

Universität Konstanz
FB Informatik und Informationswissenschaft
Master-Studiengang Information Engineering

Masterarbeit

Referenzmodell und Machbarkeitsstudie für ein neues Zoomable User Interface Paradigma

*zur Erlangung des akademischen Grades eines
Master of Science (M.Sc.)*

Studienfach: Information Engineering
Schwerpunkt: Computer Science
Themengebiet: Angewandte Informatik

von

Werner A. König

Matr.-Nr.: 01/458695
Erstgutachter: Prof. Dr. Harald Reiterer
Zweitgutachter: Prof. Dr. Marcel Waldvogel
Einreichung: 06. Juni 2006

Zusammenfassung

Obwohl der Anwender mit einer stetig ansteigenden Quantität, Dimensionalität und Heterogenität der zugänglichen Informationen konfrontiert wird, beherrschen immer noch die Konzepte aus den 60/70-er Jahren die derzeitigen Benutzeroberflächen. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine neues Zoomable User Interface Paradigma namens ZOIL vorgestellt, welches hinsichtlich einer benutzergerechten Aufbereitung von komplexen Informationsräumen das Konzept von Zoomable User Interfaces mit den direkt-manipulativen Konzepten von objektorientierten Benutzeroberflächen und der räumlichen Datenorganisation mithilfe einer beliebig skalierbaren Informationslandschaft und semantischem Zooming vereint. Das ZOIL Paradigma spezifiziert hierbei keine konkrete Benutzeroberfläche oder Applikation, sondern soll als eine in sich konsistente Kombination aus Visualisierungs- und Interaktionstechniken verstanden werden, welche als flexibles Grundkonzept für vielfältigste Anwendungsdomänen dienen kann. Die konzeptionelle und technische Machbarkeit des Paradigmas wird beispielhaft anhand einer prototypischen Umsetzung für die Anwendungsdomäne Dokumentenmanagement illustriert und überprüft. Des Weiteren wird ein neues Referenzmodell für Zoomable User Interfaces vorgestellt, welches das Referenzmodell der Informationsvisualisierung und die Rendering Pipeline der Computergrafik zu einem ganzheitlichen, effizienten und dennoch flexiblen Visualisierungsprozess kombiniert, um den technischen und konzeptionellen Anforderungen von komplexen Zoomable User Interfaces im Allgemeinen und dem ZOIL Paradigma im Speziellen, gerecht zu werden. Zur Hinführung an die Thematik dieser Arbeit werden zahlreiche Systeme und wissenschaftliche Prototypen mit verwandten Konzepten sowie relevante Evaluationsstudien eingehend betrachtet und diskutiert. Ferner werden physiologische und psychologische Aspekte der menschlichen Wahrnehmung, grundlegende Navigationskonzepte und potentielle Eingabegeräte für Zoomable User Interfaces erarbeitet und hinsichtlich des ZOIL Paradigmas aufbereitet. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf mögliche Anknüpfungspunkte für weiterführende Projekte.

Abstract

Today's users are confronted with increased information complexity in terms of quantity, dimensionality and heterogeneity. Nevertheless it seems that most of the concepts used in user interface design still derive from the late 60s and beginning 70s. In this thesis a new zoomable user interface paradigm named ZOIL is presented. It aims at merging the concepts of zoomable user interfaces and the more traditional direct-manipulative, object-orientated user interfaces while making use of the benefits of spatial data management. It therefore offers a widely scalable information landscape integrating geometric and semantic zooming functionality. The ZOIL paradigm does not specify a certain user interface or application but offers a consistent set of visualization and interaction technologies and therefore can serve as a flexible basis for many different kinds of applications and application domains. In order to provide proof for the conceptual and technological feasibility of this paradigm it is applied and implemented as a prototype to the application domain of personal information management. Furthermore this thesis presents a new reference model for zoomable user interfaces, which tries to combine the reference model for information visualization as defined by Card and the rendering pipeline used in 3D computer graphics. It therefore aims at offering an integrated and efficient but nevertheless flexible model for the visualization process which meets the requirements of complex zoomable user interfaces in general and the ZOIL paradigm in particular. As an introduction to the subject matter a related work part presents and discusses several applications and scientific work using similar concepts as well as user studies done in the field of zoomable user interfaces. In addition psychological and physiological aspects of the human perception, basic navigation concepts and potential input devices for zoomable user interfaces are analysed and elaborated in regard to the ZOIL paradigm. The thesis concludes with an outlook for possible benefits of future projects derived from this work.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Motivation	6
1.2	Inhaltlicher Aufbau	8
2	Zoomable User Interfaces	9
2.1	State of the art - Analyse	13
2.1.1	W. Donelson: Spatial Data Management System	13
2.1.2	Perlin & Fox: Projekt Pad	15
2.1.3	Bederson & Hollan: Pad++ Framework	16
2.1.4	B. Bederson: PhotoMesa Image Browser	20
2.1.5	Bederson et al.: DateLens	23
2.1.6	Jetter et al.: HyperGrid	25
2.2	Evaluationen im Bereich ZUI	29
3	Konzepte, Erkenntnisse und Modelle	36
3.1	ZUI Navigationskonzepte	36
3.2	Potentielle Eingabegeräte für ZUIs	40
3.3	Physiologische und Psychologische Aspekte	44
3.3.1	Informationsorganisation	47
3.3.2	Visuelle vs. verbale Informationen	49
3.4	Referenzmodell der Informationsvisualisierung	51
3.4.1	Datentransformation	52
3.4.2	Visuelle Zuordnung	53
3.4.3	Ansichtstransformation	54
3.5	3D-Referenzmodell der Computergrafik	55
3.5.1	Objektkoordinaten	55
3.5.2	Weltkoordinaten	56
3.5.3	Kamerakoordinaten	56
3.5.4	Clippingkoordinaten	56
3.5.5	Bildkoordinaten	57
3.5.6	Gerätekoordinaten	57

4	ZOIL – Das Paradigma	58
4.1	Overview	62
4.1.1	Overview plus Detail	63
4.1.2	Frames & Visualisierungen	65
4.2	Zoom	69
4.2.1	Semantisches Zooming	70
4.2.2	Informationsobjekte	74
4.3	Filter	77
4.4	Details-on-demand	81
4.5	Relate	82
4.6	History	84
4.7	Extract	85
5	ZOIL Referenzmodell	86
5.1	Rohdaten	90
5.2	Informationsobjekte	90
5.3	Weltkoordinaten	90
5.4	Kamerakoordinaten	91
5.5	Egozentrisches System	92
5.6	Zoomable User Interface	92
6	Zusammenfassung und Ausblick	93
6.1	Ausblick	94
7	Anhang	95

1 Einleitung

1.1 Motivation

„The zooming interface paradigm can replace the browser, the desktop metaphor, and the traditional operating system...[it] can simplify the use of computer systems in general“, Jef Raskin, The Humane Interface [Ras00].

Grafische Benutzeroberflächen (GUI) weisen, relativ zu der Geschichte der Informatik gesehen, eine sehr lange Tradition auf. Ivan Sutherland entwickelte bereits 1963 eine direkt manipulative, grafische Benutzeroberfläche namens Sketchpad [Sut63], deren Konzepte auch noch heute verbreitet Anwendung finden.

Die technischen Restriktionen bezüglich der verfügbaren Rechenleistungen und der grafischen Fähigkeiten der Ausgabegeräte prägten lange Zeit die Entwicklung und Umsetzung von GUIs. Mit dem Fortschritt der Technik wurden die Darstellungen über die Jahre hinweg bunter, detaillierter und erhielten durch 3D-Effekte eine weitere, virtuelle Dimension. Jedoch dominieren auch noch über 30 Jahre später die Konzepte aus den 60/70-er Jahren unsere heutigen Benutzeroberflächen (siehe Abbildung 1.1).

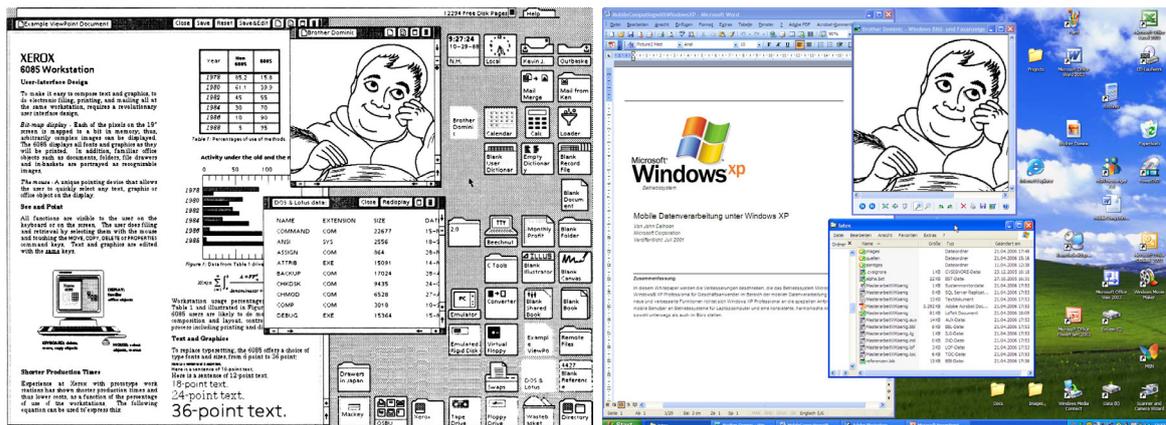


Abbildung 1.1: Xerox Viewpoint 6085 (links) und Microsoft Windows XP (rechts).

Infolge einer sehr konsequenten Verwendung von visuellen Strukturen zur Kommunikation und Interaktion heben sich Zoomable User Interfaces (ZUI) von den klassischen

grafischen Benutzeroberflächen ab. In ZUIs werden Informationsobjekte durch ihre Position und Skalierung im Raum bzw. auf einer Ebene organisiert. Der Anwender navigiert und interagiert hierbei überwiegend mittels Zooming und Panning¹ direkt im Informationsraum [HBP02]. Obwohl dieses Konzept auch schon Ende der 70-er Jahre in seinen Grundzügen in wissenschaftlichen Prototypen Verwendung fand [Don78], wurde es lange Jahre nicht in die Praxis übertragen.

Ken Perlin und David Fox unterstrichen ebenfalls die Analogie der Navigation im Informationsraum mittels ZUIs zur räumlich geographischen Denkweise und stellten 1993 ihr Projekt Pad als alternativen Ansatz für grafische Benutzeroberflächen vor [PF93]. Benjamin Bederson führte diesen Ansatz weiter und entwickelte mit Pad++ [BH94] und dessen Nachfolgern Jazz [BMG00] und Piccolo [BGM04] Toolkits für die praktische Umsetzung von ZUIs. Jef Raskin definierte im Rahmen seines Buches „The Humane Interface“ [Ras00] ein Paradigma für Zoomable User Interfaces und veranschaulichte dieses anhand der ZoomWorld, einer ersten Umsetzung seiner Vision in Form eines interaktiven Flash-Prototyps. Jef Raskin war der festen Überzeugung, dass ZUIs, konzeptionell und technisch gesehen, traditionelle Benutzeroberflächen vollständig ersetzen können und darüber hinaus den Vorteil bieten, eher den kognitiven Fähigkeiten des Menschen zu entsprechen (siehe Eingangszitat).

Bei den elementaren Interaktionstechniken von ZUIs – Panning und Zooming – profitieren die Anwender von möglichst fließenden Bewegungen, da diese den Anwender beim Aufbau eines mentalen Modells des Informationsraumes wesentlich unterstützen [BB99]. Komplexe und umfangreiche Modellierungen des Informationsraumes und die für fließende Bewegungen benötigten Animationen waren aber bis zuletzt mit gängiger Technik nur bedingt möglich. Dies und die Problematik globale, vielseitig anwendbare Konzepte zu erstellen, ist wohl dafür ursächlich, dass bisherige ZUI Konzepte meist nur prototypisch und nur für stark abgegrenzte Anwendungsdomänen umgesetzt wurden.

In dieser Arbeit wird ein übergreifendes, generelles Zoomable User Interface Paradigma namens ZOIL² vorgestellt, welches für eine Vielzahl von Anwendungsdomänen geeignete Interaktions- und Visualisierungstechniken zur Verfügung stellen soll. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf einer konsequenten Umsetzung des ZUI Ansatzes und einer flexiblen Integration verschiedenster Visualisierungsmechanismen innerhalb eines konsistenten Gesamtkonzepts. Des Weiteren wird ein Referenzmodell vorgeschlagen, welches die bestehenden Modelle der Informationsvisualisierung und der 3D-Computergrafik einheitlich und performant integriert, um den technischen und konzeptionellen Anforderungen des ZUI Paradigmas ZOIL gerecht zu werden. Die konzeptionelle und technische Machbarkeit soll anhand einer prototypischen Umsetzung illustriert und überprüft werden.

