

InfoSky: Eine neue Technologie zur Erforschung großer, hierarchischer Wissensräume

**Dr. Frank Kappe¹, Dr. Georg Droschl¹, Wolfgang Kienreich²,
Dipl.Ing.Vedran Sabol², Dr. Jutta Becker², Dr. Keith Andrews³,
Dipl.Ing. Michael Granitzer², Dr. Klaus Tochtermann², Dr.
Peter Auer³**

¹ Hyperwave R&D, Albrechtgasse 9, A-8010 Graz, Austria.

{fkappe|gdroschl@hyperwave.com}

² Know-Center, Inffeldgasse 16c, A-8010 Graz, Austria.

{wkien|vsabol|jbecker|mgrani|ktochter@know-center.at}

³ Technische Universität Graz, Inffeldgasse 16c, A-8010 Graz, Austria.

kandrews@iicm.edu, pauer@igi.tu-graz.ac.at

InfoSky: Eine neue Technologie zur Erforschung großer, hierarchischer Wissensräume

Die gigantischen Mengen von Dokumenten und anderen Wissensträgern, welche über Internet abrufbar und in Intranets verfügbar sind, führen zur zunehmenden Ablöse flacher Organisationsansätze durch hierarchische Strukturen. Dabei sind Objekt-Hierarchien mit Hunderttausenden bis Millionen von Elementen (z.B. Dokumenten) keine Seltenheit. Die Navigation in solch großen Hierarchien ist heutzutage allerdings eher mühsam.

Die von uns entwickelte Such- und Navigations-Visualisierung InfoSky ist ein System, welches Anwendern die effiziente Erforschung großer, hierarchisch strukturierter Dokumentablagesysteme ermöglicht. Hierzu steht eine interaktive Visualisierung zur Verfügung, die - ähnlich einem echten Teleskop - eine planare grafische Repräsentation zeigt, welche geschwenkt und in beliebiger Vergrößerung betrachtet werden kann. Dokumente werden dabei als Sterne dargestellt; ähnliche Dokumente werden in geometrischer Nähe zueinander positioniert, wodurch thematisch verbundene Sternhaufen oder Galaxien entstehen. Elemente der Hierarchie werden in Form von Linienzügen, welche Sternhaufen umschreiben, angezeigt, wobei ähnliche Elemente wiederum in geometrischer Nähe zueinander platziert werden. Beschriftungen werden je nach Bedarf eingeblendet.

Das Resultat ist eine Visualisierung, die erstaunlich an die bekannten astronomischen Aufnahmen von Galaxien erinnert und eine große Menge Wissen auf den ersten Blick expliziert. So ist etwa das häufige Problem, einem Themenkreis verwandte Dokumente aufzufinden, in KnowledgeScope dadurch gelöst, dass alle ähnlichen Dokumente an einer Stelle zu finden sind. Auch kann aufgrund von Position und Dichte der Sternballungen eine intuitive Abschätzung der Strukturierung des gesamten Dokumentbestandes erfolgen. Für spezifische Suchen stehen mehrere Varianten der Resultatvisualisierung zur Verfügung, die unter anderem mit der Animation einzelner Elemente und mit Farbcodierung von Relevanzwerten arbeiten. In seiner letzten Ausbaustufe ist das System in der Lage, mehrere Millionen Dokumente in der beschriebenen Art interaktiv darzustellen und dabei wichtige Metainformationen wie Benutzerrechte zu berücksichtigen.

1 Einleitung

Das Problem der interaktiven Visualisierung von großen, hierarchisch strukturierten Dokument-Ablagen, sowie die Visualisierung von Suchresultaten in solchen Ablage-Systemen, stößt in letzter Zeit auf zunehmendes Interesse. Durch die ständig wachsende Zahl von Dokumenten in Unternehmensnetzwerken ebenso wie im Internet, lösen hierarchische Strukturen zunehmend flache Dokument-Sammlungen ab. Jedoch operieren die gängigen Verfahren zur Suche und Visualisierung üblicherweise auf flachen, unstrukturierten Dokument-Sammlungen.

Effiziente Werkzeuge zur Verwaltung und Erforschung von gespeicherter Information können in der Wissensgesellschaft den Unterschied zwischen Erfolg und Mißerfolg bedeuten. Benutzer wollen effizient in großen Dokumenträumen navigieren und suchen. Obwohl heutige Desktop-Computer durchaus in der Lage wären, Millionen von Objekten in Echtzeit zu visualisieren, bleibt die Benutzung dieser Fähigkeiten heute noch diversen Computer-Spielen vorbehalten, während grafische Repräsentationen von Wissensräumen zur Unterstützung der Arbeit damit kaum anzutreffen sind.

