

Kollaborative Geovisualisierung zur Wissensgenerierung und Entscheidungsunterstützung¹⁾

Alan M. MacEachren und Isaac Brewer, University Park

1. Einleitung

Geovisualisierungsmethoden zur Datenexploration und -analyse berücksichtigten bisher kaum Entwicklungen kollaborativer Visualisierungstechniken zur Wissensgenerierung und Entscheidungsunterstützung bei der Bearbeitung geowissenschaftlicher Fragestellungen. Dabei ermöglichen die rasanten Entwicklungen moderner Kommunikationstechnologie und die hohen Computerleistungen bereits eine kollaborative Zusammenarbeit zwischen zwei oder mehr räumlich getrennten Institutionen (beispielsweise zwischen Europa und den Vereinigten Staaten von Amerika). In anderen Wissenschaftsbereichen wird kollaboratives Arbeiten und Visualisieren bereits praktisch eingesetzt, beispielsweise in der Medizin, Maschinenbau und in anderen Ingenieursbereichen. In diesen Fachbereichen wird teilweise kollaboratives Arbeiten und Visualisieren erwartet.

Geovisualisierung erweiterte in den letzten Jahren die traditionellen kartographischen Methoden. Dabei wurde das Hauptaugenmerk von der Erstellung statischer Karten mit vorverarbeiteten Informationen auf die Erstellung dynamischer Karten zur flexiblen Informationsexploration gelenkt. In der Geovisualisierungsforschung und -entwicklung wurde dabei zumeist auf einen Anwender fokussiert, der die bereitgestellten Methoden und Techniken nur an einem Ort, zu einem bestimmten Zeitpunkt nutzt. Dieser Zustand liegt in den Einzelplatz GIS- und Visualisierungssoftwarekonzepten begründet, so dass mögliche methodische sowie technische Potentiale moderner Geovisualisierung nicht voll ausgeschöpft werden. Als ein Beispiel können geowissenschaftliche Planungsprozesse aufgeführt werden, die in der Regel auf einen Ort beschränkt sind und mit hohem Zeitaufwand und Kosten stattfinden. Dabei könnten mit Hilfe kollaborativer Geovisualisierungsstrategien externe Experten und andere Beteiligte schnell und kostengünstig zur Rate gezogen ("zugeschaltet") werden.

Ebenso ist die wissenschaftliche Arbeit mit geo-räumlichen Daten vermehrt ein multidisziplinäres Unterfangen, in dem verschiedene wissenschaftliche Teams zusammenarbeiten müssen, um eine geowissenschaftliche Fragestellung zu beleuchten. Aus diesem Grund sollte kollaboratives Arbeiten bei der Geovisualisierung unterstützt und theoretische, methodische und praktische Anforderungen der Kartographie sowie angrenzender Fachdisziplinen im Rahmen von Forschungsarbeiten betrachtet werden (MacEachren und Kraak 2001; Slocum et al. 2001). Um diesen komplexen Anforderungen zu begegnen, müssen neben der kartographischen Sichtweise eine Reihe von Fachdomänen involviert werden. Dazu gehören u.a. die Geoinformatik, Kognitionswissenschaften und Informatik (insbesondere aus den Bereichen Mensch-Maschine-Schnittstelle und Computer-Supported Cooperative Work).