¹Die Interaktionstechniken Zooming und Panning werden in Kapitel 3.1 näher betrachtet.

²ZOIL: Akronym für **Z**oomable **O**bject-oriented **I**nformation **L**andscape.

1.2 Inhaltlicher Aufbau

Im anschließenden Kapitel 2 werden die grundlegenden Visualisierungs- und Interaktionskonzepte von Zoomable User Interfaces erläutert, relevante Vorarbeiten in Form von wissenschaftlichen Prototypen und konkreten Systemen aufgeführt und einschlägige Evaluationsstudien besprochen.

Darauf folgend werden in Kapitel 3 diverse Zooming & Panning Konzepte erarbeitet und deren kritische Faktoren hinsichtlich der Navigation im ZUI diskutiert. Ferner werden klassische, sowie auch unkonventionelle Eingabegeräte bezüglich ihres Potentials für den Einsatz in Zoomable User Interfaces betrachtet. Im weiteren Verlauf des Kapitels werden physiologische und psychologische Aspekte der kognitiven Informationsverarbeitung des Menschen erarbeitet und die visuelle Kommunikation im Allgemeinen erörtert. Darüber hinaus sind das Referenzmodell der Informationsvisualisierung und die Rendering Pipeline der Computergrafik Gegenstand der weiteren Betrachtung.

Ein neues Zoomable User Interface Paradigma namens ZOIL wird in Kapitel 4 vorgestellt und anhand des Visual Information-Seeking Mantras von Shneiderman [Shn96] näher beschrieben. Die generelle Machbarkeit von ZOIL und die inhärenten Konzepte sollen beispielhaft, mittels einer konkreten prototypischen Umsetzung, für die Anwendungsdomäne „Dokumentenmanagement“ illustriert werden.

In Kapitel 5 wird das ZOIL Referenzmodell thematisiert, welches das Referenzmodell der Informationsvisualisierung und die Rendering Pipeline der Computergrafik zu einem ganzheitlichen, effizienten und dennoch flexiblen Visualisierungsprozess vereint, um den technischen und konzeptionellen Anforderungen von komplexen Zoomable User Interfaces im Allgemeinen und dem ZOIL Paradigma im Speziellen gerecht zu werden.

Diese Arbeit schließt in Kapitel 6 mit einer Zusammenfassung der vorgestellten Konzepte und gibt einen Ausblick auf mögliche Anknüpfungspunkte für nachfolgende Projekte.

2 Zoomable User Interfaces

Im Folgenden werden die Konzepte von Zoomable User Interfaces einführend umrissen und die unterschiedlichen Ansätze vom geometrischen und semantischen Zooming verdeutlicht. Des Weiteren werden zu Beginn der vorliegenden Arbeit potentielle Stärken und Anwendungsbereiche von ZUIs thematisiert.

Bei Zoomable User Interfaces handelt es sich um Benutzerschnittstellen, welche stark durch eine räumliche Metapher und die Analogie zur physischen Navigation geprägt sind. Informationsobjekte werden hierbei im Raum durch Position und Skalierung organisiert [HBP02]. Die Interaktionsmöglichkeiten Panning und Zooming erlauben es dem Anwender seine Position relativ zu den Objekten zu verändern und somit den Informationsraum frei zu explorieren.

Jef Raskin illustriert sehr bildhaft in seinem Buch „The Humane Interface“ [Ras00] die unterschiedlichen Ansätzen von ZUIs bzw. seinem „Zooming Interface Paradigm“ (ZIP) und konventionellen WIMP-Oberflächen¹. Er vergleicht die letzteren mit einem Labyrinth, in welchem es viele Verbindungstüren in verschiedene Räume mit kryptischen oder ikonischen Beschriftungen und partiellen Navigationsanweisungen gebe und erst die Türen geöffnet werden müssten, um das dahinter Verborgene bzw. weitere Türen zu erkennen.

Unter den beschriebenen Umständen ein mentales Modell des gesamten Labyrinths aufzubauen und damit einen oder den optimalen Weg zum Ziel zu finden, sei maximal schwierig. Nach Raskin wird diese Aufgabe mit ZUIs ungemein leichter, da man sich hier nicht mehr direkt im Labyrinth befindet, sondern über diesem schwebt. Durch Herauszoomen kann eine Übersicht und somit leichter ein mentales Modell der Gesamtproblematik gewonnen werden. Das Hineinzoomen ermöglicht den Zugriff auf detailliertere Informationen, wobei der Fokus durch Panning verschoben werden kann.

Mit Raskins Vision „ZoomWorld“ (siehe Abbildung 2.1) konkretisiert er sein Zooming Interface Paradigm, welches auch für das in dieser Arbeit thematisierte ZOIL Paradigma impulsgebend war. Hierbei werden Objekte auf der als Benutzeroberfläche dienende Informationslandschaft, einer unbegrenzten zwei-dimensionalen Ebene unbeschränkter

¹WIMP: klassische Benutzeroberflächen mit Windows, Icons, Menus und Pointing Device.

Auflösung, verortet. Die positionierten Objekte sind Informationseinheiten verschiedenster Natur (z.B. Texte, Tabellen oder Bilder) und verschiedenster Herkunft (z.B. lokaler Datenbestand, angeschlossenes Netzwerk oder Internet).

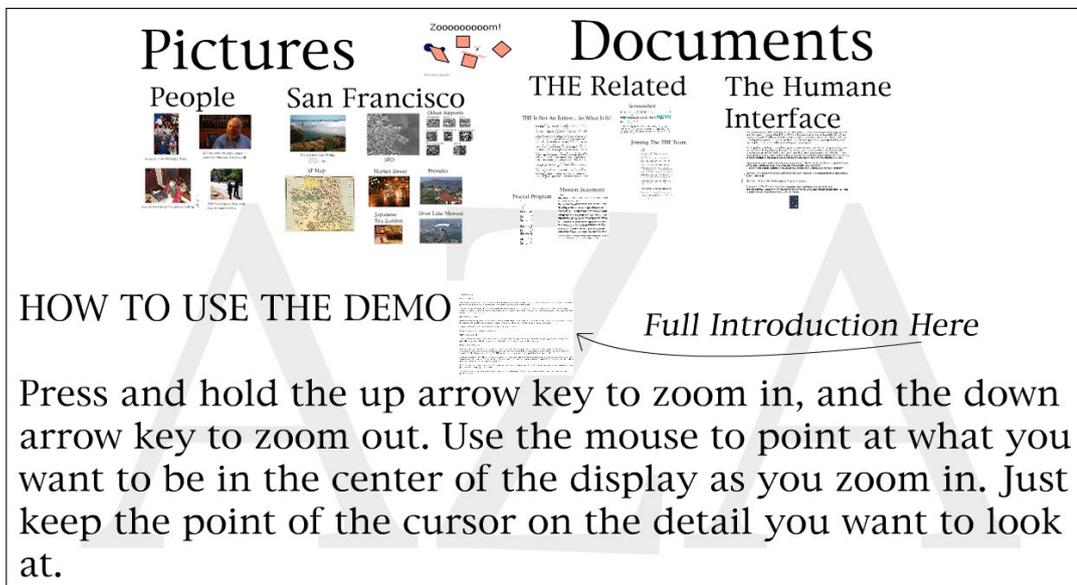


Abbildung 2.1: Jef Raskins Vision ZoomWorld als Flash Prototyp [Ras00].

Analog zum Labyrinth-Beispiel stellt auch die ZoomWorld die Navigationsmöglichkeiten Panning und Zooming zur Verfügung. Mit Panning kann ein inhaltlicher Schwerpunkt durch Verschieben des Fokusbereiches ausgewählt werden und Zooming variiert entsprechend die Granularität und den Skalierungsgrad der dargestellten Objekte. Ab einem vordefinierten Skalierungsgrad offerieren die Informationsobjekte dem Benutzer die zugehörigen Anwendungsfunktionalitäten. So können dann Texte beispielsweise wie gewohnt bearbeitet werden, ohne dass ein eigenes Fenster geöffnet und damit der aktuelle Kontext verlassen werden muss. Das kognitiv belastende Fenstermanagement [KS96] wird durch den rein Zooming & Panning basierten Ansatz, bei welchem nur der Fokus und die Skalierung definiert werden muss, gänzlich vermieden.

Die verorteten Informationsobjekte werden in der ZoomWorld durch Zooming in ihrer Skalierung verändert. Vorher nur klein gezeichnete Elemente werden beim Einzoomen größer dargestellt und somit für den Betrachter besser wahrnehmbar. Die Informationen und deren visuelle Präsentation an sich bleiben aber unverändert. Die simple Veränderung der Skalierung wird als geometrisches Zooming bezeichnet. Mithilfe von „Space-Scale Diagrams“ [FB95] können die räumlichen Strukturen von den in ZUIs repräsentierten Informationen simultan über mehrere Skalierungen hinweg dargestellt werden. Beispielsweise werden die Kreisdarstellungen in Abbildung 2.2 infolge des geometrischen Zoomings vergrößert, aber nicht in ihrer Form oder visuellen Erscheinung verändert.

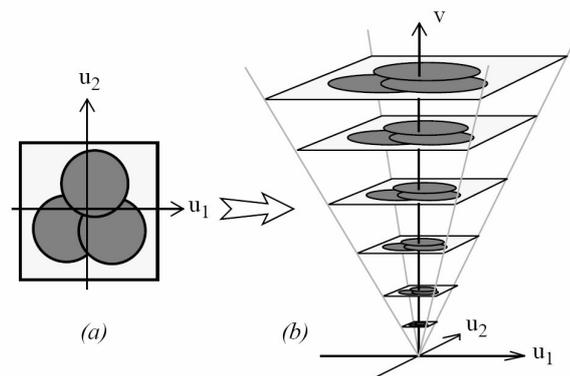


Abbildung 2.2: Konstruktion eines Space-Scale Diagrams für ZUIs nach Furnas und Bederson [FB95]. Ansicht des ZUIs bei einer Skalierung (a) und Verlauf der einzelnen Ansichten über mehrere Skalierungen hinweg beim geometrischen Zooming (b).

Ken Perlin und David Fox [PF93] schlagen eine weitere Variante des Zoomings – das semantische Zooming vor. Hierbei werden abhängig von der Skalierung und dem für die Objektrepräsentation verfügbaren Platz die Informationen und deren Darstellung variiert (siehe Abbildung 2.3b). Beispielsweise wird bei einer geringen Skalierung zu einem Textdokument zuerst nur der Titel angezeigt. Beim Hineinzoomen erscheinen mit zunehmender Größe dann eine kurze Zusammenfassung und später der ganze Text.

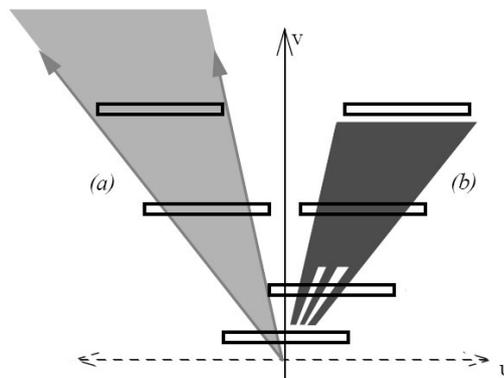


Abbildung 2.3: Gegenüberstellung von geometrischem Zoom (a) und semantischem Zoom (b) mittels eines Space-Scale Diagrams [FB95]. Die Form der Repräsentation in (b) variiert je nach Skalierung.

Im Optimalfall steht dem Anwender mittels semantischem Zooming bei jeder Skalierung eine gut wahrnehmbare und sinntragende Objektdarstellung zur Verfügung. Analog zu den variierenden Repräsentationen kann auch die Anzahl und Art der Objektfunktionen innerhalb eines ZUIs angepasst werden. Beispielsweise macht die Editierung eines Textes nur dann Sinn, wenn dieser angezeigt und für den Menschen in einer wahrnehmbaren Art und Weise präsentiert wird.

Der Zeitpunkt bzw. der Skalierungsfaktor, welcher den Übergang einer Darstellung in eine andere beim semantischen Zooming festsetzt, kann zwar durch Space-Scale Diagrams visualisiert und kommuniziert werden, für dessen Festlegung scheint aber bis dato keine formale Methode oder kein mathematisches Modell zu existieren. Obwohl der Zeitpunkt des Wechsels enormen Einfluss auf die Wahrnehmbarkeit und damit auf das Verständnis des Anwenders hat, stammt dieser bei bestehenden ZUIs eher aus „trial and error“ Erfahrungen [PF93]. Kapitel 4.2.1 soll hierfür durch die Herleitung von Grenzwerten aufgrund des menschlichen Sehvermögens und der jeweiligen Darstellungsgröße eine fundierte Lösung bieten.

