

Semantische Erschließung mittelalterlicher Kartographie

Das Beispiel des Behaim-Globus von 1492

Behaims „Erdapfel“ von 1492 ist der älteste erhaltene Erdglobus. Er ist ein frühes Meisterwerk, das von einer Reihe früher wissenschaftlicher und technischer Innovationen zeugt. Heute gehört er zu den prominentesten Exponaten des Germanischen National-Museums in Nürnberg. Sein Kartenbild ist primär ptolemäisch, es enthält aber auch Elemente der mittelalterlichen Universalkartographie und von Portulanen. Seine umfangreiche und kunstvolle Ausstattung umfasst über 100 Miniaturen und sechzig Fahnen und Wappen, mehr als 2000 Ortsnamen und über 50 lange Inschriften. Der Behaim-Globus ist unter den erhaltenen kartographischen Werken nahezu einzigartig dadurch, dass in ihm verschiedene Traditionen der spätmittelalterlichen Kartographie vereinigt sind.

Wir berichten über ein laufendes Forschungsprojekt, das eine digitale und eine gedruckte Edition des Globus zum Ziel hat. Im Jahr 2011 wurden hochaufgelöste digitale Fotografien aufgenommen und ein neues 3D-Modell erstellt. Darüber hinaus gibt es eine Datenbank mit digitalisierten analogen Fotos der Globusoberfläche von 1990 und Schwarzweiß-Fotos von 1940. Auf der Basis dieser Bilddaten wird ein umfassender Katalog aller visuell relevanten Stellen einschließlich der zahlreichen Textfelder mithilfe einer in Beschreibungslogik (OWL-DL) formulierten Domänenontologie für die mittelalterliche Kartographie aufgebaut. Bisher wurden fast 3000 Datensätze (Katalogeinträge und Kommentare) erzeugt, die jedoch noch nicht den ganzen Globus abdecken. Diese Datensätze stellen den Kern der geplanten Edition dar. Was die digitale Seite betrifft, ist es heute weitgehend üblich, generische Begriffe und Eigenschaften für Objekte, Zeit und Raum, Ereignisse, Handlungsträger, Prozesse, etc. in einer sog. Referenzontologie zusammenzufassen, so dass die domänenspezifischen Begriffe aus den allgemeinen abgeleitet werden können. Das Conceptual Reference Model (CRM) von CIDOC ist eine solche Referenzontologie; unsere Implementation „Erlangen CRM“ stellt eine semantische Basis für die kartographische Domänenontologie bereit. Der Behaim-Globus ist ein herausragendes Beispiel für eine übergreifende georeferentielle Organisation des zeitgenössischen Wissens, welche eine neue Dimension für die semantische Erschließung eröffnet. Historische Karten sind an erster Stelle kognitive Karten, wofür eine formale qualitative Darstellung von (abstrakten) Regionen und ihren relativen Positionen zueinander, aber auch von Richtung, Orientierung und Entfernung erforderlich ist. Diese können effizient durch spezielle Datentypen für sog. Constraint-Löser repräsentiert werden; ihre Integration in einen allgemeinen logischen Darstellungsrahmen ergibt ein System für hybrides Schließen zur Bearbeitung komplexer räumlicher Anfragen über dem Stellenkatalog des Globus.

Schlagworte: **Globus, Digitalisierung, Ptolemäische Karte, Wissensrepräsentation**

Behaims Globus und die mittelalterliche Kartographie

Martin Behaim und der Globus von 1492

Der 1492 entstandene Behaim-Globus ist der älteste existierende Erdglobus; er gehört heute zu den prominentesten Exponaten des Germanischen National-Museums (GNM) in Nürnberg. Der in Lissabon lebende Kaufmann und Seefahrer Martin Behaim, geboren 1459, entstammte einem Nürnberger Patriziergeschlecht und hielt sich damals zur Regulierung von Erbschaftsangelegenheiten in seiner Vaterstadt auf. Ersichtlich war er eine wichtige Person am portugiesischen Hof, da er von König João I. im Jahr

1485 zum Ritter geschlagen worden war. Während seines Aufenthalts in Nürnberg zwischen 1491 und 1493 gelang es ihm, führende Mitglieder des Rats zu überzeugen, die Herstellung des Globus unter seiner Leitung zu finanzieren. Die letztlichen Gründe dafür sind unbekannt, aber viele Inschriften auf dem Globus weisen vor allem auf wirtschaftliche Motive hin. Durch sein eindrucksvolles Erscheinungsbild kann er durchaus dazu beigetragen haben, potentielle Investoren in die kommerzielle deutsch-portugiesische Seefahrt anzuwerben.

Mit seinem Durchmesser von 50 cm ist der Globus relativ groß und er zeigt ein Kartenbild der Erde an der Wende zur Neuzeit, das vor allem durch die ptolemäische Kartographie beeinflusst ist (Abbildung 1);



Abb. 1: Der Behaim-Globus in der Dauerausstellung des Germanischen Nationalmuseums Nürnberg (© GNM)

er enthält aber auch ikonographische Elemente von Portulanen (Seekarten) und aus der mittelalterlichen Universalkartographie. Zuerst wurde der Globus an einem prominenten Ort im Nürnberger Rathaus ausgestellt und er erhielt 1510 sogar einen neuen Metallfuß mit einem gravierten Horizontring. 1493 kehrte Martin Behaim nach Portugal zurück und er starb 1507 in Lissabon. Die Endabrechnung von 1494 (PETZ 1886) gibt genau an, welche Handwerker an seiner Herstellung beteiligt waren; gleichwohl muss der Globus als eine Leistung des gesamten Nürnberger Humanistenkreises angesehen werden. Er ist ein frühes Meisterstück, das verschiedene wissenschaftliche und technische Innovationen in sich vereinigt und damit auch die führende intellektuelle und wirtschaftliche Position der Stadtrepublik Nürnberg im frühneuzeitlichen Deutschland dokumentiert.

Der Behaim-Globus bietet die letzte vorkolumbianische Zusammenstellung des spätmittelalterlichen Wissens über die Welt in einer georeferenzierten Organisationsform. Gleichwohl gibt es Anzeichen eines heraufkommenden Wechsels zu einem „moderneren“ empirischen wissenschaftlichen Bild der Erde. Nicht die Qualität der Informationen, sondern ihr Umfang und ihre Auswahl machen den Globus zu einer wichtigen Primärquelle für die historische Forschung. Er ist eines der wenigen existierenden kartographischen Werke, in denen verschiedene Traditionen der Kartenherstellung eingebunden sind: Ptolemäische Kartographie mit Elementen der mittelalterlichen Universalkartographie und von Portulanen.

Da es keine moderne wissenschaftliche Ausgabe des Behaim-Globus gibt, haben wir einige Vorbereitungsarbeiten in Kooperation mit dem GNM begonnen, wozu auch die aktuelle Forschung zu semantischer Auszeichnung und formaler Schlussfolgerung gehört. Die beste Zusammenfassung des Stands der Forschung um 1990 bietet der Katalog der Ausstellung „Focus Behaim-Globus“ im GNM (BOTT 1992). Nichtsdestoweniger ist in vielerlei Hinsicht die einzige, aber teilweise überholte Monographie von RAVENSTEIN (1908) immer noch wichtig. Sie enthält eine Abzeichnung des Globus in 30-Grad-Segmenten in Originalgröße, allerdings auf der Basis einer fehlerbehafteten Kopie des Globus, die 1847 für die französische Nationalbibliothek in Paris angefertigt wurde. Weiterhin ist auch noch auf einen Überblicksaufsatz von MURIS (1943) hinzuweisen. Umfassende Informationen über Behaims Biographie, die Geschichte und Rezeption des Globus finden sich u.a. bei BRÄUNLEIN (1992) und POHLE (2000).

