

Alexander unterwegs in Ebstorf und anderswo. Ein Versuch zu kognitiven Karten, ihrer epistemologischen Rekonstruktion und logischen Implementierung

Günther Görz

Universität Erlangen-Nürnberg, Department Informatik

1 Einleitung

Die herausragende Rolle Alexanders des Großen in der europäischen mittelalterlichen Literatur wird auch auf den großen Weltkarten dieser Zeit deutlich: Auf der Ebstorfer Weltkarte ist er — in HARTMUT KUGLERS Edition¹ — elf Mal erwähnt, und ähnlich reichhaltig ist Alexanders Präsenz auf der Hereford-Karte. NAOMI KLINE² widmet in ihrer Monographie der Alexandersage ein ganzes Kapitel; auf der zugehörigen CD-ROM³ kann man Alexanders bewaffnete Asienreise von Station zu Station virtuell nachvollziehen.

Man mag spekulieren, welchen Zwecken die in der Kathedrale von Hereford oder in der Ebstorfer Klosterkirche aufgehängten großen Weltkarten gedient haben; dabei an virtuelle Reisen und Pilgerfahrten, vor allem zu dem in der Mitte besonders hervorgehobenen Jerusalem zu denken, liegt gerade in der Zeit der Kreuzzüge nahe. Vielleicht wurden die Novizen oder Lateinschüler auch vor solchen Karten unterrichtet?

Im Unterschied zu den vor allem über Byzanz überlieferten Ptolemaeuskarten und den Portulanan (Seekarten) beansprucht die universalkartographische Überlieferung des Hoch- und Spätmittelalters zunächst keine auf exakte Messungen und empirische Nachweise gestützte Geltung. Vielmehr zielt sie auf eine weltanschauliche „Orientierung“ — gerade auch im wörtlichen Sinn. Dennoch hat der am weitesten verbreitete Kartentypus, die sog. T-O-Karte, ein geographisches Grundgerüst, das sich durch eine einfache Überlegung veranschaulichen lässt: Stellt man sich einen geostationären Satelliten über Jerusalem vor, von dem man auf das Mittelmeer mit Europa, Afrika und Asien blickt, so dass Osten oben ist, dann nimmt der große asiatische Kontinent den oberen Halbkreis des Blickkegels ein, Europa den linken unteren Quadranten und Afrika den

¹KUGLER, HARTMUT (Hrsg.), Die Ebstorfer Weltkarte : Kommentierte Neuausgabe in zwei Bänden Berlin: Akademie-Verlag, 2007. Siehe insbesondere auch KUGLER, HARTMUT, Der *Alexanderroman* und die literarische Universalgeographie, in: Internationalität nationaler Literaturen. Beiträge zum ersten Symposium des Göttinger Sonderforschungsbereichs 529 Göttingen: Wallstein Verlag, 2000 102–120.

²KLINE, NAOMI REED, Maps of Medieval Thought. The Hereford Paradigm Woodbridge, Suffolk: The Boydell Press, 2001.

³KLINE, NAOMI REED, A Wheel of Memory. The Hereford Mappamundi Ann Arbor: The University of Michigan Press, 2001.

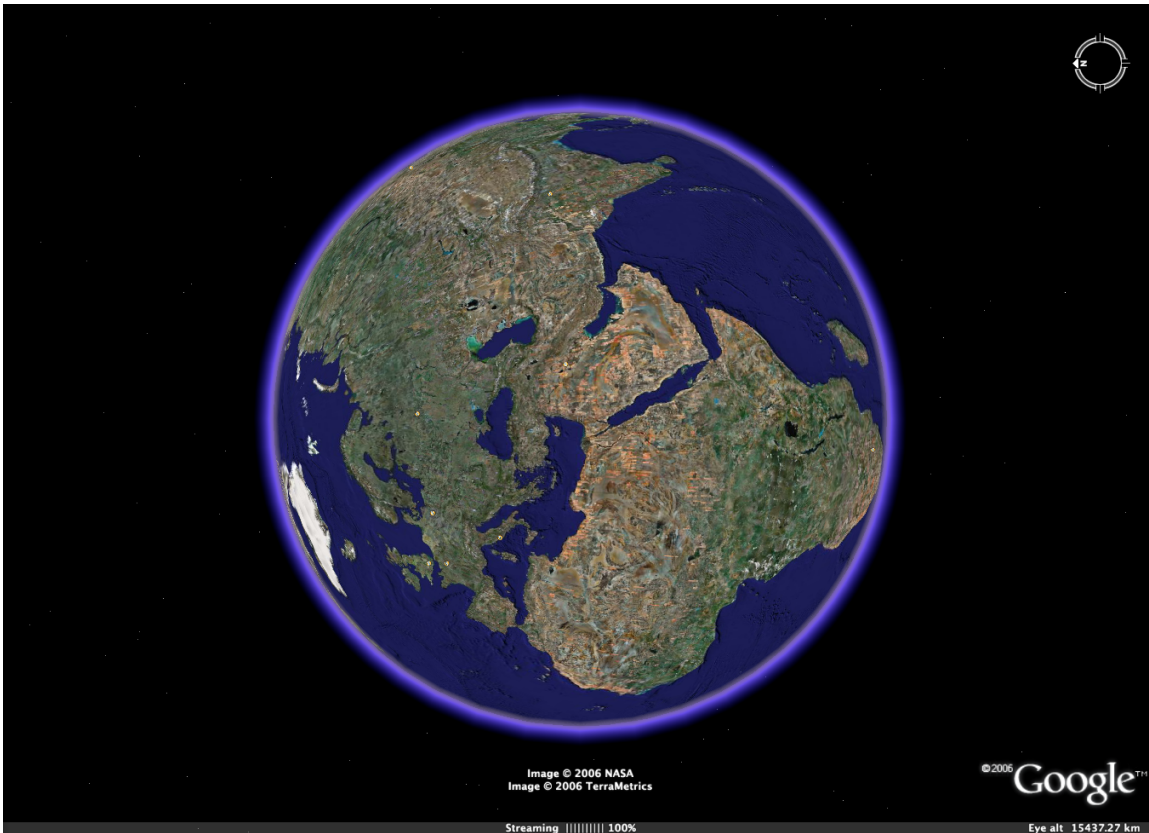


Abbildung 1: Eine mit Google Earth erzeugte „T-O“-Ansicht der Erde

rechten — ein T im O, dem kreisförmig umfassenden Ozean. Dieses Verteilungsschema, wie es besonders wirksam die *Imago mundi* des Honorius Augustodunensis (12. Jh.) etabliert hat, war über mehrere Jahrhunderte von einer enormen normativen Kraft.

Doch gilt für alle Karten, historische wie moderne, in gleicher Weise die Georeferenzierung, also die Bezugnahme auf geographische Orte, als das durchgängige Prinzip zur Darstellung *aller* Informationen. Personen, Bauwerke und andere Gegenstände, Ereignisse und historische oder fiktive Begebenheiten werden an bestimmten Orten wahrgenommen, mit ihnen assoziiert und so gemerkt und wieder erinnert. Erzählte Geschichte und Geschichten sind im Raum verankert; zeitliche Abläufe werden in räumliche Beziehungen abgebildet. Die enge Verbindung solcher kognitiven Leistungen mit der Kartierung bestimmt die Gestaltung der Karten, wobei die geographische Genauigkeit hinter narrative und epistemische Aspekte des christlich-enzklopädischen Weltwissens zurücktritt, so dass sie in erster Linie als *kognitive Karten* zu verstehen sind. Letztlich kann dann schon eine Vorstellung der Karte bei der Reproduktion des Wahrgenommenen und Gelernten helfen. Dabei spielt neben dem strukturell-semiotischen Rahmen der ikonographische Ausdruck einzelner bildhafter Elemente eine wichtige Rolle.

“In the last analysis all maps are cognitive maps” — diese These von BLAKEMORE und HAR-

LEY⁴ markiert eine Position der jüngeren kartographiehistorischen Forschung, die immer wieder thematisiert wird und die auch für HARTMUT KUGLER in seinem Editonsprojekt der Ebstorfer Weltkarte wegweisend war. Während Karten vom Itinerartyp⁵, wozu in erster Linie auch Portulane und Regionalkarten⁶ zu zählen sind, die Welt als Straße und Seeweg darstellen und wohl vor allem der praktischen Reisevorbereitung und -begleitung dienten, bieten die flächigen Weltkarten mit ihrem schematischen Aufbau ein breiteres Gerüst für das Gedächtnis. Das enzyklopädische Wissen über die Welt, geographisches und naturkundliches, aber auch historisches, und insbesondere antike Sagen, Geschichten von Monstern und den Schätzen des Orients sind eingebettet in die große christliche Heilserzählung. Der Kopf des auferstandenen Christus befindet sich auf der Ebstorfer Weltkarte am höchsten, östlichen Punkt, seine Hände umfassen die Erde im Norden und im Süden, und seine Füße berühren den westlichen Rand. Auch als im ausgehenden Mittelalter neue topographische Positionen hinzutraten, die es im Kartenschema unterzubringen und mit den alten ins Verhältnis zu setzen galt und die auch zu Modifikationen des Schemas zwangen, blieb die Grundstruktur des Memorierschemas der kreisförmigen Weltkarten erhalten, selbst als sie dann im 15. Jahrhundert mit der Renaissance der ptolomäischen Geographie den neu gezeichneten, nun geographisch immer realistischer werdenden Weltkarten Platz machten. In einer langen Übergangszeit bis ins erste Viertel des 16. Jahrhunderts bestand eine Koexistenz und es entstanden Mischformen, die Elemente der unterschiedlichen Kartentypen in sich aufnahmen. Ein beeindruckendes Beispiel für erstere bietet der von ANDREA BIANCO in Venedig 1436 gezeichnete Portulanatlas⁷: Neben sieben Seekarten enthält er eine zwar an die neuen Erkenntnisse angepasste, runde Weltkarte des hochmittelalterlichen Typs und eine ptolomäische Weltkarte. Die Kartentypen lassen sich als Resultate unterschiedlicher Transferprozesse verstehen und repräsentieren verschiedene Wissensarten, weshalb sie sich nicht gegenseitig ausschließen, sondern einander ergänzen. Insofern kann man BIANCOS Atlas durchaus eine Schlüsselrolle für die Wissensorganisation in der Frühzeit der modernen Naturwissenschaften zusprechen. Auch der BEHAIM-Globus, der ein ptolomäisches Kartenbild zeigt, und in dessen Ausgestaltung die kommerziellen, Entdeckungsreisen und Fernhandel betreffenden Aspekte vorherrschen, weist zahlreiche Elemente mittelalterlicher Weltkarten auf⁸. Der „Heilsweg ist zur Handelsstraße“⁹ geworden; die virtuellen Reisen lassen sich auf der Kugel umso eindrucksvoller demonstrieren. Die Bild-Text-Kombinationen visualisieren die Handlungsräume, wobei die den Urhebern des Globus wichtigsten Informationen buchstäblich am Wege liegen.

