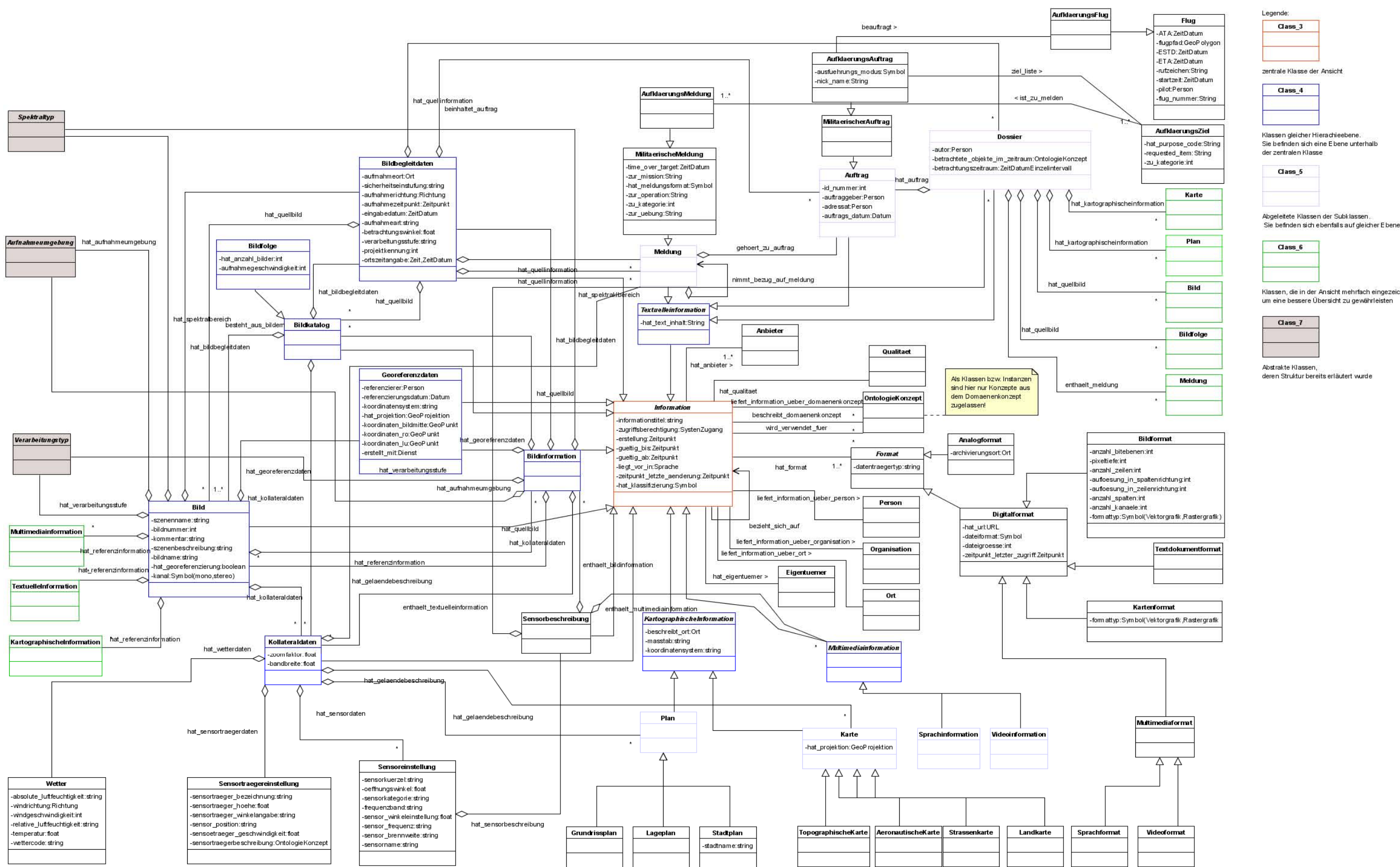


Abbildung B-8: Aufgeschlüsselte UML-Darstellung der "Information".

