

Informationsvisualisierung

Stand, Kritik und Perspektiven

Rolf Däßler

Fachhochschule Potsdam

Fachbereich Archiv/Bibliothek/Dokumentation

Projektgruppe InfoViz

Was zu Beginn der 90er Jahre nur einer kleinen Gruppe von Computerspezialisten auf teuren Supercomputern vorbehalten war, begegnet uns heute an jedem Computerarbeitsplatz: Grafische Benutzeroberflächen als de-facto Standard für die Mensch-Computer-Kommunikation. Während die meisten Menschen heute eine recht klare Vorstellung darüber haben, was unter wissenschaftlicher Visualisierung zu verstehen ist, etwa die grafische Repräsentation statistischer Daten oder Computeranimationen von Prozessen in der Realwelt, ist das Fachgebiet der Informationsvisualisierung relativ neu und noch weitgehend unbekannt. Was ist eigentlich Informationsvisualisierung? Wo wird Informationsvisualisierung eingesetzt? Wo liegen Probleme und Chancen der Informationsvisualisierung? Auf diese und andere Fragen versucht der folgende Beitrag eine Antwort zu geben.

Die Informationsflut

Die Verwaltung massenhafter lokaler und in Computernetzwerken verteilter Informationen und das zielgerichtete Auffinden von Information wird heute immer schwieriger. So kommt es nicht von ungefähr, daß man im Zeitalter der elektronischen Medien, davon ausgeht, daß die gespeicherten oder transportierten Datenmengen in elektronischen Netzwerken ständig wachsen, der Informationsgehalt aber immer mehr abnimmt. Kann Information nicht mehr effizient verwaltet bzw. wieder aufgefunden werden, ist sie letztendlich wertlos. Was auf der einen Seite einen großen Fortschritt darstellt, nämlich die Aufbewahrung von gigantischen Informationsmengen auf kleinstem Raum oder etwa der Zugriff auf ein für den einzelnen Benutzer unendlich erscheinenden Informationspool - das Internet, schafft zunehmend ein Problem: Der Zugriff auf exponentiell wachsende Informationsmengen, kurz die Bewältigung der Informationsflut (Lynch, 1997).

Eine Lösung für dieses Problem bieten heute automatisierte Informationssysteme an, die sich allerdings noch in einer frühen Entwicklungsphase befinden. Diese sogenannten Data-Mining-Systeme analysieren, filtern und bereiten Daten auf. Sie erzeugen aus verteilten Rohdaten einen Informations-Mehrwert. Eine wesentliche Komponente des Data-Mining ist neben der Analytik und Statistik auch die Informationsvisualisierung. Informations-Visualisierer sind im Grunde nicht anderes, als mehr oder weniger komplexe Data-Mining-Systeme, die große Dokumentsammlungen analysieren, strukturieren und visualisieren (Westphal and and Blaxton, 1998).

1 Visualisierung und Informationsvisualisierung

Was ist Visualisierung?

Visualisierung ist nicht erst eine Erfindung des Computerzeitalters. Als ein Prozeß der Transformation von Daten, Informationen und Wissen in visuelle Darstellungsformen kann man bereits Höhlenzeichnungen der Urmenschen als eine frühe Form der visuellen Kommunikation betrachten. Visualisierung ist aber auch Ausdruck des menschlichen Vermögens ca. 75% der Information aus visuellen Eindrücken der Realwelt aufzunehmen (ungefähr 13% der Information werden mit dem Gehör und die restlichen 12% mit Hilfe der anderen Sinnesorgane aufgenommen). Vor allem in der computerisierten Welt wird Visualisierung zunehmend zu einem Kommunikationsmittel, d.h. zu einer Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine.

Welche Bedeutung visuelle Metaphern für den Informationsaustausch des Menschen besitzen, ist nicht erst mit der Entwicklung von Computergrafik und computergestützter Visualisierung bekannt. Charles Joseph Minard (1781-1870), ein französischer Ingenieur, zeigte bereits vor einhundert Jahren in einer grafischen Darstellung (Bild 1) des Rußlandfeldzuges von Napoleon von 1812-1813, wie man multivariate (von mehreren Variablen abhängige) Daten grafisch darstellen kann. Fünf verschiedene Parameter sind in einer einzigen Grafik visuell miteinander kombiniert: die Größe der Armee, der Aufenthaltsort der Truppen zu einem bestimmten Zeitpunkt, die Bewegungsrichtung der Armee und die Temperatur auf dem Rückzug der Armee nach der Belagerung von Moskau.

Mit keiner anderen als der visuellen Darstellung gelingt es, so viele verschiedene Aspekte und Beziehungen auf einen Blick sichtbar zu machen.

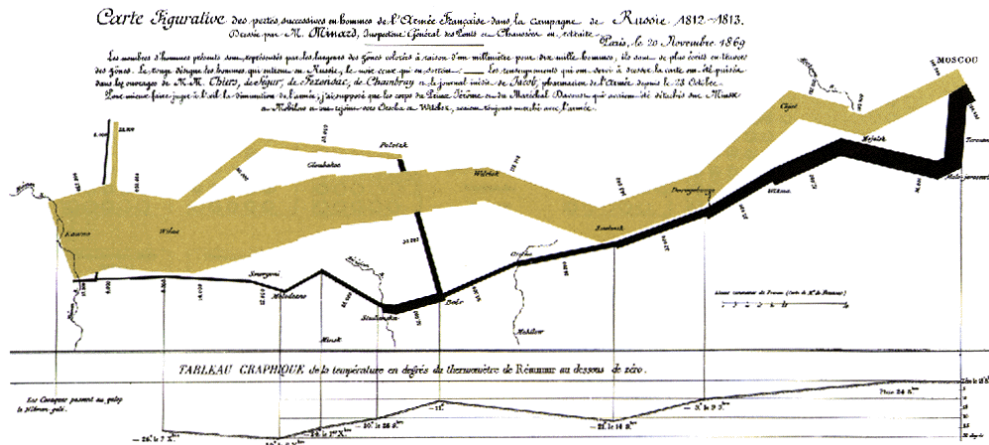


Bild 1. Joseph Minard: Karte des Rußlandfeldzuges von Napoleon von 1812-1813.

Unabhängig vom Anwendungszweck und der Präsentationsform lassen sich vier elementare Aufgaben der Visualisierung formulieren:

- Symbole, Diagramme oder Animationen helfen komplexe Prozeßabläufe und Objektbeziehungen in der Realwelt zu veranschaulichen und gegebenenfalls zu vereinfachen.
- Visualisierung vereinfacht den Zugang zu Massendaten, z.B. durch Klassifikation und Datenstrukturierung.
- Visualisierung hilft bei der Analyse und Interpretation von Daten, bei der Sichtbarmachung verborgener Trends sowie bei der Mustererkennung.

- Visualisierung entspricht der Neigung der menschlichen Spezies und unserer Kultur, visuelle Informationsprozesse und Repräsentationsformen zu bevorzugen. Aus der Gehirnforschung ist darüber hinaus bekannt, daß sich Visualisierung positiv auf die Gedächtnisleistung und auf die menschliche Informationsaufnahme auswirkt.

Was ist Informationsvisualisierung?

Unter Informationsvisualisierung werden heute alle Konzepte, Methoden und Tools zur visuellen Darstellung von Informationen aus Datenbanken, digitalen Bibliotheken oder anderen großen Dokumentensammlungen, zusammengefaßt (Däßler und Palm, 1998). Informationsvisualisierung beinhaltet die computergestützte Aufbereitung und die visuelle Repräsentation abstrakter Informationen mit dem Ziel, den kognitiven Zugang zu elektronisch gespeicherten Daten zu erleichtern. Die neuen technologischen Bedingungen im Bereich preiswerter High-Performance Computergrafik haben in den letzten Jahren zu enormen Fortschritten in der wissenschaftlichen Datenvisualisierung geführt. Im gleichen Zeitraum erreichten weltweite online-Informationendienste mit dem World Wide Web eine neue Dimension. Exponentiell wachsende Informationsmengen und verteilte Informationsressourcen in globalen Netzwerken stellen zudem ganz neue Anforderungen an das Auffinden und Verstehen von Information.