Das Kartenbild des Behaim-Globus

Das Kartenbild des Globus ist vor allem ptolemäisch, wie auch eine Inschrift auf dem Globus selbst besagt; auf den ersten Blick sieht es wie eine auf eine Kugel gezeichnete ptolemäische Weltkarte aus. Dies ist insbesondere der Fall für die Abbildung Europas, Nordafrikas, des nahen Ostens und Asiens, die viel zu weit nach Osten ausgedehnt ist. In seinen westlichen und nördlichen Teilen wurde es vervollständigt durch zeitgenössische Erfahrungen und viel Phantasie, und in dem kartographisch bis dahin kaum erfassten Osten anhand literarischer Quellen.

Im Raum zwischen der europäischen und afrikanischen Westküste und der Ostküste Asiens findet man die Kanaren und die Azoren, aber auch imaginäre Inseln aus der mittelalterlichen Überlieferung wie Antilia oder St. Brandans Insel. Angesichts der portugiesischen Expansion ist die Karte doch relativ ungenau und teilweise auch überholt, was etwa Teile der westafrikanischen Küste betrifft. Es gibt etliche Hinweise auf portugiesische Expeditionen entlang der afrikanischen Küste – in einem Fall sogar eine Angabe über Behaims Beteiligung. Eroberte Küstenregionen sind durch portugiesische Fahnen markiert und der Seeweg nach Indien erscheint offensichtlich.

Dennoch ist es bemerkenswert, dass es keinerlei Hinweis auf die jüngst entdeckten Inseln weit im Westen des atlantischen Ozeans gibt. Der sog. Kolumbusbrief wurde 1493 in Barcelona erstmalig gedruckt und er musste in Nürnberg, einer europäischen Handelsmetropole mit ausgezeichneten Nachrichtenverbindungen, bekannt gewesen sein, wurde aber offenbar unterschätzt.

Der Globus ist geradezu luxuriös dekoriert. Er enthält über 2000 Ortsnamen, 100 Miniaturen, über 60 Fahnen und Wappen und mehr als 50 lange Inschriften, von denen viele nur teilweise lesbar sind und nicht wenige auch überschrieben wurden. Die meisten Bildelemente und auch viele Texte sind konform mit der Tradition der enzyklopädischen mittelalterlichen *mappae mundi* (EDSON/SAVAGE-SMITH/BRINCKEN 2005); sie behandeln die christliche Heilserzählung, Sagen aus der Antike wie die Geschichte von Alexander dem Großen, Eigenarten, Wunder und fabelhafte Monster in fernen Ländern, aber auch deren Einwohner, Tiere und Pflanzen. Viele Inschriften handeln im Detail vom Fernhandel, Entdeckungen und berühmten Reisen und beziehen sich auf Quellen wie Marco Polo und Mandeville, zitieren aber auch klassische Texte von Strabo, Plinius, Pomponius Mela und Ptolemäus sowie die Enzyklopädie des Isidor von Sevilla.

Was kann man über die kartographischen Quellen des Behaim-Globus sagen? Die „Geographikè Hyphegesis“ des Ptolemaios (ca. 100–180 A.D., Alexandria) besteht zu einem erheblichen Teil aus einer Anleitung zur Herstellung von Karten. In ihrem zweiten bis achten Buch enthält sie Koordinaten von mehr als 6400 Orten (und insgesamt 8000 Toponyme) zwischen den Kanarischen Inseln (0° ptolemäischer Länge) und Ostasien (180°) sowie Zentralafrika (-15° Breite) und Nordeuropa/Asien (65°), wonach Regionalkarten konstruiert werden können. Alle ptolemäischen Weltkarten zeigen deutliche Verzerrungen: Das Mittelmeer ist viel zu lang (ca. 65° O-W), so dass sich Italien mehr von Westen nach Osten als von Norden nach Süden erstreckt, und Asien ist viel zu weit nach Osten ausgedehnt (180°) – auf dem Behaim-Globus sogar 230°. Cipangu (Japan) liegt an der Stelle, an der man auf einem modernen Globus Mittelamerika findet. Der hauptsächliche Grund für diese Überdehnung ist, dass sich Ptolemaios nicht auf die nach heutiger Kenntnis einigermaßen korrekte Erdmessung des Eratosthenes bezieht, sondern auf eine Messung nach Poseidonius, gemäß der die Erde nur 5/7 der aktuellen Größe hat.

Die ptolemäische Geographie wurde von byzantinischen Emigranten um 1400 nach Italien gebracht. Auch in den lateinischen Ausgaben zeigt der südliche Teil der Weltkarte nur Nordafrika und der Indische Ozean ist ein Binnenmeer, das von einem unbekanntem Südkontinent eingeschlossen wird, der Ostafrika mit Ostasien verbindet. Es gibt aber Ausnahmen: Weltkarten von Henricus Martellus, der um 1490 in Florenz arbeitete, und von denen vier Varianten bekannt sind (London, Florenz, Leiden und Yale), sind dem Behaim-Globus viel ähnlicher, insbesondere Asien und der Indische Ozean. Afrika wird mit dem Kap der Guten Hoffnung gezeigt; seine Darstellung ist insgesamt genauer als auf dem Globus. Es ist

durchaus möglich, dass eine derartige Weltkarte als Vorlage für den Globus gedient hat.

Im Unterschied zu den landbasierten ptolemäischen Karten, sind Portulane der Navigationspraxis mit einem Kompass entsprechend konstruiert und zeigen nur die Küstenlinien, diese aber mit hoher Genauigkeit. Die Behauptung einiger Autoren, dass Portulane als Vorlagen für den Globus gedient haben könnten, ist eher unplausibel, weil dessen Kartenbild im Vergleich dazu relativ ungenau und teilweise überholt ist, insbesondere bei der nordafrikanischen Küste, aber auch bei der westafrikanischen, wo Behaim in einer Inschrift sogar auf seine persönliche Erfahrung hinweist. Gleichwohl finden wir auf dem Globus einige ihrer typischen ikonographischen Elemente wie Fahnen, Wappen und Zelte.

Gleiches gilt für den Einfluss mittelalterlicher *mappae mundi*, der durch den enzyklopädischen Charakter des Globus mit vielen narrativen und erklärenden Inschriften, aber auch durch zahlreiche Miniaturen deutlich wird. Jedoch findet man neben christlichen Themen und solchen des klassischen Altertums, wie sie auf diesen Weltkarten gezeigt werden, nunmehr eine beträchtliche Zahl säkularer Inhalte.

Der Ansatz der kognitiven Karten, visuelle Analyse und der Stellenkatalog

Kognitive Karten

Wissensstrukturierung nach kognitiven Kriterien, d.h. nach Strategien der Wahrnehmung, des Lernens, des Gedächtnisses und des assoziativen Schließens, war mittelalterlichen Gelehrten durchaus vertraut. Um nur zwei Beispiele zu nennen: Augustinus und Hugo von St. Victor befassen sich im Detail mit der assoziativen Organisation des Gedächtnisses und insbesondere mit der räumlichen Abbildung von Wissens-elementen in architektonische Strukturen.

„In the last analysis all maps are cognitive maps“ – diese von BLAKEMORE und HARLEY (1980) aufgestellte These benennt ein wichtiges Thema der jüngeren Forschung in der Kartographiegeschichte. Georeferenzierung, d.h. Bezugnahme auf geographische Orte, ist das zugrunde liegende Prinzip für alle die Organisation und Präsentation aller Arten von Informationen in Karten. Personen, Gebäude und andere Artefakte, historische und fiktive Ereignisse werden an bestimmten Orten wahrgenommen, mit ihnen assoziiert und so gemerkt und wieder abgerufen; zeitliche Abläufe von Ereignissen werden auf räumliche Beziehungen abgebildet. TOLMAN (1948) war der erste, der den Terminus „kognitive Karte“ eingeführt hat, um die kognitive Repräsentation des

Raums und räumlicher Beziehungen zu bezeichnen, zuerst auf der individuellen Ebene, und später erweitert um eine Ebene sozialer Kommunikation. KITCHIN und BLADES (2002) und MACÉACHREN (1995) bieten einen repräsentativen Überblick aus der Perspektive der Psychologie und Kognitionswissenschaft.