Ausgehend von der Idee, diese grafischen Fähigkeiten zur Arbeit mit hierarchischen Dokument-Ablagen zu nutzen, wurden die folgenden Anforderungen an so ein System formuliert:

- 1 *Skalierbarkeit*: Visualisierung von großen (Millionen von Objekten), hierarchisch strukturierten Dokument-Ablagen.
- 2 *Hierarchie plus Ähnlichkeit*: Repräsentation sowohl der Hierarchie als auch der Dokumenten-Ähnlichkeit in einer einzigen, konsistenten Visualisierung.
- 3 *Fokus plus Kontext*: Integration von lokaler und globaler Sicht des Informationsraumes in einer einzigen Visualisierung.
- 4 *Stabilität*: Verwendung einer Metapher, die die Wiedererkennung von „Plätzen“ im Informationsraum unterstützt. Insbesondere soll die Visualisierung auf globaler Ebene relativ robust gegen Änderungen auf lokaler Ebene sein, sodass dieselben Objekte mit hoher Wahrscheinlichkeit an denselben Orten bleiben.
- 5 *Einheitliche Sicht*: Unterstützung einer einheitlichen, konsistenten Sicht auf den Informationsraum für alle Benutzer, unabhängig von deren Zugriffsrechten, sodass eine Verständigung darüber zwischen den Benutzern möglich wird.
- 6 *Exploration*: Einfache, intuitive Navigation und Suche im Informationsraum.

Im Idealfall ist die Visualisierung in der Lage, eine möglichst große Zahl von Dokument-Eigenschaften (z.B.: Alter des Dokuments) und Beziehungen zwischen Dokumenten ohne zusätzliche Benutzer-Interaktion darzustellen. Dadurch wird eine Möglichkeit zur Auffindung von Dokumenten ohne Formulierung einer Suchanfrage (z.B.: „was sind die neuesten Dokumente?“) hergestellt.

Das System InfoSky erfüllt diese Anforderungen. InfoSky erlaubt die Erforschung großer, hierarchisch strukturierter Dokumentablagen. Ähnlich einem Teleskop mit variabler Vergrößerung kann sich der Benutzer in einer zweidimensionalen Darstellung des Dokument-Raumes bewegen. Dabei platziert das System Dokumente ähnlichen Inhalts in geografischer Nähe zueinander, wodurch Häufungen entstehen, die Galaxien ähneln. Diese sind leicht wiederzuerkennen, und dienen als optische Anhaltspunkte für die Navigation.

2 Ähnliche Arbeiten

Publikationen über die Visualisierung von großen Dokumenten-Beständen lassen sich grob in zwei Gruppen einteilen:

- Systeme, die auf Information Retrieval (IR) Ansätzen beruhen, und Dokumenten-Ähnlichkeitsmetriken verwenden, um flache, unstrukturierte Dokumentsammlungen zu visualisieren. Dabei wird der Dokumentraum üblicherweise als Landkarte oder Landschaft dargestellt, wobei die Dokumenten-Ähnlichkeit als geografische Nähe kodiert wird.
- Andere Visualisierungen konzentrieren sich auf die Navigation in hierarchisch organisierten Ablagesystemen. Manchmal werden solche Hierarchien auch aus nicht-hierarchischen Dokumentbeziehungen (z.B. Hyperlinks) abgeleitet und dann visualisiert.

Relativ wenige Arbeiten beschäftigen sich (wie diese) mit der Integration dieser zwei Ansätze zu einer vereinheitlichten Darstellung.

2.1 Visualisierungen von Dokument-Ähnlichkeit

Eine Reihe von Systemen beschäftigt sich mit der Projektion von Dokumenten aus einem hoch-dimensionalen Vektorraum (den „Term-Vektoren“) in einen niedrig-dimensionalen Anzeige-Raum (2 oder 3 Dimensionen), wobei die Abstände der Dokumente im hochdimensionalen Raum (also die Dokumenten-Ähnlichkeit) so gut wie möglich durch die Abstände im Anzeigeraum wiedergegeben werden sollen. Mit anderen Worten: Ähnliche Dokumente sollen in der Anzeige nahe beieinander liegen.

