

Visualisierungsdesign – ein systematischer Überblick

Susanne Lange, Thomas Nocke, Heidrun Schumann
Universität Rostock, Institut für Informatik

Zusammenfassung

Die Erzeugung von effektiven Visualisierungen ist in starkem Maße kontextabhängig. Verschiedene Einflussfaktoren entscheiden darüber, ob das kommunikative Ziel, das mit der visuellen Repräsentation verbunden ist, auch tatsächlich erreicht werden kann. Die Vielzahl dieser Einflussfaktoren lässt keine geschlossene Lösung zu. Deshalb fokussieren die verschiedenen Ansätze auf bestimmte Aspekte und vernachlässigen dagegen andere. In diesem Paper soll eine Systematik entwickelt werden, die diese unterschiedlichen Vorgehensweisen einordnet und bewertet. Außerdem werden 2 spezielle Ansätze vorgestellt, die den Anwender durch eine automatische Empfehlung und Parametrisierung von Visualisierungstechniken unterstützen.

1 Einführung und Motivation

Die Erzeugung geeigneter visueller Repräsentationen setzt umfangreiches Expertenwissen voraus. In der Literatur [Fuji+97] wurde gar der Begriff *visineer* geprägt, Visualisierung also in die Nähe einer Ingenieursdisziplin gerückt. Visualisierungswissen in diesem Umfang kann man nicht von Benutzern fordern, die Experten auf anderen Gebieten sind und Visualisierung nur als Hilfsmittel einsetzen wollen. Die Folge ist, dass das Potential existierender Visualisierungssysteme nicht ausgeschöpft wird. So werden etwa fehlerhafte Darstellungen erzeugt, die die Dateninterpretation erschweren oder verfälschen (vgl. Beispiele in [Jung98] und [Schu+00]), oder leistungsfähige Visualisierungstechniken kommen wegen mangelnder Vertrautheit nicht zur Anwendung [Kobs01]. Diese Beobachtungen haben dazu beigetragen, dass der *menschliche Faktor* in der Visualisierung zunehmend Gegenstand der aktuellen Forschung geworden ist [Tory+04]. Hier lassen sich sowohl die verschiedenen Arbeiten zur Bewertung von visuellen Repräsentationen einordnen als auch die unterschiedlichen Ansätze zur Unterstützung eines Anwenders bei der Erzeugung geeigneter visueller Repräsentationen.

Bei der Erzeugung adäquater visueller Repräsentationen sind verschiedene Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Die Vielzahl dieser Einflussfaktoren lässt keine geschlossene Lösung zu. Vielmehr fokussieren heutige Ansätze zur systematischen Generierung von visuellen Repräsentationen auf bestimmte Faktoren und vernachlässigen dabei andere. Die meisten dieser Ansätze berücksichtigen die Eigenschaften der darzustellenden Daten sowie konkrete Ziele, die ein Anwender mit der Visualisierung verfolgt (vgl. z.B. [Mack86]; [Sena+94]; [Roth+ 96]; [Fuji+00]; [Zhou+02]). Weniger auf die Visualisierung bezogen, sondern allgemein im Umfeld der Entwicklung *Multiple User Interfaces* [McGr+02] werden zudem die zur Verfügung stehenden Ressourcen betrachtet. Auch die Wahrnehmungsfähigkeiten eines Anwenders werden eher weniger berücksichtigt [Rush97], hauptsächlich im Hinblick auf den Einsatz geeigneter Farb-

skalen [Berg+95]. Daneben gibt es Ansätze, die ganz spezielle Fragestellungen betrachten, wie z.B. Strategien zur Visualisierung nominaler Werte [Rosa+04] oder die geeignete Parametrisierung von Ikonen [Ward02]. Insgesamt, gilt aber, dass die Problematik eines systematischen Visualisierungsdesigns in der gängigen Literatur unterrepräsentiert ist. Das hat zur Folge, dass Visualisierungen die Aufgaben in der Anwendung oft nicht ausreichend unterstützen („...successful decision-making and analysis are more a matter of serendipity and user experience than of intentional design and specific support for such tasks...“ [Alma+04]). Deshalb wurden in [VisAn05] als eine von 10 der wichtigsten Herausforderungen auf dem jungen Forschungsgebiet *Visual Analytics* [Thom05] die verstärkte Berücksichtigung der Semantik (Datencharakteristika, Anwenderziele u.a.) bei der Erzeugung von Visualisierungen genannt.

In diesem Beitrag wollen wir die verschiedenen Aspekte für die Unterstützung eines Nutzers beim Visualisierungsdesign herausarbeiten, grundsätzliche Vorgehensweisen diskutieren und daraus eine Systematik ableiten. Hiermit wollen wir ein Hilfsmittel sowohl für die Entwicklung neuer Ansätze als auch für ihre Bewertung und Einordnung bereitstellen. Außerdem sollen 2 eigene Ansätze zum Visualisierungsdesign vorgestellt werden. Das Paper ist wie folgt aufgebaut: Zunächst sollen im Abschnitt 2 die verschiedenen Faktoren zusammengestellt werden, die für den Entwurf und die Bewertung visueller Repräsentationen wichtig sind. Darauf aufbauend werden in Kapitel 3 prinzipielle Vorgehensweisen für eine Nutzerunterstützung diskutiert und 2 eigene Ansätze zur Unterstützung beim Visualisierungsdesign vorgestellt. Kapitel 4 fasst die wichtigsten Aussagen zusammen und gibt einen kurzen Ausblick auf zukünftige Arbeiten.

2 Aspekte beim Visualisierungsdesign

Beim Visualisierungsdesign sind ganz unterschiedliche Aspekte zu berücksichtigen. Soll dem Anwender eine geeignete oder sogar die beste Visualisierung seiner Daten ermöglicht werden, so muss zunächst die Qualität der Visualisierung und deren Bewertung betrachtet werden. Die wesentlichen Fragen sind hierbei:

- Wann ist eine Visualisierung gut? (Welche Bewertungskriterien gibt es?)
- Welche Faktoren beeinflussen die Qualität einer Visualisierung?
- Wie lässt sich die Qualität einer Visualisierung bestimmen?

2.1 Kriterien

Die bekannteste Formulierung von Kriterien für die Qualität einer graphischen Darstellung geht auf [Mack86] zurück und umfasst die Eigenschaften der *Expressivität* und *Effektivität*. Eine visuelle Repräsentation ist *expressiv*, wenn sie die in den Daten enthaltenen Informationen und nur diese darstellt. Sie ist *effektiv*, wenn sie die Wahrnehmungsfähigkeiten des Anwenders adressiert und eine intuitive Informationsvermittlung unterstützt. Ein weiteres Kriterium zur Bewertung visueller Repräsentationen ist die *Angemessenheit*. Sie wird in [Schu+00] definiert als Verhältnis zwischen dem Aufwand, den eine Visualisierung erfordert, und dem Nutzen, den man mit dieser Visualisierung erreicht, d.h. wie sie in der Lage ist ein kommunikatives Ziel zu unterstützen. David S. Ebert [VisAn05] betont das Ziel noch stärker und spezifiziert die Angemessenheit wie folgt: „Visual representations should provide neither more nor less information than that needed for the task at hand.“

2.2 Einflussfaktoren

Das Visualisierungsproblem wird im Wesentlichen durch *Gegenstand*, *Ziel* und *Kontext* der Visualisierung charakterisiert, also durch die Fragen, *was*, *warum* und unter *welchen Rahmenbedingungen* visualisiert wird. Der Gegenstand der Visualisierung wird durch die zugrunde liegenden Daten bestimmt, das Ziel durch die Aufgabe, die ein Nutzer mit der Visualisierung lösen will. Zu den Rahmenbedingungen zählen sowohl die Eigenschaften des Nutzers (z.B. seine kognitiven Fähigkeiten, seine Erfahrungen und Präferenzen) als auch der Anwendungshintergrund (z.B. etablierte Techniken und Werkzeuge, Konventionen und Metaphern etc.). Genauso sind hier die verfügbaren Ressourcen (Leistungsfähigkeit der verwendeten Hard- und Software) sowie die konkrete Situation (z.B. Dringlichkeit, Erinnerbarkeit [Levy+96] u.a.) zu berücksichtigen. Gerade die Beschreibung von Ressourcen und Situation spielt in dem neuen Forschungsumfeld der *smart environments* eine wichtige Rolle (vgl. z.B. [Enca+05]). Prinzipiell sind aber die Eigenschaften der darzustellenden Datenmenge und die Ziele des Nutzers die wichtigsten Einflussfaktoren bei der Erzeugung von visuellen Repräsentationen.