Im Rahmen unserer Forschungsarbeiten haben wir begonnen, eine Bandbreite von räumlich und zeitlich varianten kollaborativen Arbeitssituationen zu betrachten. Dazu gehören Arbeitssituationen, die Gruppenarbeit an gleichen oder verschiedenen Orten beinhalten sowie solche, die zu gleichen oder unterschiedlichen Zeiten stattfinden. Im Rahmen dieses Beitrages fokussieren wir auf das Design und die Implementierung von graphischen Repräsentationen, die die Zusammenarbeit von Akteuren in unterschiedlichen Orten synchron oder asynchron unterstützen. Dabei wird besondere Aufmerksamkeit den Möglichkeiten der Wissensvermittlung und des -austausches mit Hilfe von dynamischen visuellen Repräsentationen gewidmet. Der folgende Abschnitt fasst relevante Entwicklungen in den Bereichen der Visualisierung und der visuellen Unterstützung von Gruppenarbeit zusammen. Anschließend wird der Prototyp einer kollaborativen Geovisualisierungsumgebung vorgestellt, der bereits ersten Nutzbarkeitstests unterzogen wurde. Dabei wird aufgezeigt, wie graphische Darstellungen während kollaborativer Arbeit unterschiedliche Ansichten vermitteln und Entscheidungen unterstützen können. Abschließend wird die Prototyp-basierte Nutzer-Aufgaben-Analyse betrachtet und zukünftige Forschungsarbeiten dargelegt.

2. Grundlagen

Bisher wurden nur wenige Ansätze zur Entwicklung von kollaborativen Geovisualisierungsumgebungen geschaffen, die ein zeitgleiches Arbeiten an verschiedenen Orten erlauben. Einige Wissenschaftszweige haben bereits eine Reihe von relevanten Forschungsergebnissen erarbeitet, die in den konzeptionellen und praktischen Ansatz für das Design unserer prototypischen kollaborativen Visualisierungsumgebung einfließen. Im Rahmen dieses Kurzbeitrages kann keine umfassende Grundlagenbetrachtung gegeben werden. Deswegen wird auf Mandviwalla und Oldman (1994); Horrocks et al. (1999) für die allgemeine Besprechung sowie auf Nyerges (1999); MacEachren (2000); MacEachren (in press) für die Betrachtung geowissenschaftlich relevanter Entwicklungen hingewiesen. Im folgenden sollen nur die wesentlichen Forschungsarbeiten zur kollaborativen Visualisierung und visuellen Unterstützung von Gruppenarbeit vorgestellt werden.

Kollaborative Visualisierung (mit und ohne Geo-Bezug) erfordert im allgemeinen, dass verschiedene Teilnehmer unter Verwendung visueller Displaytechnologie gemeinsam an einer wissenschaftlichen Fragestellung bzw. Arbeitsaufgabe arbeiten (Brewer et al. 2000). Dabei ergeben sich verschiedene Formen der Zusammenarbeit. Wood et al. (1997) unterscheiden gleichberechtigtes Handeln (jeder Akteur besitzt Interaktionsrechte) und hierarchisch-basiertes Handeln (nur ein Akteur besitzt die Rechte mit der visuellen Darstellung zu interagieren). Für das gleichberechtigte kollaborative Arbeiten schlagen Wood et al. (1997) vor, dass kollaborative Visualisierungsumgebungen Mechanismen für den Datenaustausch, der gemeinsamen Umgebungskontrolle, gemeinsame Anwendungsmodi und dynamische Interaktionen beinhalten sollten. Dabei spielt die Erlernbarkeit eine wesentliche Rolle in der Akzeptanz dieser Werkzeuge.

Unabhängig von den Handlungsarten werden kollaborative Visualisierungswerkzeuge bei der Exploration und Analyse von wissenschaftlichen Daten, der Entscheidungsunterstützung und in der Lehre genutzt. Im Bereich der Umweltforschung und -planung werden vermehrt kollaborative Visualisierungsumgebungen mit großen multidisziplinären Forschergruppen eingesetzt. Ein Beispiel bildet die U.S. Environmental Protection Agency, in der

kollaborative Werkzeuge zur asynchronen geowissenschaftlichen Visualisierung über das Internet für Umwelt-Managementaufgaben entwickelt wurden (Rhyne 1998). Weitere synchrone und asynchrone kollaborative Visualisierungswerkzeuge für Geodaten wurden für den Bereich Umwelt-Management (Bajaj und Cutchin 1999), ozeanographische und meteorologische Studien (Pang und Fernandez 1995) sowie zur Untersuchung von gesundheitlichen Gefährdungspotentialen (Padula und Rinaldi 1999) erstellt. Außerdem wurden erste Anforderungsanalysen zu Eigenschaften von Benutzerschnittstellen für effektive kollaborative Visualisierungsumgebungen durchgeführt (Friesen und Tarman 2000; Watson 2001).