Ein einfacher Zugang zur kognitiven Abbildung kann durch eine systematische Untersuchung der Fragen „wo“, „was“ und „wann“ erreicht werden. Für das „wo“, d.h. räumliche Information im engeren Sinne, legen wir Benennung („appellation“) als elementares Mittel zur Bestimmung von Identität zugrunde. Für eine Beschreibung von Orten muss abhängig vom Bezugsrahmen eine Spezifikation von Zuständen oder Prozessen, sowie von Entfernung und Richtung hinzugefügt werden. Ein Beispiel für eine Prozessspezifikation wäre eine Wegebeschreibung, wie ein bestimmter Ort erreicht werden kann. „Was“ – das Ziel – und „wann“ werden wichtig für die Lösung räumlicher Probleme: Es muss eine Menge geeigneter Eigenschaften angegeben werden, die nützlich sind, um eine Lösung mittels kognitiver Abbildung zu finden. In anderen Worten, wir müssen zuerst die Elemente identifizieren, die für eine epistemologische Organisation räumlichen Wissen notwendig sind. In einem zweiten Schritt müssen wir dann eine formale Repräsentation entwickeln, die für eine Verarbeitung mit Computern geeignet ist. Offensichtlich spielen Regionen und ihre relativen Positionen zueinander eine Schlüsselrolle, ebenso wie Richtung bzw. Orientierung und Distanz. Diese Elemente wahrzunehmen, sie zu identifizieren und sich auf sie im Diskurs zu beziehen ist eine Abstraktionsleistung, die in jedem Fall auch ein kognitives Fundament hat. Um Einwänden gegen diesen Ansatz, dass er unhistorisch sei, zu begegnen, steht unsere Überzeugung, dass es elementare epistemologische Ausdrucksformen der räumlichen Orientierung gibt, die weitgehend invariant zu kulturellen Bedingungen sind.

Daher sehen wir grundsätzlich die Konstruktion von Karten und ihren Beschreibungen im Zusammenhang dieser primär qualitativen Kategorien, wobei wir auch immer (qualitatives) räumliches Schließen im Sinn haben. In der Kombination mit dem deskriptiven Modellierungsansatz für Karten, wie er im Folgenden beschrieben wird, ermöglicht eine Operationalisierung dieser Elemente neue logische Verknüpfungen und damit auch die Beantwortung komplexer zusammengesetzter Anfragen.

Digitalisierung des Kartenbilds

Die Oberfläche des Globus besteht aus Papier und wurde von dem Nürnberger Künstler Georg Glockendon (vgl. PETZ 1886) bemalt. Aufgrund schlechter

Lagerung und einiger gescheiterter Restaurierungsversuche, wobei der größte Schaden durch Leinölfirnis entstand, ist der Erhaltungszustand der Kugel, die Deformationen bis zu 2 cm aufweist, und damit ihr visuelles Erscheinungsbild sehr betrüblich.

Aktuell gibt es drei Serien von Fotografien, die die gesamte Oberfläche abdecken: Sehr gute Schwarzweißfotos von ca. 1940 und Farbfotos, die ca. 1990 mit polarisiertem Licht aufgenommen wurden und die viele Details zeigen, die bei normaler Beleuchtung kaum erkennbar sind. Letztere wurden verwendet, um photogrammetrisch orthonormierte Globuszwickel in Originalgröße herzustellen; dies geschah mittels eines rechnergesteuerten analogen optischen Geräts an der Technischen Universität Wien (KAGER et al. 1992, KRAUS 1992). 2011 wurden neue digitale Fotos aufgenommen und die Konstruktion eines neuen 3D-Modells des Globus ist in Arbeit.

Der Ausgangspunkt für eine gründliche Erforschung des Globus ist eine Datenbank mit digitalen Bildern seiner Oberfläche. So haben wir neben den Schwarzweiß- und Farbfotos auch die Filme mit den Globuswickeln, die pro Halbwinkel von 30° in etwa eine Größe von DIN A4 haben, mit der optimalen Auflösung des Films digitalisiert.

Das mittelfristige Ziel einer – digitalen und gedruckten – wissenschaftlichen Edition voraussetzend, besteht der erste Schritt in einer paläographischen Analyse und neuen Lesung aller Inschriften, einer standardisierten Beschreibung aller 110 Miniaturen und der Erstellung eines wissenschaftlichen Kommentars. Hierfür hat Ulrich Kniefelkamp um 1990 wesentliche Vorarbeiten geleistet. Was die Inschriften betrifft, unterscheiden wir zwei Gruppen: ein bis zwei Wörter, zumeist Orts- und Personennamen (Venedig, Insule martini, konik organ), und längere Texte, die aus Satzteilen, Sätzen oder Satzfolgen bestehen (Di santig wüstung, alexanders altar, der heilige 3 drei/könig einer aus india), wobei die ca. 50 langen Texte zumeist auf den Meeresflächen zu finden sind. Es fällt unmittelbar auf, dass es neben einer sehr frühen Handschrift etwa sechs weitere Handschriften zwischen dem 16. und dem 19. Jahrhundert gibt. Die meisten später geschriebenen Texte sind Übersreibungen, d.h., es liegen ältere Inschriften darunter, von denen Teile an den Rändern oder zwischen den Zeilen immer noch sichtbar sind. Es ist eine offene Frage, ob die Übersreibungen nur Reproduktionen von bereits teilweise verdorbenen Inschriften sind. Was wurde geändert oder ergänzt und warum? Weiterhin gibt es noch nicht wenige Stellen mit schwachen Spuren von Inschriften, die nicht mehr lesbar sind.

Wissensrepräsentation: Begriffliche Modellierung und der Stellenkatalog

Als nächstes muss ein umfassender Katalog aller visuell relevanten Stellen auf der Globusoberfläche aufgebaut werden auf der Grundlage einer systematischen Klassifikation aller visuellen Objekttypen und Eigenschaften, die geographische und nicht-geographische Gegenstände darstellen und deren

Positionen auf den zugeordneten Kartenbildern verankert sind. Das Ziel ist eine semantische Erschließung auf der Basis eines begrifflichen Modells. Bisher wurden anhand des Forschungsjournal von Ulrich Kniefelkamp etwa 3000 Instanzen, d.h. Katalogeinträge erstellt, worin auch alle historischen Transkriptionen der längeren Inschriften enthalten sind. Der aktuelle Stellenkatalog deckt mit Ausnahme der langen Inschriften, die vollständig erfasst sind, etwa 60% der Globusoberfläche ab, wobei allerdings