Beschreibung der Datenmenge durch Metadaten: Metadaten sind definiert als Daten über Daten, beinhalten also jede Art von Anreicherung einer Datenmenge durch weitere Informationen. Grundlegend wird in diesem Zusammenhang zwischen beschreibenden, abgeleiteten und historischen Metadaten unterschieden (vgl. [Robe+97]). Beschreibende Metadaten legen die grundlegende Struktur der Daten fest. Abgeleitete Metadaten können durch jede Art von (semi-)automatischen Verfahren berechnet werden und historische Metadaten beinhalten insbesondere Informationen zur Erhebung der Daten, z.B. zu Ort, Zeit und Qualität der erhobenen Daten. Grundlegende Notationen (z.B. [Brod92], [Wong+97]) beschreiben kompakt wichtige Metadaten, die auch zur Unterscheidung verschiedener Datenklassen geeignet sind. Insbesondere schließen diese Notationen Anzahl und wichtige Eigenschaften unabhängiger und abhängiger Variablen ein. Allgemeine, teilweise durch den Entwickler erweiterbare Spezifikationen von Metadaten finden sich in speziellen Datenformaten (z.B. NetCDF, HDF) oder in allgemeingültigen Visualisierungssystemen (z.B. OpenDX, AVS). Diese Datenbeschreibungen sind auf eine bestimmte Art und/oder Menge darstellbarer Metadaten beschränkt, da sie auf eine spezielle Anwendung hin optimiert wurden. Um dieser Beschränkung zu begegnen, wurde in [Nock+02] eine allgemeine, erweiterbare Metadatenspezifikation vorgestellt, die die vielfältigen Entscheidungen im Rahmen des Designs des gesamten Visualisierungsprozesses unterstützt. Neben Metadaten für abhängige und unabhängige Variablen (z.B. Skalentyp, Wertebereichsverteilungen) können auch allgemeine Strukturen der Datenmenge (z.B. Abhängigkeiten zwischen Variablen und zwischen Beobachtungsobjekten wie Ausreißer und typische Objekte) sowie die Eigenschaften spezieller Datenklassen in speziellen Anwendungsumgebungen beschrieben werden. Ein grundlegendes Problem ist die Erhebung der Metadaten durch den Nutzer. Deshalb wird in [Nock+02] ein Werkzeug zur (semi-)automatischen Erhebung und Speicherung von Metadaten entworfen und vorgestellt, das neben verschiedenen Automatisierungsgraden auch eine Zeitkontrolle für langwierige Erhebungsalgorithmen einführt und das Verständnis der erhobenen Metadaten durch deren Visualisierung verbessert. Dabei wird insbesondere das Nutzerwissen über die Daten einbezogen.

Nutzerziele: Ein wichtiges Instrument zur Beschreibung des Nutzerinteresses sind die Ziele der Visualisierung, die im Rahmen der visuellen Analyse verfolgt werden. Problem bei der Spezifikation solcher Ziele sind die unterschiedlichen Begriffsbedeutungen in verschiedenen Nutzerkontexten. Entsprechend wurde eine Vielzahl von Ansätzen zur Beschreibung solcher Zielstellungen aus unterschiedlichen Perspektiven eingeführt (vgl. z.B. [Roth+90], [Wehr+90], [Robe90]). Der bekannteste Ansatz ist die Task-by-Data-Type-Taxonomie von Shneiderman [Shne96], die verschiedene Datenklassen (z.B. 1D, 2D oder hierarchische Daten) mit Aufgaben (z.B. Überblick und Details on Demand) in Beziehung setzt. Eine systematische Integration dieser teilweise sehr heterogenen Aspekte findet sich in [Nock+04]. Hier werden Zielstellungen nach *nutzer-orientiert* (allgemeine Aufgaben, speziellen Aktionen und Fokus), *daten-orientiert* (Target, Datenklasse, abh./unabh. Variablen, Spezialisierung und Beschreibung), *Komplexitätsgrad* (elementare und zusammengesetzte Ziele) und *Kontext* (Anwendungskontext und Analyseniveau) eingeteilt. Insbesondere kann dabei durch die Attributierung und Zusammensetzung elementarer Ziele und durch die nutzer- und anwendungsbezogene Benennung der Ziele das Problem variierender Interpretationen der Zielstellungen reduziert werden. Dies ermöglicht insbesondere, dass das Visualisierungsdesign auf der Ebene elementarer Ziele durchgeführt werden kann, der Nutzer jedoch Ziele in seinem anwendungsspezifischen Vokabular auswählen kann.

2.3 Bewertung

Eine wichtige Methode zur Bewertung visueller Repräsentationen ist die Durchführung von Nutzerstudien. Diese gewinnen wegen ihres Potentials und in Ermangelung gleichwertiger Alternativen zunehmend an Bedeutung ([Kosa+03], [Tory+04]). Hierbei lösen verschiedene Testpersonen mit verschiedenen Visualisierungen verschiedene Aufgaben. Dabei werden Bearbeitungszeit und Korrektheit der Ergebnisse gemessen. Dies führt je nach Granularität der Untersuchungsgegenstände zu Rankings von visuellen Attributen (z.B. [Nove+02]), von Visualisierungstechniken (z.B. [Jung98]) oder von Visualisierungssystemen (z.B. [Kobs01]). Je nach Fokus sind diese Rankings spezifisch für spezielle Aspekte, z.B. ausgewählte Dateneigenschaften (z.B. nominal vs. ordinal) oder spezielle Aufgaben (z.B. Trend erkennen vs. Werte ablesen). Das heißt, es werden vordergründig einzelne oder wenige Faktoren getestet, die die Effektivität visueller Repräsentationen beeinflussen. Dies liegt in der Natur der Sache, da stets die Mehrzahl dieser Faktoren konstant gehalten werden muss, um die Wirkung der verbleibenden Faktoren ohne störende Einflüsse untersuchen zu können (vgl. auch [Ware05]). Damit können aber auch nur Aussagen über einfache Zusammenhänge getroffen werden. Für die Beurteilung komplexer Zusammenhänge muss nach alternativen Wegen gesucht werden [Kosa+03]. Hierzu gehört vor allem das Nutzen von Expertenwissen, das an verschiedenen Stellen und unter verschiedenen Aspekten veröffentlicht wurde, wie z.B. in [Tory+04] zum Thema „*Human Factors in Visualization*“ oder in [Ware00] über wahrnehmungsbasierte Entwurfsrichtlinien. Der Stand der Forschung ist aber noch weit davon entfernt, objektive Maße, formale Modelle oder gesicherte Berechnungsverfahren für die Qualitätsbestimmung visueller Repräsentationen bereitzustellen (vgl. auch [Lange06]). Vielmehr existiert ein umfangreiches informelles Wissen über Visualisierungen im Allgemeinen und über deren Effektivität im Besonderen, welches in

geeigneter Form verfügbar gemacht werden muss, z.B. durch die Entwicklung und Integration von Tools zur Anwenderunterstützung in bestehende Visualisierungssysteme. Hierzu gibt es verschiedene Ansätze, die im nächsten Abschnitt genauer besprochen werden sollen.