⁴BLAKEMORE, M.J./HARLEY, J.B., *Concepts in the History of Cartography — A Review and Perspective*, Band 17/4, Monograph 26 Toronto: University of Toronto Press, 1980.

⁵GRÖSSING, H., *Das Itinerar-Weltbild*, Kap. II in: BOTT, G./WILLERS, J. (Hrsg.), *Focus Behaim-Globus*. Ausstellungskatalog, Teil 1 Nürnberg: Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, Dezember 1992 115–118.

⁶Wie z.B. die Itinerarkarten von Matthaeus Parisiensis in seiner *Chronica Maiora*; vgl. Parker Library on the Web, Cambridge / Stanford: <http://parkerweb.stanford.edu/>; 10.5.2009

⁷BIANCO, ANDREA, *Atlante Nautico* (1436). Andrea . bianco . de veneciis . me fecit . M . cccc . xxx . vj . a cura di Piero Falchetta Venezia: Arsenale Editrice srl, 1993.

⁸GÖRZ, GÜNTHER, *Altes Wissen und neue Technik. Zum Behaim-Globus und seiner digitalen Erschließung*, *Norica. Berichte und Themen aus dem Stadtarchiv Nürnberg* 3 Juli 2007 78–87.

⁹HILSENBECK, RENATE, *Mittelalterliche Weltkunde und Behaim-Globus. Vom Heilsweg zur Handelsstraße*, Kap. III in: BOTT, G./WILLERS, J. (Hrsg.), *Focus Behaim-Globus*. Ausstellungskatalog, Teil 1 Nürnberg: Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, Dezember 1992 239–272.

Auch auf MARTIN BEHAIMS Erdapfel ist Alexander unterwegs, selbst wenn die Platzierung von „Alexanders Altar“ im Baltikum nicht so recht gelungen ist. Doch der Landweg nach Asien zeigt sich auf dem Globus als der schwierigere: Augenfällig ist die Umrundung des im Süden deutlich verkürzten Afrika und gleichermaßen die Westfahrt nach Asien, die — unter Behaims Leitung — Hieronymus Münzer 1493 dem portugiesischen König empfahl.

Im Folgenden soll auf die Elemente eingegangen werden, aus denen beispielsweise solche virtuellen Reisen auf Karten aufgebaut sind, sowie auf die Möglichkeiten ihrer — auch formalen — Beschreibung und Verarbeitung. Ohne Zweifel spielen dabei *Gebiete (Regionen)* und ihre relative Lage zueinander, Richtungen bzw. *Orientierung* und *Distanz* eine Schlüsselrolle. Diese Elemente wahrzunehmen, zu identifizieren, und sich diskursiv auf sie zu beziehen ist eine Abstraktionsleistung, die jedenfalls auch ein kognitives Fundament hat. Die Bezugnahme auf Reisen ist aber nur ein Beispiel zur Motivation; im Allgemeinen geht es hier um den Aufbau von Karten, ihre Beschreibung anhand dieser primär qualitativen Kategorien und die Ausführung qualitativer Schlußfolgerungen. Durch die Betonung der Repräsentation des Qualitativen sind selbstverständlich quantitative Aspekte nicht ausgeschlossen; im Vordergrund steht das qualitative Schließen und nicht ein geographisch-numerisches Rechenmodell.

Durch die Verbindung einer deskriptiven Modellierung von Karten, wie sie in Abschnitt 5 vorgestellt wird, mit einer Operationalisierung dieser Elemente werden im digitalen Medium neuartige Verknüpfungen, insbesondere logischer Art, und die automatisierte Bearbeitung komplexer Anfragen an den Datenbestand möglich.

2 Über kognitive Karten

Von „kognitiven Karten“ zu sprechen ist seit dem „spatial turn“ in den Kultur- und Sozialwissenschaften weithin gebräuchlich und es existiert eine umfangreiche Literatur, die dieses Thema aus verschiedenen disziplinären Sichten, primär aber aus der wissenspsychologischen und kognitionswissenschaftlichen behandelt. Eine repräsentative, umfassende Übersicht im letztgenannten Sinn geben z.B. KITCHIN und BLADES¹⁰ sowie MACEACHREN¹¹, wobei bei Letzterem — ausgehend von Eigenschaften des visuellen Wahrnehmungssystems des Menschen — dann auch zeichentheoretisch/semiotische sowie praktische Fragen der Herstellung und Nutzung moderner Karten breiten Raum einnehmen. Nach KITCHIN und BLADES hat TOLMAN¹² den Terminus „cognitive map“ zur Bezeichnung der kognitiven Repräsentation des Raums und räumlicher Beziehungen eingeführt. Zunächst wurden dabei kognitive Karten auf der Ebene des Individuums untersucht, dann trat die Ebene der sozialen Kommunikation hinzu.

¹⁰KITCHIN, ROB/BLADES, MARK, *The Cognition of Geographic Space* London and New York: I.B. Tauris Publishers, 2002.

¹¹MACEACHREN, ALAN M., *How Maps Work. Representation, Visualization, and Design* New York and London: The Guildford Press, 1995; zum kognitiven Kartenentwurf s.a. MONTELLO, DANIEL R., *Cognitive Map-Design Research in the Twentieth Century: Theoretical and Empirical Approaches*, *Cartography and Geographic Information Science* 29, Nr. 3 2002 283–304.

¹²TOLMAN, E.C., *Cognitive maps in rats and men*, *Psychological Review* 55 1948 189–208.

DOWNS und STEA¹³ sprechen von kognitiven Karten als einem Produkt, nämlich der strukturierten Abbildung eines Teils der räumlichen Umwelt eines Menschen. Dabei betonen die Autoren eine synchrone Perspektive: Eine kognitive Karte sei ein Querschnitt, der die Welt zu einem bestimmten Zeitpunkt zeigt; sie spiegele die Welt wieder, wie der Mensch glaubt, dass sie sei. Auch wenn die Beschränkung auf die Synchronie, die für kognitionspsychologische Untersuchungen hinreichend sein mag, in unserem Zusammenhang als eine zu starke Einengung erscheint, sind zwei entscheidende Begriffe genannt: Abbildung (Repräsentation) und Umwelt. Davon ausgehend entwickeln DOWNS und STEA ein Programm, das auf der Basis einer systematischen Behandlung der Fragen des „Wo“, des „Was“ und des „Wann“ zu einer Konzeption des kognitiven Kartierens führt. Dessen Ergebnis, kognitive Karten, wird sodann in Bezug gesetzt zu räumlichen Ausdrücken der Alltagssprache und als ihre vielleicht wichtigste Funktion die Erstellung eines Bezugssystems für die Interpretation von Ereignissen in der Umwelt herausgestellt. Für das „Wo“, also die räumlichen Informationen im engeren Sinn, wird zunächst einmal die Benennung als elementares Mittel der Feststellung der Identität vorausgesetzt. Zur Beschreibung von Standorten reicht jedoch die Identifikation durch Namen nicht aus; sie bedarf, je nach Bezugssystem, einer Ergänzung durch eine Zustands- oder Verlaufsbeschreibung sowie Entfernungs- und Richtungsangaben. Ein Beispiel für eine Verlaufsbeschreibung wäre etwa eine Wegeinformation, die angibt, wie man einen bestimmten Ort erreichen kann. Das „Was“ — die Zielsetzung — und das „Wann“ wird beim Lösen räumlicher Probleme relevant: Es ist ein Satz von einschlägigen Eigenschaften bzw. Attributen anzugeben, die der Erstellung einer Lösung mittels kognitiver Kartierung dienlich sind. Die Tätigkeit des kognitiven Kartierens kann also nach DOWNS und STEA dahingehend präzisiert werden, dass sie ein Verfahren umfasst, wie man räumliche Informationen über das „Wo“ sowie das „Was“ und das „Wann“ gewinnt, strukturiert und so speichert, dass sie bei Bedarf effizient abgerufen werden können. So weit steht dies auch im Einklang mit KUGLERS¹⁴ Feststellung, dass kognitive Karten „darüber Aufschluß geben [sollen], wie Orientierung im Raum und die Speicherung von handlungsrelevanten räumlichen Informationen im menschlichen Denken vonstatten geht. Dabei kann die Organisation von ‘Wissensspeicherung’, deren graphische Umsetzung sich mit einer Landkarte abgleichen läßt, nur ein Spezialfall sein.“ Genau um diesen geht es hier aber; weitergehende Fragestellungen, die bis in die Domäne der Hirnforschung hineinreichen, sollen ausgeklammert bleiben.

BARBARA TVERSKY¹⁵ weist mit Recht darauf hin, dass der Begriff der kognitiven Karte wie viele nützliche Begriffe mehrere Bedeutungsfacetten hat, die zu unvermeidlichen Missverständnissen führen können. Sie weist auf Schwierigkeiten einer kognitionspsychologischen Konzeption hin, die in ihnen kartenartige mentale Konstrukte sieht, die durch Lernprozesse schrittweise immer komplexer werden und die mental inspizierbar sind. So hat sie z.B. bei der empirischen

¹³DOWNS, ROGER M./STEA, DAVID, Kognitive Karten: Die Welt in unseren Köpfen, Band 1126 New York: Harper and Row, 1982.

¹⁴KUGLER, HARTMUT, Zur kognitiven Kartierung mittelalterlicher Epik. Jean Bodels ‘drei Materien’ und die ‘Matière de la Germanie’, in: Topographien der Literatur. Deutsche Literatur im transnationalen Kontext Stuttgart and Weimar: Verlag J.B. Metzler, 2005 244–263.