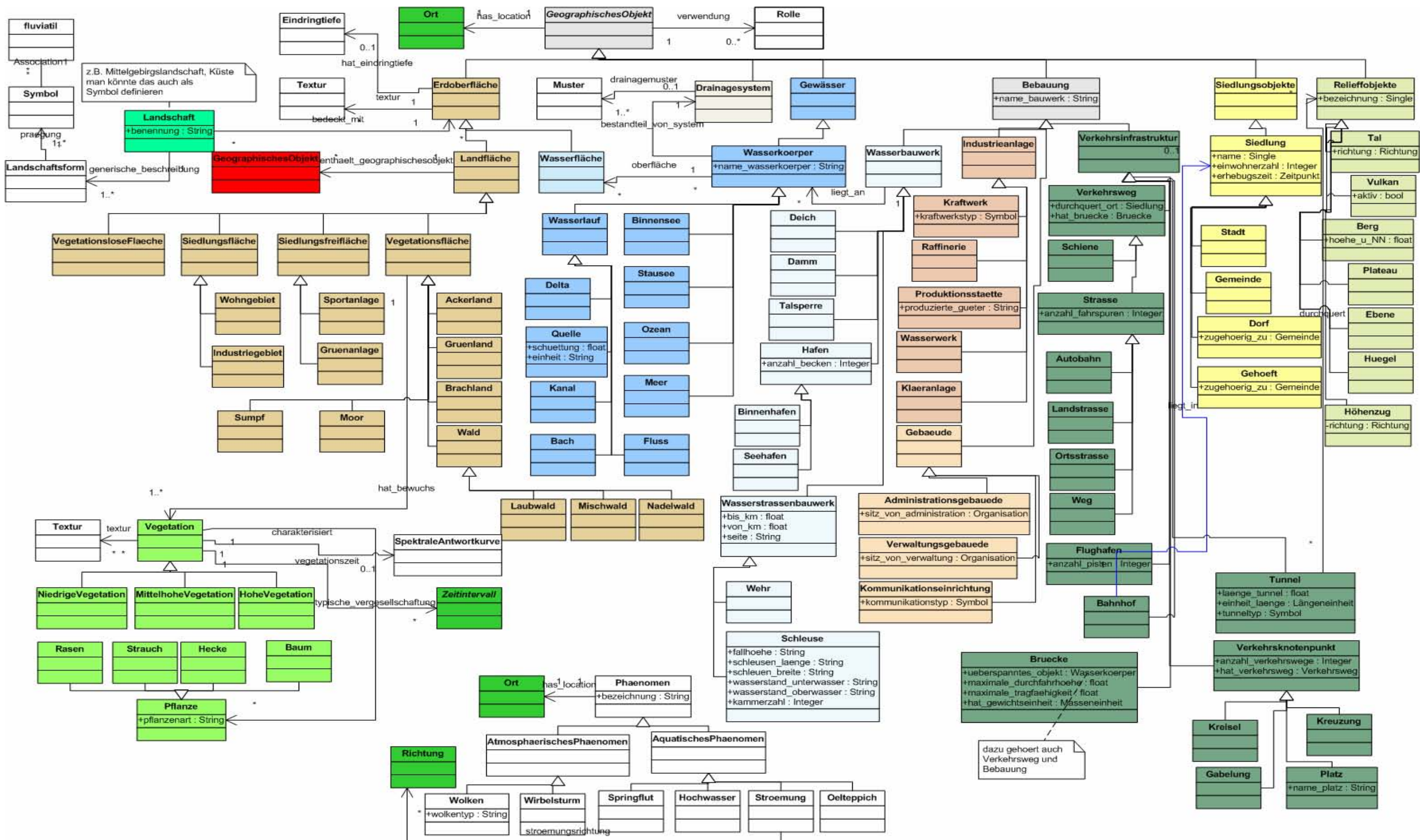


Abbildung B-9: Taxonomie des Konzeptes „Geographisches Objekt“.