3 Visualisierungsdesign - prinzipielle Methoden

Eine der wesentlichen Möglichkeiten zur Nutzerunterstützung bei der Visualisierung ist die Hilfestellung beim Visualisierungsdesign. Hierzu gibt es verschiedene Ansätze, die sich darin unterscheiden, ob sie auf eine Automatisierung des gesamten Visualisierungsprozesses ausgerichtet sind oder nur einzelne Schritte herausgreifen.

3.1 Automatische Visualisierungen

Die Pionierarbeit zur Automatisierung des Entwurfs graphischer Repräsentationen geht auf Mackinlay zurück [Mack86]. Hier werden graphische Repräsentationen als Sätze graphischer Sprachen mit Syntax und Semantik zur Beschreibung visueller Attribute definiert (vgl. [Bert83]) und über eine Kompositionsalgebra verbunden. Das automatische Präsentationssystem APT (A Presentation Tool) geht dabei in drei Schritten vor:

1. **Partitionierung:** Die Datenmenge wird rekursiv unterteilt, bis jede Teilmenge durch wenigstens eine der graphischen Sprachen ausgedrückt werden kann.
2. **Selektion:** Für jede Datenteilmenge wird die effektivste der graphischen Sprachen bestimmt, die in der Lage ist, diese Datenteilmenge auszudrücken (anhand von datentyp- und wahrnehmungs-orientierten Rankings).
3. **Komposition:** Die Entwürfe für die Teilmengen werden mit den Kompositionsoperatoren zu einer einheitlichen Repräsentation zusammengesetzt.

Diese Idee wurde in zahlreichen nachfolgenden Arbeiten aufgegriffen und weiterentwickelt. Die Verfahren können nach den folgenden Kriterien klassifiziert werden:

- Abdeckung
 - Unterstützte Schritte im Visualisierungsprozess
 - Unterstützte Repräsentationen
 - Unterstützte Datenklassen
- Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren (Metadaten, Ziele & Aufgaben, Visualisierungskontext)
- Lösungsstrategien
 - Ausführung (automatisch vs. (semi-)automatisch)
 - Vorgehen (bottom-up vs. top-down)
 - Mechanismus (z.B. regelbasiert)
 - Grundlage (z.B. Kompositionsalgebra, Fuzzy-Logik).

Insbesondere kann im Umfeld des Visualisierungsdesigns zwischen *konstruktiven bottom-up Verfahren* unter Einsatz von Kompositionsalgebren (vgl. z.B. [Mack86], [Casn91], [Roth+91], [Sena+94], [Roth+96], [Jung98], [Wilk99]) und zwischen *template-basierten top-down Verfahren* (vgl. z.B. [Gnan81], [Zhou+02], [Jiaw+04]) unterschieden werden (vgl. [Kamps99]). Tabelle 1 stellt die Eigenschaften dieser Ansätze bzgl. der oben eingeführten Kriterien gegenüber.

	Konstruktives Vorgehen	Template-basiertes Vorgehen
Abdeckung		
Entscheidungen	im gesamten Entwurfsprozess	im gesamten Entwurfsprozess
Repräsentationen	statische, dynamische 2D techniken, Infovistechniken, ...	Beliebige Techniken
Datenklassen	relationale Daten, GIS-Daten	beliebige
Berücksichtigung von Einflussfaktoren		
Metadaten	ja	ja
Ziele & Aufgaben	ja	ja
Kontext	Wahrnehmungseigenschaften, Anwendungsgebiet, Nutzer- präferenzen, Ausgabemedium	Wahrnehmungseigenschaften, Anwendungsgebiet, Nutzerpräferenzen
Ableich (Matching)		
Ausführung	automatisch; interaktive Spe- zifikation von Daten, Zielen, Kontext sowie interaktive Modifikation des Entwurfs	automatisch interaktiv
Vorgehen	Bottom up	Top down
Mechanismus	regelbasiert	graphenbasiert, ...
Grundlage	Komp.-algebra, Fuzzy-Logik	Fallbasiertes masch. Lernen, ...
Systeme & Ansätze	VISTA [Sena+94], SAGE [Roth+91], VISAGE[Roth+94],[Roth+96]	[Gnan81],[Zhou+02], [Jiaw+04]

Tabelle 1: Gegenüberstellung konstruktiver und template-basierter Ansätze

Hierbei basieren alle *konstruktiven Ansätze* auf dem regelbasierten Vorgehen von Mackinlay. Sie unterscheiden sich in der Komplexität der graphischen Elemente, wobei das Spektrum von primitiven graphischen Objekten wie Punkten oder Linien und deren Eigenschaften über einfache Darstellungstechniken wie Scatterplots oder Linien-diagramme bis hin zu relativ komplexen grundlegenden Visualisierungstechniken wie etwa Kreissignaturenkarten reicht. Sie kodieren jeweils nur sehr wenige Datenvariable und sind erst nach Komposition mit anderen primitiven Visualisierungen zur Darstellung multivariater Daten geeignet. Konstruktive Ansätze haben den Vorteil, dynamisch auch neue Visualisierungstechniken für einen Kontext zu erzeugen, an die ein Entwickler evtl. nicht gedacht hat. Sie können sehr flexibel gesteuert und erzeugt werden. Allerdings wird bei komplexeren Anforderungen des Benutzers auch eine komplexere Problem-beschreibung durch den Nutzer erforderlich, die ihn überfordern kann. Weil das konstruierende Vorgehen beim Entwurf einer Visualisierung auch ein konstruierendes Vorgehen bei der Realisierung des Entwurfs erfordert, muss die Visualisierungsfunktionalität bei diesen Ansätzen neu implementiert werden. Dies kann bei existierenden hochkomplexen Visualisierungen mit langen Entwicklungszeiten ein Nachteil sein. Insbesondere besteht hier das Problem, auch die verfeinerten Interaktions- und Navigationstechniken bei solchen Ansätzen mit zu konstruieren. Ein weiteres Problem

der konstruktiven Ansätze ist ihre feste Abhängigkeit vom Daten(bank)schema und von gewissen Metadaten.