In den bisherigen Arbeiten zur kollaborativen Visualisierung geht es zumeist um die technische Implementierung. Ein wesentlicher Forschungsbereich liegt gleichfalls in der Berücksichtigung der Nutzer- und Aufgabenanforderungen, um Gruppenarbeit gezielt unterstützen zu können. Hindmarsh et al. (2000) vermutet, dass die Benutzung qualitativ hochwertiger Visualisierungen von realen und fiktiven Szenen im Rahmen kollaborativer Arbeiten zwischen Expertenteams alltäglich werden könnte. Allerdings haben bis zum heutigen Zeitpunkt visuelle Darstellungen bei der Unterstützung kollaborativer geowissenschaftlicher Arbeiten nur wenig Beachtung gefunden (siehe Armstrong und Densham 1995 für einen Versuch Geodaten zu nutzen). Zusätzlich sind weitere Untersuchungen erforderlich, um das Verständnis zwischen der Interaktion in graphischen Darstellungen und kognitiven Prozessen zu erfassen. Erste Ansätze sind in den Bereichen kollaboratives Lernen (Suthers 1999) und dem Design von graphischen Benutzerschnittstellen zur Visualisierung von Daten (Ma 1999) belegt.

3. Entwicklung und Implementierung eines Prototypen

In diesem Abschnitt wird die Entwicklung eines Prototypen für die kollaborative Geovisualisierung beschrieben, mit dem Ziel, Analysen von Umweltprozessen in verteilten Orten zu ermöglichen und die Interaktion mit diesen modellierten Prozessen zu unterstützen. Der Prototyp entstand aus einer Einzelplatz-Geovisualisierungsumgebung, die im Rahmen des Apoala-Projektes mit dem Ziel der räumlich-zeitlichen Analyse und Visualisierung von Daten aus Geoinformationssystemen entwickelt wurde (siehe

<http://www.geovista.psu.edu/grants/apoala/index.html>). Die daraus entwickelte kollaborative Visualisierungsumgebung ist ein erster Arbeitsschritt, um eine Folge von kollaborativen Geovisualisierungswerkzeugen für die Arbeit an einem oder verteilten Orten (sogenannte Geocollaboratories²⁾) zu erstellen. Die vorgestellten Entwicklungen sind Teil des "Human-Environment Regional Observatory" (HERO) Projektes, der "Intelligent Networking Environment" (HEROINE) (siehe <http://hero.geog.psu.edu>).

Die Funktionen des Prototypen unterstützen die Zusammenarbeit von Geowissenschaftlern bei der Exploration von raum- und zeitvarianten Daten. Die Zusammenarbeit kann dabei synchron an gleichen als auch an verschiedenen Orten erfolgen. Die verfügbaren Werkzeuge können nicht nur von Experten zur Exploration geowissenschaftlicher Daten eingesetzt werden, sondern besitzen daneben auch das Potential, bei Fragen der regionalen Raumplanung, Planungsentscheidungen und der Web-basierten Lehre genutzt zu werden.

3.1 Komponenten und Integration des Prototyps

Der Prototyp wurde in Java/Java3D implementiert. Die grundlegenden Visualisierungswerkzeuge werden durch VisAD, einer Java (2D/3D) Klassenbibliothek für die interaktive und kollaborative Visualisierung und Analyse numerischer Daten, bereitgestellt³⁾. Zusätzlich wurde der DEMViewer zur Visualisierung von digitalen Höhenmodellen (ArcGrid ASCII Export Format) eingebunden, der in eine VisAD Applikation integriert werden kann⁴⁾. VisAD und die DEMViewer Extension ermöglichen die Durchführung einer Bandbreite von dynamischen visuellen Analysen.