¹⁵TVERSKY, BARBARA, Cognitive Maps, Cognitive Collages, and Spatial Mental Models, in: Spatial Information Theory. A Theoretical Basis for GIS. European Conference, COSIT’93, Marciana Marina, Elba Island, Italy, September 19–22, 1993, Band 716 Berlin, etc.: Springer-Verlag, September 1993 14–24.

Untersuchung von Aspekten der mentalen Organisation räumlichen Wissens systematische Fehleinschätzungen festgestellt und setzt deshalb dieser gewissermaßen holistischen Auffassung eine aus disparaten Modulen von Umgebungswissen bestehende in der Form sog. „kognitiven Collagen“ entgegen.

In der vorliegenden Studie wollen wir uns mit dem Begriff der kognitiven Karte auf einer elementaren Ebene auseinandersetzen, indem wir den Versuch einer rationalen Rekonstruktion von „kognitiv“ in einem epistemologischen und (zunächst) nicht psychologischen Sinn unternehmen. Dabei gilt es, die epistemologisch zu einer Organisation räumlichen Wissens notwendigen Elemente zu benennen. Eine derartige Abstraktion führt zu einer Formalisierung, in der einige Aspekte — hier zunächst die psychologischen — nicht modelliert werden. Dieser Nachteil wird jedoch durch mehrere Vorteile aufgewogen, wozu eine einheitliche logisch fundierte Darstellung und präzise Operationalisierung gehören. Auch wenn DOWNS und STEA gerade einen psychologischen Ansatz verfolgen, haben sie dennoch, wenn man der obigen Skizzierung folgt, ein Gerüst geliefert, an dem man sich für unseren Zweck orientieren kann. Was sind diese Elemente? Wir fragen nach Orten und den relativen Lagen bestimmter Orte und Gebiete zueinander, nach Pfaden in Raum und Zeit, nach Richtungen und Distanzen. Es geht damit um Benennung, Zustands- und Verlaufsbeschreibung und alles Weitere, wie oben ausgeführt. Hierfür sollen zuerst logisch-formalsprachliche Mittel bereitgestellt werden, woran sich dann später der Übergang zu alltagssprachlichen Ausdrucksformen anschließen läßt. Dabei soll qualitatives Schließen über räumliche Beziehungen bereits in der formalsprachlichen Ebene verankert werden. Auf diese Weise besteht auch kein Anlass zu holistischen Ansprüchen der Art, die TVERSKY zu Recht kritisiert — ohne dass wir uns an dieser Stelle auf die Ebene der empirischen Psychologie einlassen müssen. In der Anwendung auf mittelalterliche Weltkarten setzen wir uns so auch nicht dem Verdacht einer ahistorischen Betrachtung aus, denn es darf angenommen werden, dass es sprachliche Grundformen und -ausdrücke der räumlichen Orientierung gibt, die weitgehend kulturinvariant sind. Diese werden verbunden mit normierten kunst- und kulturhistorisch ausgewiesenen Objektbeschreibungen und elementaren Relationen für die historische Interpretation des Dargestellten. Gleichmaßen geht es hier zunächst auch nicht um eine historische Epistemologie des kosmographischen und kartographischen Wissens¹⁶, in der die historische Entwicklung des räumlichen Wissens thematisiert wird, sondern um eine konzeptionelle Grundlage, jedoch mit dem Anspruch, dass diese sich für die Bearbeitung weitergehender Fragestellungen eignet.

3 Topologische Beschreibung

Es gibt eine Reihe von formalen Ansätzen für qualitative Theorien des geographischen (euklidischen) Raums, die einen Rahmen für das räumliche Schließen bieten. Gerade dann, wenn keine präzisen homogenen räumlichen Daten vorliegen oder es in der Argumentation nicht in erster Linie darauf ankommt, sind solche Theorien von besonderem Nutzen.¹⁷ LAURE VIEU hat eine

¹⁶Vgl. das Berliner „Excellence Cluster“ TOPOI: <http://www.topoi.org/>; 15.05.2009

¹⁷Siehe u.a. EGENHOFER, M./MARK, D., Naive Geography, in: Spatial Information Theory. Proceedings of Co-sit'95, Semmering, Austria, Band 988 Berlin: Springer, 1995 1–15. Umfassende Übersichten über die Forschung, das Verhältnis qualitativer und quantitativer Ansätze zum räumlichen Schließen sowie integrative Ansätze bieten

für unseren Ansatz besonders einschlägige Theorie ausgearbeitet¹⁸, in der sie auf der Basis der Mereologie als axiomatisierter Teil-Ganzes-Beziehung eine Formalisierung topologischer Konzepte sowie einiger geometrischer Grundbegriffe, insbesondere Distanz und Orientierung, in der Sprache der Logik erster Stufe¹⁹ vorgenommen hat.

Um eine derart formalisierte qualitative Theorie des geographischen Raums in praktischen kartographischen Anwendungen einsetzen zu können, ist auf jeden Fall sicherzustellen, dass sie in eine entscheidbare Teilsprache der Logik übertragen werden kann und dass sie mit einem begrifflichen Modell der Karten in einem einheitlichen formalen Rahmen verbunden werden kann. Dies ist möglich mit einer geeignet erweiterten Beschreibungslogik, worauf in den folgenden Abschnitten eingegangen wird.

Eine elementare topologische Theorie, der „Region Connection Calculus“, wurde im Hinblick auf das qualitative räumliche Schließen u.a. von ANTHONY COHN et al.²⁰ entwickelt. Auf der Basis eines *topologischen Regionen*-Begriffs werden die räumlichen Relationen untersucht, in denen Regionen paarweise zueinander stehen können und es wird gezeigt, dass die in Abb. 2 wiedergegebenen acht Relationen ein ausschöpfendes und paarweise disjunktes System bilden. Die Abkürzungen bedeuten: DC = *disconnected from*, EC = *externally connected to*, PO = *partially overlaps*, EQ = *is identical with*, TPP = *tangential proper part of*, NTPP = *nontangential proper part of*. Aus den — zunächst logisch ausgedrückten — Sätzen dieser sog. RCC8-Theorie, welche Eigenschaften der Relationen und Zusammenhänge zwischen ihnen formulieren, kann eine sog. Kompositionstabelle gewonnen werden, die das logische Schließen mit diesen Relationen entscheidend vereinfacht. Eine Anfrage der Form „Gegeben $R1(x, y)$ und $R2(y, z)$, was ist die Beziehung zwischen x und y , wobei $R1$ und $R2$ Relationen des Kalküls sind?“ bedarf dann zu ihrer Beantwortung keines aufwendigen automatischen logischen Beweisverfahrens mehr. Vielmehr kann die Antwort direkt durch Nachschlagen in der Tabelle, deren Zeilen und Spalten mit den genannten Relationen beschriftet sind, ermittelt werden.

Bei den topologischen Beziehungen zwischen zwei Regionen können vier Fälle unterschieden werden: identisch (EQ), disjunkt (DC, EC), überschneidend (PO) und innenliegend (N/TPP/I). Angesichts der idealtypischen Abbildung von Regionen durch Kreise bzw. Ellipsen sei darauf hingewiesen, dass Regionen in diesem Sinn, in der mathematischen Teildisziplin Topologie als Punktmengen betrachtet, elastischen Verformungen unterworfen werden können; man spricht dann von topologisch äquivalenten Punktmengen. Bei der durch die sog. „topologische Abbildung“ ausgedrückten elastischen Verformung bleiben bestimmte Eigenschaften der Punktmengen erhalten: so gehen Randpunkte in Randpunkte über, benachbarte Punkte bleiben benachbart und die Randkurve bleibt geschlossen. Evident sind Regionen mit einem — anschaulich ge-

VIEU, LAURE, Spatial Representation and Reasoning in Artificial Intelligence, in: Spatial and Temporal Reasoning Dordrecht and Boston and London: Kluwer Academic Publishers, 1997 5–41, und, nach wie vor aktuell, HERNÁNDEZ, DANIEL, Qualitative Representation of Spatial Knowledge, Dissertation München: Fakultät für Informatik der Technischen Universität München, Oktober 1992.

¹⁸VIEU, LAURE, 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, Band 716 Berlin, etc.: Springer-Verlag, September 1993 25–35.

¹⁹Wird im Folgenden einfach von „Logik“ gesprochen, ist stets die Standardlogik erster Stufe gemeint.

²⁰COHN, ANTHONY G. et al., Representing and Reasoning with Qualitative Spatial Relations About Regions, in: Spatial and Temporal Reasoning Dordrecht and Boston and London: Kluwer Academic Publishers, 1997 96–134.

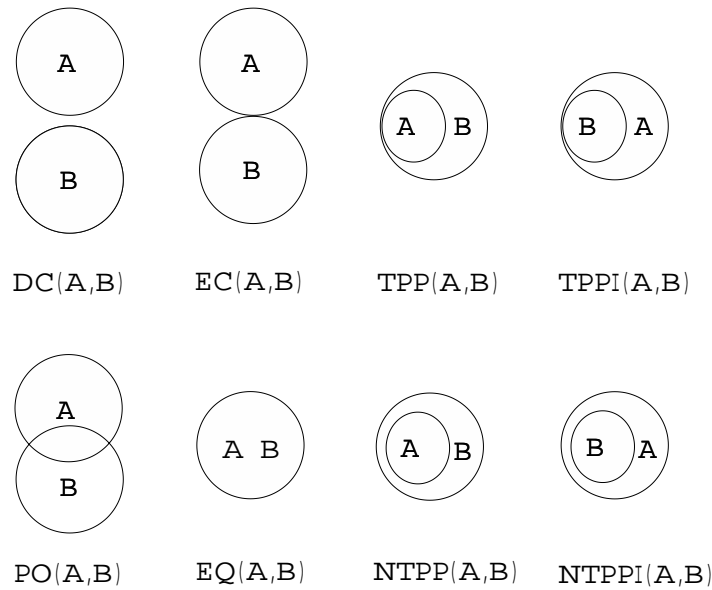


Abbildung 2: Die elementaren topologischen Relationen in der RCC8-Theorie

sprochen — „inneren Loch“ nicht topologisch äquivalent zu einfach-zusammenhängenden. Der alltägliche Sprachgebrauch von Richtungsadverbien und Präpositionen²¹ wie z.B. „innerhalb“ umfasst jedoch mehr als nur innenliegend im topologischen Sinn. Stellen wir uns eine Region mit einer Ausbuchtung vor, die einen Küstenverlauf abbilden möge. Sei weiterhin eine dieser Küstenlinie benachbarte Insel gegeben: Wann sprechen wir davon, dass die Insel *in* der Bucht liegt, und wann *davor*? Dies ist nur ein Beispiel für viele analoge Fälle, dass im aktuellen Fall in erster Näherung eine Region im Unterschied zu „topologisch innerhalb“ als „geometrisch innerhalb“ einer anderen Region angesehen wird, wenn sie innerhalb ihrer konvexen Hülle liegt. Genauer betrachtet wird man wohl mit Konvexitätseigenschaften und Sichtbarkeitskegeln arbeiten müssen, wie es in einer Studie zum BEHAIM-Globus²² erprobt wurde. An dieser Stelle möge der Hinweis genügen, dass der RCC8 mit der Idee der konvexen Hülle kompatibel zu einem erweiterten (ausschöpfenden und paarweise disjunkten) System von Relationen ausgebaut werden kann.