Das Zooming an sich wird in Raskins ZoomWorld durch die Richtungstasten „Auf“ bzw. „Ab“ einer konventionellen Tastatur gesteuert. Der Zoomfokus, also der zentrale Punkt in der Informationslandschaft, auf den man sich beispielsweise beim Einzoomen hinbewegen möchte, wird durch die Position des Mauszeigers gesetzt und auch während des Zooming-Vorgangs dynamisch angepasst. Panning erfolgt mithilfe der Maus durch simples Ziehen oder Schieben der Informationslandschaft bei gedrückter linker Maustaste. Diese Techniken ermöglichen eine sehr direkte und dynamische Art der Interaktion. In Zoomable User Interfaces muss nicht unbedingt ein Menüeintrag, Icon oder Button aktiviert werden, um die dargestellten Informationen in Art und Umfang zu verändern, sondern der Anwender kann sich wie in der Realität direkt auf interessante Elemente hinbewegen oder sich entfernen, um damit seine Umgebung aus einem größeren Abstand zu überblicken.

Die flexible Verortung von Objekten auf der Informationslandschaft und die direkten Interaktionstechniken ermöglichen eine konsistente Umsetzung von räumlichen Organisationskonzepten, welche bisher realen Pinnwänden, Planungstafeln oder konventionellen Schreibtischen vorbehalten waren. Thematisch verwandte Texte, Bilder und Notizen können in unmittelbarer Nähe zueinander in der unendlichen Informationslandschaft platziert und sogar entsprechend ihrer Wichtigkeit oder Aktualität in der Größe variiert werden. Der inhaltliche Charakter der entstehenden thematischen Cluster kann durch Überschriften oder zusätzliche Annotationen über die räumliche Anordnung hinaus verdeutlicht werden.

Die visuelle Anmutung und persistente räumliche Organisation der Themencluster begünstigt dabei den Aufbau eines mentalen Modells der Informationslandschaft beim Betrachter und erleichtert somit die Orientierung innerhalb des ZUIs. Infolge dessen muss der Anwender sich nicht abstrakte Interaktionssequenzen wie Menüeinträge oder Befehlsfolgen merken, sondern kann mithilfe seiner räumlichen Erinnerung und des kognitiv weniger belastenden (Wieder)-Erkennens von visuellen Strukturen oder Landmarks² navigieren (siehe hierzu Kapitel 2.2 und 3.3).

²Landmarks: Gut sichtbare, statisch verortete Orientierungspunkte.

2.1 State of the art - Analyse

Im Folgenden werden einzelne Systeme und wissenschaftliche Prototypen näher betrachtet, welche einen prägenden Einfluss auf die Konzepte der Zoomable User Interfaces ausübten oder diese in besonderer Art und Weise umsetzen. Im Anschluss werden in Kapitel 2.2 Evaluationen zu den vorgestellten oder vergleichbaren Systemen aufgeführt und diskutiert.

2.1.1 W. Donelson: Spatial Data Management System

Das Konzept der räumlichen Informationsorganisation mittels Zoomable User Interfaces wurde schon 1978 von William Donelson im Rahmen seiner Masterarbeit an der Architecture Machine Group am MIT beschrieben. Bei der Entwicklung seines Datenbank-Managementsystem „SDMS“ (Spatial Data Management System) ließ er sich von der menschlichen Verhaltensweise bei der Anordnung von Informationen inspirieren.

„This information is most often organized spatially, that is we tend to create stacks of similar information, with each stack placed in some convenient or easily remembered location. One’s desk top is a good example of this management strategy“, William Donelson [Don78].

Die räumliche Organisation innerhalb des SDMS soll von dem a priori gegebenen räumlichen Verständnis des Anwenders und dessen kognitive Fähigkeiten in Bezug auf die räumliche Navigation und Erinnerung in der realen Welt profitieren.

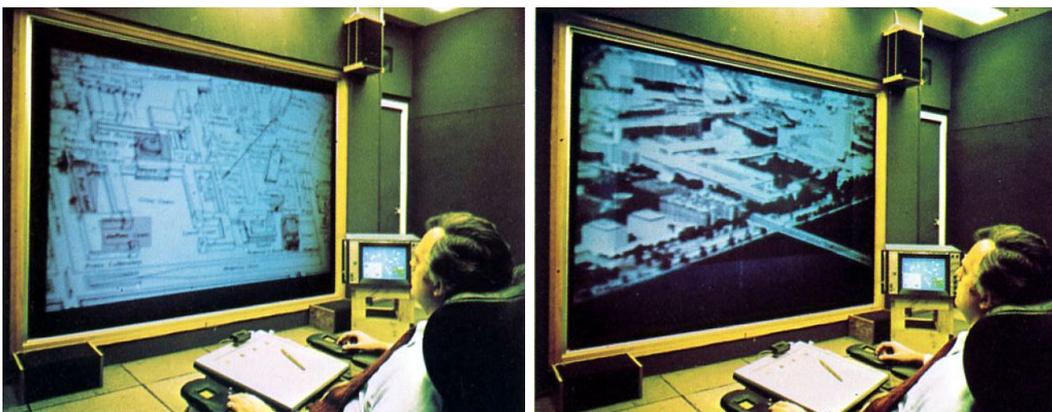


Abbildung 2.4: Donelsons Spatial Data Management System [Don78].

Der Anwender sitzt beim SDMS vor einer 1.8 x 2.4 Meter großen Leinwand in einem komfortablen und frei drehbaren Stuhl, auf dessen Armlehnen rechts und links jeweils ein

Joystick angebracht ist (siehe Abbildung 2.5). Die rückseitig bestrahlte Leinwand zeigt immer nur einen Ausschnitt des so genannten „Dataland“, einer unendlichen Ebene, auf welcher die in der Datenbank enthaltenen Informationen positioniert sind (siehe Abbildung 2.4). Mit den Joysticks kann der Anwender durch das Dataland fliegen und auf diese Weise die Datenbankinhalte explorieren. Hierfür wird mit dem rechten Joystick die x-, y-Bewegung (Panning) kontrolliert und der linke steuert das Zooming relativ zu der Ebene, welche die Grundlage für das Dataland darstellt.

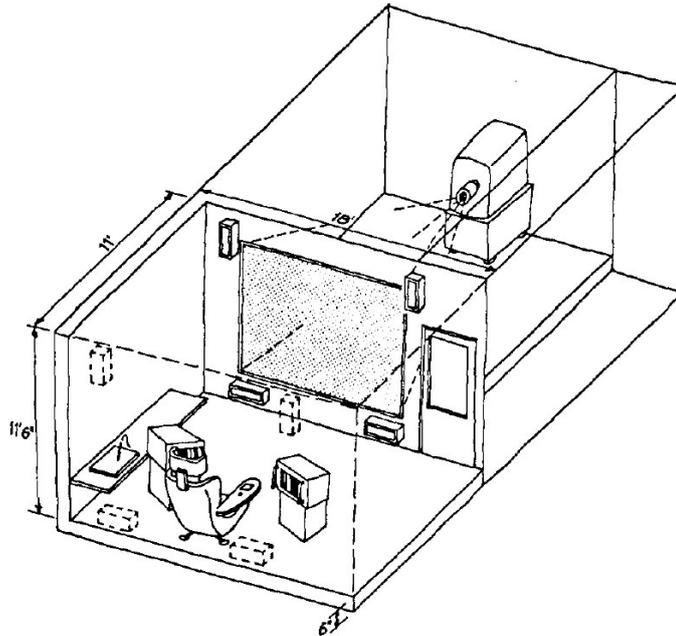


Abbildung 2.5: MIT Media Room: Umgebung für Donelsons SDMS [Don78].

Die räumliche Metapher wird auditiv durch ein achttteiliges Soundsystem verstärkt, welches je nach Position und dargestellten Daten entsprechende Soundeffekte bzw. Tonspuren für multimediale Daten einspielt. Außer berührungs- und stiftsensitive Eingabeflächen für Gestenerkennung und handschriftliche Annotationen, welche ebenso direkt am Stuhl angebracht sind, befinden sich des Weiteren zwei berührungssensitive Monitore jeweils rechts und links neben dem Stuhl.

Da mittels der Leinwand nur der aktuelle Ausschnitte des Datalands abhängig von der Zoomstufe visualisiert werden, bietet der rechte „World View“-Monitor eine Übersicht über die ganze Ebene inklusive einer rechteckigen Markierung des aktuell angezeigten Ausschnittes. Der Anwender kann alternativ zu der Joysticksteuerung auch direkt auf dem „World View“-Monitor das Rechteck verschieben und damit die Anzeige der Leinwand steuern. Der linke Monitor kann bei Bedarf detailliertere Ansichten, beispielsweise von Karten, Büchern oder Texten ergänzend darstellen.

SDMS bzw. Donelsons Dataland ist nicht nur eines der ersten oder vielleicht das erste Zoomable User Interface, sondern weist schon 1978 Konzepte wie Overview & Detail, Details-on-Demand, Direct Manipulation und die Desktop-Metaphor auf, welche erst später in der Literatur verankert wurden. Interessant ist auch, dass Raskins ZIP und seine Vision ZoomWorld über 20 Jahre später noch klare Parallelen zu Donelsons Dataland aufweist.

Ebenfalls unterstreicht Rod Perkins in der Retrospektive „Inventing the Lisa user interface“ [PKL97] den großen Einfluss von Dataland auf das User Interface Design des Apple Computers Lisa und den nachfolgenden Macintoshs.

2.1.2 Perlin & Fox: Projekt Pad

Ein weiterer Meilenstein in der Entwicklung von Zoomable User Interfaces stellt das Projekt „Pad“ dar. 15 Jahre nach Donelson greifen Ken Perlin und David Fox mit Pad den Zoomable User Interface Ansatz wieder auf und konkretisieren ihn anhand verschiedener Anwendungen. Auch Pad liegt eine unendliche, zwei-dimensionale Ebene zugrunde, auf welcher so genannte „Pad Objects“ geographisch organisiert werden. Hierbei können Pad Objects außer statischen Informationseinheiten, wie Texten oder Bildern, auch dynamische Programme enthalten.

Die Pad Ebene wird mittels lupenähnlicher Portale exploriert, welche es ermöglichen, einen Ausschnitt der Ebene näher zu betrachten. Die dargestellten Pad Objects werden durch Portale nicht nur geometrisch gezoomt und verändern damit ihre Größe, sondern sie passen sich auch inhaltlich und in ihrer Repräsentationsform an die Skalierung an. Perlin und Fox prägen in diesem Zusammenhang den Begriff des semantischen Zoomings. Technisch gesehen wird für jedes darzustellende visuelle Element auf der Ebene ein Sichtbarkeitsbereich definiert. Nur wenn die aktuell angewendete Skalierung sich innerhalb des Sichtbarkeitsbereichs bewegt, wird das Element auf der Ebene repräsentiert.

Um ein sanftes Ein- und Ausblenden der Elemente zu ermöglichen, besitzen diese einen Transparenzbereich, welcher den Grad der Transparenz in Abhängigkeit zur Skalierung definiert. Die Pad Objects können theoretisch aus beliebig vielen visuellen Elementen bestehen. Mittels unterschiedlicher Sichtbarkeits- und Transparenzbereiche der visuellen Elemente eines Pad Objects passt sich dieses in seiner Gesamtanmutung der aktuellen Skalierung an.

Der mittels Pad umgesetzte zoombare Kalender in Abbildung 2.6 demonstriert die Möglichkeiten, welche aus dem semantischen Zooming resultieren. Von einer Übersichts-darstellung der Jahre kann in deren Monate bis letztlich zu den einzelnen Tagen eingetaucht werden. Die Sichtbarkeits- und Transparenzbereiche ermöglichen hier weiche

Übergänge zwischen Jahres-, Monats- und Tagesansicht, welche für das Verständnis des Betrachters förderlich sind.