Der erste Prototyp wurde für die Anforderungen zweier Forschungsgruppen entworfen, von denen auch die Daten für die prototypische Umsetzung bereitgestellt wurden. Beide Forscherteams stellten für die Visualisierung Raster-basierte klimatologische Messdaten zur Verfügung. Zum einen konnten die tägliche maximale und minimale Lufttemperatur sowie Niederschlagshöhen für das Susquehanna-Einzugsgebiet (Pennsylvania, New York und Maryland) für den Zeitraum 1983 bis

1993 als Datengrundlage genutzt werden, zum anderen standen monatliche Niederschlagssummen für Griechenland (1901-1995) bereit.

Beide Forschergruppen befassten sich mit der Erhebung und dem Verständnis von klimatologischen Phänomenen, insbesondere mit den Auswirkungen globaler Umweltveränderungen auf kleinere Regionen. Der erste Prototyp unterstützte die raum-zeitlich-relevanten Anforderungen der Forscher, indem er die Datenbankabfrage von Zeitreihen und die interaktive Animation von Wetter- und Klimadaten ermöglichte. Die Animationen erlaubten dabei eine Abhängigkeitenanalyse zwischen Landschaftsausprägung sowie Wetter- und Klimaeigenschaften. Zur Unterstützung von zeitlich-linearen und -zyklischen Datenbankabfragen in POET (einer Objekt-orientierten Datenbank), wurden Forschungsarbeiten zu temporalen Legenden (Abb. 1) genutzt (Edsall et al. 1997; Kraak et al. 1997).

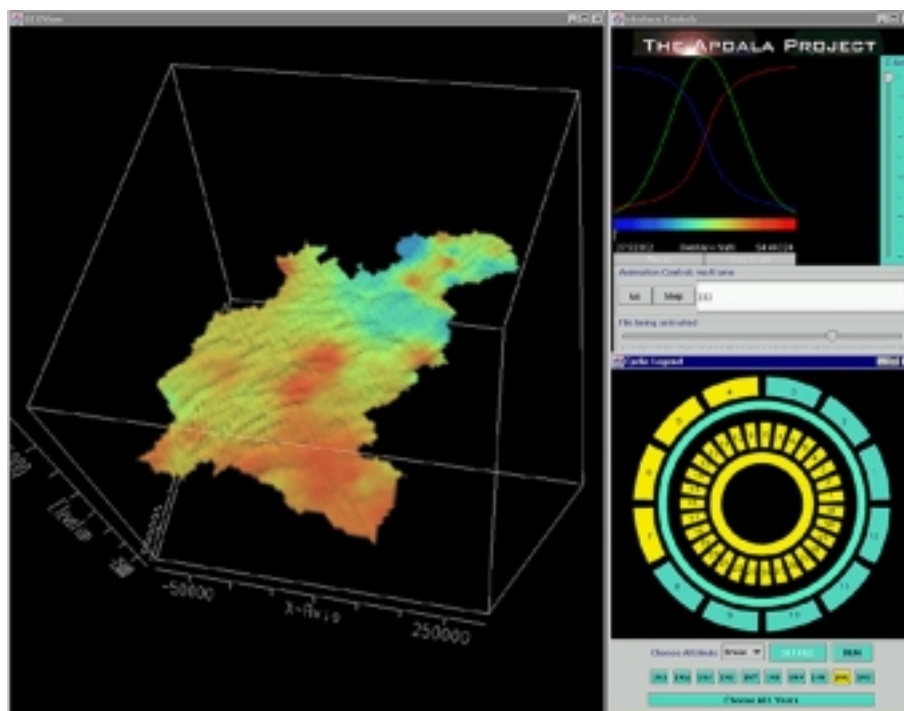


Abbildung 1: Prototyp einer interaktiven Geovisualisierungsumgebung

3.2 Unterstützung von räumlich getrennter Zusammenarbeit

Das Ziel unserer Arbeiten ist die Unterstützung von Entscheidungen und des Erkenntnisgewinnes bei der Betrachtung von Auswirkungen globaler Umweltänderungen auf regionaler Ebene unter Nutzung kollaborativer