Das *Bead System* [Chalmers93] ist ein typisches Beispiel für eine thematisch organisierte Landschaft. Es operiert auf großen, flachen Sammlungen von Dokumenten. Der Informationsraum wird unter Berücksichtigung der Dokumenten-Ähnlichkeit in einen 2.1-dimensionalen Raum projiziert. Benutzer können in diesem Raum navigieren. Suchresultate werden ebenfalls in diesem Raum dargestellt.

Galaxy of News [Rennison94] erzeugt und visualisiert ein assoziatives Netz von Beziehungen zwischen ähnlichen Zeitungsartikeln. Der Informationsraum wird durch Strukturierung mittels Pyramiden, Zoomen, und Animationen navigierbar gemacht.

SPIRE [Thomasetal01, Wise99] ist ein sehr umfangreiches System zur Visualisierung von Daten und Information, mit verschiedenen Optionen zur Darstellung. Die „Galaxies“ Visualisierung stellt Dokumente in einer flachen, unstrukturierten Sammlung als Sterne dar, wobei ähnliche Dokumente nahe beieinander in der zweidimensionalen Projektion liegen. Eine Menge von einander ähnlichen Dokumenten bildet dadurch eine Gruppe von dicht aneinanderliegenden Sternen, was wie eine Galaxie aussieht. Die „ThemeView“ Visualisierung baut darauf auf, extrahiert die relevanten Schlüsselworte in den Dokumenten einer Galaxie, und stellt diese als Themen in einer Landschaft dar. Dokumente mit ähnlichen Attributen und Suchresultate können in beiden Visualisierungen dargestellt werden.

WEBSOM [Kohonenetal00] konstruiert eine sog. Self-Organizing Map (SOM), in der sehr große Mengen von Dokumenten (bis zu 7 Millionen) nach Themen gegliedert dargestellt werden können. Allerdings brauchen die dazu verwendeten neuronalen Netze ein sehr große Zeit, um entsprechend trainiert zu werden.

2.2 Visualisierungen von Hierarchien

Die Kunst bei den Visualisierungen von (großen) Hierarchien besteht darin, eine Ausnützung der zur Verfügung stehenden Anzeigefläche zu erreichen. Dazu werden oftmals geometrische Transformationen und/oder interaktives Verschieben und Zoomen angeboten.

Der *Hyperbolic Browser* [LaRaPi95] ist eine zweidimensionale Baum-Darstellung, die durch hyperbolische Geometrie immer die gesamte Hierarchie darstellt. Dazu wird der gesamte Baum in einem hyperbolischen (unendlichen) Koordinatensystem berechnet, und dann auf eine zweidimensionale Einheitsscheibe projiziert. Dabei liegt das gerade fokussierte Objekt im Zentrum der Scheibe, welches klar lesbar dargestellt wird, während die Objekte zum Rand der Scheibe hin unendlich klein werden, und nicht mehr genau erkennbar sind. Der *H3 Browser* [Munzner97] erweitert dieses Konzept um eine 3D-Darstellung,

wodurch mehr Objekte gleichzeitig erkennbar sind, allerdings um den Preis von möglichen Überdeckungen.

Cone Trees [RoMaCa91] stellen Hierarchien dreidimensional dar. Jeder Knoten im Baum ist die Spitze eines Kegels. Die Wurzel der Hierarchie wird am oberen Ende des dreidimensionalen Darstellungsraumes platziert, und ihre Kinder an der Basis des Kegels gleichmäßig verteilt. Die nächste Hierarchieebene wird darunter dargestellt, und so weiter. Die Namen der Knoten werden ebenfalls dargestellt. Das Hauptproblem der Cone Trees ist die Überdeckung bei größeren Hierarchien, weshalb eine Möglichkeit eingebaut wurde, verdeckte Äste interaktiv zu rotieren, um sie sehen zu können.

Der *File System Navigator* [TeSt92] ist eine von SGI patentierte Methode, um ein File System (also eine hierarchische Ordner-Struktur) in einer dreidimensionalen Landschaft darzustellen. Ordner werden als rechteckige Blöcke dargestellt. Unter-Ordner erstrecken sich hinter den Ordnern in Richtung Horizont, und sind mit Linien mit ihren übergeordneten Ordnern verbunden. Diese Linien repräsentieren die hierarchische Struktur des File Systems und sind navigierbar. Die Files selbst werden als farbige Objekte (je nach File-Typ) auf den Ordner-Blöcken dargestellt, wobei die Höhe des Objektes mit der Größe der Files korrespondiert. Zusätzlich gibt es ein Übersichts-Fenster, welches den aktuellen Ausschnitt in Relation zur Gesamt-Struktur veranschaulicht.