Für Richtungs- bzw. *Orientierungs*-Relationen werden drei Elemente benötigt: Ein Primärobjekt, ein Referenzobjekt und ein Bezugssystem. Ein Bezugssystem kann entweder extrinsisch sein wie

²¹Unter den zahlreichen Untersuchungen hierzu sei beispielhaft hingewiesen auf HERSKOVITS, ANNETTE, *Language, Spatial Cognition, and Vision*, in: *Spatial and Temporal Reasoning* Dordrecht and Boston and London: Kluwer Academic Publishers, 1997 155–201, und VANDELOISE, CLAUDE, *Aristote et le lexique de l'espace. Rencontres entre la physique grecque et la linguistique cognitive*, Collection langage et esprit Stanford, CA: CSLI Publications / Editions CSLI, 2001.

²²JELINEK, RICHARD, *Räumliches Schließen in einer kartographischen Datenbasis*, Studienarbeit Erlangen: Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD VIII, August 1997.

z.B. ein festgelegtes Koordinatensystem oder ein Rumbenliniensystem auf Portulankarten, oder deiktisch, wobei ein Sprecher oder ein Beobachter einbezogen sind, oder intrinsisch, indem es eine Eigenschaft des Referenzobjekts wie z.B. die „Vorderseite“ eines Gebäudes benutzt. Qualitative *Abstands- und Größen-Beziehungen* können in absoluten oder relativen Skalen angegeben werden. Erstere arrangieren — in einem gegebenen Bezugsrahmen — qualitative Maßangaben wie „nah“ und „weit“ oder „gross“ und „klein“ in einer als absolut gesetzten Halbordnung. Im Fall der relativen qualitativen Maße werden Objekte immer relativ zu anderen beschrieben, z.B. „grösser als“ oder „näher als“. Bei qualitativen Vergleichen spielen die Objektarten und auch die Granularität eine wichtige Rolle für die Plausibilität der Angaben. So ist etwa die sachlich korrekte Aussage, dass im Katalanischen Atlas Cathay (China) östlich von den Heiligen Drei Königen — d.h. von der Region, die die Miniatur einnimmt — liegt, aber zur Lokalisierung nicht wirklich hilfreich.

4 Stellenkatalog und Anfragen

Die Frage nach einer formal-logischen Repräsentation kognitiver Kategorien, hier zur Repräsentation qualitativen räumlichen Wissens und Schließens ist nur sinnvoll, wenn im Kontext der Forschung eine Menge komplexer Anfragen an einen kartographischen Datenbestand gestellt werden, die mit anderen Mitteln nur unter erheblichem Aufwand an vor allem zeitlichen Ressourcen oder realistischerweise gar nicht zu beantworten sind. Voraussetzung hierfür ist wiederum die Verfügbarkeit einer umfassenden Datenbasis.

Unter der Rahmenvorgabe, dass mittelalterliche Weltkarten vor allem als kognitive Karten zu gelten hätten, entstand ausgehend von KUGLERS Ebstorf-Projekt sowie von Arbeiten am BEHAIM-Globus²³ die Idee, langfristig einen vergleichenden Stellenkatalog für die wichtigsten hoch- und spätmittelalterlichen Weltkarten unter Einbezug von Ptolemaeus-Karten und Portulanen zu erarbeiten. Als erster Schritt wurde dazu eine Datenbank hochaufgelöster digitaler Reproduktionen mittelalterlicher Weltkarten aufgebaut²⁴, die es erlaubt, das einschlägige Kartenmaterial direkt an den Arbeitsplatz zu bringen; sie enthält z.Zt. ca. 1000 Kartenbilder²⁵.

Für den Stellenkatalog muss zuerst eine Systematik für die in ihm abzulegenden Objektbeschreibungen, d.h. ein Klassifikationsschema für die fraglichen, hier die auf den Karten dargestellten, Typen visueller Objekte und ihre Eigenschaften erarbeitet werden. Die nach einem derartigen Schema erstellten Objektbeschreibungen sind mit Positionen auf den zugehörigen Kartenbildern

²³GÖRZ, GÜNTHER/HOLST, NORBERT, The Digital Behaim Globe (1492), in: BEARMAN, DAVID/TRANT, JENNIFER (Hrsg.), 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 Pittsburgh, Penn.: Archives & Museum Informatics, September 1997 157–173; GÖRZ, Altes Wissen und neue Technik. Zum Behaim-Globus und seiner digitalen Erschließung.

²⁴GÖRZ, GÜNTHER, Kognitive Karten des Mittelalters. Digitale Erschließung mittelalterlicher Weltkarten, in: Geschichte im Netz: Praxis, Chancen, Visionen. Beiträge der Tagung .hist 2006, Berlin, 22.–24. Februar 2006, Band 10 Berlin: Clio-online und Humboldt-Universität zu Berlin, 2007 539–572.

²⁵Zugriff über <http://www8.informatik.uni-erlangen.de/mappae/>; 15.5.2009. Für die hochaufgelösten Bilder ist eine Sondergenehmigung erforderlich.

zu verankern²⁶.

Der Stellenkatalog stellt auf systematische Weise geographische und ikonographische Objekte sowie Toponyme mit ihren primär visuellen Eigenschaften in Form strukturierter Datensätze dar. Bis zu diesem Punkt unterscheidet ihn nichts von einer gewöhnlichen Datenbankanwendung mit den üblichen relationalen Abfragemöglichkeiten. Neben einfachen Anfragen nach dargestellten Objekten und ihren Eigenschaften sind auch komplexe nach Objektklassen anhand von partiellen Beschreibungen möglich. Doch erst durch die Einbettung in ein (beschreibungs-) logisches Rahmensystem mit einer Konzept- und Eigenschafts-Hierarchie werden auch Schlußfolgerungen über komplexen merkmalslogischen Verknüpfungen möglich, z.B. Überprüfung auf Widerspruchsfreiheit und automatische Klassifikation von Objekten anhand partieller Beschreibungen. „Intelligente“ Suche benötigt Inferenzen, inhaltliche innerhalb der Hierarchien von Konzepten und Eigenschaften und auch formal-logische. Damit können auch Geltungsansprüche und Begründungen in den Verarbeitungsprozess einbezogen werden.

In diesen Rahmen werden die angesprochenen Erweiterungen um räumliches Wissen auf elegante Weise eingebracht, so dass in Anfragen die merkmalslogischen Angaben nun kombiniert werden können mit Angaben über regionale Beziehungen, Orientierung und Distanz. Dabei können folgende Anfragearten unterschieden werden²⁷: Bei deiktischen Fragen sind die angefragten Objekte bekannt und man erkundigt sich nach bestimmten ihrer Eigenschaften. Bei Fragen vom iterativen Typ sind die Objekte noch nicht bekannt, die anhand bestimmter Eigenschaften zu identifizieren sind. Solche Eigenschaften können topologische sein, z.B. nach Nachbarschaft, Rand, Innerem und Äußerem, aber auch mengenorientierte, z.B. nach Durchschnitt, Enthalten-sein oder Identität, oder metrische, z.B. nach Richtung und Entfernung.

Auch wenn wir uns im folgenden auf propositionale Anfragen beschränken, soll doch darauf hingewiesen werden, dass mit der Kartendatenbank zur Bearbeitung von Fragen, die primär von bildlicher Art sind, ebenfalls Hilfsmittel bereitstehen. Hierzu gehören neben der visuellen Parallel-Präsentation auch Transformationen, um Karten vergleichen zu können — insbesondere historische, die i.d.R. nicht nach einer mathematischen Projektion erstellt wurden — und ggf. auch Animationen. Das Programmpaket MapViewer²⁸ bietet dafür Verfahren auf der Basis der Bildregistrierung an.

5 Logische Implementation

Zunächst wird die Vorgehensweise zur semantischen Erschließung historischer Karten mittels eines Konzeptmodells vorgestellt. Seine Implementation und die des darauf aufbauenden Stellenkatalogs erfolgt in einer beschreibungslogischen Sprache, in die dann die Repräsentation des

²⁶Hierfür sowie für diverse Bearbeitungsfunktionen für hochaufgelöste Bilder wird das in Web-Browsern lauffähige Anzeigeprogramm DIGILIB eingesetzt, das am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin, entwickelt wurde; siehe <http://archimedes2.mpiwg-berlin.mpg.de/archimedes.templates/project4.htm>; 15.05.2009.

²⁷Siehe im Detail JELINEK, Kap. 3.

²⁸HOFMANN, ANDREA, Vergleich und 3D-Darstellung von alten Landkarten durch Bildregistrierung, Technischer Bericht Erlangen: Institut für Informatik 8, Universität Erlangen-Nürnberg, 2005.

räumlichen Wissens integriert wird.