Im Unterschied zu den konstruktiven Ansätzen gehen die *template-basierten Verfahren* von komplexen Visualisierungstechniken aus. Unter anderem ermöglicht dies, maßgeschneiderte Visualisierungen für bestimmte Anwendungsfelder zu entwickeln und die Anwender bei deren Auswahl und Parametrisierung zu unterstützen. Dabei können komplexe Visualisierungstechniken mit beliebigen Interaktionstechniken aus angesteuert und auch aus variierenden Entwicklungsumgebungen miteinander kombiniert werden. Nachteil dieser Vorgehensweise ist, dass keine beliebigen Visualisierungen erzeugbar sind und dass ein Teil der Güte des Visualisierungsdesigns beim Entwickler liegt. Vorteil ist, dass die Techniken u.a. für die Verarbeitung von sehr großen Datenmengen leichter optimiert werden können. Ein Beispiel für das template-basierte Vorgehen findet sich in [Zhou+02]. Der Visualisierungsentwurf erfolgt hier anhand von Beispielen unter Verwendung von Methoden des fallbasierten maschinellen Lernens. Dazu wurde eine Datenbank mit einer großen, repräsentativen Menge guter Visualisierungsbeispiele gefüllt, wobei jedes dieser Beispiele durch einen Graphen repräsentiert wird, der die Eigenschaften der dargestellten Daten, der verwendeten visuellen Repräsentation und der Zuordnung von Datenelementen zu Visualisierungselementen (Mapping) enthält. Zu diesen Eigenschaften gehören u.a. auch sinnvolle Parametereinstellungen, Prioritäten und Präsentationsziele. Der Nutzer spezifiziert sein Visualisierungsproblem, indem er einen ebensolchen Graphen oder einen Teil davon aufstellt und damit Daten, Ziele und/oder Entwurfsvorgaben festlegt (Request). Das System sucht in einer Phase des „Skizzierens“ (Sketch Generation) aus der Datenbank durch Vergleich der entsprechenden Graphen diejenigen Beispiele heraus, die der Problemspezifikation am nächsten kommen. Nur wenn kein geeignetes Beispiel gefunden werden kann, wird eine Dekomposition in Request-Fragmente vorgenommen und das Skizzieren für diese erneut ausgeführt. Die Komposition der Fragmentskizzen wird von anderen Beispielen abgeleitet („gelernt“). Anhand der generierten Skizze wird in einer Realisierungsphase (Sketch Realization) eine analoge Visualisierung der gegebenen Datenmenge erzeugt, wobei die Feinheiten (etwa die Parameterwahl) wiederum von den Beispielen gelernt werden.

3.2 Unterstützung einzelner Entscheidungen

Die vorgestellten Vorgehensweisen (top-down und bottom-up) unterstützen den gesamten Visualisierungsprozess. Dabei müssen eine Vielzahl von Einzelentscheidungen getroffen werden. Ein breites Spektrum von Arbeiten widmet sich dem Problemkreis, wie der Nutzer beim Treffen dieser Entscheidungen unterstützt werden kann. Insbesondere schliesst dies die Auswahl, Kombination und Parametrisierung von Visualisierungstechniken ein.

Auswahl geeigneter Techniken: Zur Steuerung der Auswahl von Techniken werden vor allem Taxonomien eingesetzt, welche eine problemorientierte Klassifikation von Visualisierungstechniken nach den Einflussfaktoren beinhalten. Diese Taxonomien weisen aus, inwieweit Visualisierungstechniken bestimmte Datencharakteristika und Ziele unterstützen, und schließen teilweise auch den Visualisierungskontext mit ein. Eine Pionierarbeit bei der taxonomiegesteuerten Auswahl von Visualisierungstechniken ist

[Wehr+90], bei der Visualisierungstechniken nach der Art der beteiligten Objekte (Datencharakteristik) und Operationen (Zielen) eingeteilt werden. Weiterentwicklungen dieses Ansatzes finden sich z.B. in [Fuji+97], [Fiju+00] und [Jiaw+04]. Die Auswahl von Visualisierungstechniken auf der Basis von Taxonomien ist sehr intuitiv und wird daher gut akzeptiert. Auf der anderen Seite erfordert dieser Ansatz oft die Zerlegung von komplexen Visualisierungsproblemen in handhabbare Teilprobleme (z.B. wenn mehrere Zielstellungen gleichzeitig verfolgt oder verschiedene Datenobjekte gleichzeitig visualisiert werden sollen). Diese Zerlegung ist nicht immer einfach. Deshalb ist auch hier eine Nutzerunterstützung sinnvoll (vgl. z.B. [Nort+02]).

Parametrisierung von Techniken: Nach der Auswahl einer geeigneten Visualisierungstechnik ergeben sich nun vor allem die Fragen:

1. Welche Datenvariablen sollen durch welche visuellen Eigenschaften der Darstellung repräsentiert werden?
2. Welche Ausprägungen einer visuellen Eigenschaft der Darstellung sollen welche Datenwerte kodieren?

Die erste Frage betrifft die Zuordnung von Datenvariablen zu visuellen Attributen wie Farbe, Position und Form. Legt die Visualisierungstechnik eine Reihenfolge der Visualisierungsvariablen fest (z.B. bei Parallelen Koordinaten eine Achsenreihenfolge) so muss dementsprechend die „Abbildungsreihenfolge“ der Datenvariablen zugeordnet werden. Arbeiten zur Parametrisierung von Visualisierungstechniken sind z.B. die automatische Zuordnung zu den Attributen einer natürlichen Szene [Robe90] oder die Zuordnung von Variablen zu Attributen der hierarchischen Technik „worlds within worlds“ [Besh+93]. Weiter gehören hierzu auch die Arbeiten zur Parametrisierung von Ikonen [Ward02]. In [Ware05] wird eine allgemeine Vorgehensweise vorgestellt, um systematisch verschiedene Wertebelegungen von Parameterkombinationen zu testen.

Die zweite Frage beinhaltet die Abbildung des Wertebereiches einer Datenvariablen auf den Wertebereich einer Visualisierungsvariablen. Hierbei wurde insbesondere die Farbabbildung in verschiedenen Arbeiten untersucht (z.B. [Berg+95], [Robe+97], [Alex+99], [Schu+05]), da sie die am häufigsten eingesetzte Abbildung und aufgrund der sensitiven menschlichen Wahrnehmungsfähigkeiten und Bedeutungszuweisungen in verschiedenen Anwendungen ein sehr „sensibler“ Prozess ist. Ein weiteres Beispiel ist in diesem Kontext die für eine Visualisierung notwendige Abbildung nominaler Werte auf Zahlen, die z.B. in [Rosa+04] untersucht wurde.

3.3. Zwei Ansätze für die Nutzerunterstützung

In diesem Abschnitt sollen zwei eigene Ansätze vorgestellt werden, die den Nutzer bei der Auswahl und Parametrisierung einer Visualisierungstechnik unterstützen.

Visualisierungshilfe für multivariate Daten: [Lang06] konzipiert eine Visualisierungshilfe für multivariate Daten, die bei der *Auswahl* geeigneter Visualisierungstechniken ansetzt (vgl. Abb.1). Grundlage ist eine Eignungsbewertung der potentiell verfügbaren Visualisierungstechniken für ein gegebenes Visualisierungsproblem mit Hilfe von sogenannten Eignungsfunktionen. Deren Eingabeparameter stehen für die Einflussfaktoren, die die Qualität der resultierenden Visualisierung bestimmen. Das Funktionsergebnis repräsentiert jeweils die Eignung, d.h. Effektivität und Expressivität der

Visualisierung bzgl. des assoziierten Zieles. Die Funktionen selbst kapseln Visualisierungswissen in den konkreten Berechnungsvorschriften sowie in Art und Einfluss ihrer Parameter. Das Ergebnis der Eignungsbewertung der verfügbaren Techniken wird mit den Visualisierungswünschen des Nutzers abgeglichen und eine Auswahlempfehlung abgeleitet.