Die *Information Pyramids* [AnWoPi97] verwenden ebenso eine dreidimensionale Darstellung, um die Hierarchie zu visualisieren. Dabei werden Ordner als Pyramiden-Stumpf dargestellt, auf dem die Objekte in diesem Ordner (rekursiv) dargestellt werden. Verschiedene Meta-Daten können verwendet werden, um Größe und Farbe der Objekte zu beeinflussen.. Der generelle Eindruck ist der von Pyramiden, die nach oben wachsen, wenn die Hierarchie tiefer wird. Es wird immer die gesamte Hierarchie dargestellt, wobei der Benutzer durch Navigation im 3D-Raum die Möglichkeit hat, die Struktur im Detail zu erforschen.

2.3 Integrierte Ansätze

WebMap (www.webmap.com) visualisiert eine hierarchische Kategorisierung von Web sites. Jede Site wird durch ein Pixel repräsentiert, wobei Sites, die zu mehreren Kategorien gehören, mehrfach in der Visualisierung auftauchen. Jede Kategorie ist als ein von geschwungenen Linien begrenztes Gebiet dargestellt. Innerhalb einer Kategorie sind Sites mit ähnlichem Inhalt näher zueinander dargestellt. Zusätzlich ist eine farbige Karte hinterlegt. Jede Stufe der Hierarchie wird getrennt dargestellt, und es gibt keine Korrespondenz zwischen den einzelnen Stufen der Hierarchie und der globalen Darstellung. Suchergebnisse können hervorgehoben werden.

3 Infosky

InfoSky benutzt als Metapher für die Benutzerschnittstelle einen Sternenhimmel, bestehend aus Sternen, Galaxien und Clustern von Galaxien, in dem beliebig „gezoomt“ werden kann. Diese Darstellung ist eine Visualisierung einer Hierarchie von Objekten, z.B. von Dokumenten (=Sternen), die in Ordnern (=Galaxien) strukturiert sind, die wiederum in Ordnern (=Clustern) organisiert sind, und so weiter. Die Hierarchie ist dabei schon vorgegeben, InfoSky visualisiert diese nur. Beispielsweise könnte diese Hierarchie ein manuell vorgegebenes Klassifikations-Schema (Taxonomie) sein, in das Dokumente einsortiert wurden (manuell oder automatisch).

InfoSky geht davon aus, dass die Dokumente einen signifikanten Text-Inhalt besitzen, der extrahiert und zur Bestimmung einer Ähnlichkeit zwischen den Dokumenten herangezogen werden kann, also z.B. HTML, PDF, oder Office-Dokumente.

Der Zugriff auf die Objekte (Dokumente und Ordner) kann durch Zugriffsrechte eingeschränkt sein. Abhängig von ihren Rechten, können Benutzer dadurch bestimmte Teile des Informationsraumes nicht sehen (der entsprechende Teil bleibt schwarz). Meta-Information, die mit den Objekten gespeichert wird (z.B. Autor, Erzeugungsdatum, Größe) können von InfoSky verarbeitet und dargestellt werden, aber die räumliche Anordnung der Objekte beruht auf dem Inhalt der Dokumente.

3.1 Die Galaxie-Metapher

InfoSky kombiniert eine traditionelle Baum-Darstellung mit einer neuartigen Teleskop-Sicht auf Galaxien. In der Galaxie werden Dokumente als Sterne dargestellt, wobei innerhalb eines Ordners Dokumente ähnlichen Inhalts näher beieinander dargestellt werden als Dokumente mit geringer Ähnlichkeit zueinander. Dadurch entstehen Haufen von Sternen, die ähnliche Dokumente repräsentieren. Die Ordner werden durch Gebiete (Polygone) repräsentiert, die andere Gebiete und Sterne umschließen. Auch hier werden Ordner mit ähnlichem Inhalt näher zueinander angeordnet als andere. Manche Gebiete sind einfach schwarz (wegen ungenügenden Zugriffsrechten), ähnlich wie die dunklen Nebel in echten Galaxien.

Das Teleskop ist die Metapher für die Interaktion mit der Visualisierung. Benutzer können das Teleskop auf bestimmte Objekte richten, und über den Nachthimmel schwenken. Die Vergrößerung unseres Teleskops ist variabel, sodass man sowohl einen Überblick über den gesamten Raum haben kann, als auch durch eine „Zoom“-Operation auf kleine Details fokussieren kann.