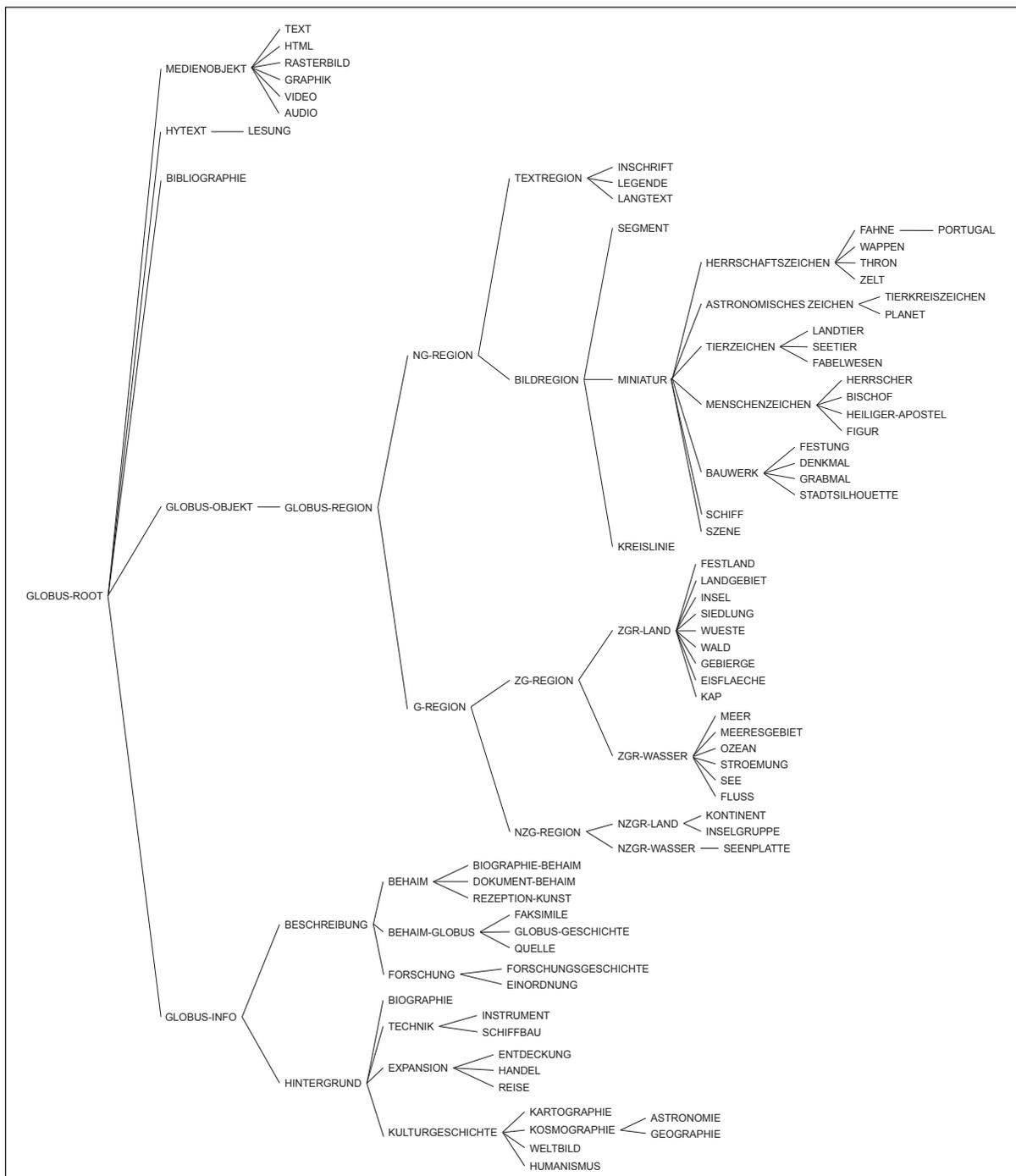


Abb. 2: Konzepthierarchie des Behaim-Globus-Modells

die noch übrigen Teile nicht so reichhaltig dekoriert sind wie die bereits bearbeiteten.

Die Einträge des Stellenkatalogs bestehen aus strukturierten Beschreibungen mit gegebenen Datenfeldern, die in systematischer Weise entlang der durch ein begriffliches Modell vorgegebenen Pfade aufgebaut sind. Ein solches Konzeptmodell wird üblicherweise auch eine „formale Domänenontologie“ oder Bereichsontologie genannt. Es repräsentiert den begrifflichen Kern einer Theorie eines Gegenstandsbereichs (NOY 2003) und damit die Semantik durch die terminologisch normierte Verknüpfung von Konzepten, was manchmal auch als „sinn-relationale Semantik“ bezeichnet wird.

Ein Konzeptmodell besteht aus einer Hierarchie von Konzepten (Klassen) vom Allgemeinen zum Besonderen, denen Eigenschaften derart zugeordnet sind, dass die Klassendefinitionen Abstraktionen über den explizit benannten Eigenschaften sind. Extensional besteht ein Konzept oder eine Klasse aus der Menge aller Individuen („Partikularien“), die durch ausgefüllte Schemata zumindest der notwendigen Eigenschaften gegeben sind, den sog. Instanzen. Ein Eintrag im Stellenkatalog ist nichts anderes als eine solche Instanz. Es ist wichtig, zu beachten, dass in unserem Fall die formale Beschreibung direkt auf die visuelle Erscheinungsform von Elementen auf einer Karte mittels Eigenschaften und Konzepten abzielt. Wir unterscheiden zwischen geographischen (z.B. Kontinent, Fluss, Siedlung) und nicht-geographischen Konzepten (z.B. Fahne, Herrscher, Festung sowie Lesungen der Inschriften), die ihrerseits Oberkonzepte haben (z.B. Gebäude für Festung), wie aus Abbildung 2 hervorgeht. Eine Instanz des Konzepts Kontinent wäre Afrika mit geeigneten Eigenschaftsausprägungen für Größe, Position etc. Die Modellierung weiterer Eigenschaften des Globus wie z.B. von Materialien, Herstellungsprozessen etc. und auch seiner Rolle in urbanen und gelehrten Diskursen ist, obwohl wichtig, aktuell nicht eingeschlossen.

Für die Darstellung von formalen Ontologien bzw. Konzeptmodellen und zugeordneten Objektbeschreibungen verwenden wir Wissensrepräsentationssprachen aus der Familie der Beschreibungslogiken (DL) (BAADER et al. 2003). So haben wir unsere Domänenontologie in der Semantic „Web Ontology Language“ OWL-DL (SMITH et al. 2004) implementiert und sie in die übergeordnete Referenzontologie CIDOC CRM (s.u.) integriert. Beschreibungslogiken und insbesondere OWL-DL sind entscheidbare Teilsprachen der Standardlogik erster Ordnung, für die effiziente Schlussfolgerungs-Algorithmen verfügbar sind, die ihrerseits vollständige und korrekte Schlüsse aus komplexen, logisch zusammengesetzten Anfragen garantieren (DONINI et al. 1996). Leistungsfähige Schlussfolgerungs- bzw. Beweissysteme wie z.B. Pellet

(SIRIN et al. 2007) stehen bereit, die es ermöglichen, einen formalisierten Wissensbestand automatisch zu strukturieren; dies geschieht durch die Berechnung der Subsumtion (hierarchischen Ordnung) von Konzepten und Eigenschaften und der Klassifikation von Objektbeschreibungen sowie der Berechnung der Lösungen von Anfragen. Zudem gibt es leistungsfähige graphische Editoren mit integrierten Beweissystemen wie Protégé (NOY et al. 2001) zur Entwicklung von formalen Ontologien in OWL-DL.

Begriffliche Modellierung mit der Referenzontologie CIDOC CRM

So gut wie jede Domänenontologie verwendet allgemeine Begriffe für Zeit und Raum, Ereignisse, Handlungsträger etc., die grundlegend für die begriffliche Modellierung nicht nur für wissenschaftliche Bereiche, sondern auch für das Alltagswissen grundlegend sind. Weiterhin gibt es fundamentale mathematische Konzepte wie Zahl, Menge, Relation, aber auch Teil-Ganzes-Relationen (Mereologie). Daher wurden formale Ontologien entwickelt, die nur generische Konzepte und Eigenschaften enthalten und als „formale Referenzontologien“ bezeichnet werden. Verschiedene Domänenontologien können dort „eingesteckt“ werden, so dass domänenspezifische Konzepte als Spezialisierungen von generischen abgeleitet werden. Aus technischer Sicht sind Referenzontologien besonders relevant, weil sie eine Basis für semantische Interoperabilität darstellen, d.h. für Datenintegration und systemübergreifende Informationssuche und -zugriff („Information Retrieval“).

Das „Conceptual Reference Model“ von ICOM-CIDOC (CRM, ISO Standard 21127, siehe CROFTS et al. 2009) ist eine solche Referenzontologie unter besonderer Berücksichtigung der Dokumentation des Kulturerbes. Wir haben diesen Standard in OWL-DL als „Erlangen CRM“ implementiert (GÖRZ et al. 2008; frei verfügbar unter <http://erlangen-crm.org/>). Dieses ist sehr gut geeignet als generische semantische Basis für die kartographische Behaim-Domänenontologie, so dass in unserem Fall das CRM dazu dient, automatisch eine feingliedrige semantische Indexierung der Details komplexer Objekte bereitzustellen.