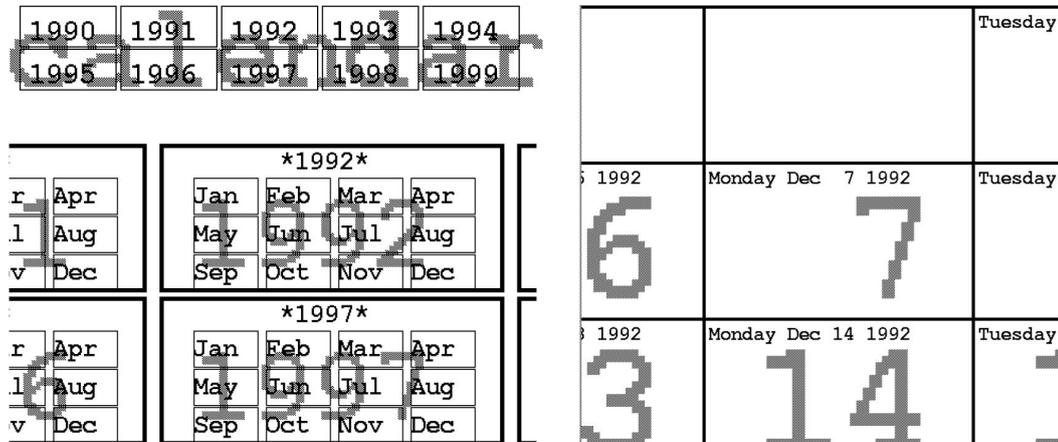


Abbildung 2.6: Pad – drei Ansichten einer Kalenderanwendung bei unterschiedlicher Skalierung [PF93].

Im Gegensatz zu klassischen WIMP-Anwendungen wird bei der Aktivierung der Tagesansicht nicht ein neues Fenster mit dem angeforderten Inhalt geöffnet oder einfach das bisherige mit dem neuen Inhalt abrupt ausgetauscht, was zu einem kompletten Verlust des visuellen Kontextes und damit zu einer starken kognitiven Belastung des Anwenders führen würde [KMRE02], sondern die Monatsdarstellung vergrößert sich, mehr Platz wird verfügbar und die Tage werden innerhalb der Monate langsam eingeblendet. Die angeforderten Informationen wachsen hierbei aus dem Kontext heraus und bleiben geographisch dort verortet.

Innerhalb des Kalenders besteht bei jeder beliebigen Skalierungsstufe die Möglichkeit, Annotationen direkt auf der Ebene vorzunehmen. So können Termine auf der Tagesebene eingetragen werden und zu diesen nach kurzem Einzoomen ganze Protokolle inklusive Skizze notiert werden. Zoomt der Anwender aus der Ansicht heraus, bei welcher die Annotationen generiert wurden, verblassen diese und werden schließlich ausgeblendet. Somit kann der Anwender mittels semantischem Zoomings auf verschiedenen Skalierungsstufen Anmerkungen vornehmen, ohne dass diese sich überlagern und damit nicht mehr getrennt wahrnehmbar wären.

2.1.3 Bederson & Hollan: Pad++ Framework

Benjamin Bederson und James Hollan führten das Konzept von Perlin und Fox weiter und entwickelten mit „Pad++“ ein Framework, welches als Basis für die Entwicklung von neuartigen Benutzeroberflächen mit Zoomable User Interface Ansatz dienen soll [BH94].

Es wurde dahingehend entworfen, auch den Anforderungen von großen und komplexen Informationsräumen zu entsprechen und plattformunabhängig vom PDA³ bis zum Hochleistungsrechner unterschiedlichste Hard- und Softwareumgebungen zu unterstützen.

Eine Problematik hierbei ist die hohe Interaktivität, welche ZUIs durch animiertes Panning und Zooming offerieren, auch noch bei komplexeren und umfangreicheren Strukturen – wie beispielsweise eine Verzeichnisstruktur (siehe Abbildung 2.7) – mit einer genügend hohen Framerate⁴ zu gewährleisten. Um den Anforderungen gerecht zu werden, wurde Pad++ in der Programmiersprache C++ Hardware-nah umgesetzt und mit einer flexiblen API⁵ für C++ und Tk⁶ ausgestattet [BHP+96].

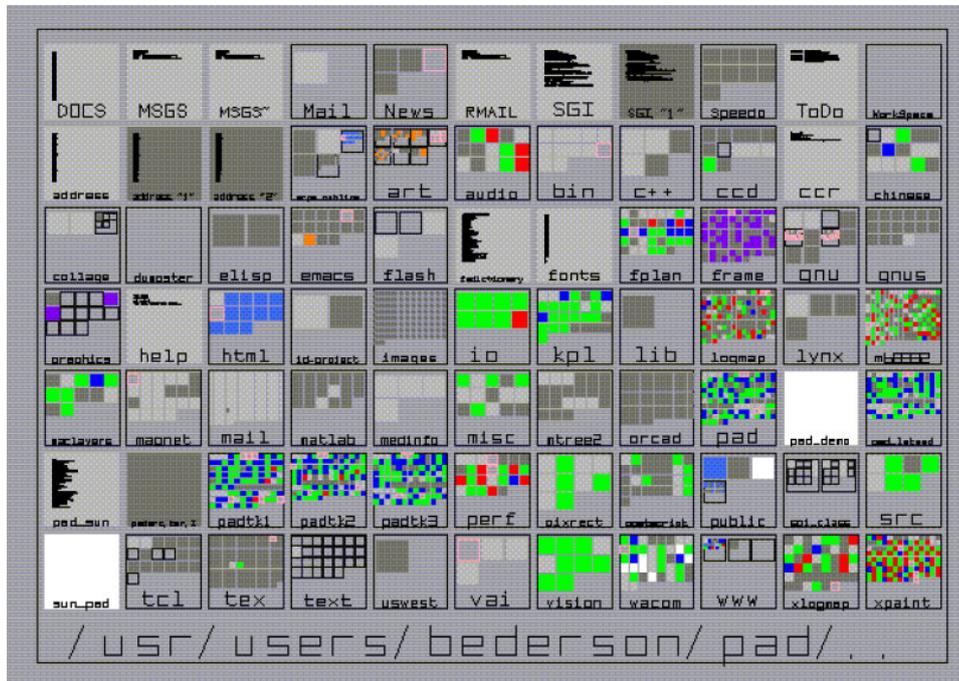


Abbildung 2.7: In Pad++ umgesetzter Verzeichnis-Browser [BH94].

Ebenso wie Perlin und Fox favorisieren auch Bederson und Hollan in Pad++ Portale als zentrale Navigationselemente. Diese bieten unter anderem auch die Funktionalität einer „Magic Linse“ [BSP+93], wobei die vom Portal eingeschlossenen Daten gefiltert oder mittels einer anderen Visualisierung dargestellt werden können. Normalerweise textuell angezeigte Datenwerte können so innerhalb des Portals, beispielsweise durch ein Punkt- oder Balkendiagramm, visualisiert werden.

³PDA: Personal Digital Assistant, Mobilcomputer für die Verwaltung von personenspezifischen Daten.

⁴Framerate: Bildwiederholfrequenz, eine Frequenz über 20 Bilder pro Sekunde vermittelt dem menschlichen Wahrnehmungsapparat einen flüssigen Bildeindruck.

⁵API: Application Programming Interface, Schnittstelle zur Anwendungsprogrammierung.

⁶Tk: ein freies plattformübergreifendes Toolkit zur Programmierung von grafischen Benutzeroberflächen. Ursprünglich für die Sprache Tcl (Tool Command Language) entwickelt.

Pad++ unterstützt sowohl die visuelle Suche mittels Panning und Zooming, als auch traditionelle Verfahren, wie die Suche anhand von Stichwörtern. Bei letzterem wird dem Anwender eine Liste mit klickbaren Suchtreffern präsentiert (siehe Abbildung 2.8). Darüber hinaus werden alle relevanten Objekte auf der Informationsebene visuell, durch einen gelben Rahmen markiert, welcher unabhängig von der Skalierung bzw. vom Zooming sichtbar bleibt. Auch wenn die Objekte infolge der aktuellen Skalierung zu klein dargestellt werden, um noch wahrnehmbar zu sein bzw. gar nicht mehr gezeichnet werden, so wird zumindest die Sichtbarkeit der Treffermarkierungen durch eine Mindestgröße gewährleistet.



Abbildung 2.8: Pad++ Dialog für die Stichwortsuche [BH94].

Beim Klick auf ein Objekt innerhalb der Trefferliste oder einer Aktivierung der Treffermarkierungen auf der Informationsebene wird die aktuelle Ansicht entsprechend der Position des jeweiligen Objektes animiert angepasst. Für diese Animation muss zumeist eine Kombination aus Panning und Zooming angewendet werden, so dass letztendlich das Objekt der Begierde zentriert und in gewünschter Größe angezeigt wird. Falls der Zielpunkt der Animation bei der aktuellen Skalierung nicht innerhalb einer Bildschirmbreite durch Panning erreichbar ist, zoomt Pad++ soweit in Richtung des Mittelpunktes zwischen Start- und Zielpunkt heraus, bis beide Punkte gleichzeitig in der Ansicht sichtbar sind. Anschließend wird von dieser Position aus auf den Zielpunkt bzw. auf das Zielobjekt eingezoomt und dieses zentriert angezeigt.

Durch das flüssige Herauszoomen bis zu einer Übersichtsdarstellung mit gleichzeitiger Anzeige der Herkunfts- und Zielposition sowie das animierte Annähern an das Zielobjekt, soll dem Anwender ein besseres Gefühl für den Kontext der Objekte vermittelt werden [BHP⁺96]. Optimalerweise resultiert aus diesem Kontextwissen beim Anwender ein mentales Modell des Informationsraumes. Darüber hinaus kann die Animation durch kurzfristiges Herauszoomen wesentlich beschleunigt werden, da Positionsänderung mittels Panning in vertikaler und horizontaler Richtung mit größerem Tiefenabstand bzw. geringerer Skalierung effektiver ausfallen (siehe Abbildung 2.9).

In Pad++ Anwendungen kann der Benutzer, für von ihm favorisierte Ansichten, Miniaturabbildungen generieren und diese zentral als visuelle Lesezeichen verwalten. Befindet

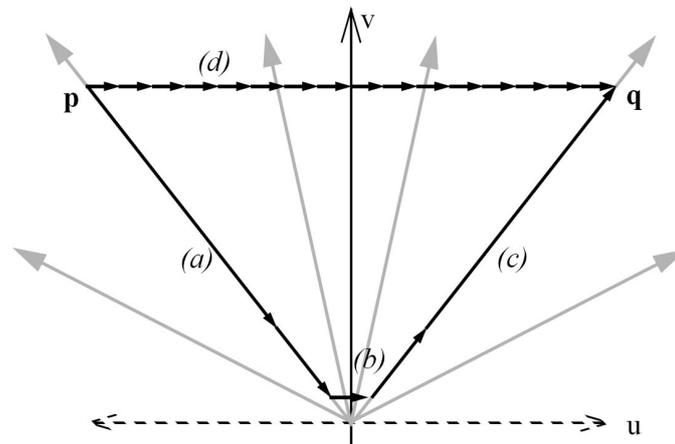


Abbildung 2.9: Der kürzeste Pfad zwischen zwei Punkten ist nicht unbedingt die verbindende Gerade. Jeder Pfeil repräsentiert hier eine Gewichtungseinheit. Zooming verhält sich im Gegensatz zu Panning nicht linear, sondern logarithmisch. Daher ist es oft „günstiger“ zuerst herauszuzoomen (a), dann zu pannen (b) und anschließend wieder einzuzoomen (c), als direkt entlang der verbindenden Geraden zu pannen (d) [BHP⁺96].

sich die Maus über einer Miniaturabbildung, wird deren Zielansicht ähnlich der vorher beschriebenen Suchtreffer markiert, auch wenn diese außerhalb des aktuellen Sichtbereiches liegt. Ein Klick auf ein Lesezeichen bewirkt wiederum einen animierten Zoom auf die jeweilig verlinkte Ansicht.

Aufgrund der Verwendung einer einfachen Liste zur Darstellung der Suchresultate innerhalb eines eigenen Dialogfensters (siehe Abbildung 2.8) und der getrennten Verwaltung der Lesezeichen scheinen Bederson et al. das Konzept von Zoomable User Interfaces hier nicht konsequent verfolgt zu haben. Die in diesem Kontext verwendeten Brushing & Linking Mechanismen [BC87] für die Hervorhebung der Zielobjekte bzw. Ansichten schließen jedoch einen ZUI Ansatz nicht aus.

Die Gründe für die getroffene Designentscheidung „pro konventionellem Ansatz“ werden leider von Seiten der Autoren nicht weiter ausgeführt oder diskutiert. Vielleicht hat dies auch einen eher pragmatischen Hintergrund, welcher von Jef Raskin des Öfteren angemahnt wurde.

„The programmers and designers working on the project tend to slip in details that work in the old ways. Many times I’ve come in to review a client’s progress only to discover that someone had built in a toggle or another modal feature or had used dialog boxes. Our old design habits interfere with maintaining the quality of these interfaces“, Jef Raskin [Ras00].