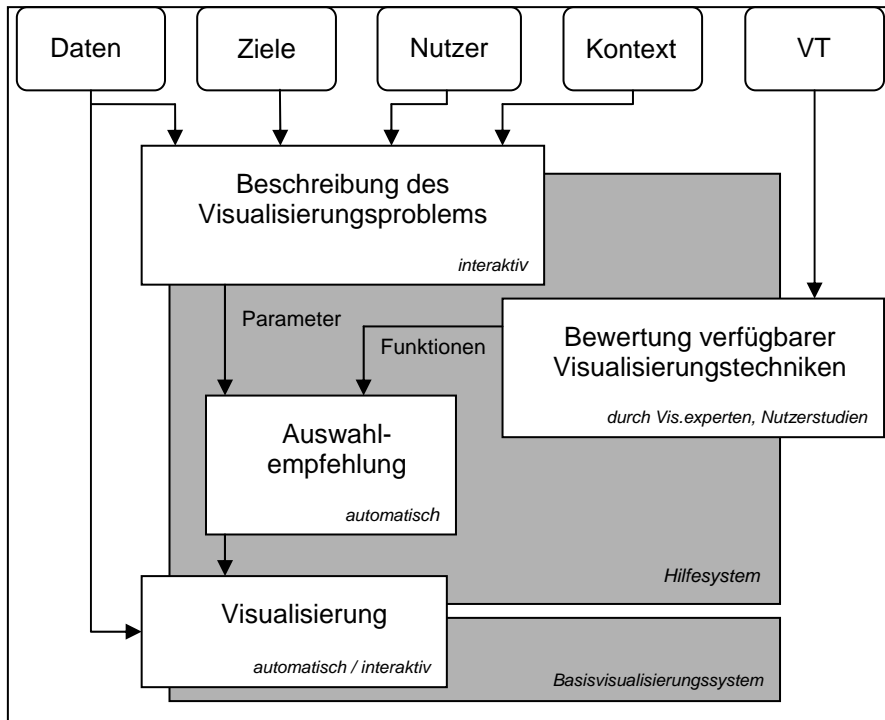


Abb.1: Die Auswahlentscheidung als Gegenstand von Visualisierungsunterstützung (VT - Visualisierungstechniken, Vis. – Visualisierung)

Auf eine Realisierung der konzipierten Visualisierungshilfe in einem interaktiven Werkzeug wird u.a. in [Lang+95] und [Lang06] eingegangen. Abb.1 verdeutlicht Konzept und Sitzungsablauf des entwickelten Hilfesystems: Zunächst muss das zu lösende Visualisierungsproblem spezifiziert, d.h. die konkreten Daten, Ziele, Ressourcen, Nutzereigenschaften usw. beschrieben werden. Diese Spezifikation erfolgt in der Regel interaktiv durch den Nutzer mit Unterstützung durch das Hilfesystem, kann jedoch in erheblichem Umfang auch automatisch (z.B. Metadatenermittlung) und außerhalb des Hilfesystems erfolgen. Das Hilfesystem verfügt über eine Bibliothek von Eignungsfunktionen, die von Visualisierungsexperten entworfen und mit Hilfe von Nutzerstudien evaluiert wurden. Anhand dieser Eignungsfunktionen wird aus der Problembeschreibung automatisch eine Auswahlempfehlung abgeleitet und kann durch eine Online-Kopplung des Hilfesystems mit dem Basisvisualisierungssystem IRIS Explorer direkt in eine Visualisierung der spezifizierten Datenmenge umgesetzt werden. Für den Fall, dass keine

einzelne geeignete Technik identifiziert werden kann, werden unterschiedlich geartete Konfliktlösungen angeboten. Abb.2 zeigt im oberen Fenster „Konflikte“ eine solche Situation und visualisiert den Einfluss der spezifizierten Ziele und Dateneigenschaften auf Eignung bzw. Nichteignung der einzelnen Visualisierungstechniken. Der Nutzer kann sich für eine Einschränkung oder Zerlegung seines Visualisierungsproblems und damit für die Erzeugung von Teillösungen entscheiden oder aber die automatische Ermittlung geeigneter *Technikkombinationen* veranlassen. Abb.2 zeigt im rechten Fenster „Empfehlung“ eine Auflistung solcher *Technikkombinationen*, von denen eine zur Anwendung auf die spezifizierte Datenmenge ausgewählt und im Basisvisualisierungssystem IRIS Explorer realisiert wurde (unteres Fenster „Map Editor“ in Abb.2).

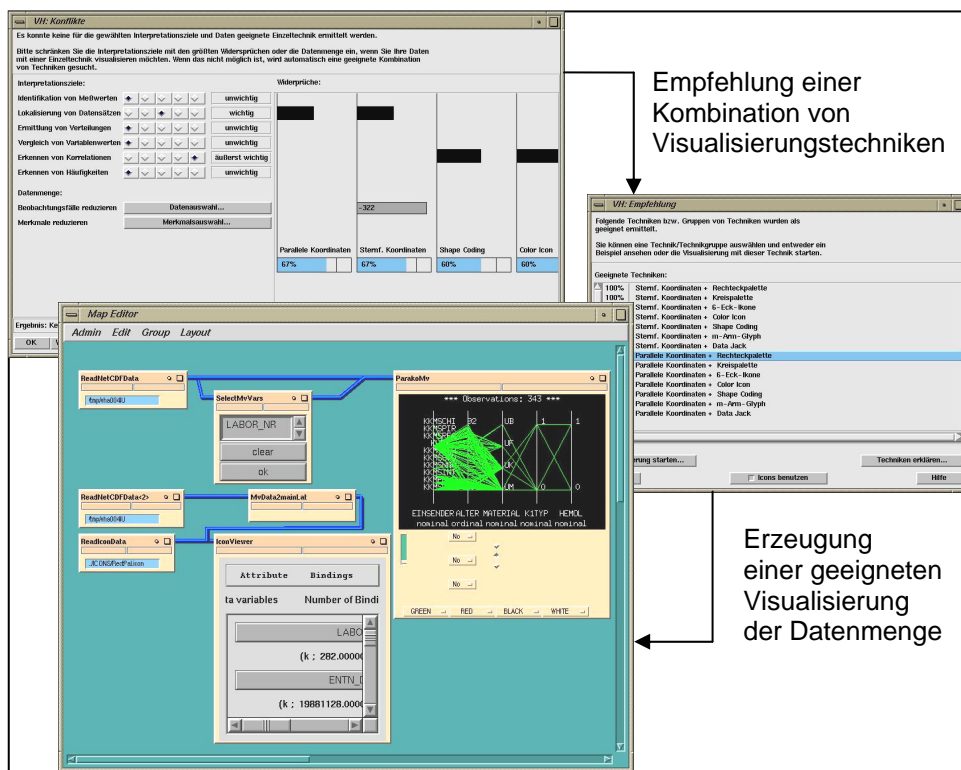


Abb.2: Erzeugung einer Auswahlempfehlung

Der verwendete funktionale Auswahlansatz kann anders als taxonomiebasierte Ansätze nicht nur einfache, sondern auch komplexe Visualisierungsprobleme in ihrer Gesamtheit behandeln, ohne *zwangsläufig* eine Zerlegung in Teilprobleme und damit eine nachträgliche Kombination von Teilvisualisierungen in Kauf nehmen zu müssen. Er lässt damit eine viel feinere Problembeschreibung zu und ermöglicht insbesondere die Verarbeitung auch *quantitativer* Informationen sowie die Berücksichtigung einer erheblichen Anzahl und Vielfalt von Parametern und deren Wechselwirkungen bei der Entscheidungsfindung. Darüber hinaus ist der beschriebene Ansatz einer der wenigen, in

denen Effektivität bzw. Qualität explizit und quantitativ durch Eignungsfunktionen repräsentiert wird. Dabei gehen nicht nur die Syntax, sondern auch die Semantik und Pragmatik visueller Repräsentationen ein, und es werden nicht nur verschiedene Parametrisierungen derselben Technik, sondern explizit verschiedene Techniken erfasst. Ein ganz ähnlicher Ansatz, jedoch ohne die Kombination mit einem Visualisierungssystem und damit ohne die Möglichkeit der automatischen Erzeugung der ausgewählten visuellen Repräsentation, wird in [Peffer+05] vorgestellt und spiegelt die Aktualität des hier beschriebenen Ansatzes wider.