Durch die Einbettung der Ontologie und der Stellenkatalog-Datenbank sowie der Bilder in unsere virtuelle Forschungsumgebung WissKI (<http://www.wiss-ki.eu/>) wird Interoperabilität möglich, sofern es andere CRM-kompatible Ontologien gibt, z.B. für geographische oder biographische Informationen, sowie verschiedene Normdateien für „Named Entities“ (Personennamen, Ortsnamen, aber auch Fachtermini). Wenn es ähnliche Stellenkataloge für andere Karten

gibt, rückt eine Vielzahl von Vergleichsverfahren für Texte und Bilder in greifbare Nähe und eine neue Qualität komparativen Arbeitens wird möglich.

Für die Einbettung einer Domänenontologie in CRM müssen, wie erwähnt, geeignete CRM-(Ober-)Konzepte und -Eigenschaften identifiziert werden, die sich als Anker für Klassen bzw. Teilbäume der Klassenhierarchie der Ersteren eignen. Mit der Entscheidung, das Gewicht auf die visuellen Elemente zu legen, wird nur der Globus im Ganzen als „(E22) Man-Made Object“ (ein Konzeptname in CRM) klassifiziert und als solches ist er ein „(E84) Information Carrier“. Die hauptsächlichen Schnittstellen zwischen dem CRM und dem Behaim-Region-Teilbaum sind „(E38) Visual Item“ und „(E53) Place“, wie in Abbildung 3, einem Bildschirmabzug des Protégé-Editors, zu sehen ist. Alle Stellen, d.h. Einträge im Stellenkatalog sind zugleich georeferenziert und haben daher Positionen. In einem nächsten Schritt müssen alle Inschriften, die fast alle in Frühneuhochdeutsch formuliert sind, ausgezeichnet und bzgl. Ortsnamen, Personennamen und Fachtermini semantisch indexiert werden. Das Verfahren, das wir in WissKI (GÖRZ/SCHOLZ 2009; 2010) entwickelt haben, muss für diese Aufgabe angepasst werden, weil die verfügbaren linguistischen Ressourcen für das Neuhochdeutsche wie Lexika, Tagger und partielle Parser nicht direkt auf die vorliegende sprachliche Varietät angewandt werden können.

Anfrageverarbeitung und Schlussfolgern

Nach unserer Ansicht besteht das letztliche Ziel der formalen Klassifikation und semantischen Auszeichnung von Objekten darin, ihre Beschreibungen durch das automatische Schließen zugänglich zu machen. Selbstverständlich können viele – einfache und zusammengesetzte – Anfragen direkt in SQL formuliert werden, wenn die Objektbeschreibungen in einer relationalen Datenbank gespeichert werden, jedenfalls, soweit sie sich direkt auf die verwendeten und explizit gespeicherten Klassen und Eigenschaften beziehen und keinerlei weitergehende Wissensverarbeitung wie terminologisches Schließen benötigt wird. Logisches Schließen muss hinzukommen, wenn es um zusammengesetzte Anfragen nach Objektklassen und ihren partiellen Beschreibungen und mit komplexen merkmalslogischen Kombinationen geht, z.B. Überprüfungen auf Widerspruchsfreiheit und automatische Objektklassifikation. „Intelligente“ Suche erfordert sowohl inhaltliche Schlussfolgerungen innerhalb von Hierarchien von Konzepten und Eigenschaften als auch formallogisches Schließen. Schließlich kann auf diese Weise implizit dargestelltes Wissen gefunden und damit explizit gemacht werden. Mit diesen Mitteln können Geltungsansprüche und Begründungen in die Verarbeitung einbezogen werden. Beispiele von Anfragen, die derartiges „tiefes“ Schließen erfordern,

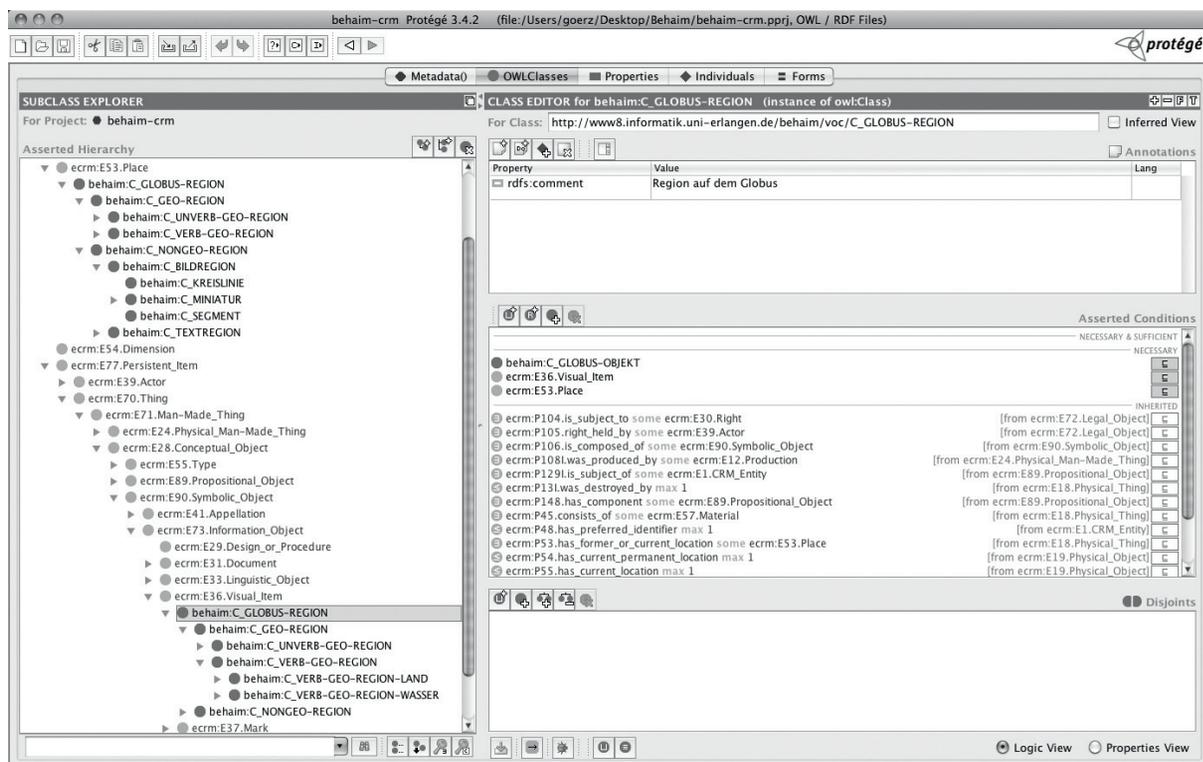


Abb. 3: Behaim-Domänenontologie eingebettet in Erlangen CRM

wären etwa: *Was ist das Objekt an der Stelle (X, Y)? Wo sind Nürnberger Wappen? Welche Herrschaftszeichen sind benannt? Welche Tiere sind in Afrika zu sehen? Wo wird auf Reiseberichte Bezug genommen?*

Zweifelsohne kann die Benutzung einer logischen Anfragesprache den meisten Anwendern nicht zugemutet werden. Daher sind im WissKI-System eine formularbasierte Anfragen möglich und es werden typische Anfragemuster zur Verfügung gestellt, die der Benutzer dann auszufüllen hat. Für Anfragen, die räumliche Beziehungen einschließen, sind definitiv Erweiterungen notwendig, auf die in den folgenden Abschnitten eingegangen wird.