Benjamin Bederson überarbeitete das Pad++ Framework an der University of Maryland grundlegend und implementierte es als ein noch generelleres Toolkit namens „Jazz“ in der Programmiersprache Java [BMG00]. Hierbei war nicht mehr der Schwerpunkt auf ZUIs gesetzt, sondern es sollte als vielseitige Basis für objektorientierte, zwei-dimensionale Benutzeroberflächen im Allgemeinen dienen.

Ähnlich wie Sun's Java3D⁷ und SGI's OpenInventor⁸ baut auch Jazz auf dem Szenegraph Konzept auf, wonach die verschiedenen Objekte der Benutzeroberfläche in einem n-dimensionalen Baum hierarchisch angeordnet werden und deren Darstellung ausgehend vom Wurzelobjekt bis zu den Blättern unter Berücksichtigung der jeweilig registrierten Unterprozesse stattfindet.

Mittels der eingesetzten Java-Technologie konnte der plattformübergreifende Ansatz von Pad++ weiter fortgeführt werden. Dem Anwendungsprogrammierer stehen durch die Kerntechnologien von Java und die Unterstützung von Swing⁹ und SVG¹⁰ sehr flexible und mächtige Tools für die Umsetzung von grafischen Benutzeroberflächen zur Verfügung.

2.1.4 B. Bederson: PhotoMesa Image Browser

Eine der populärsten auf Jazz basierenden Anwendungen ist der „PhotoMesa Image Browser“ [Bed01], welcher auch in der Arbeitsgruppe von Benjamin Bederson entwickelt wurde. PhotoMesa verortet Bilddaten aus beliebigen Verzeichnissen auf einer gemeinsamen Ebene, welche durch einfache Navigationsmechanismen wie Zooming und Panning exploriert und verwaltet werden können (siehe Abbildung 2.10).

Die Anordnung der Bilder kann nach verschiedensten Metadaten sortiert und gruppiert werden, wobei das Gesamtlayout durch die rekursive Anwendung von „Quantum Treemaps“ gegeben ist [BSW02]. Quantum Treemaps gewährleisten eine optimierte Platzaufteilung einer Gruppe von Objekten innerhalb eines gegebenen rechteckigen Bereiches unter Beibehaltung der ursprünglichen Seitenverhältnisse.

In der Grundansicht werden alle Bilddaten entsprechend des vorhandenen Bildschirmplatzes skaliert dargestellt. Der Anwender kann sich somit einen Überblick über die Ge-

⁷Java3D, Java Code-Bibliothek für 3D Rendering, basiert wahlweise auf DirectX oder OpenGL, <https://java3d.dev.java.net>.

⁸SGI OpenInventor, objektorientierter 3D Toolkit für interaktive Grafikprogrammierung, basiert auf OpenGL, <http://oss.sgi.com/projects/inventor/>.

⁹Swing: Java Toolkit für die Programmierung von grafischen Benutzeroberflächen (GUI), optimiert für WIMP-Umgebungen, <http://java.sun.com/products/jfc/>.

¹⁰SVG: Scalable Vector Graphics, strukturierte, textuelle Beschreibungssprache von zwei-dimensionalen, grafischen Objekten, <http://java.sun.com/products/jfc/>.

samtmenge der Bilder verschaffen. Auch die stark verkleinerten Repräsentationen helfen dem Betrachter, sich vielleicht an schon gesehene Fotos oder die realen Szenarien zu erinnern und bereiten in ihrer Gruppierung einen Kontext für deren Interpretation.

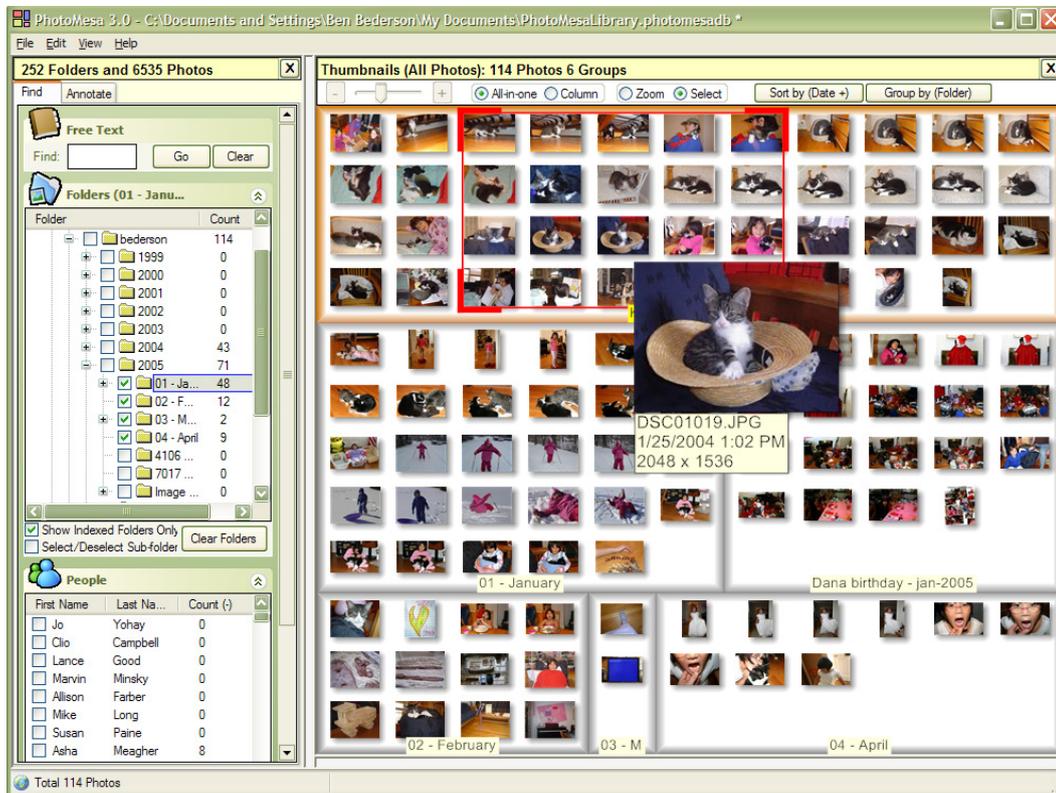


Abbildung 2.10: PhotoMesa Image Browser mit rotem Markierungsrahmen für die nächste Zoomstufe und vergrößerter Bildansicht [Bed01].

Wird eine Minimalgröße für die skalierten Bilder unterschritten, werden nur noch einzelne Bilder als Repräsentanten einer Gruppierung und nicht mehr dessen Gesamtmenge angezeigt. Die Auswahl der Repräsentanten stützt sich dabei auf die Reihenfolge bezüglich der aktuellen Sortierung. Beispielsweise würden bei einer Sortierung nach dem Aufnahmedatum je nach verfügbarem Platz die ersten fünf Bilder angezeigt. Sie stehen damit für die ganze Serie, welche vielleicht aus mehreren hundert weiteren sehr unterschiedlichen Fotos besteht.

Befindet sich die Maus über einem Bild, welches weniger als 200 Pixel in der Breite am Bildschirm in der momentanen Skalierung einnimmt, wird dieses zusätzlich vergrößert, solange der Mauszeiger darauf verweilt. Mit diesem Details-on-Demand Konzept [Shn96] kann der Anwender explizit einen höheren Detailgrad anfordern, ohne dass dies zu großen Änderungen der Gesamtansicht und zu einer dadurch bedingten Neuorientierung von Seiten des Anwenders in der Benutzeroberfläche führen würde.

Beim Überfahren der Bilder wird ein rechteckiger Bereich um den Mauszeiger durch einen roten Rahmen markiert. Dieser umreißt den Ausschnitt der aktuellen Ansicht, welcher nach dem Einzoomen vergrößert dargestellt wird. Der Rahmen umschließt bei einer geringen Skalierung zuerst mehrere Bilder, nach dem Einzoomen dann einzelne Bilder und nach weiterem Zoomen nur noch Teile eines Bildes. Diese Funktionalität hilft dem Anwender die Veränderungen der Ansicht infolge einer Zooming-Interaktion schon vorherzusehen. Das Seitenverhältnis des Rahmens ändert sich nicht nachvollziehbar und ist nicht an das tatsächliche Seitenverhältnis der Anwendung angepasst. Infolgedessen stimmt die resultierende gezoomte Ansicht nicht immer mit dem vorher durch den Rahmen gekennzeichnetem Ausschnitt überein, was beim Benutzer für Unverständnis sorgen kann.

Das Einzoomen an sich wird in PhotoMesa mittels der linken Maustaste aktiviert. Der Zooming-Vorgang ist dabei nicht kontinuierlich ausgelegt, sondern erfolgt schrittweise. Pro Klick wird jeweils auf die markierte Ansicht eingezoomt und diese vergrößert dargestellt. Das Herauszoomen erfolgt ebenfalls schrittweise mittels der rechten Maustaste. Um das zeitintensive wiederholte Zoomen bis zur Volldarstellung eines Bildes zu umgehen, kann mittels eines Doppelklicks mit der rechten Maustaste auf das Bild direkt dessen bildschirmfüllende Ansicht aktiviert werden. Aus dieser Ansicht kann aber nicht mehr entsprechend der Erwartungshaltung des Anwenders mittels der rechten Maustaste herausgezoomt werden – diese ist nun mit einem Kontextmenü belegt – sondern man muss nun die ESC-Taste oder einen hierfür vorgesehenen Eintrag im Kontextmenü bemühen.

Zur Verwaltung von Bilddaten sind die von PhotoMesa angebotenen Annotationsmöglichkeiten hervorragend geeignet. Der Anwender kann beliebige Kategorien und Personen definieren, welche er per Drag'n'Drop einzelnen oder gleichzeitig mehreren Bildern zuweisen kann. Hierbei handelt es sich um n:m Relationen, d.h. jeder Person können mehrere Bilder zugewiesen werden und die Bilder selber können wiederum Zuordnungen verschiedener Personen aufweisen.

Bei der klassischen Verwaltung von Bilddaten ohne Systeme wie PhotoMesa werden dagegen zumeist hierarchische Strukturen mit 1:n Relationen durch Verzeichnisse direkt im Dateisystem angelegt. Dabei ist es oft schwierig, eindeutige Einteilung vorzunehmen und klare Oberbegriffe als Ordnernamen zu vergeben. Trotz einer sorgfältigen Klassifizierung ist es schon nach Tagen schwer, einzelne Bilder aufgrund der Ordnernamen und der inhärenten hierarchischen Struktur wieder zu finden. Die Mehrfachzuordnungen bei Annotationen in PhotoMesa ermöglichen dagegen Bilder über mehrere Wege zu finden. Es muss nicht der eine Weg in der Hierarchie gefunden werden, sondern über jede Annotation wird ein weiterer Pfad zum Objekt analog zu einer Netzstruktur gelegt.

Wird in PhotoMesa die Ansicht nach Kategorien oder Personen gruppiert, werden die mehrfach annotierten Bilder auch an mehreren Stellen innerhalb der jeweiligen Gruppie-

nung angezeigt. Der Anwender hat so beispielsweise die Chance alle Bilder zu einer Person gebündelt zu überblicken und muss nicht erst verschiedene Verzeichnisse im Dateisystem einzeln nacheinander durchsuchen. Diese Möglichkeiten setzen natürlich eine Annotation zwingend voraus, wobei diese durch Drag'n'Drop und Mehrfachselektion einfach und effizient getätigt werden kann und der Mehrwert für den Anwender auch klar ersichtlich ist. Die Möglichkeit für Gruppierungen in der Ansicht eine eigene Hintergrundfarbe zu definieren, erhöht nicht nur die Wiedererkennung und bereitet einen spezifischen Kontext, sondern dient auch als Orientierungshilfe innerhalb der zoombaren Ansicht [JF98].

Seit 2004 basiert PhotoMesa nicht mehr auf dem Toolkit Jazz, sondern auf dessen Nachfolger „Piccolo“ [BGM04]. Aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen mit Pad, Pad++ und Jazz wurde Piccolo hinsichtlich eines verständlichen, aber flexiblen Frameworks für Zoomable User Interfaces entworfen. Piccolo ist derzeit in Java und in .Net frei verfügbar und wird in Industrie und Forschung für die Entwicklung von ZUIs eingesetzt.