Schon 1994 wurde in einer der ersten Konferenzen über Informationvisualisierung die Frage gestellt, inwieweit der technologische Fortschritt auf dem Gebiet der Computergrafik für die Aufgaben des Information Retrieval genutzt werden kann. Außerdem begann man sich der Fragestellung zuzuwenden, was überhaupt wissenschaftliche Meßdaten von abstrakten Daten unterscheidet, und inwieweit Verfahren aus der wissenschaftlichen Visualisierung auf die Informationsvisualisierung übertragbar sind.

Wie bei jedem neuen Forschungsgebiet gibt es eigentlich keine genaue Definition des Begriffs Informationsvisualisierung. Drei weitere Originalzitate zu Gegenstand und Zielen der Informationsvisualisierung sollen die Aufgabe der Informationsvisualisierung noch etwas genauer beschreiben:

- Information Visualization is the use of computer-supported interactive visual representation of abstract data to amplify cognition (XEROX PARC, User Interface Research Group).
- Information Visualization combines aspects of scientific visualization, human-computer interfaces, data mining, imaging and graphics. (Gershon und Eick, 1997).
- Information visualization is the process of binding information that is not inherently spatial into a visual medium which the user can view and perceive. (Medialab, University of Georgia).

Ziele der Informationsvisualisierung

Das Ziel der Informationsvisualisierung besteht also darin, abstrakte Informationen aus beliebigen, vorrangig textbasierten Informationssystemen, strukturell aufzubereiten und grafisch darzustellen. Die visuelle Repräsentation von Information erweitert das Spektrum traditioneller Informationssysteme um folgende Aspekte:

- Das Auffinden spezifischer Informationsdomänen in großen Datenbeständen.
- Das Erkennen von Relationen, Strukturen oder Trends in unstrukturiert erscheinenden Informationsmengen.
- Multiple Views, d.h. verschiedene Sichten auf identische Datenbestände.

- Die Darstellung von Informationen im Kontext zu anderen Informationen (Bild 2).

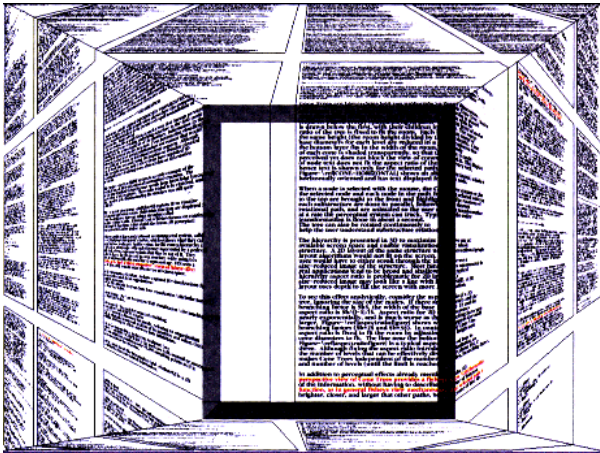


Bild 2. Document Lens (XEROX Parc). Die Dokumentlinse zeigt ein Textdokument, das aus mehreren Textseiten besteht. Der gesamte Text kann interaktiv durch das Sichtfenster geschoben werden, wo er nicht verzerrt und damit lesbar erscheint. Die Dokumentlinse hat die Aufgabe, einzelne Textbausteine im Kontext einer Gesamtdokumentation visuell darzustellen.

Kurzer Abriss der Geschichte der Informationsvisualisierung

Noch vor Einführung des Begriffs der Informationsvisualisierung, gab es Mitte der 80er an der Universität in Singapoore Überlegungen, neue VR-Technologien zu benutzen, um Informationsräume aufzubauen, in denen der Benutzer in einem Netz von abstrakten Objekten und Relationen frei navigieren konnte. Daraus entwickelte Kim Fairchild 1988 eines der ersten Visualisierungssysteme für Informationen überhaupt, genannt *SemNet*.

Einige Zeit später, zu Beginn der 90er Jahre, wurden bei XEROX PARC (Palo Alto Research Center) eine ganze Palette neuer visueller Metaphern für Informationsräume entwickelt [ROBERTSON93]. Am bekanntesten sind die *Perspektivische Wand* (Bild 3 Perspective Wall) und der *Rotierende Kegelbaum* (Bild 4 Cone Tree).

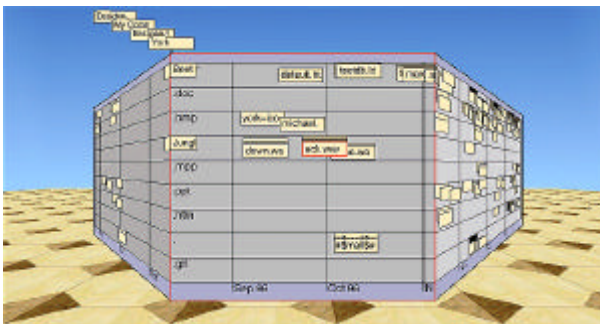


Bild 3. Perspective Wall (XEROX PARC) repräsentiert eine sequentielle Darstellung von Dateien über eine Zeitachse. Diese Visualisierung nutzt die räumliche Metapher, um Dateien, die zu einem bestimmten Zeitpunkt erstellt wurden im Vordergrund darzustellen, gleichzeitig sind überblicksartig Dateien älteren und neueren Datums zu sehen. Die Wand kann interaktiv verschoben werden, so daß jeweils andere Zeitabschnitte in den Vordergrund gelangen.

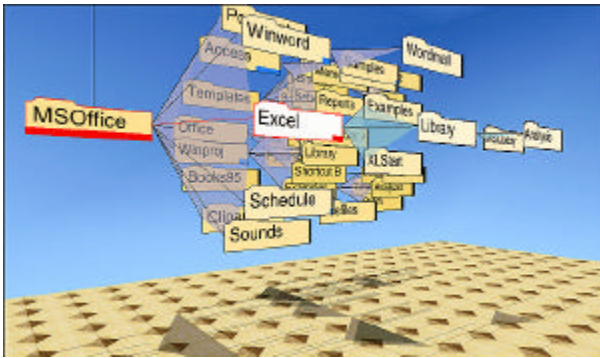


Bild 4. Cone Tree (XEROX Parc). Visualisierung einer hierarchisch aufgebauten Verzeichnisstruktur. Die einzelnen Kegel lassen sich interaktiv drehen. Verdeckte Elemente werden auf diese Weise in den Vordergrund geholt.

In der Folgezeit wurden beide Visualisierungskonzepte in einer Reihe von Applikation adaptiert und modifiziert. Beide Metaphern gehören zu den Klassikern der Informationsvisualisierung.

Der Begriff Informationsvisualisierung geht ebenfalls auf die Entwickler bei XEROX PARC zurück, die damit Konzepte zur Visualisierung abstrakter Daten beschrieben. Etwa zur gleichen Zeit wurde von Joe Tesler bei Silicon Graphics (SGI) die visuelle Metapher der Informationslandschaft entwickelt und erstmals im *File System Navigator* (FSN) in einer Szene des Kinofilms *Jurassic Park* gezeigt. Die visuelle Metapher der virtuellen Informationslandschaft wurde in der Folgezeit von anderen Entwicklern benutzt und 1995 von Silicon Graphics in der kommerziellen Data-Mining Software *MineSet* implementiert (Becker, 1997). Richtungsweisend für neue Wege in der Interfacegestaltung von Internetsuchdiensten war sicherlich auch die visuelle Oberfläche für den Informationsdienst Gopher - *GopherVR*, das 1991 vom Gopherteam der University of Minnesota entwickelt wurde.

Auch in Deutschland wurden mit Beginn der 90er Jahre und in den folgenden Jahren eine Reihe von Projekten begonnen, die das Ziel hatten, den kognitiven Zugang zu Datenbanken und anderen Informationsressourcen im Internet mittels neuer grafischer Nutzeroberflächen zu verbessern. In diesem Zusammenhang ist z.B. das Projekt *Lyberworld* der GMD (Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung) oder das Projekt *KOAN* der SIEMENS AG zu nennen.