Räumliches Schließen: Topologie und Orientierung

Der Globus ist auch ein ausgezeichnetes Beispiel für die georeferenzierte Organisation von Informationen, die eine neue Dimension für die semantische Indexierung eröffnet. Orientierungspunkte, Gebäude, Personen, historische oder fiktive Ereignisse werden an bestimmten Orten wahrgenommen, werden mit ihnen assoziiert und memoriert und entsprechend wieder abgerufen. Geschichte und Geschichten sind im Raum verankert; Episoden werden in räumliche Beziehungen abgebildet. Somit sind, wie schon erwähnt, vormoderne Karten an erster Stelle kognitive Karten; kognitive Beziehungen haben Vorrang vor geographischer Präzision. Dies weist auf einen besonderen Bedarf hin für die formale Repräsentation (abstrakter) Regionen, ihrer relativen Lage zueinander, aber auch für Richtung, Orientierung und Distanz. Wir möchten Karten vor allem mittels dieser qualitativen Kategorien beschreiben und zur Anfragebeantwortung auch qualitatives Schließen einsetzen. Die Frage nach einer formallogischen Repräsentation kognitiver Kategorien, insbesondere für die Repräsentation qualitativen räumlichen Wissens und räumlichen Schließens hat nur Sinn, wenn es im Forschungskontext eine Menge komplexer Anfragen an eine kartographische Datenbasis gibt, die mit anderen Mitteln nur durch unvertretbar hohen Ressourceneinsatz oder überhaupt nicht beantwortbar sind. In einer Machbarkeitsstudie haben wir untersucht, wie das kartographische Domänenmodell des Behaim-Globus um räumliches Wissen im Sinn der genannten kognitiven Kategorien erweitert werden muss, um Anfragen der folgenden Art zu ermöglichen (für Details siehe JELINEK 1997, Kap. 3.): Bei deiktischen Fragen wird nach räumlichen Eigenschaften bekannter Objekte gefragt. Bei iterativen Fragen sind die Objekte unbekannt und müssen anhand bestimmter räumlicher Eigenschaften identifiziert

werden. Solche räumlichen Eigenschaften sind topologische, z.B. Nachbarschaft, Grenzen, das Innere und Äußere von Regionen, oder mengenbasierte, z.B. Durchschnitt, Enthaltensein oder Gleichheit, oder metrische, z.B. Richtung und Entfernung.

Auf der technischen Ebene können topologische und Orientierungs-Relationen ebenso wie Entfernung und Größe durch spezifische Datentypen repräsentiert und durch dafür spezialisierte Lösungsalgorithmen, sog. Constraint-Löser, bearbeitet werden. Die Integration mit einem logischen Repräsentationssystem führt zu einem System für hybrides Schließen, das wir prototypisch in einer Beschreibungslogik als Erweiterung der kartographischen Ontologie implementiert und mit dem Stellenkatalog des Behaim-Globus getestet haben. „Welche Regionen liegen östlich von den Azoren?“ ist eine typische geographische Anfrage, mit der die Gangbarkeit unseres Ansatzes demonstriert werden kann.

Topologische Beschreibung und Inferenz

Es gibt verschiedene formale Ansätze für qualitative Theorien des geographischen (euklidischen) Raums, die sich für räumliches Schließen eignen (siehe z.B. EGENHOFER/MARK 1995; VIEU 1997; HERNANDEZ 1994). VIEU (1993) hat eine Theorie ausgearbeitet, die sich besonders gut für unsere Vorgehensweise eignet, in der sie auf der Basis der Mereologie als axiomatisierter Teil-Ganzes-Relation eine Formalisierung topologischer und geometrischer Konzepte, insbesondere Distanz und Orientierung, in der Logik erster Stufe bietet.

Von COHN et al. (1997) wurde der sog. „Region Connection Calculus“ (RCC) entwickelt, eine elementare topologische Theorie für qualitatives räumliches Schließen. Auf dem Begriff der topologischen Region aufbauend wurden die möglichen räumlichen Relationen zwischen zwei Regionen analysiert und es wurde gezeigt, dass die acht Relationen in Abbildung 4 ein vollständiges und paarweise disjunktes System darstellen. Aus den – logisch formulierten – Sätzen der sog. RCC8-Theorie kann eine Kompositionstabelle abgeleitet werden, die das Schließen mit diesen Relationen erheblich vereinfacht. Die Antwort auf eine Anfrage wie „Gegeben $R1(x,y)$ und $R2(y,z)$, was ist die Relation zwischen x und z , wobei $R1$ und $R2$ Relationen des Kalküls sind?“ kann durch einfaches Nachschlagen in einer Tabelle bestimmt werden, in der die Zeilen und Spalten mit den genannten Relationen beschriftet sind, anstatt eine ressourcenaufwändige automatische Beweisprozedur aufzurufen. Für die topologischen Relationen zwischen zwei Regionen können vier Fälle unterschieden werden: Identität (EQ), Disjunktheit (DC, EC), Überlappung (PO)

und Enthaltensein (N/TPP/I). Die Regionen werden als Punktmengen in der mathematischen Topologie betrachtet und können elastisch verformt werden. Die „topologische Abbildung“ erhält die besonderen Eigenschaften der Punktmengen: Punkte auf Grenzlinien werden in Punkte auf Grenzlinien abgebildet, benachbarte Punkte bleiben Nachbarn und die Grenzlinie bleibt geschlossen. Ersichtlich sind Regionen mit einem „inneren Loch“ nicht topologisch äquivalent zu einfach zusammenhängenden Regionen.

Drei Elemente sind erforderlich für Relationen der Richtung oder Orientierung: Ein primäres Objekt, ein Referenzobjekt und ein Bezugssystem. Ein Bezugssystem kann entweder extrinsisch sein wie ein vorgegebenes Koordinatensystem oder ein System von Rhumbenlinien auf einem Portulan, oder deiktisch.

Die qualitativen Relationen der Distanz und Größe können auf einer absoluten oder relativen Skala spezifiziert werden. Absolute Skalen ordnen – in einem gegebenen Bezugssystem – qualitative Angaben wie „nahe“ und „fern“ oder „groß“ und „klein“ in einer absoluten Halbordnung an. Im relativen Fall werden Objekte immer in ihren Beziehungen zu anderen Objekten beschrieben. Bei qualitativen Vergleichen spielen die Arten der Objekte und die Feinkörnigkeit der Betrachtung eine entscheidende Rolle für die Plausibilität.

Implementation des räumlichen Schließens

Auf mittelalterlichen Karten haben im Allgemeinen nur große Regionen wie Asien, Afrika und Europa klare Grenzlinien; in einigen Fällen sind die (sieben) Klimazonen eingezeichnet. Für kleinere Regionen müssen Polygone eingeführt werden. Oft reichen Rechtecke aus, weil Referenzobjekte wie Miniaturen und Inschriften leicht in sie eingeschlossen werden können, und die Verarbeitung wird dadurch vereinfacht. (Zur algorithmischen Behandlung ebener und sphärischer Karten in der „Computergeometrie“ siehe z.B. JENNINGS 1997 oder PREPARATA/SHAMOS 1980; für eine Anwendung auf den Behaim-Globus auch JELINEK 1997).

Aus der Implementationsperspektive können die räumlichen Konzepte und Eigenschaften in einer Domäne spezifischer „konkreter“ Objekttypen mit vordefinierten Prädikaten und Relationen und eventuell weiteren Funktionen, die mit speziellen Problemlösungsmethoden (RCC8) verknüpft sind, eingeführt werden. Solche abstrakten Datentypen, manchmal auch „concrete domain“ genannt, können dann mit einem Beschreibungslogiksystem derart kombiniert werden, dass der Inferenzprozess hybrid wird. Die räumlichen Schlüsse werden an eine „Black Box“ delegiert, die ihre Ergebnisse an das Beweissystem weitergibt.