2.1.5 Bederson et al.: DateLens

Ein integrierter Ansatz aus ZUI und Fisheye-Verzerrung [SA82] wurde von Benjamin Bederson et al. für die „DateLens“ [BCCR04], einer neuen Benutzeroberfläche für Standard-Kalenderanwendungen – wie Microsoft Outlook für Desktop-Systeme und PocketPC Kalender für PDAs – ausgewählt. Die Fisheye-Verzerrung wurde erstmals von Spence und Apperley als Bifocal Display [SA82] eingeführt. Hierbei wurden bei einem gleichbleibenden Platzangebot fokussierte Informationen auf Kosten von peripheren Inhalten vergrößert. Letztere mussten infolgedessen entsprechend verkleinert dargestellt werden.

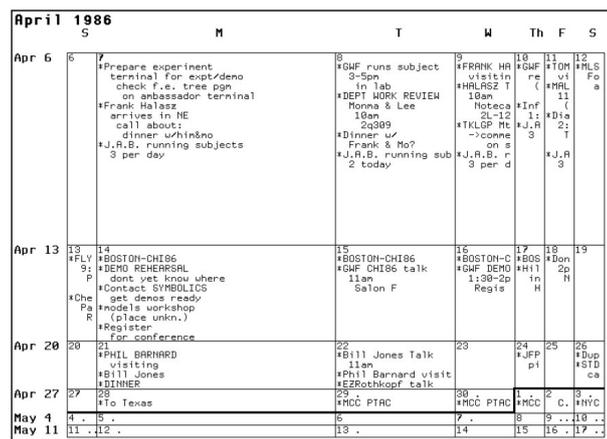


Abbildung 2.11: Furnas Fisheye Calendar System, der Fokus liegt auf dem 07. April 1986, die Zellengrößen ergeben sich aus dem Degree of Interest [Fur91].

George Furnas generalisierte diesen Ansatz und formulierte das Interesse des Anwenders an einem beliebigen Punkt des Displays anhand der „Degree of Interest“ Funktion (DOI)

[Fur86]. Mittels dieser kann die Relevanz einzelner Elemente des Informationsraumes kalkuliert werden und ermöglicht so eine methodische Aufteilung des Displays unter Verwendung der Fisheye-Verzerrung. Furnas wandte diese Methodik schon 10 Jahre vor Bederson auf ein Kalendersystem an (siehe Abbildung 2.11), welches für die DateLens als Inspiration und konzeptionelle Grundlage diente [Fur91].

Für eine erste Aufteilung des Ansichtsbereiches wird bei der DateLens [BCCR03] eine angepasste Fisheye-Verzerrung angewendet. Grundsätzlich ist die Ansicht als Tabelle angelegt, wobei die Zeilen je eine Woche und die Spalten die einzelnen Wochentage repräsentieren. Die Anzahl der gleichzeitig sichtbaren Zeilen bzw. Wochen kann von einer (Wochenansicht) bis zu 52 (Jahresansicht) mittels Buttons in der Toolbar oder durch einen vertikalen RangeSlider [WS92] variiert werden. Die Zellen selber repräsentieren die einzelnen Tage, wobei deren Größe abhängig von dem geäußerten Interesse des Anwenders und damit vom Degree of Interest individuell berechnet wird.

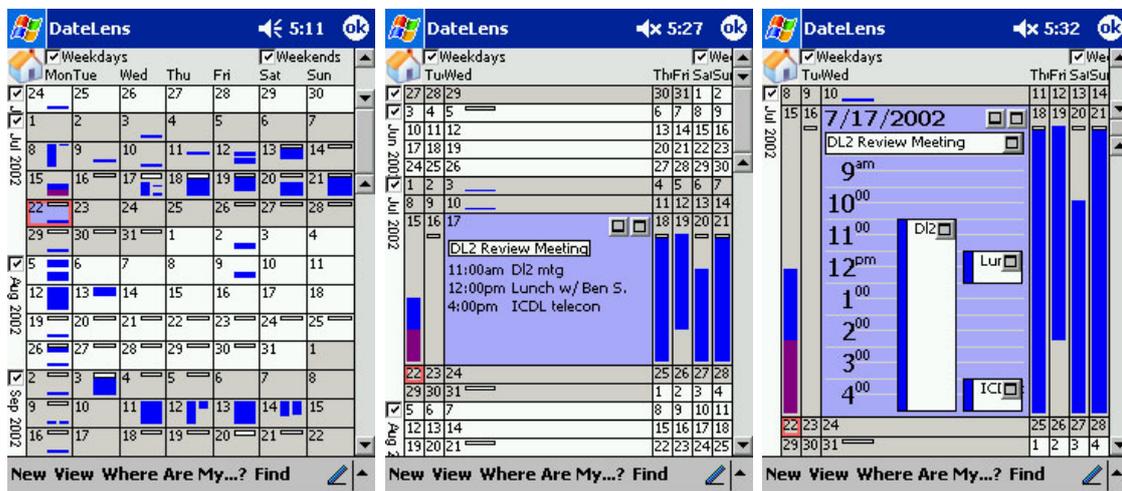


Abbildung 2.12: DateLens mit Dreimonatsansicht (links) und Zoom in zwei Schritten (mitte & rechts) auf den 17. Juli 2002 [BCCR03]&[BCCR04].

Im Unterschied zu den rein auf Fisheye-Verzerrung basierenden Kalendersystemen von Furnas integriert Bederson in der DateLens einen ZUI Ansatz mit semantischem Zooming. Visuelle Anmutung, Inhalte und angebotene Funktionalitäten der Zellen passen sich dem für sie zugeteilten Platz an. Der Benutzer kann eine Zelle mittels Mausklick bzw. Stiftkontakt beim PDA aktivieren und damit sein Interesse an dem jeweiligen Tag äußern, worauf diese animiert vergrößert wird und mehr bzw. detailliertere Informationen zu Terminen, Erinnerungen und Notizen preisgegeben werden. Beispielsweise werden Termine bei nur wenig verfügbarem Platz durch farbliche Rechtecke ohne platzintensive textuelle Informationen markiert. Beim Einzoomen werden diese mit zunehmendem Platzangebot zuerst textuell in einer Liste und später als Boxen, welche entsprechend der Anfangszeit und Dauer innerhalb der Zelle angeordnet sind, visualisiert (siehe Abbildung 2.12).

Die einzelnen Tagesansichten sind nicht neu und dem Anwender schon von Standardlösungen wie Microsoft Outlook wohlbekannt. Die Integration von Detailansichten in den Gesamtkontext ist aber ein Novum. Der Benutzer kann mit der DateLens die Termine für einen speziellen Tag planen und behält dabei immer noch die Übersicht über die Termine der nächsten Wochen. Zur Bearbeitung eines Termins wird ebenfalls nicht ein eigenes Fenster geöffnet, welches den Kontext verdecken und den Anwender zusätzlich durch die dadurch bedingte Neuorientierung kognitiv belasten würde, sondern man kann direkt innerhalb der Tageszelle noch weiter in den Termin einzoomen und bekommt dort ein Standardformular. Bederson ist mit der DateLens eine sehr beeindruckende Kombination aus konventionellen, dem Anwender vertrauten Elementen und einem konsistenten ZUI Ansatz in Verbindung mit der Fisheye-Verzerrung gelungen.

2.1.6 Jetter et al.: HyperGrid

Ein ähnlich integrativer Ansatz wird von Jetter et al. bei der „HyperGrid“ [JGK⁺05], einem Visualisierungs- und Interaktionskonzept für das visuelle Suchsystem MedioVis [GGJ⁺05], verfolgt. Hierbei wird eine traditionelle Tabelle mit Sortier- und Filtermechanismen durch ZUI Konzept mit semantischem Zooming und Browsing-Ansätzen erweitert, um so dem Anwender auch für komplexe Informationsräume einen geeigneten Zugang zu bieten.

Im Gegensatz zu statischen Listendarstellung von Suchtreffern, welche bei Bibliothekssystemen, Online- und Desktop-Suchmaschinen vornehmlich Verwendung finden, werden in der HyperGrid die Suchergebnisse strukturiert in einer interaktiven, zoombaren Tabelle aufbereitet. Am Beispiel von Filmdaten erklärt, beherbergt jede Zeile einen einzelnen Film und auf die Spalten werden thematische Schwerpunkte, so genannte „Aspect of Interest“ (AOI, [RPR96]) abgebildet. In Abbildung 2.13 werden beispielsweise die Suchtreffer zum Stichwort „spielberg“ bezüglich der Aspekte „Film“, „Handlung“, „Beteiligte“ und „Jahr“ betrachtet.

Möchte der Anwender weitere Informationen zu einem Aspekt eines Filmes erhalten, kann er durch Klicken mit der linken Maustaste in die entsprechende Zelle sein Interesse hierfür direkt äußern. Dies löst einen kontinuierlichen Zoom in die Zelle aus, wobei diese auf Kosten der anderen Zellen, unter Beibehaltung der Tabellenstruktur, in Breite und Höhe zunimmt. Mittels semantischem Zoomings können, infolge des zunehmenden Platzangebots, auch komplexere Inhalte bis hin zu Bild- und Videodaten angezeigt werden.

Mithilfe der rechten Maustaste kann wieder herausgezoomt und damit der Detailgrad der dargestellten Informationen zu dem jeweiligen Film reduziert werden. Zusätzlich können über Hyperlinks externe Informationen, wie Schauspielerbiographien, Webseiten oder



Abbildung 2.13: HyperGrid mit Filmdaten, Biographien und Trailern.

Landkarten, angefordert werden. Diese werden nicht in einem neuen Fenster, sondern direkt im Kontext mittels einer in der Zelle verorteten Browserkomponente angezeigt. Bei der HyperGrid findet der Informationszuwachs immer am Ort der Interessensäußerung statt. Der visuelle und inhaltliche Kontext bleibt dabei erhalten, ohne dass der Anwender durch Layout- und Modalitätswechsel zusätzlich kognitiv beansprucht wird [RJK⁺05].

Die HyperGrid unterstützt sowohl die browsing-orientierte, interessen geleitete Exploration mittels Zoomable User Interface und Browser-Konzept, als auch analytische Sichtweisen auf den Informationsraum. Letztere ergeben sich aus der strukturierten Darstellung in der Tabelle inklusive der Möglichkeiten zur Sortierung und Filterung. Eingabefelder unterhalb der Spaltenköpfe ermöglichen, die Suchresultate bezüglich der jeweiligen Spalte und der eingegebenen Stichwörter dynamisch zu filtern. Der Anwender kann somit nach der Abgabe der eigentlichen Suchanfrage, diese nochmals verfeinern und das Resultat bezüglich der auf die Spalten abgebildeten Aspekte, weiter einschränken.

Aus jeder Veränderung der Filterangaben resultiert eine sofortige Aktualisierung der Ergebnismenge in der HyperGrid, wodurch der Benutzer direktes visuelles Feedback auf seine Eingaben bekommt. Des Weiteren erlaubt die benutzer-adaptive Spalte (siehe Abbildung 2.13, rechte Spalte) ein beliebiges Attribut, welches erst nach mehrmaligen

Zoomen durch semantisches Zooming in der Zelle dargestellt werden würde, direkt auf oberster Ebene unter einem eigenen Aspekt anzuzeigen und nach diesem direkt zu sortieren oder zu filtern.

Die Zuordnung von Attributen zu den jeweiligen thematischen Schwerpunkten bzw. AOI und deren Reihenfolge bezüglich des semantischen Zoomings ist nicht unerheblich für die Benutzbarkeit der HyperGrid. Im Sinne der Verständlichkeit und der Erwartungskonformität würde man im Allgemeinen thematisch ähnliche Attribute unter einem gemeinsamen Aspekt gruppieren und die dadurch entstehenden Cluster in ihrer Reihenfolge vom Allgemeinen zum Speziellen hin sortieren. Diese Modellierung kann aber aufgaben-, kontext- und personenspezifisch unterschiedlich ausfallen, weshalb Jetter et al. eine flexible mathematische Modellierung der Attribute in einem Attributraum [RJK⁺05] vorschlagen. Mit dieser eher formalen Methode der Clustergewinnung kann eine möglichst passende Modellierung für eine breite Masse von Anwendern anhand von klaren Kriterien durch Expertengruppen erzeugt werden oder jeder Benutzer kann für sich persönlich eine eigene Modellierung gestalten.