1994 eröffneten sich mit dem World-Wide Web ganz neue Anwendungsgebiete für der Informationsvisualisierung, nämlich die Webvisualisierung. Eine große Anzahl von Applikation beschäftigte sich in den Jahren nach 1994 mit Navigationsoberflächen oder Hyperlinkschematas für Informationsdomänen im Netz, so z.B. *Hyperspace* oder der *Navigational View Builder* vom Georgia Institute for Technology.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung von Tools für den Austausch von 3D-Objekten im Web wurden an der University of Minnesota 1994 mit *WebViz* Nutzeroberflächen vorgestellt, die Informationsstrukturen auf die Oberfläche einer Kugel projizieren, die sogenannten *Hyperbolischen Bäume* (Hyperbolic Trees). Daraus entwickelten sich in der Folgezeit eine Reihe kommerzieller Nutzeroberflächen für hierarchische Klassifikationsschema wie z.B. der *Hyperbolic Tree* der Firma InXight.

Besondere Popularität erlangten vor allem interaktive Nutzerschnittellen, mit deren Hilfe man stufenlos in einen Informationraum hineinzoomen kann (fly through-Navigation). Ein solches Interface, genannt *Hotsauce*, wurde erstmals 1995 von Apple entwickelt und wurde 1997 in modifizierter Form kommerziell im Browser *Perspecta View* der Firma Perspecta angeboten.

Eines der interessantesten aber auch schwierigsten Gebiete der Informationsvisualisierung ist die visuelle Repräsentation von Textdokumenten. Seit Mitte der 90er Jahre wird in verschiedenen

Forschungsgruppen, vor allem in den USA, an grafischen Textretrievaloberflächen gearbeitet. Eine häufig benutzte visuelle Metapher ist dabei eine Dokumentkarte, die Dokument-Dokument-Relationen als Cluster z.B. in einer Punktwolkendarstellung (*Galaxy*, Pacific Northwest Laboratory, 1994) oder als thematische Karte (*Mapdisplay*, University of Kentucky, 1997, *WebSOM*, Technische Universität Helsinki, 1996) darstellen.

Nur wenige Prototypen aus den Entwicklungslabors der Informationsvisualisierung haben bisher Produktreife erlangt. Zu den bekanntesten Produkten zählen im Bereich Data Mining *MineSet* (Silicon Graphics), im Textmining-Bereich *Spire* (Pacific Northwest National Laboratory), *SemioMap* (Semio Corporation), *Perspecta* (Perspecta) oder die *VizControls*-Technologie der XEROX-Firma InXight.

In das Jahr 1995 fällt auch das erste Information Visualization Symposium im Rahmen der IEEE Konferenzen der Computer Society, die jedes Jahr zu unterschiedlichen Themengebieten der Computertechnologie durchgeführt werden. Seit 1995 werden jährliche Symposien zur Informationsvisualisierung durchgeführt.

1995 eröffnete die Entwicklung von VRML (Virtual Reality Modeling Language) und insbesondere die erweiterte Version VRML97 ganz neue Möglichkeiten, virtuelle Informationsräume über das Netz anzubieten und sie dynamisch zu generieren. Zusammen mit visuellen Nutzeroberflächen für Informationssysteme im Internet entwickelt sich gegenwärtig eine neue Richtung der Informationsvisualisierung, die Web-basierte Visualisierung von Information.

Eine Zusammenfassung mit den bedeutenden Entwicklungen und prototypischen Tools auf dem Gebiet der Informationsvisualisierung ist in Bild 5 dargestellt.

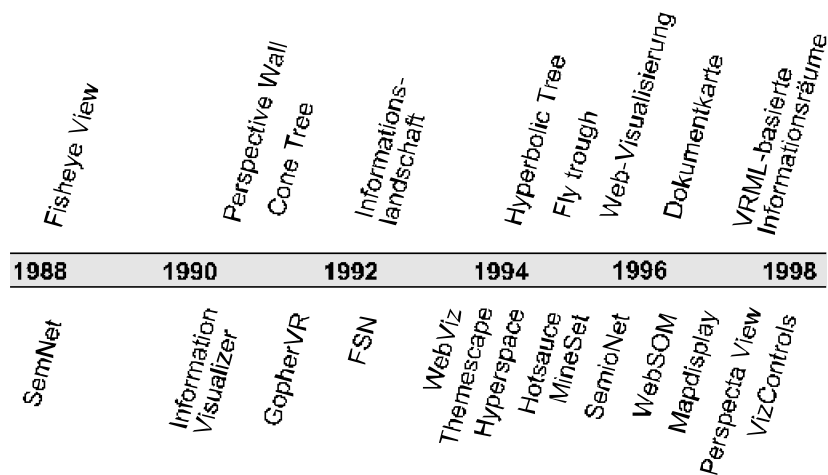


Bild 5. Ausgewählte Tools (unterhalb der Zeitachse) und Methoden (oberhalb der Zeitachse) der Informationsvisualisierung.

Informationsvisualisierung und Datenvisualisierung

Wer heute realistische Computeranimationen, rasante 3D-Computerspiele oder digitale Videobearbeitung auf dem Computer ausführen will, braucht dazu längst nicht mehr eine Silicon Graphics Workstation. Preiswerte Grafikhardware und neue Standards für den Datenaustausch von 3D-Welten im Internet haben zu enormen Fortschritten auf dem Gebiet der Datenvisualisierung geführt. Die Präsentation, Analyse und Interpretation von Daten aus wissenschaftlichen Experimenten und Computersimulationen sind heute ohne die Methoden der wissenschaftlichen Visualisierung nicht mehr vorstellbar.

Vielmehr stellt sich nun die Frage inwieweit diese Technologie auch für die Visualisierung abstrakter Information genutzt werden kann, die in der Regel nicht an räumliche oder zeitliche Dimensionen gebunden ist.

Im Gegensatz zu physischen Datenräumen sind Informationsräume abstrakt. Um abstrakte Information, d.h. Dokumente, Begriffe oder andere textbasierte Informationen aus Datenbanken, Retrievalsystemen oder im Web zu visualisieren, ist es zunächst notwendig, einen Informationsraum zu definieren. Der Informationsraum besitzt in der Regel eine spezifische Raumstruktur, in die Objekte und Objektbeziehungen kartographiert (engl. Mapping) werden. Das Mapping von abstrakten Informationen kann wesentlich komplizierter sein als bei der wissenschaftlichen Visualisierung, wo durch Simulationsparameter oder die Realität bereits räumliche Dimensionen vorgegeben sind.

Ein Beispiel für die Datenvisualisierung aus dem Geobereich (Bild 6) zeigt etwa 40.000 Erdbebenepizentren unterschiedlicher Stärke (dargestellt in unterschiedlicher Farbabstufung), die über einen Zeitraum von mehreren Jahren über der Erde verteilt registriert worden sind.

Obwohl es sich hierbei um eine einfache Punktwolkendarstellung handelt, zeigt die 3D-Visualisierung wissenschaftliche Erkenntnisse, die ohne Visualisierung nur schwer oder gar nicht zu erkennen sind. So kann man an Hand der Konzentration der Erdbebenaktivitäten genau die Ränder der Kontinentalplatten identifizieren. Exploriert man den Datenraum in 3D kann man darüber hinaus erkennen, daß in bestimmten Gebieten Erdbeben bis zu einer Tiefe von 1000 km auftreten können. Mit Hilfe der visuellen Darstellung lassen sich zudem Struktur und Ausdehnung sogenannter abtauchender Platten ermitteln, die große Bedeutung für die Erdbebenforschung besitzen.

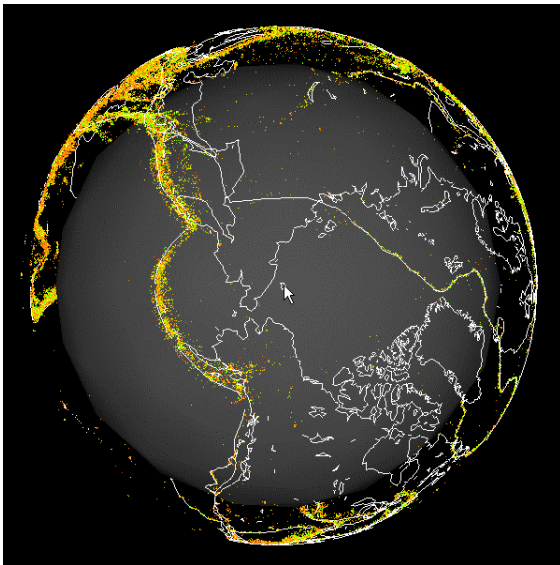


Bild 6. Scientific Visualization: Globale Verteilung von Erdbebenepizentren.