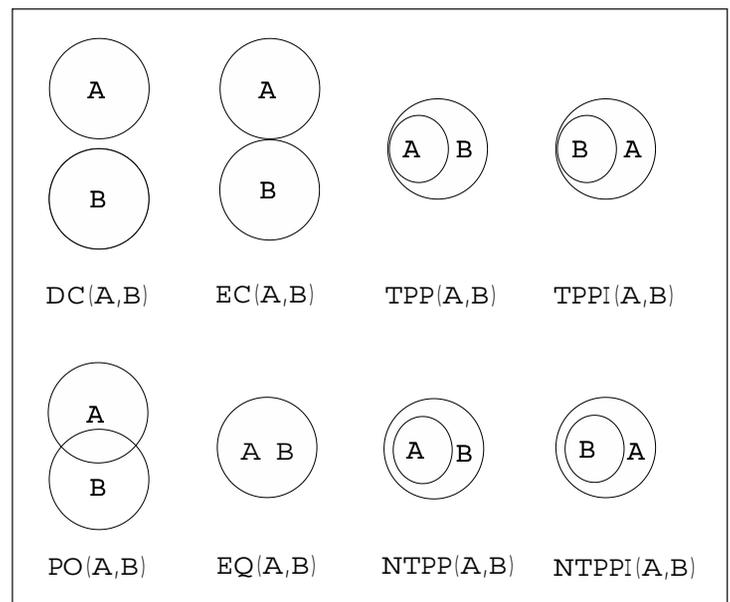


Abb. 4: Topologische Relationen des „Region Connection Calculus“ RCC8.

Ein erster Versuch einer experimentellen Implementation räumlichen Schließens mit einer Schnittstelle für „concrete domains“ zeigte die Eignung dieser Vorgehensweise. Unter Verwendung der von JELINEK (1997) implementierten computergeometrischen Algorithmen haben wir einen abstrakten Datentyp implementiert, der neben der topologischen Modellierung auch Orientierung, Skalierung und Distanz umfasst (DEANG 2000). Ein alternativer Modellierungsansatz wurde von der Hamburger Forschungsgruppe von HAARSLEV und MÖLLER (1997) verfolgt. Was die Skalierung betrifft, können Gruppen von Objekten ähnlicher Größe gebildet werden, z.B. Kontinent vs. Archipel, Gebirge vs. Kap, Wald oder Stadt, und analog gilt dasselbe für Entfernungen. Auf diese Weise wird es möglich, Anfragen auf der Ebene topologischer und anderer räumlicher Prädikate zu stellen, die extern, d.h. mittels Verfahren der „concrete domain“, gelöst werden. Beispiele für typische räumlich-begriffliche Anfragen sind: Welche geographischen Regionen liegen innerhalb des afrikanischen Kontinents? Welche Regionen liegen südlich der Azoren und westlich der Kanaren? Was ist östlich des Schwarzen Meers? Welche Städte in Asien sind näher als 50 <Entfernungseinheiten> östlich des Kaspischen Meers?

Damit ist der anfänglich erhobene Anspruch im Prinzip eingelöst, dass eine rationale Rekonstruktion kognitiver Karten auf einer epistemologischen Ebene möglich ist, die die zur Organisation räumlichen Wissens notwendigen Elemente umfasst. Mit der vorgestellten Operationalisierung können qualitative Schlussfolgerungen automatisch gezogen werden.

Danksagung. Die Autoren danken herzlich Bernhard Schiemann und Tobias Scharpff für hilfreiche Kommentare und Unterstützung bei der Domänenimplementation in OWL-DL.

Abkürzungen

DC = disconnected from, EC = externally connected to, PO = partially overlaps, EQ = is identical with, TPP = tangential proper part of, NTPP = nontangential proper part of.

Literatur

- BAADER, F. et al. (Eds.). 2003: *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications*, Cambridge University Press.
- BECHHOFFER, S. et al. 2003: The DIG Description Logic Interface, in *Proceedings of the 2003 International Workshop on Description Logics (DL2003)*, Rome, Italy September 5–7, 2003, Bd. 81 of CEUR Workshop Proceedings, CEUR-WS.org, 2003.
- BLAKEMORE, M.; HARLEY, J. 1980: Concepts in the History of Cartography – A Review and Perspective, Vol. 17/4, Monograph 26 von *Cartographica – International Publications on Cartography*, University of Toronto Press, Toronto.
- BOTT, G.; WILLERS, J. (Eds.). 1992: *Focus Behaim-Globus. Ausstellungskatalog*, 2 Bde., Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, Nürnberg.
- BRACHMAN, R.J. et al. 1991: Living with CLASSIC: When and How to Use a KL-ONE-like Language, in SOWA, J. (Hrsg.): *Principles of Semantic Networks*, Kap. 14, Morgan Kaufmann, San Mateo, p. 401–456.
- BRÄUNLEIN, P. 1992: *Martin Behaim – Legende und Wirklichkeit eines berühmten Nürnbergers*. Bayerische Verlagsanstalt, Bamberg.
- COHN, A.G. et al. 1997: Representing and Reasoning with Qualitative Spatial Relations About Regions, in *Spatial and Temporal Reasoning*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht and Boston and London, p. 96–134.
- CROFTS, N. et al. 2009: Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model. Version 5.0.1, The International Committee for Documentation of the International Council of Museums (ICOM–CIDOC), Paris.
- DEANG, D.M. 2000: *Geometrical and Logical Modelling of Cartographic Objects*, Master thesis in computational engineering, University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen.
- DONINI, F. et al. 1996: Reasoning in Description Logics, in BREWKA, G. (Ed.): *Foundations of Knowledge Representation*, CSLI Publications, Stanford, CA, p. 191–236.
- DORFFNER, L. 1996: *Der digitale Behaim-Globus – Visualisierung und Vermessung des historisch wertvollen Originals*, *Cartographica Helvetica*, Bd. 14, p. 20–24.
- EDSON, E. et al. 2005: *Der mittelalterliche Kosmos. Karten der christlichen und islamischen Welt*, Primus Verlag, Darmstadt.
- EGENHOFER, M.; MARK, D. 1995: Naive Geography, in *Spatial Information Theory. Proceedings of Cosit'95*, Semmering, Austria, Bd. 988 von *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Berlin, p. 1–15.
- FALCHETTA, P. 2006: *Fra Mauro's World Map. With Commentary and translation of the inscriptions. (CD-ROM Project: CIRCE)*, Vol. 5 of *Terrarum Orbis*, Brepols, Turnhout.
- GUARINO, N. 1998: Formal Ontology and Information Systems, in GUARINO, N. (Ed.): *Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS-98*, Trento, Italy, 6–8 June 1998, IOS Press, Amsterdam, p. 3–15.
- GÖRZ, G.; HOLST, N. 1997: The Digital Behaim Globe (1492), in BEARMAN, D.; TRANT, J. (Eds.): *Museum Interactive Multimedia 1997: Cultural Heritage Systems – Design and Interfaces. Selected Papers from ICHIM-97*, The Fourth International Conference on Hypermedia and Interactivity in Museums, Paris 1997, Archives & Museum Informatics, Pittsburgh, Penn., p. 157–173.
- GÖRZ, G. et al. 2008: An Implementation of the CIDOC Conceptual Reference Model (4.2.4) in OWL-DL, in *Proceedings CIDOC 2008 – The Digital Curation of Cultural Heritage*. Athens, Benaki Museum, 15.–18.09.2008, ICOM CIDOC, Athen, p. 1–14.
- GÖRZ, G.; SCHOLZ, M. 2009: Content Analysis of Museum Documentation in a Transdisciplinary Perspective, in *Proceedings of the EACL 2009 Workshop on Language Technology and Resources for Cultural Heritage, Social Sciences, Humanities, and Education (LaTeCH – SHELTR 2009)*, Association for Computational Linguistics, ACL, Athens, p. 1–9.
- GÖRZ, G.; SCHOLZ, M. 2010: Adaptation of NLP Techniques to Cultural Heritage Research and Documentation. In *Journal of Computing and Information Technology (CIT)*, Vol. 18, No. 4, p. 317–324.
- HAARSLEV, V.; MÖLLER, R. 1997: SBOX: A Qualitative Spatial Reasoner – Progress Report – in *Proceedings, 11th International Workshop on Qualitative Reasoning*, Cortona, Tuscany, Italy, June 3–6, Vol. N. 1036 von *Publicazioni*, Istituto di Analisi Numerica C.N.R., Pavia, p. 105–113.
- HAARSLEV, V.; MÖLLER, R. 1997: Spatioterminological Reasoning: Subsumption Based on Geometrical Inferences, in *Proceedings, DL-97, International Workshop on Description Logics*, September 27–29, Gif sur Yvette, p. 74–78.
- HERNÁNDEZ, D. 1994: *Qualitative Representation of Spatial Knowledge*, Dissertation, Fakultät für Informatik der Technischen Universität München, München. *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 804, New York: Springer.
- HOFMANN, A. 2005: Vergleich und 3D-Darstellung von alten Landkarten durch Bildregistrierung, Institut für Informatik 8, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen.
- JELINEK, R. 1997: *Räumliches Schließen in einer kartographischen Datenbasis*. Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD VIII, Erlangen.
- JENNINGS, G.A. 1997: *Modern Geometry with Applications*, Springer, New York, 3rd ed..
- KAGER, H. et al. 1992: Photogrammetrie und digitale Bildverarbeitung angewandt auf den Behaim-Globus, *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung*, Vol. 60, No. 5, S. 142–148.
- KITCHIN, R.; BLADES, M. 2002: *The Cognition of Geographic Space*, I.B. Tauris Publishers, London and New York.
- KRAUS, K. 1992: Photogrammetrie und Fernerkundung angewandt auf den Behaim-Globus, in Bott, G.; Willers, J. (Eds.): *Focus Behaim-Globus. Ausstellungskatalog*, Teil 1, Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, Nürnberg, S. 301–308.
- KRAUS, K. et al. 1992: Die Bearbeitung des Behaim-Globus mit photogrammetrischen Methoden. *Der Globusfreund*, Bd. 40–41, S. 9–19.
- LANMAN, J.T. 1987: On the Origin of Portolan Charts, Nr. 2 in *Occasional Publications*, The Newberry Library, Chicago.