5.1 Formale Domänen-Ontologie und Referenz-Ontologie

Erste Überlegungen hierzu entstanden im Kontext eines Projekts, das das Ziel hatte, aus Materialien der Ausstellung *Focus Behaim-Globus*²⁹ im Germanischen Nationalmuseum Nürnberg (1992/93) ein Informationssystem zu erstellen³⁰. Diesem lag ein Stellenkatalog zugrunde, in dem neben den geographischen Objekten (Kontinente, Meere, Flüsse, Gebirge, etc.) die zahlreichen Miniaturen und Inschriften verzeichnet sind. Die Einträge des Stellenkatalogs waren als Instanzen eines Klassensystems realisiert, das zwei Teil-Hierarchien, eine geographische und eine nicht-geographische, vereinigte. Die gesamte Klassenhierarchie ist in Abb. 3 wiedergegeben. Die Modellierung der Konzepte (Klassen), ihrer Eigenschaften sowie der Instanzen wurde in einer objektorientierten Programmiersprache (CLOS: Common LISP Object System) implementiert. Die Speicherung der Objekte erfolgte in einer speziellen Datenbank; zur Suche stand eine Suchmaske zur Verfügung, die auch eine Option zur Navigation in der Klassenhierarchie bot. Allerdings war in diesem System keine Möglichkeit zum automatischen logischen Schließen enthalten mit Ausnahme der Vererbung der Eigenschaften innerhalb der Klassenhierarchie, also von Eigenschaften allgemeinerer Objekte auf speziellere. Ein Beispiel wäre die Vererbung der Eigenschaften, die für die Klasse aller Miniaturen gelten, auf die Klasse der Schiffsdarstellungen.

Diese Modellierungstechnik wird hier in veränderter Form wieder aufgenommen. Es geht nach wie vor um die formale Modellierung der visuellen Erscheinung, der Karte als Bild — nicht um Materialeigenschaften, Herstellungsprozesse und auch nicht um ihre Einbindung in den gesellschaftlichen Diskurs. Dies alles ist zweifellos sinnvoll und wichtig, muss aber künftigen Erweiterungen vorbehalten bleiben. Wird ein Gegenstandsbereich mittels einer Hierarchie von Konzepten und Eigenschaften modelliert, wozu noch weitere Einschränkungen und Regeln treten können, spricht man von einem Konzeptmodell oder auch von einer „formalen Ontologie“.

Genauer gesagt, definiert eine formale Ontologie das terminologische System für einen Gegenstandsbereich³¹ und ist normalerweise an einschlägigen Theorien, durch die dieser erschlossen wird, orientiert. Im Idealfall stützt sie sich auf den Begründungszusammenhang der jeweiligen Theorien und benutzt die diesen Theorien zugrundeliegenden Abstraktionsverfahren³². Sofern es sich um axiomatische Theorien handelt, wird die formale Ontologie auch die axiomatische Basis repräsentieren; ob und in welchem Umfang dies im konkreten Fall möglich ist, hängt von der Ausdruckskraft der gewählten Wissensrepräsentationssprache ab. Formale Ontologien, die einen bestimmten Gegenstandsbereich modellieren, heißen auch „Domänen-Ontologien“.

²⁹BOTT, G./WILLERS, J. (Hrsg.), *Focus Behaim-Globus*. Ausstellungskatalog, 2 Bde. Nürnberg: Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, Dezember 1992.

³⁰GÖRZ/HOLST, *The Digital Behaim Globe* (1492).

³¹NOY, NATALYA, *Ontologies*, in: FARGHALY, ALI (Hrsg.), *Handbook for Language Engineers* Stanford, CA: CSLI Publications, 2003 181–211.

³²MENZEL, CHRIS, *Ontology Theory*, in: EUZENAT, JEROME et al. (Hrsg.), *Ontologies and Semantic Interoperability*, Proc. ECAI-02 Workshop, Band 64 Lyon: ECCAI, 2002 61–67; GUARINO, NICOLA, *Formal Ontology and Information Systems*, in: GUARINO, NICOLA (Hrsg.), *Formal Ontology in Information Systems*. Proceedings of FOIS-98, Trento, Italy, 6–8 June 1998 Amsterdam: IOS Press, 1998 3–15.

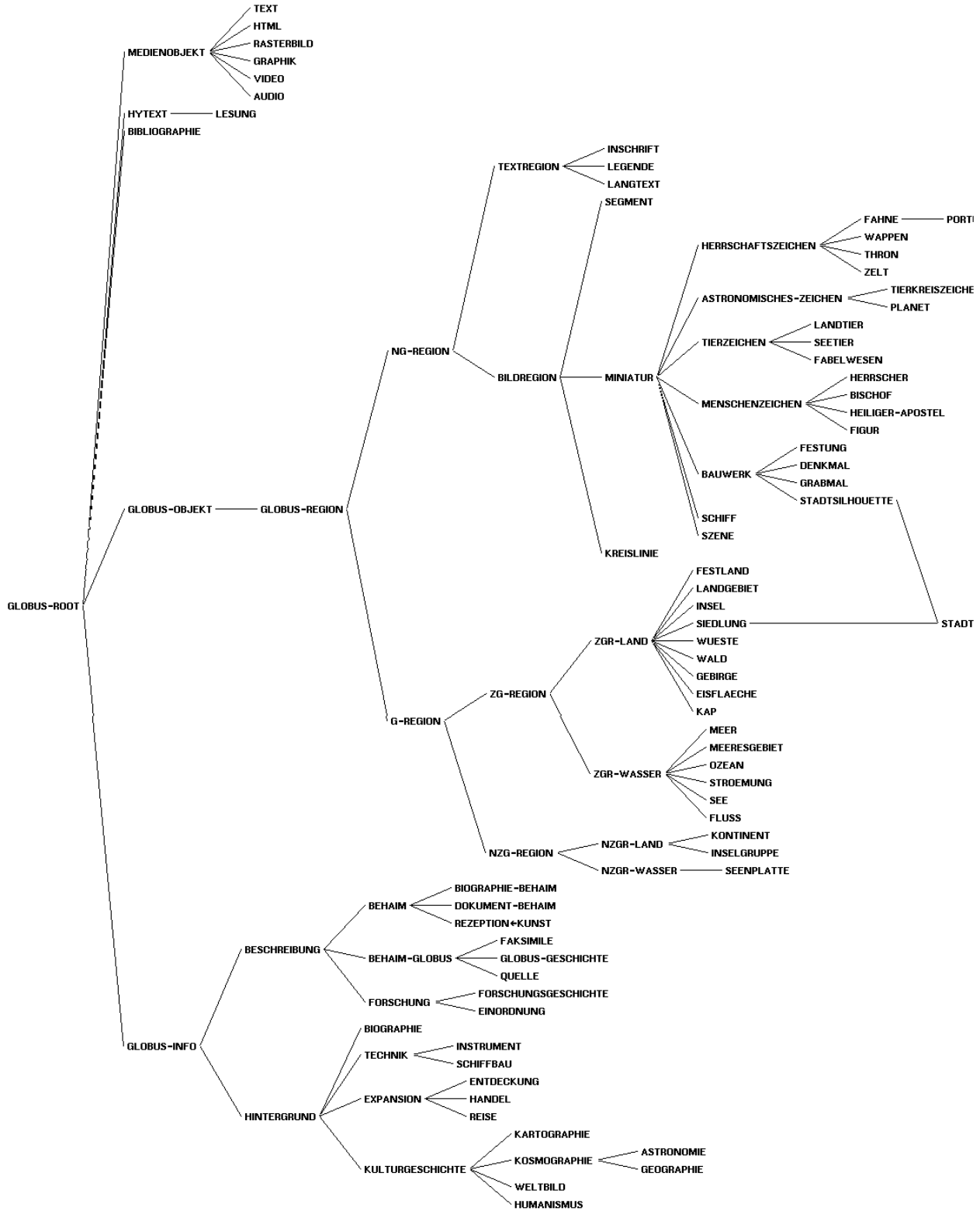


Abbildung 3: Konzeptionstierarchie für den Behaim-Globus

Zur Repräsentation des Konzeptmodells und der damit erstellten Objektbeschreibungen werden in unserem Fall formale Sprachen aus der Familie der Beschreibungslogiken³³ gewählt. Diese sind entscheidbare Teilsprachen der Logik, für die effiziente Inferenzalgorithmen bereit stehen, die vollständige und korrekte Schlüsse aus komplexen, logisch zusammengesetzten Anfragen garantieren.³⁴ Die konzeptionelle Modellierung eines Gegenstandsbereichs erfolgt mit relativ einfachen sprachlichen Mitteln; sie ist gleichsam das Gerüst einer Bereichstheorie. Beschreibungslogische Wissensbasen bestehen im Wesentlichen aus zwei Komponenten:

- einer *intensionalen* Komponente („T-Box“), welche die Konzepte (Klassen), dargestellt durch einstellige Prädikate, und die Eigenschaften, dargestellt durch zweistellige Relationen, in der — automatisch bestimmten — Anordnung einer Vererbungshierarchie enthält. Die Definitionen von Konzepten und Eigenschaften mit notwendigen und hinreichenden Bedingungen werden mit Hilfe der bekannten logischen Partikel formuliert sowie weiteren aus Wissensrepräsentationssprachen geläufigen Konstrukten zur Formulierung von Beschränkungen bzgl. Typen, Anzahlen, etc.;
- einer *extensionalen* Komponente („A-Box“), die die aktuellen Objektbeschreibungen (Individuen) als Instanzen der Konzepte mit Eigenschaftsausprägungen enthält, welche in vielerlei Beziehungen zueinander stehen können.

Die beschreibungslogischen Sprachen bilden eine Familie; je nach Auswahl der konzept- und eigenschaftsbildenden Sprachkonstrukte werden mehr oder weniger ausdrucksstarke Sprachen mit unterschiedlichen Komplexitätseigenschaften gebildet. In formalen Ontologien, die mit diesen Mitteln formuliert werden, wird die — allerdings nicht kontingente, sondern terminologisch kontrollierte — Vernetzung selbst zum Bedeutungsträger; sie legt eine sinn-relationale Semantik fest.

Eine deutliche Steigerung der Ausdrucksfähigkeit kann durch Hinzunahme eines *Regelformalismus* erreicht werden, was jedoch eine Relativierung der Korrektheits- oder Vollständigkeitseigenschaften nach sich zieht.