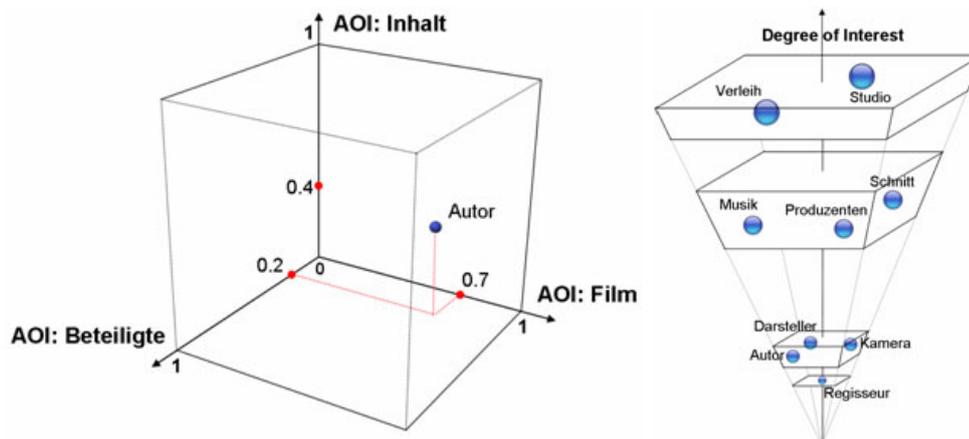


Abbildung 2.14: Links: Position des Attributs „Autor“ innerhalb des Attributraums. Rechts: Gruppierung von Attributen entlang des AOI „Beteiligte“ in vier Ebenen [RJK⁺05].

Zur Konstruktion des Attributraums müssen zunächst die thematischen Gesichtspunkte oder AOI definiert werden. In Abbildung 2.14 (links) sind das „Inhalt“, „Beteiligte“ und „Film“. Jedem Attribut wird anschließend entsprechend der semantischen Nähe zu den einzelnen AOIs ein Wert zwischen 0.0 und 1.0 zugewiesen, wobei ein kleinerer Wert eine höhere semantische Nähe bzw. eine geringere Entfernung zum thematischen Ursprung ausdrückt. Der Attributraum kann infolge dessen als n-dimensionaler Würfel mit der Kantenlänge 1.0 in positiver Richtung des kartesischen Koordinatensystems begriffen werden, wobei n der Anzahl an AOIs entspricht. Die Positionen der Attribute im Würfel spiegeln dabei ihre semantische Nähe zu den einzelnen Aspekten wieder.

Bei der HyperGrid wird ein Attribut jeweils zu dem AOI zugeordnet, für welche es die höchste semantische Nähe und damit den geringsten Zahlenwert aufweist. In Abbildung 2.14 (rechts) wurden verschiedene Attribute dem AOI „Beteiligte“ zugeteilt und gemäß ihrer jeweiligen semantischen Nähe eingereiht und gruppiert. Zoomt in diesem Beispiel der Anwender in den AOI „Beteiligte“, so wird zuerst der Regisseur, anschließend der Autor, Darsteller und Kameramann sowie nach und nach die restlichen Attribute jeweils in ihrer Gruppierung gleichzeitig eingeblendet. Der Informationszuwachs kann mit dieser Modellierung sehr flexibel auf die Bedürfnisse des Anwenders oder einer Gruppe von Anwendern angepasst werden.

Die HyperGrid kann aufgrund ihres integrierten Charakters sowohl in klassischen WIMP und Online-Umgebungen, als auch in Zoomable User Interfaces konsistent eingebunden werden. Der Anwender bestimmt aktiv mittels Zoomings, mit welchen Inhalten und mit welcher Informationsmenge er konfrontiert werden möchte. Diese selektive Präsentation der Daten ermöglicht erst komplexere Informationsräume im Sinne von hoher Quantität, Dimensionalität und Multimedialität dem Anwender zugänglich zu machen, ohne diesen zu überfordern. Des Weiteren werden interessen geleitete und analytische Herangehensweisen durch eine gemeinsame Oberfläche unterstützt, wodurch der Benutzer die Freiheit bekommt, je nach Aufgabe und Belieben zwischen den Suchstrategien zu wechseln, ohne hierfür einen anderen Modus oder eine andere Anwendung bemühen zu müssen.

2.2 Evaluationen im Bereich ZUI

„The empirical investigations of zoomable user interfaces are few and inconclusive“ [HBP02]. Erst seit Anfang der 90-er Jahre werden Evaluationen im Kontext von Zoomable User Interfaces durchgeführt, wobei deren Ergebnisse sehr divergent erscheinen und großteils keinen allgemeingültigen Schluss zulassen. Im Folgenden wird eine Auswahl an relevanten Studien näher betrachtet und deren Resultate diskutiert.

Eine der ersten Evaluationsstudien, welche auch eine Art Zooming zum Gegenstand der Untersuchung hatte, wurde 1990 von Beard & Walker [BW90] durchgeführt. Hierbei wurden drei verschiedene Arten der Navigation in großen, zwei-dimensionalen Informationsräumen verglichen. Bei der ersten Testvariante mussten die Probanden Such- und Navigationsaufgaben auf einem ausbalancierten Binärbaum ausführen, wobei die Ansicht nur einen Ausschnitt des ganzen Baumes darstellen konnte und die Probanden in dieser Variante mittels Scrollbalken navigieren mussten.

Die zweite Testvariante beinhaltete die gleiche Aufgabenart, nur konnten die Probanden mittels einer zusätzlichen Übersichtsdarstellung des ganzen Baumes, durch Verschieben eines gegebenen Rechtecks fester Größe, den in der normalen Ansicht sichtbaren Ausschnitt kontrollieren. Die Interaktionstechnik wurde von den Autoren auch als „Roaming“ bezeichnet. In der dritten Variante, dem „Roam and Zoom“, musste bei gleicher Aufgabenstellung für jeden Navigationsschritt jeweils in der Übersichtsdarstellung ein neues Rechteck beliebiger Dimension gezogen werden, was aber durch die Variation der Größe der Rechtecke implizit ein Zooming ermöglichte.

Für die Evaluation wurde ein „within-subjects“ Design¹¹ ausgewählt und mit nur 6 Probanden durchgeführt. Bei Suchaufgaben, welche das Auffinden von Begriffen in dem Binärbaum zum Ziel hatten, waren die Ergebnisse mit Übersichtsinteraktion bei einem Signifikanzniveau von 10% signifikant besser als mit Scrollbalken. Bei der wiederholten Navigation vom Wurzelknoten bis zum am weitesten rechts liegenden Blattknoten waren ebenfalls die Ergebnisse mit Übersichtsinteraktion bei einem Signifikanzniveau von 0.5% signifikant besser als mit Scrollbalken. Zwischen den Varianten „Roaming“ und „Roam and Zoom“ konnte bei beiden Aufgabentypen kein signifikanter Unterschied gemessen werden. Die geringe Anzahl an Probanden für drei Testvarianten stellt die Aussagekraft der Ergebnisse allerdings sehr in Frage.

Páez et al. verglichen 1996 ein auf Pad++ [BH94] basierendes Zoomable User Interface mit einer konventionellen Hypertext-Oberfläche [PdSFM96]. Mit beiden Oberflächen konnten die 36 Probanden des „between-subjects“ Experiments auf ein neunseitiges wis-

¹¹Within-subjects Design: Die Level der unabhängigen Variablen werden von allen Probanden nacheinander durchlaufen. Bei between-subjects Experimenten wird dagegen jede Versuchsperson nur genau einem Level der unabhängigen Variable ausgesetzt.

senschaftliches Paper zugreifen, wobei für das ZUI die Seiten so angeordnet wurden, dass alle gleichzeitig in der initialen Ansicht sichtbar waren. Die Probanden mussten zu fünf Fragen die Antworten im Text mithilfe einer der Oberflächen finden. Hierbei wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Benutzerzufriedenheit und der notwendigen Bearbeitungszeit festgestellt. Dennoch äußerten sich die Probanden positiv bezüglich der einfachen Erlernbarkeit des ZUIs, dessen geeigneten Mechanismen zum Blättern der Seiten (Zooming und Panning) und bezüglich des guten Überblicks, welcher durch das ZUI vermittelt wird.

Im Kontext der Browsernavigation verglichen Hightower et al. die konventionelle History-Liste des Netscape Navigator 3.0 mit dem Zoomable User Interface PadPrints [HRH⁺98]. PadPrints basierte ebenfalls auf Pad++ und ordnete bereits besuchte Webseiten als Miniaturabbildungen in einer zwei-dimensionalen Hierarchie entsprechend der Navigationswege an (siehe Abbildung 2.15). Die Netscape History-Liste und PadPrints wurden jeweils parallel zu der normalen Browser-Komponente angezeigt, wobei die Anzeige von bereits besuchten Webseiten im Browser von der jeweiligen History-Darstellung aus aktiviert werden konnte.

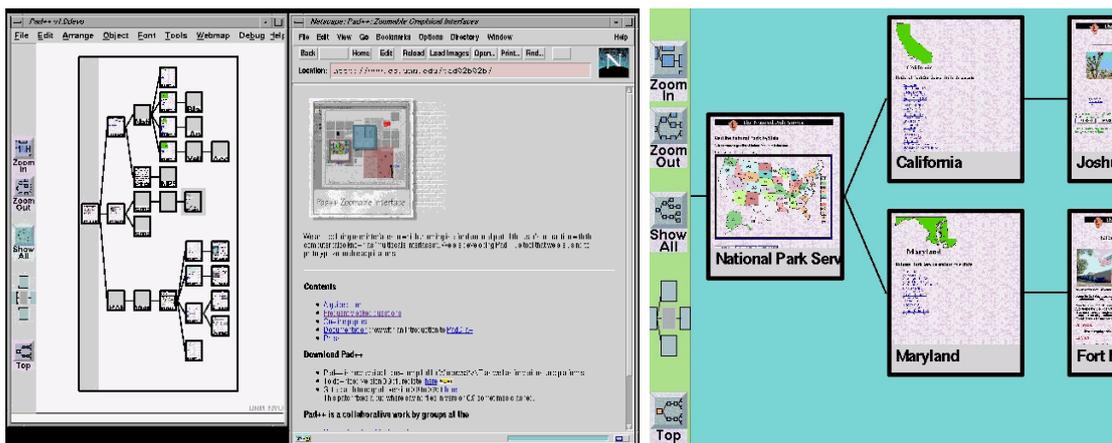


Abbildung 2.15: Links: PadPrints History mit Browser-Komponente. Rechts: Nahansicht der besuchten Webseiten als Miniaturabbildungen im ZUI [HRH⁺98].

In einer ersten Studie mussten die 36 Probanden mit beiden Varianten verschiedene Webseiten finden, Fragen zu diesen beantworten und Vergleiche zwischen Webseiten durchführen („within-subjects“ Design). Obwohl keine signifikanten Unterschiede bei der Bearbeitungszeit gemessen werden konnten, so brauchten die Probanden mit PadPrints signifikant weniger Seitenaufrufe als mit der konventionellen History-Liste, um die Fragen zu beantworten. Des Weiteren wurde die subjektive Benutzerzufriedenheit mittels des „Questionnaire for User Interface Satisfaction“ (QUIS) [CDN88] ermittelt. Die Probanden zeigten hier eine signifikant höhere Benutzerzufriedenheit mit PadPrints gegenüber der Liste bei den Sektionen Gesamt, Feedback, Erlernbarkeit und Browsing.

In einer zweiten Studie von Hightower et al. wurden 36 Probanden Initialfragen gestellt, welche sie dazu bewegten, eine Reihe von Webseiten aufzurufen und damit die History zu füllen. Anschließend wurden ihnen zehn Fragen zu den bereits explorierten Webseiten gestellt, wobei sich eine Hälfte der Fragen auf eine einzelne Seite und die andere Hälfte auf mehrere Seiten gleichzeitig bezog.

Analog zur ersten Studie konnte auch hier kein signifikanter Unterschied in der Bearbeitungszeit für die Initialfragen festgestellt werden. Für die Fragen, welche sich auf die History bezogen, benötigten die Probanden aber mit PadPrints im Vergleich zur Liste ca. 40% weniger Zeit und signifikant weniger Seitenaufrufe (siehe Abbildung 2.16). Die höhere Benutzerzufriedenheit mit PadPrints gegenüber der History-Liste bestätigte sich auch bei der zweiten Studie, welche wiederum mit QUIS ermittelt wurde.