Geovisualisierungstechniken. Um den Anforderungen kollaborativer wissenschaftlicher Analysen gerecht zu werden, wurde der beschriebene Prototyp erweitert, damit an unterschiedlichen Orten mehrere Wissenschaftler zugleich an Problemstellungen arbeiten können. Die Anwender können, Desktop-basiert, Klimadaten und deren Veränderungen zeitgleich betrachten, verschiedene Parameter manipulieren und Erkenntnisse sowie gewonnenes Wissen austauschen. Für das Susquehanna Flusseinzugsgebiet können so verschiedene Strukturen, Eigenschaften und Prozesse betrachtet und ausgewertet werden. Eine dynamische Bildschirmkarte (Abb. 1) erlaubt den Anwendern die Manipulation des dreidimensionalen Darstellungsraums in alle Richtungen und hält Zoomfunktionen für die Betrachter bereit. Über ein Schaltelement ("GO") in der graphischen Benutzerschnittstelle werden die verbundenen Desktop-Umgebungen synchronisiert. Erhebungen für den ersten Prototypen ergaben, dass bei der neuen PC-Generation gute kollaborative Visualisierungsergebnisse erzielt werden können. In einigen Bereichen müssten die Methoden der zeitgenauen Animationssynchronisierung verfeinert werden.

Um die in Abbildung 1 dargestellte Geovisualisierungsapplikation zu einem Netzwerk-basierten kollaborativen Werkzeug zu entwickeln und so die räumlich-getrennte Zusammenarbeit zu erlauben, war es notwendig, die Kommunikation zwischen den Computerplattformen zu ermöglichen. Dazu gibt es eine Reihe von technischen Möglichkeiten, die in Serbedzija (2000) vorgestellt werden. Wir entschieden uns für eine Implementierungsart, in der jeder verbundene Computer eine lokale Version der Visualisierungssoftware und der dazugehörigen Datenbank vorhält. Diese sogenannten "Heavy Clients" setzen bei der Anwendung voraus, dass alle Forschergruppen vor einer gemeinsamen Sitzung über die gleiche Applikation und Datengrundlage verfügen. Vorab erfolgte Modifikationen auf einer Seite würden ggf. zu Inkompatibilitäten während des gemeinsamen Arbeitens führen. Der wesentliche Vorteil dieser eingesetzten Methode ist die Reduzierung der zu übertragenden Datenmengen über Netzwerke, denn der entwickelte Prototyp überträgt nur die durchgeführten Änderungen, so dass die Applikation auch mit geringeren Übertragungsbandbreiten genutzt werden kann.

Der eingesetzte Mechanismus zur rechnergestützten Kommunikation ist der "TalkServer", eine Java-basierte Applikation für die Kommunikation von Benutzeränderungen zwischen vernetzten Computern⁵. TalkServer "lauscht" an einem zuvor definierten Server-Kommunikations-Port auf eingehende Signale von Client-Applikationen. Für jede neue Socket-Verbindung erstellt TalkServer einen sogenannten TalkServerThread (TST), um mit den vernetzten Rechnern bzw. der Client-Applikation kommunizieren zu können. Wenn beim gemeinsamen Arbeiten über einen TST Signale bzw. Mitteilungen einer Client-Applikation eingehen, die Auswirkungen auf andere Client-Applikationen haben, so werden die Informationen an den TalkServer weitergeleitet. Der TalkServer bewirkt, dass alle aktiven TSTs den anderen Client-Applikationen diese Änderungen übermitteln und die visuellen Darstellungen bei den beteiligten Anwendern modifiziert werden.