In unserem Fall wurde zunächst die objektorientierte Modellierung des BEHAIM-Globus in die beschreibungslogische Wissensrepräsentationssprache CLASSIC³⁵ übertragen.³⁶ Dieses Konzeptmodell eignet sich nach der bisherigen Erfahrung auf jeden Fall für Ptolemaeuskarten im Allgemeinen, da der Globus ein ebensolches Kartenbild besitzt, aber auch für kreisförmige mittelalterliche Weltkarten, deren Gestaltungselemente auf ihm häufig vertreten sind. Lediglich für Portulankarten³⁷ wären noch Ergänzungen erforderlich. Obwohl seine Ausdruckskraft ziemlich

³³BAADER, FRANZ et al. (Hrsg.), *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications* Cambridge University Press, 2003.

³⁴DONINI, F.M. et al., *Reasoning in Description Logics*, in: BREWKA, G. (Hrsg.), *Foundations of Knowledge Representation* Stanford, CA: CSLI Publications, 1996 191–236.

³⁵BRACHMAN, RONALD J. et al., *Living with CLASSIC: When and How to Use a KL-ONE-like Language*, Kap. 14 in: SOWA, J.F. (Hrsg.), *Principles of Semantic Networks* San Mateo: Morgan Kaufmann, 1991 401–456.

³⁶DEANG, DUANE MARI, *Geometrical and Logical Modelling of Cartographic Objects*, Master thesis in computational engineering Erlangen: University of Erlangen-Nuremberg, October 2000.

³⁷LANMAN, JONATHAN T., *On the Origin of Portolan Charts*, Occasional Publications 2 Chicago: The Newberry Library, 1987.

eingeschränkt ist, wurde CLASSIC gewählt, weil es über eine geeignete Schnittstelle für Erweiterungen verfügt, die im Folgenden für die räumlichen Relationen genutzt wurde, und überdies zu dieser Zeit keine andere konkurrenzfähige stabile Implementation einer beschreibungslogischen Sprache verfügbar war. Dieser Vorteil wurde allerdings mit dem Problem erkaufte, dass nicht alle seitens der Modellierung gebotenen Einschränkungen in der notwendigen Schärfe formuliert werden konnten, insbesondere solche, die die Aggregationshierarchie betreffen. Mittlerweile hat sich für die Implementation formaler Ontologien die im Rahmen des „Semantic Web“ entwickelte „Web Ontology Language“ OWL-DL³⁸ durchgesetzt, die auf der syntaktischen Basis von XML eine der am weitesten entwickelten Beschreibungslogiken darstellt und für die u.a. mit RACER³⁹ eine äußerst leistungsfähige Inferenzmaschine verfügbar ist. Darüberhinaus gibt es zur Entwicklung formaler Ontologien komfortable graphische Editoren wie z.B. Protégé⁴⁰, so dass die nächste Version des Konzeptmodells nach OWL-DL überführt wird.

Nun greift jede Domänen-Ontologie auf Allgemeinbegriffe für Zeit und Raum, Ereignisse, Akteure, Prozesse und weitere zurück, die für die begriffliche Modellierung aller lebensweltlichen Gegenstandsbereiche von Nutzen sind. Darüber hinaus müssen auch die für derartige Modellierungen benutzten logisch-mathematischen Grundbegriffe wie Menge, Relation, Zahl, aber auch die Mereologie (Teil-Ganzes-Beziehungen) festgelegt werden, die üblicherweise auf einer Meta-Ebene vorgesehen sind. Zu diesem Zweck wurden formale Referenz-Ontologien entwickelt, mit denen dann Domänen-Ontologien begrifflich zu verknüpfen sind, so dass sich die spezifischen Konzepte als Spezialisierungen aus allgemeinen Konzepten ergeben. Aus technischer Sicht liegt die besondere Bedeutung von Referenz-Ontologien darin, dass sie die Grundlage für semantische Interoperabilität bieten, zum Beispiel für die Datenintegration und für übergreifende Recherchen. Für den uns interessierenden Anwendungsbereich erscheint das vom Internationalen Komitee für die Dokumentation des „International Council of Museums“ (ICOM-CIDOC) entwickelte objektorientierte „Conceptual Reference Model“ (CRM)⁴¹ besonders geeignet. Das CRM wurde unter dem Titel „Information and documentation — A reference ontology for the interchange of cultural heritage information“ als ISO-Standard 21127 registriert⁴². Wir haben eine Implementation dieses Standards in OWL-DL erarbeitet⁴³, in die die neue Version der BEHAIM-Domänen-Ontologie unmittelbar eingebettet werden kann.

³⁸SMITH, MICHAEL K./WELTY, CHRIS/MCGUINNESS, DEBORAH L., OWL Web Ontology Language Guide. W3C Recommendation 10 February 2004 Geneva: W3C (World Wide Web Consortium), February 2004.

³⁹HAARSLEV, VOLKER/MÖLLER, RALF, RACER System Description, in: International Joint Conference on Automated Reasoning, IJCAR'2001, June 18–23, Siena, Italy, Band 2083 Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag, 2001 701–705.

⁴⁰NOY, NATALYA F. et al., Creating Semantic Web Contents with Protégé-2000, IEEE Intelligent Systems 65 March/April 2001 60–71.

⁴¹CROFTS, NICK et al., Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model. Version 5.0.1 Paris: The International Committee for Documentation of the International Council of Museums (ICOM-CIDOC), March 2009; STEIN, REGINE et al., Das CIDOC Conceptual Reference Model: Eine Hilfe für den Datenaustausch?, Mitteilungen und Berichte aus dem Institut für Museumskunde 31 Berlin: Staatliche Museen zu Berlin, Oktober 2005.

⁴²Weitere detaillierte Informationen sind zu finden unter <http://cidoc.ics.forth.gr/>; 15.05.2009.

⁴³GÖRZ, GÜNTHER/OISCHINGER, MARTIN/SCHIEMANN, BERNHARD, An Implementation of the CIDOC Conceptual Reference Model (4.2.4) in OWL-DL, in: Proceedings CIDOC 2008 — The Digital Curation of Cultural Heritage. Athen, Benaki Museum, 15.–18.09.2008 Athen: ICOM CIDOC, September 2008 14pp.. Implementation erreichbar unter <http://www8.informatik.uni-erlangen.de/crm/>; 15.05.2009

6 Räumliches Schließen

Gehen wir von einem Konzeptmodell aus, das — wie am Beispiel des BEHAIM-Globus gezeigt⁴⁴ — die relevanten topologischen Unterscheidungen einbringt, so kann die Integration des räumlichen Wissens in und seine Erweiterung auf das qualitative räumliche Schließen in einer logischen Sprache im Sinne der in Abschnitt 3 vorgestellten Formalisierung angegangen werden. Wenn räumliche Relationen auf einer gegebenen Karte untersucht werden sollen, müssen zunächst Punkte und Gebiete instantiiert werden. In kreisförmigen Weltkarten weisen oft nur Großregionen klare Grenzen auf wie die Kontinente Asien, Afrika und Europa und ggf. die unbewohnte Terra Australis; in wenigen Fällen werden auch die (sieben) Klimazonen ausgezeichnet. Weitere Regionen sind auf historischen Karten zumeist nicht abgegrenzt, so dass man sich durch Einzeichnen von Polygonen behelfen muss. In vielen Fällen werden Rechtecke ausreichen, da viele Bezugsobjekte wie Miniaturen und Beschriftungen damit leicht einzufassen sind, was dann auch die Verarbeitung vereinfacht. Um qualitative räumliche Angaben und Schlußfolgerungen auf Globen korrekt ausführen zu können, ist die Beschränkung auf verebnete Kartendarstellungen, etwa durch Segmente, nur in kleinräumigen Bereichen zureichend und muss durch ein Kugelmodell zumindest ergänzt, wenn nicht sogar ersetzt werden. Geht man von Punktkoordinaten mit Längen- und Breitengradangabe aus, so besteht der Hauptunterschied zu den zweidimensionalen Kartenmodellen ja in der Verwendung zyklischer Koordinaten und der Auszeichnung zweier singulärer Punkte, der Pole.⁴⁵

Formal-sprachlich gesehen geht es nunmehr darum, die genannten räumlichen Konzepte und Relationen im Rahmen der Beschreibungslogik darzustellen. Sie bilden einen Bereich bestimmter „konkreter“ Objekttypen mit bereits definierten Prädikaten und Relationen und evtl. weiteren Funktionen und verfügen über für diesen Bereich speziell entwickelte effiziente Problemlösungsverfahren, worauf am Beispiel von RCC8 hingewiesen wurde. Daher wird auch von „konkreten Bereichen“ gesprochen, die aber konzeptionell nichts anderes sind als Abstrakte Datentypen in der Welt der Programmiersprachen. Es lag daher nahe, anstelle einer nur mit erheblichem Aufwand zu handhabenden Axiomatisierung solcher Bereiche die Abstrakten Datentypen mit ihren spezifischen Methoden grundsätzlich als Spracherweiterungen von Beschreibungslogiken zu realisieren.⁴⁶ Wie bereits erwähnt, war CLASSIC nach unserer Kenntnis die erste Sprache, die mit ihrer sog. Test-Schnittstelle eine derartige Erweiterungsmöglichkeit anbot. Neuere Ansätze gehen hierfür etwas anders vor, was jedoch auf die grundsätzliche Modellierungsproblematik keinen Einfluss hat.

Der erste Forschungsansatz in diesem Rahmen und seine Anwendung auf städteplanerische Fragestellungen ist der Hamburger Arbeitsgruppe unter VOLKER HAARSLEV und RALF MÖLLER⁴⁷

⁴⁴Im konkreten Fall geht es um die Teilhierarchie unter GLOBUS-OBJEKT: G-REGION und NG-REGION.

⁴⁵Zur algorithmischen Behandlung ebener und kugelförmiger Karten im Rahmen der „Computational Geometry“ siehe z.B. JENNINGS, GEORGE A., *Modern Geometry with Applications*, 3. Auflage New York etc.: Springer, 1997; PREPARATA, FRANCO P./SHAMOS, MICHAEL IAN (Hrsg.), *Computational Geometry. An Introduction, Texts and Monographs in Computer Science*, 2. Auflage New York etc.: Springer Verlag, 1988; zur konkreten Anwendung auf den BEHAIM-Globus auch JELINEK.