Um die Navigation zu vereinfachen, stehen den Benutzern verschiedene Hilfsmittel zur Seite. So kann man sehr einfach den Fokus auf ein bestimmtes

Objekt legen, welches dann in optimaler Größe dargestellt wird. Um den Schirm nicht durch eine Vielzahl von Informationen zu überladen, werden diese automatisch je nach Situation dargestellt bzw. weggelassen. Eine History-Funktion erlaubt das einfache Zurückgehen in der Navigation.

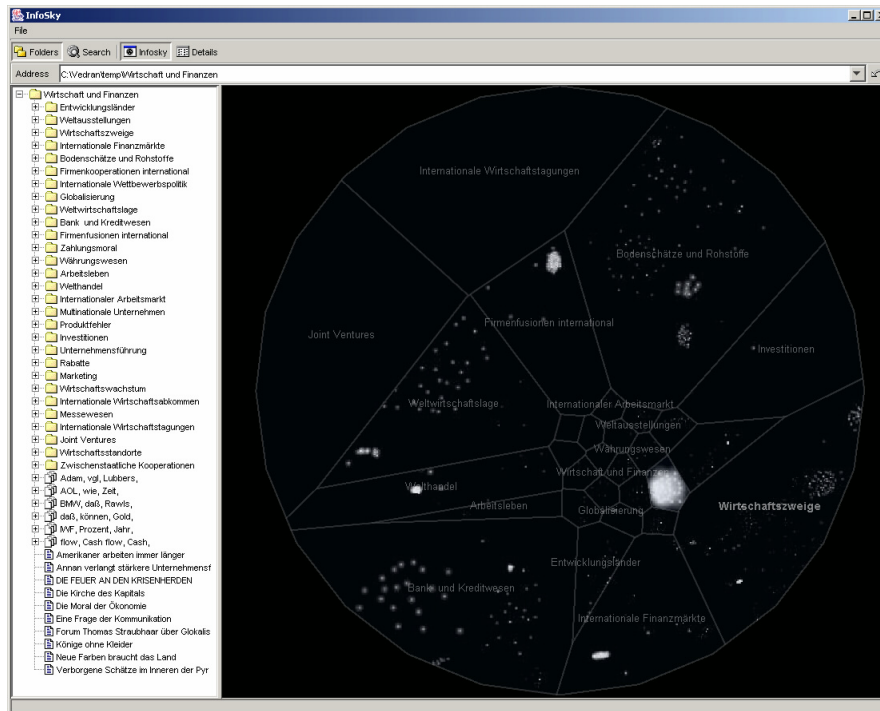


Abbildung 1: Benutzerschnittstelle von InfoSky

Die rechte Seite der Abbildung 1 zeigt die Galaxie-Darstellung von InfoSky. Die konkrete Ansicht zeigt eine Visualisierung eines kleinen Datensatzes von etwa 4.000 Zeitungsartikeln der „Süddeutschen Zeitung“ zum Thema „Wirtschaft und Finanzen“, die durch Redakteure manuell in eine bis zu 6 Ebenen tiefe Hierarchie mit etwa 250 Ordnern klassifiziert wurden. Man sieht sozusagen das ganze Universum, mit allen darin enthaltenen Sternen in einer Darstellung, sowie die Grenzen der Gebiete, die die Ordner auf der höchsten Ebene repräsentieren („Joint Ventures“, „Wirtschaftszweige“, etc.). Bei dieser Vergrößerung sind die einzelnen Sterne nicht zu erkennen, nur Klumpen von Sternen (Galaxien), die ähnliche Dokumente repräsentieren.

3.2 Benutzerschnittstelle

Wie ebenfalls in Abbildung 1 zu sehen, besteht die Benutzerschnittstelle von InfoSky aus drei Haupt-Elementen:

- Einer Toolbar, mit der Optionen eingestellt und Funktionen wie Suche erreicht werden können.
- Ein klassischer Tree View (links), der Ordner öffnen und schließen kann. Dieser Teil ist mit der Visualisierung synchronisiert.
- Eine Teleskop-Darstellung der aktuell selektierten Galaxie (rechts), synchronisiert mit der Baumdarstellung.

3.3 Navigation

Die Navigation in der Teleskop-Ansicht erfolgt typischerweise durch eine Kombination von Selektions- und Such-Funktionen.