Die beschriebene kollaborative Geovisualisierungsumgebung besitzt das Potential einen Darstellungsraum mit einem geo-spezifischen Referenzsystem zu versehen, in dem Hypothesen und Fragestellungen über einen geographischen Raum gemeinsam bearbeitet werden können. Der Einsatzbereich für ein solches kollaboratives Visualisierungswerkzeug ist vielfältig. So wird

- ein gemeinsames Verständnis zum geographischen Kontext unterstützt.
- die Integration von georeferenzierten Daten aus unterschiedlichen Datenquellen ermöglicht.
- der Vergleich von verschiedenen zeit-räumlichen Perspektiven und Ansichten unterstützt.
- Strukturen und dynamische Prozesse maßstabsübergreifend verknüpft.
- eine fundierte argumentative Bearbeitung von zeitlichen und räumlichen Komponenten ermöglicht.
- die Präsentation von verschiedenen wissenschaftlichen Standpunkten erleichtert.

Der vorgestellte Prototyp besitzt derzeit eine limitierte Funktionalität, die den oben aufgeführten Zielen noch nicht ganz gerecht wird. Dennoch wurde der Prototyp bereits effektiv bei der gemeinsamen Wissensgenerierung und Entscheidungsunterstützung im Rahmen der Betrachtung von Umweltveränderungen

eingesetzt. Dieses belegen durchgeführte Nutzungsuntersuchungen, die im folgenden zusammengefasst werden.

4. Diskussion und Ausblick

Im Rahmen des HERO/HEROINE Projektes setzen wir eine Reihe von Anwenderzentrierten Methoden ein, um kollaborative Werkzeuge zu entwickeln. Der von uns genutzte Ansatz involviert ein partizipierendes Vorgehen: Anwender werden beim allgemeinen Design, der Implementierung und dem Entwicklungsprozess von kollaborativen Geovisualisierungswerkzeugen einbezogen. Erste Ergebnisse intensiver Nutzerbefragungen sind in Brewer et al. (2000) aufgeführt. Im Rahmen dieses Beitrages sollen die wesentlichen Ergebnisse vorgestellt werden. Fünf essentielle Systemcharakteristika (bisher noch nicht in unserem Prototypen realisiert), wurden angegeben, um kollaboratives Arbeiten an räumlich getrennten Orten zu ermöglichen.

- *Unterstütze Dialoge:* Möglichkeiten miteinander zu sprechen oder zu "chatten" sollten während des Gebrauchs der Visualisierungswerkzeuge vorhanden sein.
- *Stelle das Verhalten von Gruppenteilnehmern dar:* Es sollten Werkzeuge integriert werden, die jeden Nutzer erkennen lassen, was die beteiligten Anwender bearbeiten. Nicht nur das Ergebnis der Interaktionen bzw. Aktionen sollte übermittelt und angezeigt werden.
- *Integriere Werkzeuge, die die Aufmerksamkeit lenken:* Es sollten Mechanismen bereitgestellt werden, die es ermöglichen die Aufmerksamkeit aller beteiligten Personen mit Hilfe von Indikatoren auf spezifische Objekte, Orte oder Regionen zu lenken.
- *Unterstütze "private" Arbeiten:* Es sollte die Möglichkeit bestehen, dass die beteiligten Personen zunächst alleine an einer Idee/Lösung arbeiten und diese anschließend mit den beteiligten Akteuren diskutieren.
- *Erlaube asynchrone Kollaboration:* Es sollten Werkzeuge integriert werden, welche die Möglichkeiten bieten Arbeitssitzungen abzuspeichern und anderen bereitzustellen. Zusätzlich sollten Zwischenschritte gespeichert werden, um neue Analysen an diesen anzufügen.

Die aufgeführten Eigenschaften werden in weiteren Projekten integriert. Ein Projekt fokussiert beispielsweise die Erstellung komplexer synchroner kollaborativer Geovisualisierungsumgebungen (MacEachren et al. 2001; Takatsuka und Gahegan, in press), während das andere sich mit Web-basierten Werkzeugen beschäftigt, die sowohl das zeitgleiche als auch das asynchrone Arbeiten mit geo-räumlichen Daten ermöglichen sollen.