⁴⁶Für Details siehe BAADER et al., Kap. 6.2.

⁴⁷HAARSLEV, VOLKER/MÖLLER, RALF, SBOX: A Qualitative Spatial Reasoner — Progress Report —, in: *Proceedings, 11th International Workshop on Qualitative Reasoning, Cortona, Tuscany, Italy, June 3–6, Band N. 1036*

zu verdanken. Die Autoren haben die semantische Definition der genannten topologischen Relationen — hier beschränkt auf Polygone — mittels der Subsumtion von Konzepten interpretiert, d.h. im Rahmen der begrifflichen Vererbungshierarchie behandelt. Dazu werden neue Konzeptkonstruktoren bereitgestellt und die Subsumtion wurde durch die Inferenzmaschine berechnet. Damit können sowohl Inkonsistenzen als auch implizite Information in räumlichen Konzeptmodellen gefunden werden. Zwar beschränken die gegebenen Möglichkeiten zur Formulierung von Konzeptdefinitionen und die Subsumtionsrelation die Menge der möglichen Relationen zwischen Objekten des Gegenstandsbereichs, andererseits können so aber auch in den Definitionen topologischer Relationen implizite Subsumtionsbeziehungen automatisch festgestellt werden. Die Stärke dieses Ansatzes liegt in seiner Integration der Charakteristika einer formalen Repräsentation des Raums in das Inferenzsystem. Der „konkrete Bereich“ des Räumlichen erweitert den abstrakten der beschreibungslogischen Sprache CLASSIC durch strukturierte mathematische Objekte, Polygone und die zugehörigen topologischen Relationen, und ermöglicht so den Zugriff auf effiziente Inferenzalgorithmen für konkrete räumliche Gebiete.

In unseren Arbeiten haben wir zwar dieselbe Erweiterungs-Schnittstelle von CLASSIC benutzt, sind jedoch konzeptionell einen anderen Weg gegangen. Unter Verwendung der von JELINEK⁴⁸ implementierten computergeometrischen Algorithmen wurde ein externer abstrakter Datentyp definiert, der neben der Topologie noch mit Orientierung, Skalierung und Distanz eine weiter reichende Modellierung ermöglicht.⁴⁹ Was die Skalierung betrifft, so können Gruppen von Objekten ähnlicher Größe festgelegt werden, z.B. Kontinent vs. Inselgruppe, Gebirge vs. Kap, Wald, oder Stadt. Analoges gilt auch für Distanzen. Damit ist es möglich, Anfragen auf der Ebene von topologischen u.a. räumlichen Prädikaten zu formulieren, die extern, d.h. mittels Methoden des konkreten Bereichs entschieden werden.

Mit der o.g. Modellierung des BEHAIM-Globus können so Fragen der folgenden Art beantwortet werden⁵⁰:

- *Welche geographischen Regionen sind Teile des Kontinents K1 ohne Randberührung und überlappen teilweise die Landmasse LG1? (D.h. NTPP)*
- *Welche geographischen Regionen liegen innerhalb des Kontinents K1?*
- *Welche geographischen Regionen liegen südlich der Insel I7?*
- *Welche Regionen liegen südlich der Insel I7 und westlich der Insel I3?*
- *Welche Regionen liegen zwischen den Inseln I7 und I2?*
- *Welche Inseln liegen südlich der Insel I7? (Maßstab: selbe Größenklasse)*
- *Was liegt westlich von Afrika?*

Pavia: Istituto di Analisi Numerica C.N.R., 1997 105–113; HAARSLEV, VOLKER/MÖLLER, RALF, Spatioterminalogical Reasoning: Subsumption Based on Geometrical Inferences, in: Proceedings, DL-97, International Workshop on Description Logics, September 27–29 Gif sur Yvette, 1997 74–78.

⁴⁸JELINEK, Räumliches Schließen in einer kartographischen Datenbasis.

⁴⁹DEANG, Geometrical and Logical Modelling of Cartographic Objects.

⁵⁰Geographische Bezeichnungen sind hier durch kurze Namen ersetzt.

- *Welche Städte innerhalb des Kontinents K1 liegen westlich des Waldes W1?*
(Komplexe Anfrage; ebenso die drei folgenden.)
- *Was sind die östlichen Nachbarn des Meers M4?*
- *Welche Inseln liegen zwischen der Insel I11 und der Inselgruppe IG2 und sind nicht Teil der Inselgruppe IG1?*
- *Welche Städte innerhalb des Kontinents K3 liegen weniger als 50 Einheiten östlich des Sees SE1?*

Die Anfragen müssen in CLASSIC formuliert werden; durch die direkte Übertragung in das Deutsche erscheinen sie reichlich hölzern. Selbstverständlich braucht bei benannten Objekten der Objekttyp nicht explizit angegeben zu werden, es genügt der Name. Allerdings wurden in dieser experimentellen Version keine Referenzobjekte vorgesehen, so dass Anfragen wie „Welche Städte liegen innerhalb von Inseln?“ noch nicht möglich sind — es sei denn, man löst sie in eine Folge von Anfragen, erst nach Inseln, dann nach Städten, auf.

Damit wurde die anfangs aufgestellte Behauptung eingelöst, dass eine rationale Rekonstruktion kognitiver Karten in einem epistemologischen Sinn möglich ist, welche die zu einer Organisation räumlichen Wissens notwendigen Elemente umfasst. Mit primär qualitativen Kategorien ist eine Operationalisierung verbunden, mit der Karten aufgebaut und analysiert werden können, wobei über ihnen qualitative Schlußfolgerungen automatisch ausführbar sind. Anhand der Erfahrungen mit diesen Vorarbeiten kann eine neue und vollständigere Implementierung auf der Grundlage der nächsten Version des Konzeptmodells in OWL-DL, erweitert um einen umfassenden kartographischen „konkreten Bereich“, in Angriff genommen werden. Zur benutzerfreundlichen Gestaltung sollte zum einen eine intuitive Gestaltung der Eingabe von Anfragen vorgesehen werden, z.B. durch teilweise instantiierte Masken, sowie eine geeignete Visualisierung zu den propositional formulierten Antworten. Diese neue Version würde sich zur Integration in künftige digitale Editionsprojekte der Kartographiegeschichte anbieten.

Die Vernetzung der Objektbeschreibungen unter kognitiven Aspekten kann dynamisch erfolgen. Sind bestimmte Themen als Konzepte in der Hierarchie verankert, können dazu passende Beziehungen festgelegt werden, wobei die Inferenzmaschine die Aufgaben der Konsistenzprüfung und automatischen Klassifikation übernimmt. Dies würde beispielsweise für das Beispiel einer Darstellung der Alexanderreise auf der Ebstorf- oder Hereford-Karte bedeuten, dass nicht eine separate, vom Stellenkatalog getrennte und fest vorgegebene Folge statischer Bilder erstellt werden muss, sondern dass derartige „Themenreisen“ anhand der gegebenen Merkmale aus der Datenbasis assoziativ generiert werden können.

7 Ausblick

Abschließend seien einige Fernziele genannt, die noch intensiver Grundlagenforschung bedürfen.

Hierzu gehört die wichtige Frage nach der Darstellung zeitveränderlicher (diachroner) Konzepte als Basis diachroner Wissensmodelle. Es steht außer Zweifel, dass in dem relativ großen Zeitraum vom Hochmittelalter bis zur frühen Neuzeit die Deutung vieler der dargestellten Objekte und Sachverhalte einem Wandel unterliegt. Dies betrifft neben der Darstellung geographischer Gegebenheiten auch viele Darstellungen enzyklopädischen und narrativen Charakters. Es ist eine bisher kaum untersuchte Frage, wie sich dies in formalen Sprachen zur Wissensrepräsentation abbilden läßt. Auf jeden Fall wird mit der Darstellung der Konzepte auch eine interne Zeitrepräsentation zu verbinden sein, für die übrigens aus formal-logischer Sicht sehr viel Gemeinsamkeiten mit der hier aufgezeigten Repräsentation des Raums bestehen.

Der Einsatz standardisierter formaler Beschreibungsverfahren hat sich bereits innerhalb einzelner Projekte bewährt. Der damit verbundene zweifellos hohe Aufwand für die Erschließung erbringt aber mit dem Einsatz der logischen Verknüpfungen und des automatischen formalen Schließens einen erheblichen Mehrwert, denn dadurch werden Anfragen an den Datenbestand möglich, die mit traditionellen Erschließungstechniken überhaupt nicht oder zumindest nicht mit den üblicherweise verfügbaren Ressourcen sinnvoll bearbeitet werden konnten. Selbstverständlich werden eine systematische logische Erschließung und automatische Inferenzverfahren allein nicht die Lösung aller Forschungsfragen beschere, aber sie erbringen eine neue Qualität bei der Unterstützung der Interpretation des Datenmaterials. Deduktive Methoden ersetzen nicht die „ars inveniendi“, sie können jedoch neue Bezüge aufzeigen und besitzen damit ein hohes Potential zur Induktion innovativer Forschungsfragen.

Viele ungelöste Fragen verbinden sich mit der weltweiten Vernetzung umfangreicher Wissensbestände und insbesondere der Zusammenfassung zu semantischen Einheiten sowie der Erstellung neuer vernetzter Dokumente und Kollektionen mit externen und internen Referenzen. Bei der Herstellung komplexer Relationen zwischen Objekten sind formal-logische Beschreibungsverfahren in der Anwendung mit generischen Referenzontologien zweifelsohne ein wichtiges Hilfsmittel, aber sie werden nur dann auf breite Akzeptanz in der Wissenschaftsgemeinde stoßen, wenn sie in leistungsfähige Arbeitsumgebungen integriert sind. Eine unabdingbare Funktion solcher Arbeitsumgebungen ist die Unterstützung der Wissenschaftskommunikation unter Einbezug autoritativer Quellen und vor allem Assistenz bei neuen Formen des Publikationswesens.⁵¹ Dies verleiht Hartmut Kuglers Aufforderung, Karten zu „lesen“, eine neue Dimension bei der Erzeugung von Geschichten und Geschichte.