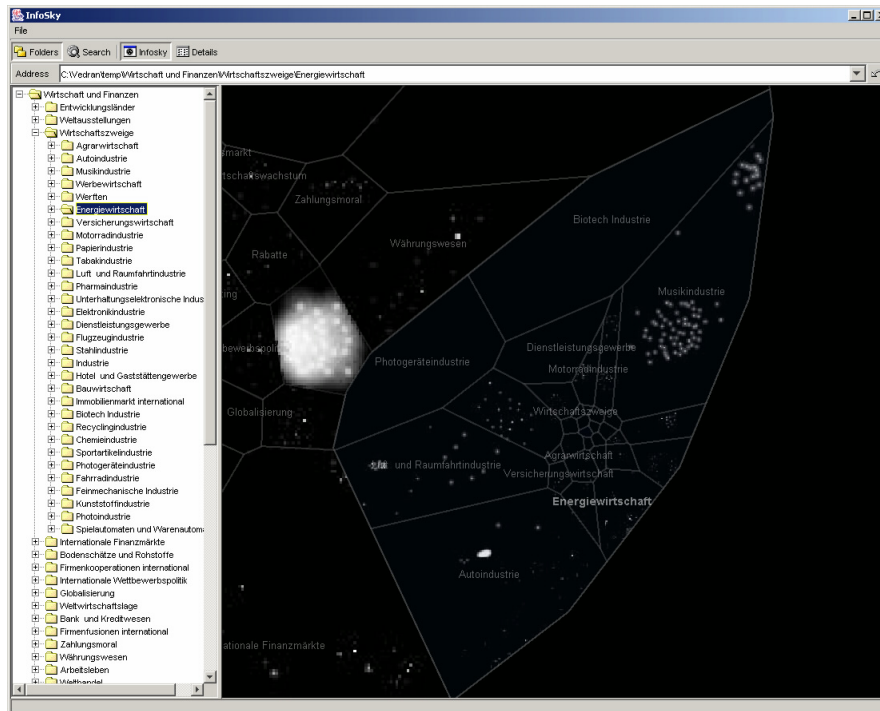


Abbildung 2: Der Ordner „Wirtschaftszweige“

Die Selektion (per Mausklick; entweder in der Baumdarstellung oder in der Visualisierung) eines Ordners führt dazu, dass dieser den Fokus erhält. Das äußert sich in der Darstellung dadurch, dass dieses Objekt möglichst groß dargestellt wird. Für den Benutzer sieht das so aus, als würde man zu diesem Objekt „hinfliegen“, bis es schirmfüllend dargestellt wird. Abbildung 2 verdeutlicht dies, indem der in Abbildung 1 rechts unten dargestellte Ordner „Wirtschaftszweige“ angeklickt wurde und jetzt vergrößert dargestellt wird. Damit der Benutzer nicht

den Kontext verliert, ist es wichtig, dass die Darstellung möglichst ruckfrei von einer Ebene in die andere wechselt (per Animation).