Ein übergeordnetes Ziel unserer Arbeiten im Rahmen des HERO/HEROINE Forschungsprogramms (sowie zukünftigen Projekten) in dem der beschriebene Prototyp entwickelt wurde, ist, einen konzeptionellen und praktischen Ansatz für das Design von kollaborativen Geovisualisierungsumgebungen zu schaffen. Dieser Ansatz kann geschaffen werden, indem Entwicklungen aus den Bereichen partizipatives Design, Human-Computer-Interaction, Group Systems, Computer Supported Cooperative Work und der aktuellen Visualisierungsforschung einbezogen werden. Mit unseren Arbeiten haben wir die Grundlage eines konzeptionellen Rahmens sowohl für die Systementwicklung als auch für den Bereich der Nutzer- und Anwendungsuntersuchung sowie der allgemeinen Anwendbarkeit von kollaborativen Visualisierungsumgebungen geschaffen. Dieser konzeptionelle Rahmen ist in (MacEachren und Brewer, eingereicht) näher beschrieben.

Danksagungen

Die Autoren sprechen ihren Dank der U.S. Environmental Protection Agency (Grant # R825195-01-0) und der U. S. National Science Foundation (HERO Projekt, Grant # 9978052) aus.

Literatur

- Friesen, A. J., Tarman, D. T., Remote High-Performance Visualization and Collaboration, IEEE Computer Graphics and Applications, July/August, 2000, S. 45-49.
- Armstrong, M.P., Densham, P.J., Cartographic support for collaborative spatial decision-making, Auto Carto 12, ACSM/ASPRS Technical Papers, Vol. 4, Charlotte, NC, 1995, S. 49-58.
- Bajaj, C., Cutchin, S., Web based collaborative visualization of distributed and parallel simulation, IEEE Parallel Visualization and Graphics Symposium, San Fransisco, CA, 1999, S. 47-54.
- Brewer, I., MacEachren, A.M., Abdo, H., Gundrum, J., Otto, G., Collaborative Geographic Visualization: Enabling shared understanding of environmental processes, IEEE Information Visualization Symposium, IEEE, Salt Lake City Utah, 2000, S. 137-141.
- Edsall, R.M., Kraak, M.-J., MacEachren, A.M., Peuquet, D.J., Assessing the effectiveness of temporal legends in environmental visualization, GIS/LIS '97, Cincinnati, 1997, S. 677-685.
- Hindmarsh, J., Fraser, M., Heath, C., Benford, S., Greenhalgh, C., Object-focused interaction in collaborative virtual environments, ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 3(4), 2000, S. 477-509.
- Horrocks, S., Rahmati, N., Robbins-Jones, T., The development and use of a framework for categorizing acts of collaborative work, Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE Computer Society, Maui, HI, 1999, S. 13 ff. (CD).
- Kraak, M.-J., Edsall, R., MacEachren, A.M., Cartographic animation and legends for temporal maps: Exploration and or interaction, 18th International Cartographic Conference, ICA, Stockholm, 1997, S. 253-262.
- Ma, K.-L., Image graphs - A novel approach to visual data exploration, IEEE, 1999, S. 81-88, 513.
- MacEachren, A.M., Cartography and GIS: facilitating collaboration, Progress in Human Geography, 24(3), 2000, S. 445-456.
- MacEachren, A.M., Cartography and GIS: Extending collaborative tools to support virtual teams, Progress in Human Geography, in press.