2 Beispiele für die Informationsvisualisierung

Um einen ersten Eindruck von den Möglichkeiten und Grenzen der Informationsvisualisierung zu bekommen, wollen wir zunächst einige ausgewählte Visualisierungen aus verschiedenen Anwendungsgebieten zeigen.

Nach Art der Anwendung kann man drei wichtige Bereiche der Informationsvisualisierung unterscheiden:

- Grafische Repräsentation hierarchischer Klassifikationsstrukturen
- Grafische Repräsentation der Hyperlinkstruktur des Web
- Visuelle Retrievaloberflächen für den Zugriff auf online-Datenbanken

2.1 Hierarchien

Treemap – Visualisierung von Dateibäumen

Treemap (Bild 7) ist eine Visualisierung von großen, hierarchisch organisierten Informationsmengen, wobei die Hierarchieebenen als ineinander geschachtelte Rechtecke dargestellt werden. Mitte der 90er Jahre wurde diese visuelle Metapher von Ben Shneiderman entwickelt.

Ausschlaggebend für diese Idee waren Probleme bei der Dateiverwaltung großer Festplatten. Gerade wenn sich mehrere Benutzer die Festplattenkapazität teilen, ist es sehr schwierig, Festplattenplatz effizient zu verwalten. Oftmals ist es problematisch, auf einer Festplatte große Dateien zu finden oder zu ermitteln, welche Plattenkapazität bestimmte Benutzer beanspruchen. Aus diesen Überlegungen heraus wurde eine visuelle Darstellung entwickelt, die quasi auf einen Blick eine Übersicht über die gesamte Dateistruktur erlaubt.

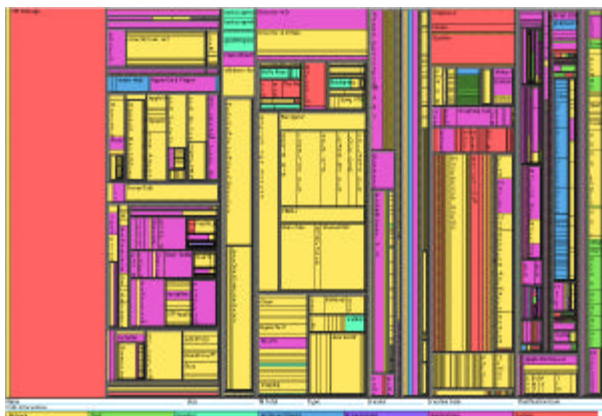


Bild 7. Treemap-Visualisierung eines kompletten Dateisystems. In dieser Darstellung erscheint jedes Verzeichnis und jede Datei als farbiges Rechteck, dessen Größe sich proportional zur Verzeichnis- bzw. Dateigröße verhält. Die Farbfüllung der Rechtecke symbolisiert unterschiedliche Dateitypen: Text, Bild, Programm etc. Klickt der Anwender auf eine der farbigen Flächen, erhält er nähere Informationen über eine spezielle Datei wie Dateiname, Pfad, Erstellungsdatum etc.

Hyperbolic Tree – Visueller Dateibrowser

Eine starke Verdichtung des Informationsraums läßt sich durch eine Raumtransformation, z. B. den Übergang vom euklidischen zum hyperbolischen Raum erreichen. *Hyperbolic Tree* projiziert eine Klassifikationsstruktur, im Beispiel eine Dateiverzeichnisstruktur, auf eine Kugeloberfläche und erlaubt so eine übersichtliche Navigation in relativ großen Informationsstrukturen. In der hyperbolischen Darstellung werden die Baumstrukturen stärker komprimiert als es bei den Kegelbäumen in Bild 4 der Fall ist. Bild 8 zeigt den hyperbolischen Dateimanager *MagniFind* der Firma Inxight,. Der entscheidende Vorteil im Vergleich zum *Windows-Explorer* ist die Möglichkeit einer schnellen, interaktiven Exploration der gesamten Verzeichnisstruktur. Im

Kontext angrenzender übergeordneter oder untergeordneter Dateiverzeichnisse wird der interessierende Teil des Dateibaumes vergrößert in der Mitte des Fensters dargestellt.



Bild 8. Hyperbolic Tree¹ – Visualisierung des Dateibaums einer Festplatte. Durch die einfache Bewegung der Maus wird der Dateibaum wie auf einer Kugeloberfläche entfaltet. Der hyperbolic Tree ermöglicht einen guten Überblick und einen schnellen Zugriff auf einzelne Verzeichnisse und Dateien des Verzeichnibaumes.

2.2 Webvisualisierung

Hyperspace - Visualisierung von Hyperlinkstrukturen

An der School of Computer Science der University of Birmingham wurde 1995 das Visualisierungssystem *Hyperspace* (Bild 9) entwickelt, das es ermöglicht, die Hyperlinkstruktur von Teilbereichen des Web darzustellen. Die Anordnung der Webseiten im Informationsraum erfolgt in der Form, daß zusammengehörige, d.h. über Hyperlinks verbundene Webdokumente, auch räumlich nahe beieinander positioniert werden. Andere Dokumente, die nicht über Hyperlinks verbunden sind, rücken dagegen weiter auseinander. Die Gesamtstruktur wird zufällig verteilt in einem 3D-Raum positioniert. Mit Hilfe nichtlinearer Optimierungsverfahren können sich die Objekte im Raum selbst organisieren. Während sich Kugeln abstoßen, bewirken Links eine Anziehung. Nach Ablauf des iterativen Verfahrens zeigen sich interessante Raumstrukturen. In der Abbildung ist eine klare Separation von Indexseiten zu erkennen, die optisch wie Stecknadelkissen aussehen.

¹ hierzu befindet sich eine Videoanimation auf der beiliegenden CD-ROM

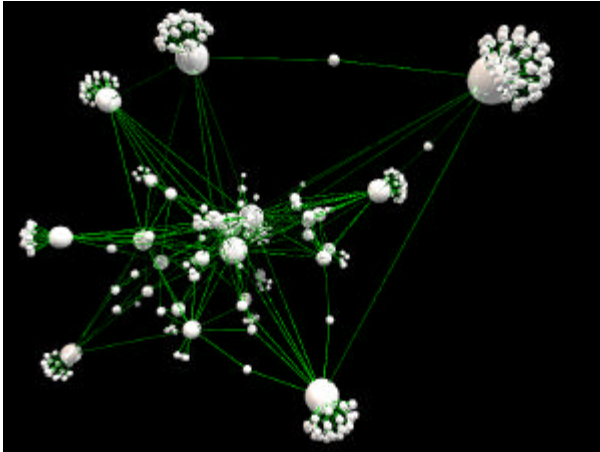


Bild 9. Selbstorganisation eines Hyperraumes mit *Hyperspace*². Kugeln symbolisieren Webseiten, Verbindungslinien Hyperlinks. Jede Webseite ist durch eine Kugel repräsentiert, wobei die Größe einer Kugel die Anzahl von Hyperlinks repräsentiert, die von dieser Seite ausgehen. Die Hyperlinks werden in dieser Darstellung als einfache Verbindungslinien dargestellt.

Hotsauce – Webseitenbrowser

Um Webdokumentationen und deren Seitenvernetzung visuell zu erkunden, kann man ein Webbrowsers-Plug-In mit dem Namen *Hotsauce* oder *ProjectX* der Apple Computer Incorporation benutzen. *Hotsauce* (Bild 15) ist ein Informations- und Navigationssystem in 3D, das dem Benutzer die interaktive Exploration von Webinhalten gestattet. Die Benutzerschnittstelle basiert auf einem speziellen Austauschformat, dem *Meta Content Format* (MCF) zur Beschreibung von strukturierten Inhalten.

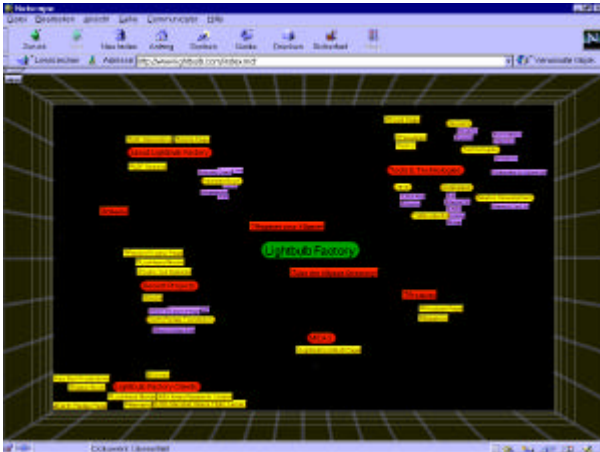


Bild 10. *Hotsauce*³ - eine visuelle Benutzerschnittstelle zur Exploration des Verlinkungsschemas von Webseiten. Durch eine einfache fly-through-Navigation kann man immer tiefer in das Hyperlinkschema eindringen. Beim Zoomen werden neue Unterkategoriensichtbar, während andere Kategorien aus dem Sichtfeld verschwinden.