Visualisierungsdesign im Umfeld der Klimaforschung: Zur Unterstützung eines Simulations- und Experimentiersystems zur Analyse und Evaluierung von Klimamodellen werden eine Vielzahl von angereicherten Daten im NetCDF-Format erzeugt. Aufgrund der Datenvielfalt (multi-dimensional, multi-variater) wurde eine modulare Visualisierungsbibliothek zur Auswertung dieser Daten entworfen, die speziell auf die Anforderungen der Klimaforscher zugeschnitten ist. Standardtechniken für 1D (Linien-darstellungen), 2D (Farbdarstellungen, Isolinien, Höhenfelder) und 3D (Schnittdarstellungen, Isoflächen und DVR) wurden in OpenDX, und Informationsvisualisierungstechniken für 0D-multivariate Daten (Parallele Koordinaten, Scatterplot Matrizen) und 2D (Ikonentechniken) in OpenGL umgesetzt. Um die Klimaforscher bei Auswahl, Parametrisierung und Ausführung dieser Techniken zu unterstützen, wurde ein *template-* und *regelbasierter* Visualisierungsdesign-Wizard entwickelt (vgl. Abb. 3 und [Nock06]).

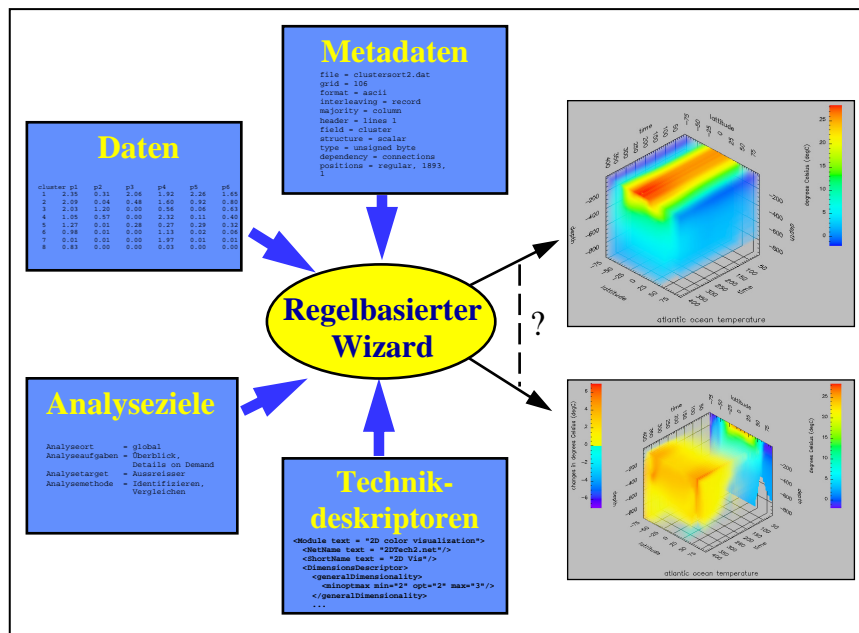


Abb. 3: Grundschema des Visualisierungsdesigns für die Klimaforschung: Regelbasierter Wizard wählt und parametrisiert für Klimadatenätze vorgefertigte Visualisierungstechniken anhand von Metadaten, Analysezielen und Technikdeskriptoren

Dieser gleicht die in NetCDF abgelegten Metadaten und durch den Nutzer spezifizierten Ziele und Aufgaben mit der Technikbeschreibung (XML) aufgrund von Regeln (Lex & Yacc) ab und unterstützt den Nutzer bei vier Arten von Entscheidungen:

- Modulwahl: Auswahl von Visualisierungsmoduln (1D, ...) durch Eignungsbestimmung und Sortierung,
- Variantenwahl: Auswahl von Teiltechniken (z.B. Farb- oder Isoliniendarstellung),
- Variablenmapping: Abbildung von Variablen auf visuelle Attribute (z.B. Temperatur auf Farbe) und
- Feinparametrisierung: Justierung der visuellen Attribute (z.B. Farbskalenwahl).

Folgendes Beispiel zeigt eine Variablenabbildungs-Regel, die eine Zuordnung der x-Achse auf die geographische Länge belohnt und eine Nichtzuordnung bestraft:

```
exists (DimensionMapping, "xAxis")
&& exists(Dimension, hasValue(Dimension, Name, syn("longitude")))
&& hasVariableMapping (Dimension, "xAxis") ? [+ 0.2, -=0.2],
```

Neben der Bestimmung von Eignungen für jeden dieser Schritte ermöglichen die Regeln auch die Bestimmung von Standardparametern. Wichtig für eine hohe Nutzerakzeptanz ist, dass zwar Vorschläge und Standardbelegungen für die Visualisierungstechniken angeboten werden, der Nutzer jedoch wahlweise jede der automatisch getroffenen Entscheidungen manuell beeinflussen oder automatisch übernehmen bzw. weiterhin die gesamte Spannweite der zur Verfügung stehenden Techniken nutzen kann (vgl. Abbildung 4). Durch den „Fast-Visualization-Button“ wird dann eine geeignete Visuali-

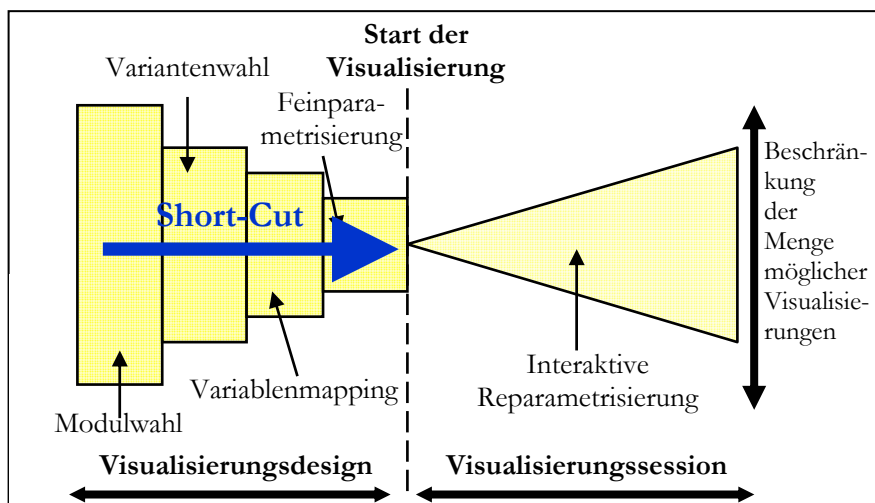


Abbildung 4: Schematischer Ablauf einer Analysesitzung: beim Visualisierungsdesign wird die Menge möglicher Visualisierungen in 4 Stufen eingeschränkt; mittels „Fast-Visualization-Button“ (Short-Cuts) können dabei Standardbelegungen für nachfolgende Stufen gewählt werden; während der Visualisierungssitzung kann der Nutzer diese Standardparametrisierungen interaktiv verändern, und die Menge möglicher Darstellungen nach seinen Kenntnissen und Zielen erweitern

sierung erzeugt, wobei die fehlenden Spezifikationen durch Standardbelegungen ergänzt werden.