- MAC EACHREN, A.M. 1995: *How Maps Work. Representation, Visualization, and Design*, The Guildford Press, New York and London, 1995.
- MENZEL, C. 2002: *Ontology Theory*, in Euzenat, J. et al. (Eds.): *Ontologies and Semantic Interoperability*, Proc. ECAI-02 Workshop, Vol. 64 von CEUR-WS, ECCAI, Lyon, p. 61–67.
- MESENBERG, P. 1994: *Portolankarten – Die „vermessene“ Welt des Mittelalters*, in Gutenberg und die Neue Welt, Kap. 3, Wilhelm Fink Verlag, München, S. 59–76.
- MURIS, O. 1943: *Der „Erdapfel“ des Martin Behaim*. (Geleitwort zu:) *Der Behaim-Globus zu Nürnberg. Eine Faksimile-Wiedergabe in 92 Einzelbildern*, Ibero-Amerikanisches Archiv, Bd. 17, Nr. 1–2, S. 1–64.
- NOY, N. 2003: *Ontologies*, in FARGHALY, A. (Ed.): *Handbook for Language Engineers*, CSLI Publications, Stanford, CA, p. 181–211.
- NOY, N. F. et al. 2001: *Creating Semantic Web Contents with Protégé-2000*, IEEE Intelligent Systems, Vol. 65, p. 60–71.
- PETZ, J. 1886: *Urkundliche Beiträge zur Geschichte der Bücherei des Nürnberger Rates, 1429–1538 (Die Ausgaben der Losunger auf M. Behaims „Mappa Mundi“ 1494 und 1510)*, Mittheilungen des Vereins für die Geschichte der Stadt Nürnberg, Bd. 6, S. 168–170.
- POHLE, J. 2000: *Deutschland und die überseeische Expansion Portugals im 15. und 16. Jahrhundert*, Bd. 2 von *Historia profana et ecclesiastica*, LIT, Münster.
- PREPARATA, F. P.; SHAMOS, M. I. (Eds.). 1988: *Computational Geometry. An Introduction*, Texts and Monographs in Computer Science, Springer Verlag, New York etc., 2nd ed.
- RAVENSTEIN, E. 1908: *Martin Behaim. His Life and His Globe*, George Philip & Son, London.
- RONCIÈRE, M.; MOLLAT DU JORDIN, M. 1984: *Les Portulans – Cartes Marines du XIIIe au XVIe siècle*, Office du Livre, Fribourg.
- SIRIN, E. et al. 2007: *Pellet: A practical OWL-DL reasoner*, Journal of web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, Vol. 5, p. 51–53.
- SMITH, M.K. et al. 2004: *OWL Web Ontology Language Guide*, W3C Recommendation 10 February 2004, W3C (World Wide Web Consortium), Geneva..
- TOLMAN, E. 1948: *Cognitive maps in rats and men*, Psychological Review, Vol. 55, 1948, p. 189–208.
- VIEU, L. 1993: *A Logical Framework for Reasoning about Space*, in Spatial Information Theory. A Theoretical Basis for GIS. European Conference, COSIT'93, Marciana Marina, Elba Island, Italy, September 19–22, 1993. Vol. 716 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, Berlin, etc., p. 25–35.
- VIEU, L. 1997: *Spatial Representation and Reasoning in Artificial Intelligence*, in Spatial and Temporal Reasoning, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht and Boston and London, p. 5–41.

Abstract

The Behaim Globe of 1492 is the oldest extant globe of the earth. It is an early masterpiece of various scientific and technological achievements; nowadays it is a famous exhibit of the Germanic National Museum in Nuremberg. Its map image is primarily Ptolemaic, including elements of medieval universal cartography and of portulans. Its luxurious decoration shows 100 pictorial illustrations plus 60 banners and coats of arms, more than 2000 place names, and more than 50 long legends. The Behaim Globe is one of the very few existing cartographical works where different traditions of late medieval mapmaking are bound together.

This paper reports on an ongoing research project, aiming at a digital as well as a printed edition of the globe. In 2011, high-resolution digital photographs have been taken and a new 3D model is under construction. Furthermore, there is a database of digitized analog images of its surface taken in 1990 and black-and-white images from 1940. Based on these image data, a comprehensive catalogue of all visually relevant places including text fields is built up by means of a domain ontology for medieval cartography in description logics (OWL DL). Up to now, nearly 3000 instances (catalogue entries and comments) have been created. These instances are the core of the planned edition. Regarding its digital part, it is a common practice nowadays to unite generic concepts and properties for objects, time and space, events, actors, processes, etc., in a reference ontology such that domain specific concepts are derived from the generic ones. The CIDOC CRM is such a reference ontology; our implementation, the Erlangen CRM, provides a semantic base for the cartographic domain ontology, suitable for automatic reasoning. Furthermore, the globe provides a georeferential organization of information which opens up a new dimension for semantic indexing. Historical maps are cognitive maps in the first place, which require a formal qualitative representation of (abstract) regions, their relative positions, but also direction, orientation, and distance. Represented by specific datatypes with constraint solvers, their integration with a logical representation framework leads to a system of hybrid reasoning for processing complex spatial queries over the Behaim globe instance base.

Tags: **Globe, digitization, Ptolemaic map, conceptual modelling**

Autoren: Dipl.-Math. Dr.-Ing. Günther Görz, Professor i.R. für Informatik, Univ. Erlangen-Nürnberg, Leitung der AG Digital Humanities. Arbeitsschwerpunkte sind Maschinelle Sprachverarbeitung, Angewandte Logik und Wissensrepräsentation, Digitale Medien und Dokumentation des Kulturerbes, guenther.goerz@fau.de. Dipl.-Inf. Martin Scholz, Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der AG Digital Humanities und einer der Hauptentwickler des WissKI-Systems. Arbeitsschwerpunkte sind Konzeptionelle Modellierung/Ontologien, maschinelle Sprachverarbeitung, semantische Annotation und Semantic-Web-Techniken. martin.scholz@fau.de.