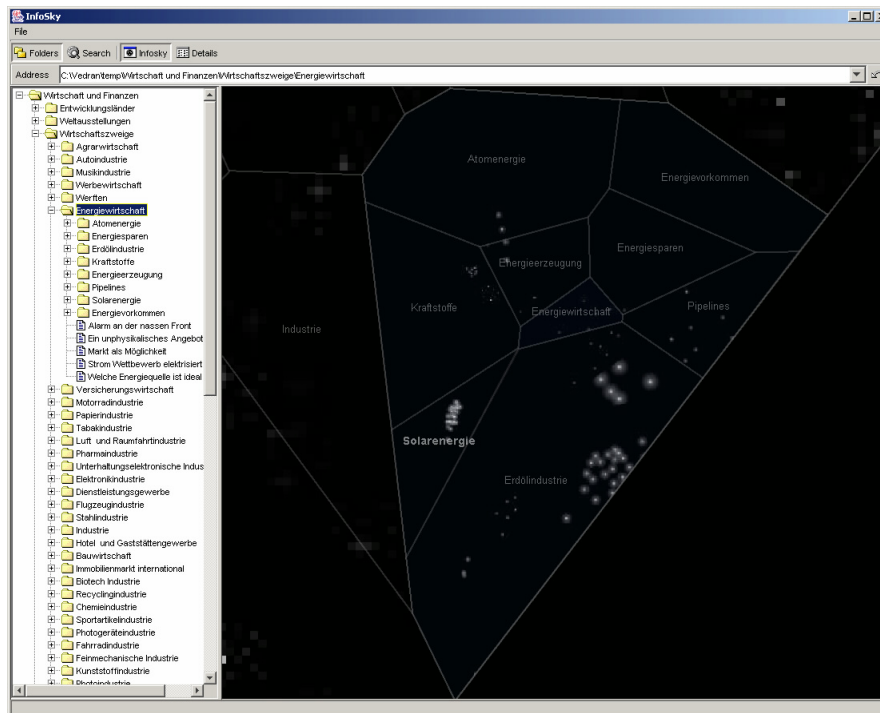


Abbildung 3: Unter-Ordner „Energiewirtschaft“

Im Allgemeinen enthält ein Ordner-Objekt weitere Objekte, sodass sich dieser Vorgang wiederholen kann. So wurde in Abbildung 3 der Ordner „Energiewirtschaft“, welcher ein Unter-Ordner des Ordners „Wirtschaftszweige“ ist, selektiert. Man beachte die Synchronisation der beiden Darstellungen links und rechts. Zusätzlich kann der Benutzer manuell die Vergrößerung ändern (zooming) und den Schirmausschnitt verschieben (*panning*).

Besonderes Augenmerk wurde der Beschriftung der Objekte gewidmet. Insbesondere wurde darauf geachtet, dass es zu keinen Überdeckungen kommt. Gelegentlich kommt es vor, dass ein Ordner viele Objekte (z.B. Dokumente) auf derselben Hierarchiestufe enthält, sodass eine Beschriftung kaum möglich ist. In diesem Fall werden diese Objekte in Clustern von ähnlichen Dokumenten zusammengefasst, und Schlüsselworte aus den Objekten automatisch extrahiert, die zur Beschriftung dieser Cluster verwendet werden. Es wird sozusagen dynamisch eine Hierarchieebene eingeführt, die in der originalen Struktur gar nicht vorhanden ist. Der helle Fleck in den Abbildungen 1 und 2 ist eine solche Ansammlung von Clustern, die durch eine große Zahl von (noch) nicht klassifizierten Dokumenten, die direkt an der Wurzel hängen, gebildet werden.

3.4 Suche

Benutzer können eine Suchanfrage eingeben, wobei als Resultate einzelne Sterne oder ganze Galaxien zurückgeliefert werden können. Die Objekte, auf die die Such-Anfrage zutrifft, werden hier (bis zu einer einstellbaren Relevanz) in der Darstellung durch Farben hervorgehoben. Dadurch kann man sehr leicht einen Überblick erlangen, „wo“ sich Suchresultate häufen, und diese Gebiete darauhin genauer erforschen (siehe Abbildung 4).

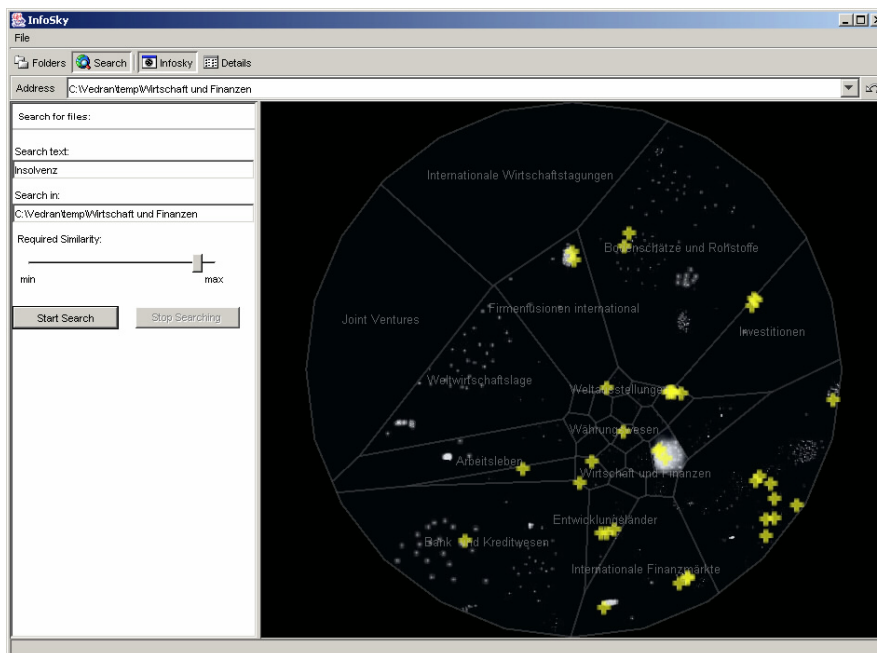


Abbildung 4: Suche nach „Insolvenz“.
Die Treffer der Suche werden durch gelbe Kreuze markiert.