- MacEachren, A.M., Brewer, I., Conceptual framework for collaborative geovisualization, submitted.
- MacEachren, A.M., Kraak, M.-J., Research Challenges in Geovisualization, *Cartography and Geographic Information Science*, 28(1), 2001, S. 3-12.
- MacEachren, A.M., Wheeler, M., Hardisty, F., Gahegan, M., Dai, X., Guo, D., Takatsuka, M., Supporting visual integration and analysis of geospatially-referenced statistics through web-deployable, cross-platform tools, *Proceedings National Conference for Digital Government Research*, Los Angeles, CA, 2001.
- Mandviwalla, M., Oldman, L., What do groups need? A proposed set of generic groupware requirements, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 1(3), 1994, S. 245-268.
- Nyerges, T., Progress in spatial decision making using geographic information systems. In: *Geographic Information Research: Trans-Atlantic Perspectives*, Craglia, M., Onsrud, H. (Hrsg.), London, 1999, S. 129-142.
- Padula, M., Rinaldi, G.R., Mission critical web applications: A seismological case, *Interactions*, July-August 1999, S. 52-66.
- Pang, A., Fernandez, D., REINAS instrumentation and visualization, *Proceedings OCEANS '95, MTS/IEEE, Challenges of Our Changing Global Environment*, San Diego, 1995, S. 1892-1899.
- Rhyne, T.-M., Case study: Collaborative geographic visualization, Course notes: ACM SIGGRAPH '98, *Interactive visualization & web-based exploration in the physical and natural sciences*, Orlando, 1998, <http://www.education.siggraph.org/~rhyne/vis-tut/gisvis-tut/casegisvis.html>.
- Serbedzija, N.B., *Developing web-aware systems*, 2000.
- Slocum, T.A., Blok, C., Jiang, B., Koussoulakou, A., Montello, D.R., Fuhrmann, S., Hedley, N.R., Cognitive and usability issues in geovisualization, *Cartography and Geographic Information Science*, 28(1), 2001, S. 61-75.
- Suthers, D., Representational support for collaborative inquiry, *Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences*, Maui, HI, 1999.
- Taddei, U., David, O., Michl, C., Application of VisAD in hydrological modeling and simulation, *Computer Graphics*, 34(1), 2000, S. 48-50.
- Takatsuka, M., Gahegan, M., GeoVISTA Studio: A codeless visual programming environment for geoscientific data analysis and visualization, in press (preprint can be downloaded from <http://www.geog.psu.edu/~mark/>).

Watson, V.R., Supporting scientific analysis within collaborative problem solving environments, HICSS-34 Minitrack on Collaborative Problem Solving Environments, Maui, Hawaii, January 3-6, 2001.

Wood, J., Wright, H., Brodlie, K., Collaborative visualization, Proceedings IEEE Information Visualization '97, Phoenix, AZ, 1997, S. 253-259.

Fußnoten

- 1) Dieser Beitrag ist eine überarbeitete und gekürzte Fassung eines englischsprachigen Aufsatzes für die 20. Internationale Kartographie Konferenz.
- 2) Der Begriff "Collaboratory" wurde gewählt, um damit räumlich verteilte aber elektronisch verbundene Forschungsinstitutionen zu beschreiben, in denen Forscher an einer gemeinsamen Aufgabenstellung arbeiten.
"Geocollaboratories" sind kollaborative Forschungseinrichtungen, in denen die Bearbeitung zentraler geowissenschaftlicher Fragestellungen durchgeführt wird.
- 3) VisAD wurde durch Bill Hibbard am "Space Science and Engineering Center", University of Wisconsin, Madison, entwickelt. Der Source Code kann kostenlos über <http://www.ssec.wisc.edu/~billh/visad.html> bezogen werden.
- 4) Der DEMViewer wurde durch Ugo Taddei, Institut für Geographie, Lehrstuhl für Geoinformatik, Geohydrologie und Modellierung, Universität Jena, entwickelt (Taddei et al 2000), <http://www.geogr.uni-jena.de/~p6taug/demviewer/demv.html>.
- 5) Der TalkServer wurde durch Hadi Abdo im Rahmen einer "Masters Thesis" an der Penn State University entwickelt. Seine Arbeit wurde durch George Otto und der "Center for Academic Computing Visualization Group" unterstützt.

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. Alan M. MacEachren, GeoVISTA Center, Department of Geography, Penn State University, University Park, PA 16802, USA, email: alan@geog.psu.edu

Isaac Brewer, GeoVISTA Center, Department of Geography, Penn State University, University Park, PA 16802, USA, email: isaacbrewer@psu.edu