² hierzu befindet sich eine Videoanimation auf der beiliegenden CD-ROM

³ hierzu befindet sich eine Videoanimation auf der beiliegenden CD-ROM

2.3 Datenbanken

Documentfinder – Visuelle Online-Recherche

Bei der Informationssuche im Web entsteht oft das Problem, daß die Stichwortsuche eine unstrukturierte HTML-Ergebnisliste mit einer großen Anzahl von Einträgen ergibt. An dieser Stelle bietet der *Document-Finder* (FH Potsdam, Däßler und Palm, 1998) Unterstützung. Er strukturiert die Treffermenge einer Suchanfrage in Echtzeit und erzeugt dynamisch eine Informationslandschaft. In der vorliegenden Version realisiert der *Document Finder* eine visuelle Datenbankschnittstelle für die bibliografische Datenbank Infodata, eine Literaturdatenbank zur Informationswissenschaft und verwandten Gebieten. Sie umfaßt ca. 80.000 Einträge. Bild 11 zeigt die Retrievaloberfläche mit Eingabemaske, Retrievalpfad und einem virtuellen Informationsraum zur interaktiven Exploration der Dokumenttreffer.

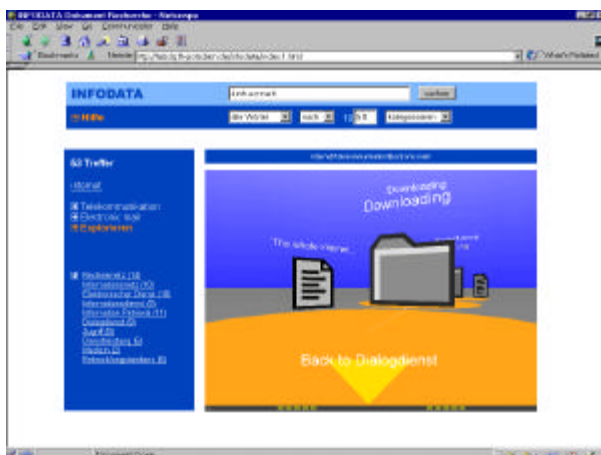


Bild 11. Retrievalinterface *Document Finder*⁴ für die Datenbank für Informationswissenschaften Infodata. Dokumente können sowohl textbasiert als auch visuell-explorativ recherchiert werden. Der Informationsraum zeigt hierarchisch angeordnete Dokumentcluster als Ergebnis einer automatischen Strukturierung der Treffermenge einer Suchanfrage.

Newsmap – Newsbrowser

Im Zusammenhang mit dem MVAB-Projekt (*Multidimensional Visualization and Advanced Browsing*) entwickelten Wissenschaftler in den Pacific Northwest Laboratories (PNL) Mitte der 90er Jahre neue Technologien zur visuellen Exploration extrem großer Dokumentmengen (>20.000). Als Ergebnis entstanden die Visualisierungstools *Galaxy* und *ThemeScape*, die auch unter dem Begriff *SPIRE* (Spatial Paradigm for Information Retrieval and Exploration) zusammengefaßt wurden. Die beiden visuellen Metaphern Sternfeldsimulation und topographische 3D-Karte wurden für die Datenvisualisierung gewählt, da sie eine Vielzahl von guten kognitiven Eigenschaften besitzen. Sternfeldsimulationen generieren Punktmuster, die sehr leicht intuitiv zu erfassen sind. Auch topographische Karten mit der Simulation von Bergen und Tälern assoziieren Alltagserfahrungen. Das neueste kommerzielle Produkt aus dieser Entwicklungsreihe ist eine visuelle Nutzeroberfläche der Firma Cartia, die Dokumentkarten im Stil geographischer Höhenprofile generiert (Bild 12).

⁴ hierzu befindet sich eine Videoanimation auf der beiliegenden CD-ROM



Bild 12. *Newsmap – Nachrichtenbrowser. Visuelle Oberfläche zur Nachrichtensuche. Einzelne Nachrichten werden kategorisiert und anschließend als Themenbereiche in eine Dokumentkarte gemappt. Berge repräsentieren in dieser Darstellung erhöhte Dokumentkonzentrationen in einem thematischen Umfeld. Höhenlinien verbinden zudem bestimmte zusammengehörige Begriffsdomänen.*

Mapdisplay – Dokumentkarte

Ein Beispiel für die Anwendung von Algorithmen zur Selbstorganisation von informationsräumen sind *Mapdisplays*⁵, wie sie 1997 an der Universität in Kentucky entwickelt wurden. Der Algorithmus zur Generierung einer Dokumentkarte wie sie in Bild 13 zu sehen ist, ist teilweise in Java implementiert. Dadurch können verschiedene Parameter, wie die Anzahl der Dokumente und die Anzahl von Begriffen in einer Karte, interaktiv auf einem Clientrechner manipuliert werden. Mit Hilfe der Visualisierung können eine Reihe interessanter semantischer Beziehungen dargestellt werden:

- Zusammenhängende Flächen können als Konzeptbereiche interpretiert werden, d.h. benachbarte Themen können so inhaltlich einer Themengruppe zugeordnet werden.
- Die Größe der Begriffsflächen korrelieren mit der Häufigkeit von Begriffen.
- Benachbarte Flächen sind häufig ein Ausdruck für einen begrifflichen Zusammenhang.

⁵ hierzu befindet sich eine Videoanimation auf der beiliegenden CD-ROM

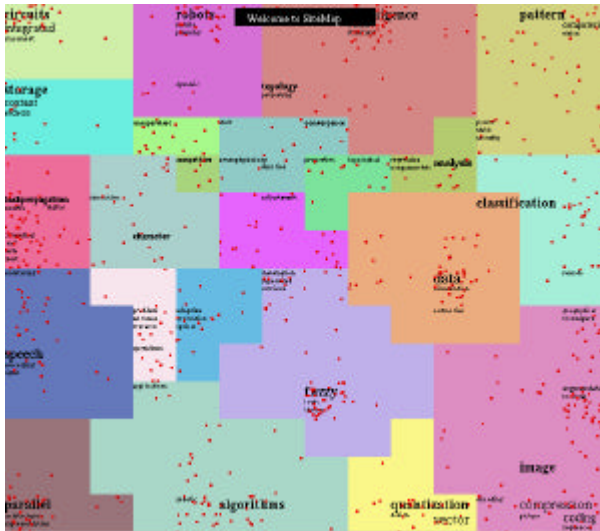


Bild 13. Dokumentkarte. zeigt eine Dokumenttreffermenge, die mit Hilfe einer Suchanfrage aus der INSPEC-Datenbank ermittelt, strukturiert und in einer semantischen Karte visualisiert wurde. Die Größe der Begriffsflächen korreliert mit der Termhäufigkeit eines Begriffs im gesamten Dokumentraum. Die Punkte markieren Dokumente, die bestimmten Begriffsflächen zugeordnet sind.

3 Kritik der Informationsvisualisierung

Nach einer sehr euphorischen Anfangsphase der Informationsvisualisierung ist zur Zeit eine gewisse Skepsis über Ziele und Leistungsfähigkeit aktueller Entwicklungen auf diesem Gebiet eingetreten. Eine Ursache dafür ist, daß trotz einer großen Anzahl von Prototypen für Informations Visualisierer und zahlreichen Forschungsprojekten auf dem Gebiet der Informationsvisualisierung (Card u.a., 1999) die Zahl visueller Metaphern, die in kommerziellen Programmsystemen oder sogenannten Realworld-Applikationen implementiert wurden, eher gering ist. Der Grund für diese Entwicklung ist derzeit noch nicht ganz klar. Fest steht jedoch, daß viele prototypische Systeme auf dem Gebiet der Informationsvisualisierung am Benutzer vorbei entwickelt wurden. Oftmals wurden Projekte nur unter dem Aspekt der Anwendung neuer Technologien aus dem Bereich der Computergrafik oder Datenvisualisierung durchgeführt. Eine inhaltliche Auseinandersetzung mit der Frage, ob und wie abstrakte Daten unter dem Aspekt eines Informationsmehrwertes aufbereitet und visualisiert werden sollten, wurde meist oft nicht erst geführt. Im Interfacedesign ist zudem die Benutzerakzeptanz, d.h. die Evaluation eines Systems durch potentielle Benutzergruppen ein entscheidendes Qualitätskriterium. Die meisten Systemen wurden bisher nicht einer solchen Bewertung unterzogen.