4 Zusammenfassung

Wir präsentierten InfoSky, ein Prototyp-System für die interaktive Visualisierung und Erforschung von großen, hierarchisch strukturierten Dokument-Ablagen. Unter Verwendung einer Galaxie-Metapher erfüllt das InfoSky System eine Reihe von wichtigen Anforderungen, insbesondere:

- InfoSky ist skalierbar von mittleren bis zu sehr großen (Millionen von Dokumenten) Dokument-Ablagen.

- InfoSky integriert eine Darstellung der Hierarchie mit einer auf Dokumenten-Ähnlichkeit basierenden Darstellung zu einer einheitlichen, konsistenten Visualisierung.
- InfoSky erlaubt Benutzern die Interaktive Exploration des Dokumentenraumes und die Betrachtung von Suchresultaten im Kontext.
- InfoSky integriert eine globale und lokale Sicht des Informationsraumes, wobei eine Wiedererkennung auch bei moderaten Änderungen der Dokumenten-Basis gewahrt bleibt.
- InfoSky stelle unterschiedlichen Benutzern mit unterschiedlichen Zugriffsrechten eine einheitliche Sicht zur Verfügung.

Obwohl das Gebiet der Informations-Visualisierung in den letzten Jahren rasante Fortschritte erzielte, sind praktische Anwendungen derzeit noch nicht weit verbreitet. Wir hoffen, dass InfoSky einen Schritt in diese Richtung darstellt.

Teile dieser Arbeit wurden durch das österreichische K-Plus Programm für Kompetenzzentren (www.kplus.at) gefördert. Das Know-Center (www.know-center.at) ist Österreichs Kompetenzzentrum für wissensbasierte Anwendungen und Systeme. Unser Dank gilt den Kollegen am Know-Center, Hyperwave, und der TU Graz für ihre Rückmeldungen und Vorschläge.

5 Literatur

- [AnWoPi97] Andrews, K., Wolte, J., Pichler, M.: Information Pyramids: A new approach to visualizing large hierarchies. In *IEEE Visualization'97, Late Breaking Hot Topics Proc.*, pp. 49-52, Phoenix, Arizona, Oct. 1997. Web: <ftp://ftp.iicm.edu/pub/papers/vis97.pdf>.
- [Chalmers93] Chalmers, M.: Using a landscape metaphor to represent a corpus of documents. In *Spatial Information Theory, Proc. ECSIT'93*, pp. 377-390, Elba, Sept. 1993. Springer LNCS 716. Web: <http://www.dcs.gla.ac.uk/~matthew/papers/ecsit93.pdf>
- [Kohonenetal00] Kohonen, T., Kaski S., Lagus, K., Salojärvi, J., Honkela, J., Paatero, V., Saarela, A.: Self Organization of a Massive Document Collection. In *IEEE Transactions on Neural Networks*, 11(3):574-585. May 2000. Web: <http://websom.hut.fi/websom/doc/publications.html#Kohonen00trnn>
- [LaRaPi95] Lamping J., Rao, R., Pirollo, P.: A focus+context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies.

- In *Proc. CHI'95*, pp. 401-408, Denver, Colorado, May 1995. ACM.
- [Munzner97] Munzner, T.: H3: Laying out large directed graphs in 3d hyperbolic space. In *Proc. IEEE Info Vis '97*, pp.2-10, Phoenix, Arizona, Oct. 1997. Web: <http://graphics.stanford.edu/papers/h3>.
- [Rennison94] Rennison E.: Galaxy of News: An approach to visualizing and understanding expansive news landscapes. In *Proc. UIST'94*, pp. 3-12. Marina del Rey, CA., Nov. 1994. ACM. Web: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=192426.192429>
- [RoMaCa91] Robertson, G. G., Mackinlay, J.D., Card, S.K.: Cone trees: Animated 3D visualizations of hierarchical information. In *Proc. CHI'91*, pp. 189-194, New orleans, Louisiana, May 1991. ACM.
- [TeSt92] Tesler, J.D., Strasnick, S.L.: FSN: The 3D file system navigator. Silicon Graphics, Inc., 1992. Web: <ftp://ftp.sgi.com/sgi/fsn>
- [Thomasetal01] Thomas, J., Cowley, P., Kuchar, O., Nowell, L., Thomson, J., Wong, P.C.: Discovering knowledge through visual analysis. In *Journal of Universal Computer Science*, 7(6):517-529. June 2001, Web: http://www.jucs.org/jucs_7_6/discovering_knowledge_through_visual.
- [Wise99] Wise, J.A.: The ecological approach to text visualization. In *Journal of the American Society for Information Science*, 50(9):814-835, July 1999.