Danksagung. Für hilfreiche Kommentare und Hinweise ist der Verfasser Bernhard Schiemann und Martin Scholz zu Dank verpflichtet.

⁵¹Siehe beispielsweise das Projekt WissKI: <http://www.wiss-ki.eu>; 15.05.2009.

Literatur

- Baader, Franz et al. (Hrsg.):** The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications Cambridge University Press, 2003
- Bianco, Andrea:** Atlante Nautico (1436). Andrea . bianco . de veneciis . me fecit . M . cccc . xxx . vj . a cura di Piero Falchetta Venezia: Arsenale Editrice srl, 1993
- Blakemore, M.J./Harley, J.B.:** Concepts in the History of Cartography — A Review and Perspective, Band 17/4, Monograph 26 Toronto: University of Toronto Press, 1980
- Bott, G./Willers, J. (Hrsg.):** Focus Behaim-Globus. Ausstellungskatalog, 2 Bde. Nürnberg: Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, Dezember 1992
- Brachman, Ronald J. et al.:** Living with CLASSIC: When and How to Use a KL-ONE-like Language, Kap. 14 in: **Sowa, J.F. (Hrsg.),** Principles of Semantic Networks San Mateo: Morgan Kaufmann, 1991, 401–456
- Cohn, Anthony G. et al.:** Representing and Reasoning with Qualitative Spatial Relations About Regions, in: Spatial and Temporal Reasoning Dordrecht and Boston and London: Kluwer Academic Publishers, 1997, 96–134
- Crofts, Nick et al.:** Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model. Version 5.0.1 Paris: The International Committee for Documentation of the International Council of Museums (ICOM-CIDOC), March 2009
- Deang, Duane Mari:** Geometrical and Logical Modelling of Cartographic Objects, Master thesis in computational engineering Erlangen: University of Erlangen-Nuremberg, October 2000
- Donini, F.M. et al.:** Reasoning in Description Logics, in: **Brewka, G. (Hrsg.),** Foundations of Knowledge Representation Stanford, CA: CSLI Publications, 1996, 191–236
- Downs, Roger M./Stea, David:** Kognitive Karten: Die Welt in unseren Köpfen, Band 1126 New York: Harper and Row, 1982
- Egenhofer, M./Mark, D.:** Naive Geography, in: Spatial Information Theory. Proceedings of Cosit'95, Semmering, Austria, Band 988 Berlin: Springer, 1995, 1–15
- Grössing, H.:** Das Itinerar-Weltbild, Kap. II in: **Bott, G./Willers, J. (Hrsg.),** Focus Behaim-Globus. Ausstellungskatalog, Teil 1 Nürnberg: Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, Dezember 1992, 115–118
- Guarino, Nicola:** Formal Ontology and Information Systems, in: **Guarino, Nicola (Hrsg.),** Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS-98, Trento, Italy, 6–8 June 1998 Amsterdam: IOS Press, 1998, 3–15

- Görz, Günther:** Altes Wissen und neue Technik. Zum Behaim-Globus und seiner digitalen Erschließung, Norica. Berichte und Themen aus dem Stadtarchiv Nürnberg 3 Juli 2007, 78–87
- Görz, Günther:** Kognitive Karten des Mittelalters. Digitale Erschließung mittelalterlicher Weltkarten, in: Geschichte im Netz: Praxis, Chancen, Visionen. Beiträge der Tagung .hist 2006, Berlin, 22.–24. Februar 2006, Band 10 Berlin: Clio-online und Humboldt-Universität zu Berlin, 2007, 539–572
- Görz, Günther/Holst, Norbert:** The Digital Behaim Globe (1492), in: **Bearman, David/Trant, Jennifer (Hrsg.)**, 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 Pittsburgh, Penn.: Archives & Museum Informatics, September 1997, 157–173
- Görz, Günther/Oischinger, Martin/Schiemann, Bernhard:** An Implementation of the CIDOC Conceptual Reference Model (4.2.4) in OWL-DL, in: Proceedings CIDOC 2008 — The Digital Curation of Cultural Heritage. Athen, Benaki Museum, 15.–18.09.2008 Athen: ICOM CIDOC, September 2008, 14pp.
- Haarslev, Volker/Möller, Ralf:** SBOX: A Qualitative Spatial Reasoner — Progress Report —, in: Proceedings, 11th International Workshop on Qualitative Reasoning, Cortona, Tuscany, Italy, June 3–6, Band N. 1036 Pavia: Istituto di Analisi Numerica C.N.R., 1997, 105–113
- Haarslev, Volker/Möller, Ralf:** Spatioterminological Reasoning: Subsumption Based on Geometrical Inferences, in: Proceedings, DL-97, International Workshop on Description Logics, September 27–29 Gif sur Yvette, 1997, 74–78
- Haarslev, Volker/Möller, Ralf:** RACER System Description, in: International Joint Conference on Automated Reasoning, IJCAR'2001, June 18–23, Siena, Italy, Band 2083 Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag, 2001, 701–705
- Hernández, Daniel:** Qualitative Representation of Spatial Knowledge, Dissertation München: Fakultät für Informatik der Technischen Universität München, Oktober 1992, Book edition: Lecture Notes in Computer Science, vol. 804, New York: Springer-Verlag Inc., 1994
- Herskovits, Annette:** Language, Spatial Cognition, and Vision, in: Spatial and Temporal Reasoning Dordrecht and Boston and London: Kluwer Academic Publishers, 1997, 155–201
- Hilsenbeck, Renate:** Mittelalterliche Weltkunde und Behaim-Globus. Vom Heilsweg zur Handelsstraße, Kap. III in: **Bott, G./Willers, J. (Hrsg.)**, Focus Behaim-Globus. Ausstellungskatalog, Teil 1 Nürnberg: Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, Dezember 1992, 239–272
- Hofmann, Andrea:** Vergleich und 3D-Darstellung von alten Landkarten durch Bildregistrierung, Technischer Bericht Erlangen: Institut für Informatik 8, Universität Erlangen-Nürnberg, 2005, Diplomarbeit im Fach Informatik

- Jelinek, Richard:** Räumliches Schließen in einer kartographischen Datenbasis, Studienarbeit Erlangen: Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD VIII, August 1997
- Jennings, George A.:** Modern Geometry with Applications, 3. Auflage New York etc.: Springer, 1997
- Kitchin, Rob/Blades, Mark:** The Cognition of Geographic Space London and New York: I.B. Tauris Publishers, 2002
- Kline, Naomi Reed:** Maps of Medieval Thought. The Hereford Paradigm Woodbridge, Suffolk: The Boydell Press, 2001
- Kline, Naomi Reed:** A Wheel of Memory. The Hereford Mappamundi Ann Arbor: The University of Michigan Press, 2001, CD-ROM
- Kugler, Hartmut:** Der *Alexanderroman* und die literarische Universalgeographie, in: Internationalität nationaler Literaturen. Beiträge zum ersten Symposium des Göttinger Sonderforschungsbereichs 529 Göttingen: Wallstein Verlag, 2000, 102–120
- Kugler, Hartmut:** Zur kognitiven Kartierung mittelalterlicher Epik. Jean Bodels ‘drei Materien’ und die ‘Matière de la Germanie’, in: Topographien der Literatur. Deutsche Literatur im transnationalen Kontext Stuttgart and Weimar: Verlag J.B. Metzler, 2005, 244–263
- Kugler, Hartmut (Hrsg.):** Die Ebstorfer Weltkarte : Kommentierte Neuauflage in zwei Bänden Berlin: Akademie-Verlag, 2007
- Lanman, Jonathan T.:** On the Origin of Portolan Charts, Occasional Publications 2 Chicago: The Newberry Library, 1987
- MacEachren, Alan M.:** How Maps Work. Representation, Visualization, and Design New York and London: The Guildford Press, 1995
- Menzel, Chris:** Ontology Theory, in: **Euzenat, Jerome et al. (Hrsg.),** Ontologies and Semantic Interoperability, Proc. ECAI-02 Workshop, Band 64 Lyon: ECCAI, 2002, 61–67
- Montello, Daniel R.:** Cognitive Map-Design Research in the Twentieth Century: Theoretical and Empirical Approaches, Cartography and Geographic Information Science 29, Nr. 3 2002, 283–304
- Noy, Natalya:** Ontologies, in: **Farghaly, Ali (Hrsg.),** Handbook for Language Engineers Stanford, CA: CSLI Publications, 2003, 181–211
- Noy, Natalya F. et al.:** Creating Semantic Web Contents with Protégé-2000, IEEE Intelligent Systems 65 March/April 2001, 60–71
- Preparata, Franco P./Shamos, Michael Ian (Hrsg.):** Computational Geometry. An Introduction, Texts and Monographs in Computer Science, 2. Auflage New York etc.: Springer Verlag, 1988

- Smith, Michael K./Welty, Chris/McGuinness, Deborah L.:** OWL Web Ontology Language Guide. W3C Recommendation 10 February 2004 Geneva: W3C (World Wide Web Consortium), February 2004
- Stein, Regine et al.:** Das CIDOC Conceptual Reference Model: Eine Hilfe für den Datenaustausch?, Mitteilungen und Berichte aus dem Institut für Museumskunde 31 Berlin: Staatliche Museen zu Berlin, Oktober 2005
- Tolman, E.C.:** Cognitive maps in rats and men, *Psychological Review* 55 1948, 189–208
- Tversky, Barbara:** Cognitive Maps, Cognitive Collages, and Spatial Mental Models, in: *Spatial Information Theory. A Theoretical Basis for GIS. European Conference, COSIT'93, Marciana Marina, Elba Island, Italy, September 19–22, 1993, Band 716 Berlin, etc.: Springer-Verlag, September 1993, 14–24*
- Vandeloise, Claude:** Aristote et le lexique de l'espace. Rencontres entre la physique grecque et la linguistique cognitive, Collection langage et esprit Stanford, CA: CSLI Publications / Editions CSLI, 2001
- Vieu, Laure:** 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, Band 716 Berlin, etc.: Springer-Verlag, September 1993, 25–35*
- Vieu, Laure:** Spatial Representation and Reasoning in Artificial Intelligence, in: *Spatial and Temporal Reasoning Dordrecht and Boston and London: Kluwer Academic Publishers, 1997, 5–41*