Nach einer Dekade Informationsvisualisierung ist es nun an der Zeit kritisch zu hinterfragen in welchen Punkten die Zielstellung der Informationsvisualisierung, die Mitte der 90er Jahre formuliert wurden erfüllt wurden und welche Ursachen es gibt, daß wichtige Zielsetzungen bis heute noch nicht erfüllt werden konnten (Gershon u.a., 1998). Faßt man diese Zielsetzungen der Informationsvisualisierung einmal zusammen ergeben sich drei Schwerpunkte:

- Die visuelle Verwaltung von und die visuelle Recherche in großen Dokumentbeständen.
- Die Entwicklung visueller Rechercheschnittstellen für große Dokumentensammlungen, Online-Datenbanken oder Suchmaschinen im Internet als ein Beitrag zur Bewältigung der Informationsflut.

- Die Visualisierung komplexer Datenstrukturen aus relationalen oder objektorientierten Online-Datenbanken, unter dem Gesichtspunkt, daß heute ca. 80% aller Webapplikationen Datenbankanwendungen sind.

Demgegenüber steht natürlich der derzeit erreichte Stand in der Informationsvisualisierung. Danach stellen ca. 90% aller Informations-Visualisierer lediglich hierarchische Klassifikations-schemata unter Verwendung einer Vielzahl unterschiedlicher visueller Metaphern dar. Die Mehrzahl der bisher verfügbaren visuellen Benutzerschnittstellen sind statisch und unterstützen lediglich ein aktives Benutzerkonzept, d.h. der Benutzer ist gezwungen sich selbständig durch die Informationswelt zu (ver)navigieren. Nach wie vor basieren fast alle Verfahren der Informationsstrukturierung auf rein statistischen Auswertungen von Dokumentinhalten. Die Vorteile von 3D-Benutzeroberflächen sind nach wie vor unklar.

Im Bereich der katalogisierten Suche haben sich nur ganz wenige visuelle Metaphern etablieren können (z.B. sogenannte Z-Graph Metaphern wie *Hotsauce* oder *Hyperbolic Tree*) und das, obwohl es unzählige Informations-Visualisierer für hierarchische Strukturen gibt. Insbesondere Dateimanager mit visueller Oberfläche wie *Hyperbolic Tree*, *Treemap* u.a. konnten sich letztlich nicht gegen bekannte Benutzeroberflächen, wie beispielsweise den *Windows-Explorer* durchsetzen. Fast alle Konzepte für visuelle Benutzeroberflächen, die die Informationssuche mit Suchmaschinen (z.B. *AltaVista-Refine*, *Excite 3D*) oder in Online-Katalogen (z.B. *Yahoo3D*) vereinfachen sollten sind über kurz oder lang gescheitert. Schließlich ist Text nach wie vor das bestimmende Element in allen visuellen Tools. Im Moment sieht es so aus, als gibt es keine Alternative zur Textdarstellung, um Inhalte, Begriffe und andere semantische Aspekte zu visualisieren. Die Frage die sich daraus ergibt ist, welche Rolle dann eigentlich abstrakte Objekte wie Kugeln, Quader o.ä. in einer Informationswelt spielen?

Aus der Analyse einer Vielzahl von prototypischen Entwicklungen in der Informationsvisualisierung lassen sich aus der heutigen Sicht folgende Problemfelder definieren, die ganz entscheidend die zukünftige Entwicklung auf diesem Gebiet beeinflussen werden:

- Aufbereitung und Strukturierung von Information
- Visualisierung großer Informationsmengen
- Visuelle Inhaltsbeschreibung
- 2D versus 3D
- Evaluation und Echtzeitvisualisierung

Aufbereitung und Strukturierung von Information

Visualisierung kann die Qualität der Aufbereitung und Klassifikation von Informationen nicht verbessern. Ganz im Gegenteil. Oft offenbart gerade der Visualisierungsprozeß die Schwächen mangelnder Informationsaufbereitung. Die Visualisierung kann letztlich immer nur so gut sein wie die Informationsstrukturierung, die der Visualisierung zugrunde liegt. Läßt sich die Information baumartig strukturieren, führt der Einsatz einer visuellen Benutzeroberfläche oft zu einer besseren Übersicht. Probleme in der Visualisierung entstehen sofort, wenn Informationen in komplexer Weise miteinander verknüpft werden. Hier versagen visuelle Tools relativ schnell. Besonders im Zusammenhang mit Textdokumenten ergibt sich die Frage, ob die üblichen statistischen Algorithmen, wie das Auszählen von Wörtern und Zeichenkettenvergleiche, überhaupt ausreichend sind, um qualitativ hochwertige Klassifikationsergebnisse zu erzielen, die sich dann auch visualisieren lassen. Ein entscheidender Schlüssel für eine erfolgreiche Visualisierung liegt in der Art und Weise der Informationsstrukturierung. An dieser Stelle wird bereits entschieden, ob der Benutzer mit den Ergebnissen einer Informationsrecherche zufrieden ist oder nicht. Dieser Aspekt kann durch eine adäquate Form der Visualisierung lediglich verstärkt werden. Die

Mehrzahl der Visualisierungen im Bereich der Informationsvisualisierung sind Baumstrukturen, speziell Dateimanager. Es gibt unzählige visuelle Metaphern, um Baumstrukturen darzustellen: in 2D oder 3D, konzentrisch, hyperbolisch, linear, als Folder, Landschaft oder Karte. Das eigentliche Problem liegt dabei nicht in der Visualisierung, sondern darin Informationen und Wissen hierarchisch zu organisieren.

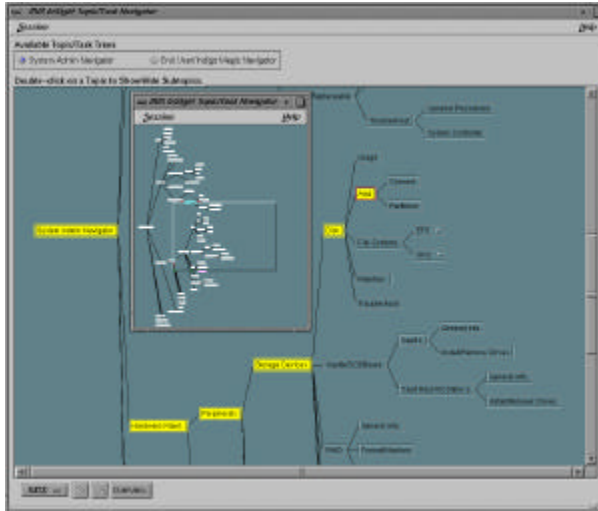


Bild 14. Topic-Task-Navigator von SGI, eine interaktive Benutzeroberfläche für elektronische Systemdokumentationen. Elektronische Dokumentationen nutzen oft dynamische Entscheidungsbäume oder hierarchische Klassifikationen, um den Anwender schnell und effizient zu relevanten Dokumenten, z. B. Manuals, zu führen. Durch einfaches Anklicken eines Begriffs wird ein Teilbaum geöffnet, der das Thema inhaltlich weiter untergliedert. Auf diese Weise gelangt man über einen Suchpfad, der im Topic-Task-Navigator farblich markiert wird, zu einem speziellen Manual. Die Navigationseigenschaften des Systems beschränken sich nicht nur auf das Scrollen der Baumstruktur und die interaktive Entfaltung oder Verdeckung von Teilbäumen. Durch Öffnen eines Übersichtsfensters kann man die gesamte Baumstruktur auf einen Blick betrachten. Mit einem beweglichen Rahmen innerhalb der Übersicht kann nun der Baum durchfahren werden. Der Teilbaum innerhalb des Rahmens wird parallel im Hauptfenster - wie mit einer Lupe vergrößert - eingeblendet.