Neben Dialogen zur nutzergesteuerten Änderung von Standardparametrisierungen kann der Anwender mit dem Visualisierungsdesign-Wizard auch die Charakteristika des Datensatzes einsehen, ggf. Änderungen vornehmen, geeignete Teilmengen- und Variablenselektionen durchführen und Analyseziele spezifizieren (vgl. Abbildung 5).

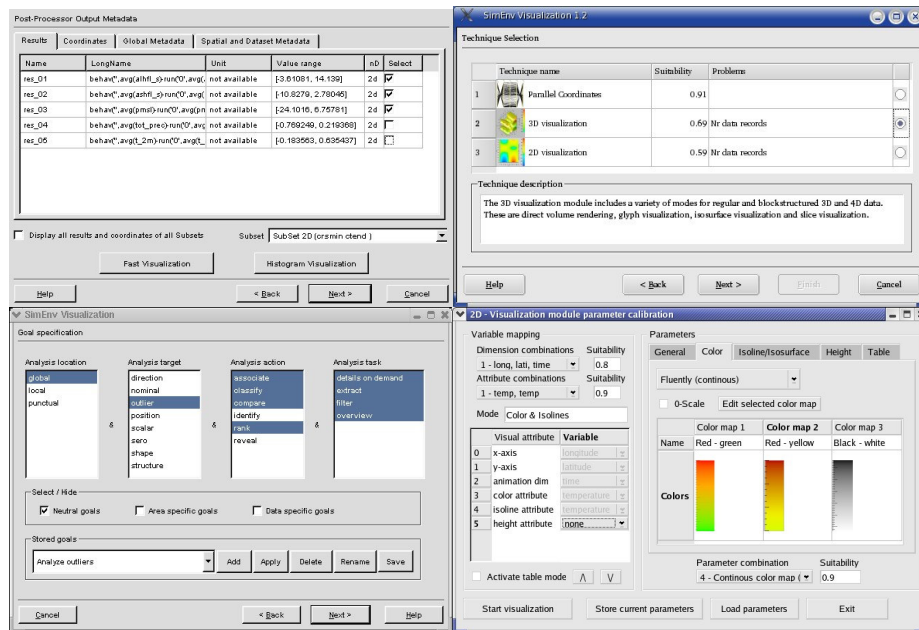


Abb. 5: Screenshots des Wizards: Metadatenansichts- und -manipulationsdialog sowie Variablenfiltering (links oben), Zieldefinitionen (links unten), Modulauswahldialog (rechts oben) und Modulparametrisierungsdialog (rechts unten)

4. Schlussbemerkungen

In diesem Artikel wurde eine Übersicht über verschiedene Ansätze zum Visualisierungsdesign gegeben. Dazu wurden zum einen Kriterien für gute Visualisierungen, Ansätze zur Beschreibung wesentlicher Einflussfaktoren und zur Bewertung der Repräsentationen vorgestellt. Zum anderen wurden Ansätze zur automatischen Visualisierung für den gesamten Visualisierungsprozess sowie Arbeiten im Umfeld einzelner Entscheidungen dargestellt. Unabhängig von der gewählten Vorgehensweise wirft die *Automatisierung* des Visualisierungsprozesses allgemeine zum Teil noch ungelöste Probleme auf. Zum Beispiel kann das Bestreben, dem Nutzer möglichst viel Arbeit abzunehmen, leicht dazu führen, dass der Nutzer in seinen Bedürfnissen und Zielen übergangen wird und dadurch die Akzeptanz eines Hilfesystems sinkt (vgl. [Jung98]). Besonderes Augenmerk ist also darauf zu richten, dass der Nutzer zwar unterstützt wird, den Grad der Automatisierung

bzw. der Interaktivität aber selbst steuern kann. Die in Abschnitt 3.3. vorgestellten eigenen Ansätze erlauben daher eine durchgängige interaktive Kontrolle des Visualisierungsprozesses durch den Nutzer. Ein weiteres Problem ergibt sich bei der adäquaten Spezifikation des Visualisierungsproblems: Je weniger der Nutzer in den Entwurfsprozess eingreifen kann, desto besser muss die Beschreibung seines Problems sein, wenn eine geeignete Lösung gefunden werden soll. Der Nutzer muss deshalb auch bei seiner Problembeschreibung unterstützt werden, wobei Präzision und Vollständigkeit der Beschreibung sicherzustellen sowie Fehlentscheidungen bei der Beschreibung zu verhindern sind. Problematisch ist auch, dass ein einheitliches Vorgehen für das Visualisierungsdesign - oder sogar eine Standardisierung von Metadaten, Zielen, Technikbeschreibungen, Auswahl- und Abbildungsregeln in diesem Umfeld - noch nicht abzusehen ist. Bisher ist das Visualisierungsdesign weitgehend auf die Generierung einzelner Repräsentationen bei Einsatz einer bestimmten Menge an Einflussfaktoren ausgerichtet, was die Notwendigkeit einer geeigneten Kombination von visuellen Repräsentationen nach sich zieht.

Zukünftige Arbeiten im Umfeld des Visualisierungsdesigns werden sich vordergründig auf die Lösung der genannten Probleme konzentrieren. Eine weitere Herausforderung ergibt sich aus einer stärkeren Einbindung von automatischen Verfahren. Bisherige Ansätze fokussieren entweder auf die Automatisierung von Visualisierungs- oder von Data Mining Techniken. Inwieweit verschiedene automatische und visuelle Miningtechniken kontextabhängig generiert, ausgewählt, parametrisiert und z.B. in Form von Netzwerken miteinander gekoppelt werden können, ist noch ein weitgehend offenes Forschungsfeld, das im Bereich *Visual Analytics* [Tho05] genauer untersucht werden soll.

Literatur

- [Alex+99] M. Alexa, W. Müller: *Visualization by Examples: Mapping Data to Visual Representations using Few Correspondences*, Proceedings of the Joint Eurographics - IEEE TCVG Symposium on Visualization, 1999.
- [Alma+04] R. Almar, J. Stasko: *A Knowledge Task-Based Framework for Design and Evaluation of Information Visualizations*. Proceedings IEEE InfoVis'04, Austin, USA, S. 143-149, 2004.
- [Besh+93] C. Beshers, S. Feiner, *AutoVisual: Rule-Based Design of Interactive Multivariate Visualizations*, IEEE Computer Graphics and Applications, July, 1993.
- [Berg+95] L. D. Bergmann, B. E. Rogowitz, and L. Treinish: *A Rule-based Tool for Assisting Colormap Selection*. Proceedings IEEE Visualization'95, Atlanta, USA, Okt. 1995.
- [Bert83] J. Bertin: *Semiology of Graphics*. The University of Wisconsin Press, 1983.
- [Casn91] S. M. Casner: *A Task-Analytic Approach to the Automated Design of Graphic Presentations*, ACM Transactions on Graphics, Vol. 10, No. 2, April, 1991.
- [Enca+05] J. L. Encarnação and T. Kirste: *Ambient Intelligence: Towards Smart Appliance Ensembles. From Integrated Publication and Informations Systems to Virtual Information and Knowledge Environments*. Springer, 2005.
- [Fuji+97] I. Fujishiro, Y. Takeshima, Y. Ichikawa, and K. Nakamura: *GADGET: Goal-Oriented Application Design Guidance for Modular Visualization Environments*, Proceedings of the 8th IEEE Visualization conference, 1997.
- [Fuji+00] I. Fujishiro, Y. Ichikawa, R. Furuhashi, and Y. Takeshima: *GADGET / IV : A Taxonomic Approach to Semi-Automatic Design of Information Visualization Applications Using Modular Visualization Environments*. Proceedings IEEE InfoVis'00, Salt Lake City, USA, Okt. 2000.