Visualisierung großer Informationsmengen

Eines der größten Probleme in der Informationsvisualisierung ist das Handling massenhafter Information. Punktwolkendarstellungen, Informationsgebirge oder semantische Karten geben in der Regel nur einen groben Überblick, versagen dann aber meist bei der zielgerichteten Suche nach Einzelinformationen. Wie man in Bild 15 leicht erkennen kann, versagt die Visualisierung von semantischen Netzwerken dagegen vollständig, wenn eine bestimmte Anzahl von dargestellten Knoten und Links überschritten wird.

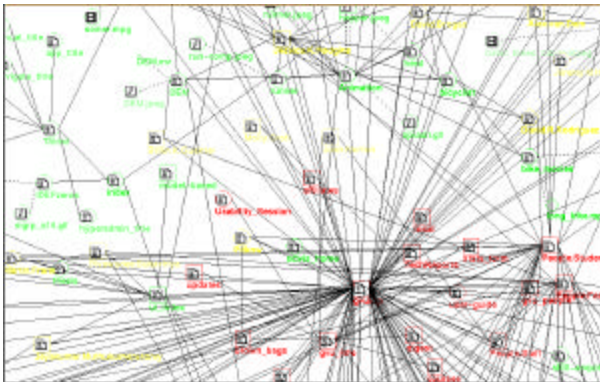


Bild 15. Vernetzungsdigramm für Webseiten. Übersteigt die Anzahl von Hyperlinks eine bestimmte Zahl entsteht ein unübersichtliches Chaos von Knoten und Linien. Die Informationsvisualisierung ist in diesem Fall kein geeignetes Mittel um Zusammenhänge besser zu veranschaulichen.

Visuelle Inhaltsbeschreibung

In der Informationsvisualisierung haben wir es sehr oft mit textbasierten Informationen zu tun. Um die Komplexität von Begriffen oder Dokumentbeschreibungen darzustellen, reichen in der Regel grafische Objekteigenschaften oder Symbole nicht aus. Abstrakte Objekte sind zudem nicht selbsterklärend. Ohne Textdarstellung geht es daher in den meisten Fällen nicht. Ein Problem besteht darin, daß das Lesen von Text in einer grafischen Darstellung einem Nutzer große Schwierigkeiten bereitet. Oftmals sind Texte in grafischen Darstellungen so schlecht lesbar, daß der Anwender lieber eine Textliste benutzt. Allerdings kann man sich dieser annehmen, indem man beispielsweise Text als grafisches Gestaltungselement auffaßt und mit Farbe, Größe oder Transparenz einem Text Objekteigenschaften zuordnet. Ein Vorteil ist, daß sich in diesem Fall der grafisch aufbereitete Text selbsterklärend ist.

Ein exzellentes Beispiel für diese Verwendung von Text ist eine am MIT (Massachusetts Institute of Technology) entwickelte visuelle Oberfläche für die Darstellung von Textüberschriften und Texten, genannt *Elastic Catalogue* (Bild 16). Durch ein einfaches Anklicken eines Themas werden Textelemente in den Vordergrund geholt, während durch dynamische Verschiebung, perspektivische Effekte und die Änderung der Texttransparenz andere Textteile in den Hintergrund treten.

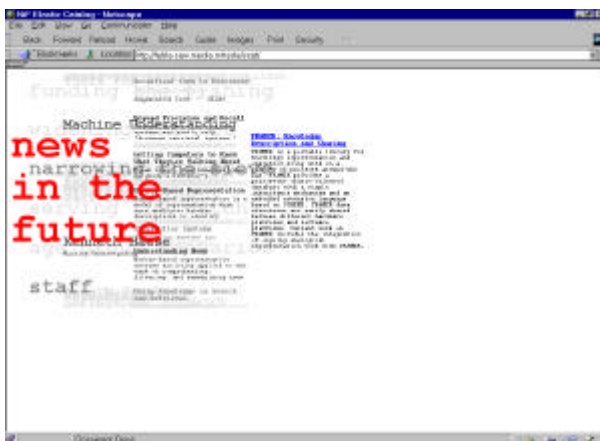


Bild 16. Elastic Catalogue. Text als grafisches Objekt. Größe, Farbe und Transparenz charakterisieren verschiedene semantische Textlevel. Je nachdem, welche Textsequenz in den

Vordergrund geholt wird, organisiert sich der Textraum neu. Ziel ist es einen Textausschnitt immer im Kontext mit anderen Texten zu sehen.

Es wird oft das Argument angeführt "Ein Bild sagt mehr als 1000 Worte" um den Einsatz visueller Konzepte zu legitimieren. Bei der Visualisierung von Textdokumenten trifft allerdings genau das Gegenteil zu. Man braucht sich nur einmal vorzustellen, wie ein einfacher Satz in einer natürlichen Sprache bildlich zu beschreiben wäre. Zunächst einmal wäre es Vergleich zwischen der Einfachheit einer Bildersprache, wie wir sie aus den Anfängen der Menschheit kennen, und der Komplexität einer Hochsprache. Würde man allerdings tatsächlich Inhalte einer Hochsprache auf symbolhafte Formen reduzieren können wie das beispielsweise bei den chinesischen Schriftzeichen der Fall ist, bedürfte es eines umfangreichen Lernprozesses, um diese Symbolik zu erlernen. Das wäre vergleichbar mit dem Erlernen einer Zeichensprache. Uns bekannte Symbole, Icons oder Pictogramme reichen bei weitem nicht aus, um Textdokumente zu verschlüsseln. Begriffe in symbolischer Form oder als abstrakte grafische Objekte darzustellen, ist daher äußerst problematisch. Hinzu kommt, daß man Begrifflichkeit als komplexes semantisches Netzwerk betrachten muß. Die Visualisierung von Begriffsrelationen kann mit den bekannten, visuellen Assoziationen, d.h. grafische Objekte, die einfach durch Verbindungslinien miteinander verbunden sind, nicht annähernd umzusetzen sein (vgl. Bild 15).

Schließlich bleibt die Frage zu klären, ob wir nicht bereits mit Hypertext eine adäquate Methode haben, um Texte ohne Visualisierung effizient miteinander in Beziehung zu setzen.

2D vs 3D

Schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt zu Beginn der 90er Jahre versuchte man die dritte Dimension für die Informationsvisualisierung zu erschließen. Im Prinzip gab es zwei grundlegende Ideen die dahinter standen. Zum einen versucht man die Informationsraum zu vergrößern, indem man mit Hilfe der räumlichen Tiefe das grafische Abbildungsverhältnis verbessern will. Zum anderen kann man verschiedene 3D-Navigationstechniken wie *fly-through* einsetzen, um den Informationsraum ähnlich wie mit einem Flugsimulator, in spielerischer Weise zu erkunden. Oft wird die These aufgestellt, daß derartige Informationsräume die nächste Generation grafischer Benutzeroberflächen sind. Tatsache ist jedoch, daß der Übergang zur dritten Dimension bisher mehr Probleme geschaffen hat als er zu lösen imstande war. Besonders problematisch ist aus informationstheoretischer Sicht die Definition der dritten Raumachse bei der Visualisierung von Informationstrukturen. Hinzu kommt, daß die meisten Benutzer von Informationssystemen keine 3D-Sichtgeräte benutzen. Das Erkennen räumlicher Entfernungen gestaltet sich daher als äußerst schwierig. Das ist um so problematischer, da eines der Basiskonzepte in der Informationsvisualisierung die Assoziation inhaltliche = koordinative (2D) bzw. räumliche Nähe (3D) ist. Gerade aber das Erkennen von räumlichen Abständen bei raumbezogenen Simulationen ist bedingt durch die Verwendung flacher Ausgabegeräte eines der Hauptprobleme bei der Exploration virtueller Informationsräume.

Schließlich bleibt noch zu klären, ob Navigation in Raum besser unserer Erfahrungswelt angepaßt ist, was bedeuten würde, daß wir uns besser im Raum als auf einer flachen Karte orientieren können. Auf diese Weise vermutet man können interessante Informationsdomänen möglicherweise besser aufgespürt werden. Die These, die hierbei oft vertreten wird, geht davon aus, daß der Mensch hat auf Grund seiner raumbezogenen Erfahrung eine bessere Orientierung im Raum hat. Diese Frage läßt sich allerdings nicht eindeutig beantworten.

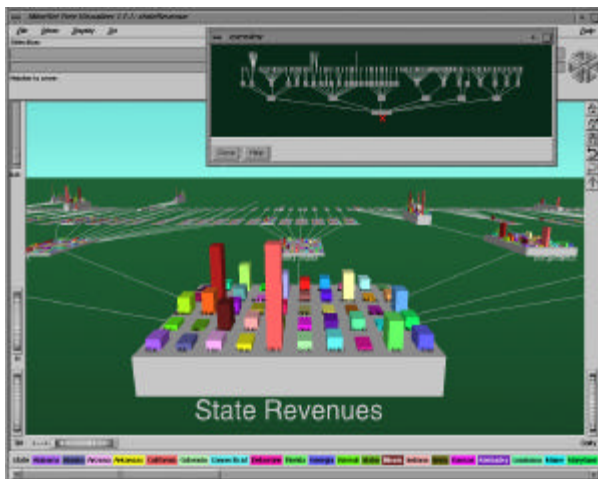


Bild 17. Baumvisualisierer im Data-Mining-System MineSet von SGI. Hierarchische Datenstrukturen werden hier in Form einer 3D-Informationslandschaft dargestellt. Mit einer fly-through-Technik erkundet der Benutzer den Datenraum. Die Visualisierung zeigt die Einnahmen der einzelnen Staaten der USA, nach ihrer Unterteilung in Kategorien. Die Höhe der Einnahmen wird proportional zur Höhe der Balken dargestellt. Die Farbgebung dient der Unterscheidung verschiedener US-Bundesstaaten. Das Übersichtsfenster sowie eine Reihe von Funktionselementen, die sich in der Funktionsleiste auf der rechten Seite befinden, unterstützen die sequentielle Rückverfolgung von Benutzeraktivitäten.

Evaluation und Echtzeitvisualisierung

Eines der entscheidenden Probleme bei der Gestaltung der Mensch-Maschine Kommunikation ist, daß die Nutzerakzeptanz und das Einbeziehen von Problemen und Nutzenanforderungen oft schlichtweg unbeachtet bleiben. Die Qualität von Entwicklungen auf diesem Gebiet muß sich aber daran messen lassen, ob visuelle Metaphern von einem breiten Anwenderkreis akzeptiert und benutzt werden.

Viele Verfahren in der Informationsaufbereitung und Visualisierung erfordern ein zeitaufwendiges Pre-Processing. Mißt der Webbenutzer die Leistungsfähigkeit visueller Tools zur Informationssuche an der Geschwindigkeit von Suchmaschinen ist das entscheidende Qualitätskriterium eine möglichst geringe Antwortzeit. Das ist momentan nur zu erreichen, wenn man sehr einfache Algorithmen zur Aufbereitung und Visualisierung der Daten benutzt. Mit möglichst einfachen Methoden eine hochwertige Strukturierung und Visualisierung zu erreichen, ist momentan allerdings außerordentlich problematisch.

4 Diskussion

Die Informationsvisualisierung hat in der Vergangenheit zwei wesentliche Forderungen, die im allgemeinen mit jeder Form der Visualisierung verbunden werden, nicht erfüllt: die bessere Analyse und Interpretation von Massendaten und die Vereinfachung der Komplexität der Welt, die sich in Datenbanken und verteilten Informationsressourcen in Computernetzwerken widerspiegelt.

Die einfache Übertragung von Algorithmen und Visualisierungsmethoden in den Bereich der abstrakten Information ist quasi fehlgeschlagen. Dazu kommt, daß die Evaluation von Prototypen der Informationsvisualisierung unter dem Aspekt der Nutzerakzeptanz gar nicht oder nur vereinzelt stattgefunden hat. Benutzeraspekte sind bisher zu wenig in die Entwicklungsprozeß von

visuellen Tools eingeflossen. Oftmals wurden bei der Entwicklung von Prototypen erst einmal technologische Aspekte berücksichtigt. Es wurde versucht neue computergrafische Methoden und Technologien anzuwenden. Erst in zweiter Linie wurden Anwender-orientierte Aspekte in die Entwicklung einbezogen.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß sich die Informationsvisualisierung zur Zeit in einem Prozeß der Neuorientierung befindet. Besonders im Zusammenhang mit der Informationsrecherche wird überlegt, ob nicht viel stärker als es bisher der Fall war Algorithmen zur automatischen Informationsaufbereitung, -strukturierung und -filterung entwickelt werden müssen und erst in zweiter Linie darauf aufbauend verschiedene analytische und visuelle Tools als Benutzerschnittstelle zur Verfügung zu stellen sind. Die Perspektiven der Informationsvisualisierung liegen im Bereich von Data Mining und Knowledge Discovery. Im Vergleich zu vielen bisherigen prototypischen Konzepten wird die Informationsvisualisierung so zu einem integralen Bestandteil komplexer, interaktiver Analyse- und Suchsysteme.

Abschließend lassen sich drei wichtige Fragestellungen formuliert, die künftige Entwickler von Tools zur visuellen Exploration von abstrakten Daten, in ihre Überlegungen einbeziehen müssen, auf die es aber im Moment noch keine ausreichenden Antworten gibt:

1. Wann ist die Informationsvisualisierung ein geeignetes Instrument um Relationen, Assoziation und andere abstrakte Sachverhalte, wie sie in Datenbanken oder Dokumentensammlungen gespeichert sind, visuell zu repräsentieren?
2. Reicht die Informationsstrukturierung, die zur Zeit vorrangig auf der Grundlage von statistischen Methoden durchgeführt wird, überhaupt aus, um sinnvolle visuelle Metaphern wie wir sie aus der Datenvisualisierung kennen, anzuwenden?
3. Welchen Informationsgewinn bringt die Exploration von dreidimensionalen Informationsräumen im Vergleich zu einfachen Grafiken, Diagrammen oder Bildern?

5 Referenzen

B.G.Becker, Using MineSet for knowledge discovery In: Computer Graphics and Applications 7/8 (1997), 75-78

S.Card J.D.MacKinlay und B.Shneiderman: Using Vision to think - Readings in Information Visualization. Morgan Kaufman Publishers. San Francisco 1999.

R.Däßler und H.Palm: Virtuelle Informationsräume mit VRML. dpunkt Verlag Heidelberg 1998.

N.Gershon und S.G.Eick Information Visualization In: Computer Graphics and Applications 7/8 (1997), 29-31

N.Gershon S.G.Eick und S.Card, Information Visualization In: interactions 3/4 (1998), 9-15

C.Lynch, Searching the Internet In: Scientific American 3 (1997), 52-56

G.G. Robertson S.Card und J.D.MacKinlay, Information Visualization using 3D interactive animation In: Communication of the ACM 3 (1993), 57-71

C.Westphal und T.Blaxton: Data Mining Solutions, John Wiley & Sons, New York 1998.

R. D., geb. 1959, Dr.rer.nat., Professor für Visualisierung von Datenräumen an der Fachhochschule Potsdam. Arbeitsschwerpunkte: Informationsvisualisierung und Textmining.

Abbildungsverzeichnis

Bild 1: Joseph Minard: Karte des Rußlandfeldzuges (Quelle: Edward R.Tufte: Envisioning Information, Graphics Press, 1990)

Bild 2: Document Lens (Quelle: <http://www.parc.xerox.com>)

Bild 3: Perspective Wall (Quelle: <http://www.inxight.com>)

Bild 4: Cone Tree (Quelle: <http://www.inxight.com>)

Bild 6: Globale Verteilung von Erdbebenzentren (Quelle: Paul Morin University of Minnesota)

Bild 7: Treemap (Quelle: <http://www.cs.umd.edu/projects/hcil/Research>)

Bild 8: Magnifind

Bild 9: Hyperspace (Quelle: <http://www.cs.bham.ac.uk/~amw/hyperspace/www95/>)

Bild 10: Hotsauce

Bild 11: Document Finder

Bild 12: Newsmap

Bild 13: Mapdisplay

Bild 14: Topic-Task-Navigator

Bild 15: Elastic Catalogue

Bild 16: MineSet

Videoverzeichnis

Video 1: Hyperbolic Tree

Video 2: Hyperspace (Quelle: <http://www.cs.bham.ac.uk/~amw/hyperspace/www95/>)

Video 3: Hotsauce

Video 4: Document Finder

Video 5: Mapdisplay