- [Gnan81] S. Gnanagari : *Information Presentation Through default Display*. PhD thesis, University of Pennsylvania, 1981.
- [Jiaw+04] H. Jiawei, A. Bailey, A. Sutcliffe: *Visualization Design Reuse*, Information Visualization (IV'04), London, 2004.
- [Jung98] V. Jung: *Integrierte Benutzerunterstützung für die Visualisierung in Geo-Informationssystemen*. Darmstadt, Technische Universität, Dissertation, 1998.
- [Kamps99] Kamps: *Diagram Design. A Constructive Theory*, 1999.
- [Kosa+03] R. Kosara, C. G. Healey, V. Interrante, D. Laidlaw, and C. Ware: *User Studies: Why, How, and When?* IEEE Computer Graphics and Applications, July/August 2003.
- [Kobs01] A. Kobsa: *An Empirical Comparison of Three Commercial Information Systems*, Proceedings of the 2001 IEEE Symposium on Information Visualization, 2001.
- [Lang06] S. Lange: *Konzeption einer Visualisierungshilfe für multivariate Daten*. Dissertation in Vorbereitung, Universität Rostock, 2006.
- [Lang+95] S. Lange, H. Schumann, W. Müller, D. Krömker: *Problem-oriented Visualization of multi-dimensional data sets*. in: R. Scateni (Hrsg.): *Scientific Visualization'95. Proceedings of the International Symposium.*, World Scientific, Singapore, 1995.
- [Levy+96] E. Levy, J. Zacks, B. Tversky, and D. Schiano: *Gratuitous Graphics? Putting Preferences in Perspective*, Proceedings of the CHI 96, Vancouver, BC Canada, 1996.
- [Mack86] J. Mackinlay: *Automating the Design of Graphical Presentations of Relational Information*. Transactions on Graphics, Vol.5, Nr.2, April 1986.
- [McGr+02] J. McGrenere, R. Baecker, and K. Booth. *An evaluation of a multiple interface design solution for bloated software*. Proc. ACM CHI 2002, Minneapolis, 20-24 April 2002.
- [Nock+02] T. Nocke, H. Schumann: *Meta Data for Visual Data Mining*, Proceedings Computer Graphics and Imaging, CGIM 2002, Kaua'i, Hawaii, USA, August, 2002.
- [Nock+04] T. Nocke, H. Schumann: *Goals of Analysis for Visualization and Visual Data Mining Tasks*. Prague CODATA Workshop on Information Visualization, 2004.
- [Nock06] T. Nocke: *Visuelles Data Mining und Visualisierungsdesign für die Klimaforschung*. Dissertation in Vorbereitung, Universität Rostock, 2006.
- [Nort+02] North, C.; Conklin, N.; Saini, V.: *Visualization Schemas for Flexible Information Visualization*, Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization, 2002.
- [Nowe+02] L. Nowell, R. Schulman, and D. Hix: *Graphical Encoding for Information Visualization: An Empirical Study*, IEEE Symposium on Information Visualization, 2002.
- [Peffer+05] J. Peffer, S. Potter, and W. Elm: *Visualizing Visualizations: A Tool for the Selection of Visualization Support for Intelligence Analysis*. Proceedings Compendium IEEE InfoVis'05, Minneapolis, Oktober, S. 39-40, 2005.
- [Robe90] P.K. Robertson: *A methodology for scientific data visualization: choosing representations based on a natural scene paradigm*, IEEE Conference on Visualization, 1990.
- [Robe+97] P.K. Robertson, M.A. Hutchins: *An Approach to Intelligent Design of Color Visualization*, In: Nielson, G.; Hagen, H.; Müller, H.: *Scientific Visualization*. IEEE Computer Society, Los Alamitos, 1997.
- [Rosa+04] G. Rosario et al: *Mapping Nominal Values to Numbers for Effective Visualizations*. Palgrave Information Visualization, Vol. 3, Nr. 2, S. 80-95, Juni 2004.
- [Roth+90] S.F. Roth, J. Mattis: *Data Characterization for Intelligent Graphics Presentation*, Proceedings of the SIGCHI'90 Human Factors in Computing Systems, ACM, April, 1990.
- [Roth+91] S. F. Roth, J. Mattis: *Automating the Presentation of Information*, Proceedings of the IEEE Conference on AI Applications, February, 1991.
- [Roth+94] S. F. Roth, J. Kolojejchick, J. Mattis, J. Goldstein: *Interactive Graphic Design Using Automatic Presentation Knowledge*, Proceedings of the SIGCHI'94 Human Factors in Computing Systems, ACM, April, 1994.
- [Roth+96] S. F. Roth et al: *Visage : A User Interface Environment for Exploring Information*. Proceedings IEEE InfoVis'96, San Francisco, USA, Nov. 1996.

- [Rush97] H. Rushmeier et al: *Perceptual Measures for Effective Visualizations*. Proceedings IEEE Visualization'97, Phoenix, USA, Okt. 1997.
- [Schu+00] H. Schumann, W. Müller: *Visualisierung: Grundlagen und allgemeine Methoden*. Berlin, Springer, 2000.
- [Schu+05] P. Schulze-Wollgast, C. Tominski, H. Schumann: *Enhancing Visual Exploration by Appropriate Color Coding*. International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision (WSCG'05), Pilsen, CZ, 2005.
- [Sena+94] H. Senay, and E. Ignatius: *A Knowledge-based System for Visualization Design*. IEEE CG&A ; Vol.14, Nr. 6, S. 36-47, November 1994.
- [Shne96] B. Sneidermann: *The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualization*; Proceedings IEEE Symposium on Visual Languages '96, 1996.
- [Thom05] J. Thomas: *Visual Analytics: a Grand Challenge in Science – Turning Information Overload into the Opportunity of the Decade*. Keynote talk, IEEE InfoVis'05, Minneapolis, Oktober, 2005.
- [Tory+04] M. Tory, T. Möller: *Human Factors in Visualization Research*, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. Vol. 10, No.1, January/February 2004.
- [VisAn05] Workshop „Visual Analytics“, *Closing Panel: The top 10 Visual Analytics Research Challenges*, Juni, Darmstadt, 2005.
- [Ward02] M. O. Ward: *A Taxonomy of Glyph Placement Strategies for Multi-dimensional Data Visualization*. Palgrave Information Visualization, Vol.1, Nr. 3/4, S.194-210, Dezember, 2002.
- [Ware00] C. Ware : *Information Visualization: Perception for Design*, San Francisco: Morgan Kaufman (Academic Press), 2000.
- [Ware05] C. Ware : *On the Optimization of Visualizations of Complex Phenomena*. Proceedings IEEE Vis'05, Minneapolis, USA, October, 2005, S. 87-94.
- [Wehr+90] S. Wehrend, C. Lewis: *A Problem-oriented Classification of Visualization Techniques*, Proceedings of the 1st IEEE Conference on Visualization, 1990.
- [Wilk99] Wilkinson, L: *The Grammar of Graphics*, Springer Verlag, 1999.
- [Wong+97] P.C. Wong, R.D. Bergeron: *30 Years of Miltidimensional Multivariate Visualization*. In: G.M. Nielson, H. Hagen, H. Müller (eds.), *Scientific Visualization*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, S.3-33, 1997.
- [Zhou+02] M. X. Zhou, M. Chen, and Y. Feng: *Building a Visual Database for Example-based Graphics Generation*. Proc. IEEE Information Visualization, Boston, USA, Okt. 2002.