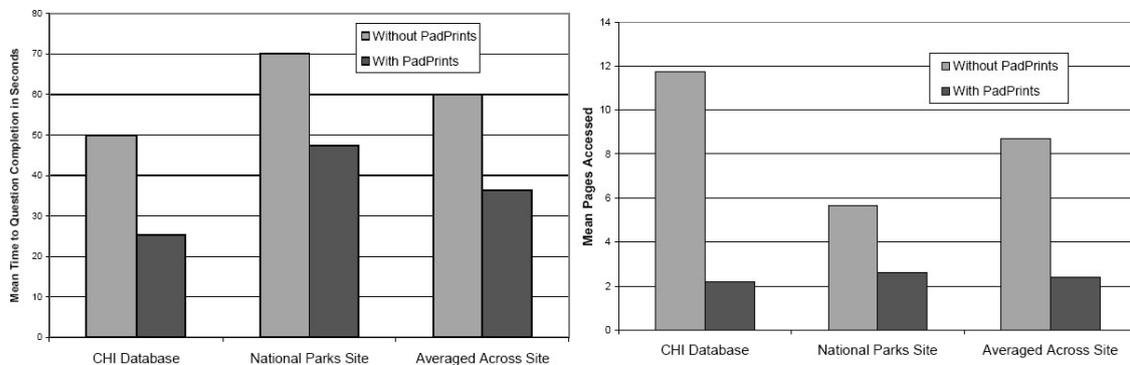


Abbildung 2.16: Ergebnisse der zweiten PadPrints Studie von Hightower et al. Links: Durchschnittliche Bearbeitungszeit. Rechts: Durchschnittliche Anzahl der Seitenaufrufe [HRH⁺98].

In der Anwendungsdomäne der Exploration von Bilddaten verglichen Combs et al. ein eigenes ZUI namens Zoomable Image Browser (ZIB) mit den kommerziellen Produkten Thumbs Plus (Thumbs+) von Cerious Software, Photo GoRound (PGR) und Simple LandScape (SLS) von TriVista Technology [CB99]. Im ZIB wurden die Bilder gitterartig angeordnet und mittels Panning und Zooming für den Anwender explorierbar. Thumbs Plus ordnete Miniaturabbildungen der Bilder in einem zwei-dimensionalen Gitter, Simple LandScape auf einer drei-dimensionalen Ebene und Photo GoRound in einem drehbaren Zylinder an (siehe Abbildung 2.17).

Für das Experiment wurden drei Sammlungen von Bildern mit 25, 75 und 225 Bildern verwendet. Die 30 Probanden explorierten zuerst ohne Aufgabenstellung die gesamte Sammlung, bevor sie dann einzelne Bilder mithilfe des jeweiligen Tools in der Menge suchen mussten. Die Probanden waren mit dem zwei-dimensionalen Thumbs Plus und dem Zoomable Image Browser signifikant schneller als mit den beiden drei-dimensionalen Oberflächen. Dieser Effekt verstärkte sich mit anwachsender Größe der Bildmenge (siehe Abbildung 2.18 links). Auch in diesem Experiment wurde die Benutzerzufriedenheit

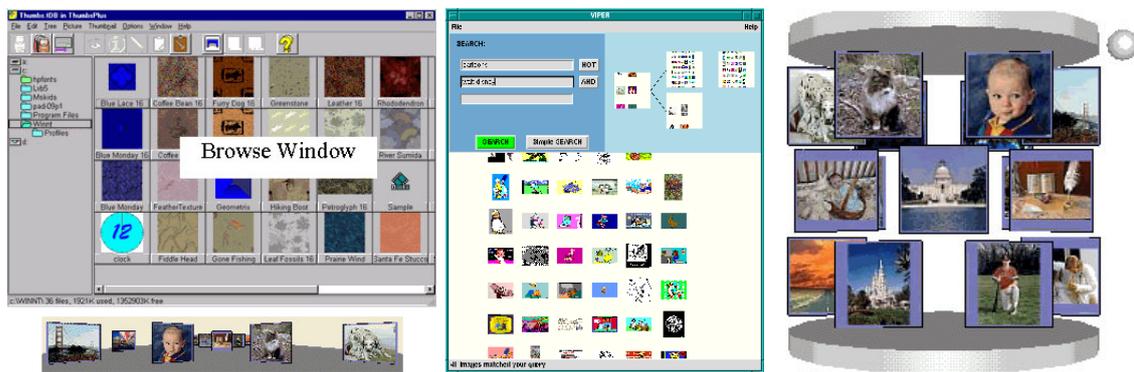


Abbildung 2.17: Thumbs Plus (oben links), Simple LandScape (unten links), Zoomable Image Browser (Mitte), Photo GoRound (rechts) [CB99].

mittels QUIS ermittelt, wobei hier keine signifikanten Unterschiede auszumachen waren (siehe Abbildung 2.18 rechts). Auffallend ist die gute Skalierung des ZIBs mit steigender Größe der Bildersammlung. Obwohl sich die Menge im Experiment jeweils verdreifachte, scheint die durchschnittliche Bearbeitungszeit mit dem ZIB nahezu konstant angestiegen zu sein.

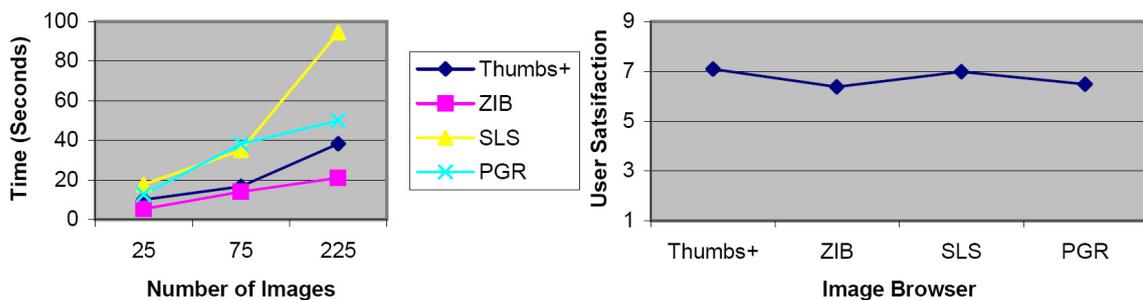


Abbildung 2.18: Links: Durchschnittliche Bearbeitungszeit der Browser je Mengengröße. Rechts: Durchschnittliche Bewertung der Benutzerzufriedenheit über alle Größen [CB99].

Ein ebenfalls interessanter Effekt ist bei der Fehlerrate des konventionellen Image Browsers Thumbs+ zu erkennen. Bei der Erhöhung von 75 auf 225 Bilder steigt dessen Fehlerrate, im Gegensatz zu den anderen Browsern, enorm an (siehe Abbildung 2.19). Die Probanden mussten bei 225 Bildern in Thumbs+ beachtlich oft und in großem Maße die Ansicht mittels der Scrollbalken verschieben. Combs et al. vermuteten, dass das Scrollen die Probanden von ihrer eigentlichen Aufgabe, dem Finden eines Bildes, abgelenkt hatten und diese dann durch die zusätzliche kognitive Belastung sich nicht mehr an das Bild erinnern konnten, welches sie im Kurzzeitgedächtnis abgelegt hatten. Der Zoomable Image Browser scheint hier einen konzeptionellen Vorteil zu bieten, da in der Initialansicht alle Bilder gemeinsam entsprechend verkleinert dargestellt werden konnten und die Probanden so einen Überblick über die Gesamtmenge erhielten. Die Bearbeitungszeit skalierte gut über die ansteigende Mengengröße hinweg und die Fehlerrate blieb trotz

Schwankungen relativ niedrig. Allerdings berichteten Combs et al., dass die meisten Probanden trotz der sehr klein skalierten Bilder (große Sammlung) nicht das angebotene Zooming verwendeten, obwohl ihnen die Interaktion aus dem vorangegangenen Training bekannt war.

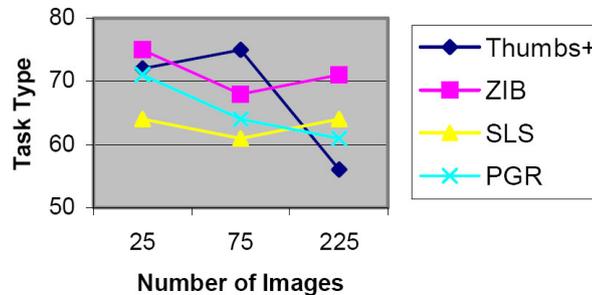


Abbildung 2.19: Durchschnittliche Rate der korrekt wieder gefundenen Bilder in Prozent je Mengengröße [CB99].

Man könnte hieraus unter Vorbehalt schließen, dass die von Zoomable User Interfaces bereitgestellte Möglichkeit der beliebigen Skalierung, die Übersicht über die Datenmenge und das Wiedererkennen von bereits Gesehenem positiv beeinflusst – die Initialansicht des ZIBs bietet eine jeweils an die Datenmenge angepasste Übersicht. Die Ursache für das Auslassen des Zoomings kann einerseits daran liegen, dass den Probanden die skalierten Bilder zur Wiedererkennung völlig ausgereicht hatten, wobei die ansteigende Fehlerrate bei der ansteigenden Bildermenge und damit einhergehend kleineren Darstellung der Bilder diesem Argument eher widerspricht. Andererseits könnte dies auch an der Interaktions- und Visualisierungsgestaltung des ZIBs liegen, welche sicherlich noch Verbesserungspotential in sich birgt.

Eine grundlegende Studie, betreffend der räumlichen Anordnung von Informationen und des Einflusses der räumlichen Erinnerung auf das Wiederfinden dieser, wurde von Robertson et al. im Kontext der Organisation von Webseiten-Bookmarks durchgeführt [RCL⁺98]. Hierbei wurde eine räumlich organisierte 3D-Oberfläche namens Data Mountain (siehe Abbildung 2.20) mit dem traditionell hierarchischen System der Favoritenverwaltung des Microsoft Internet Explorers 4 (IE4) verglichen.

Data Mountain stellt als Benutzeroberfläche eine geeignete Ebene zur Verfügung, auf welcher Miniaturabbildungen von Webseiten räumlich verortet werden können. Der räumliche Eindruck wird durch die Abhängigkeit der Größe der Abbildungen vom Abstand zum Betrachter sowie durch die visuelle Überlappung von hintereinander positionierten Webseiten verstärkt. Die räumliche Organisation visueller Informationen, die variierende Skalierung und die Möglichkeit des Einzoomens auf einzelne Objekte bzw. der vergrößerten Darstellung dieser im Vordergrund (siehe Abbildung 2.20 rechts) stellen Parallelen zu den Konzepten von Zoomable User Interfaces dar.

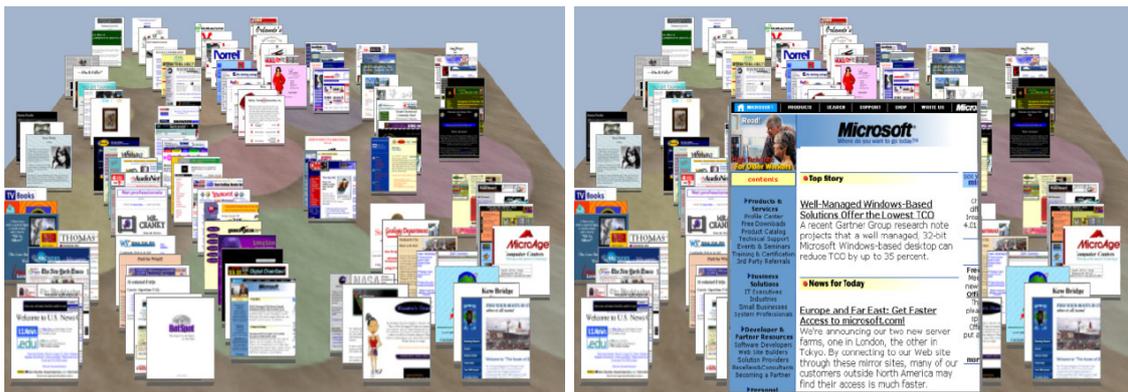


Abbildung 2.20: Rechts & Links: Data Mountain mit 100 Webseiten. Rechts: Eine selektierte Webseite wird groß (gezoomt) dargestellt [RCL⁺98].

Die 32 Probanden des „between-subjects“ Experimentes mussten zuerst mit Data Mountain oder IE4 Bookmarks von 100 Webseiten erzeugen und diese nach ihrem Belieben in der Hierarchie bzw. auf der Ebene anordnen. Danach sollten sie anhand einem von vier verschiedenen Hinweisen, Webseiten mithilfe der vorher organisierten Bookmarks wiederfinden. Als Hinweis wurde entweder der Titel, eine Zusammenfassung, eine Miniaturabbildung oder eine Kombination aus allem verwendet. Das Experiment bestand aus 100 Fragen – je 25 pro Hinweistyp. Die Probanden wurden in drei Gruppen eingeteilt, da der IE4 mit zwei Varianten des Data Mountains verglichen wurde. Bei der zweiten Variante des Data Mountain (DM2) wurde die Verdeckung von Objekten verhindert, die Tooltips beim Überfahren der Objekte optimiert und ein erweitertes auditives Feedback integriert. Diese Änderungen resultierten aus den Erkenntnissen des Tests mit der ersten Gruppe bzw. der ersten Data Mountain Version (DM1).

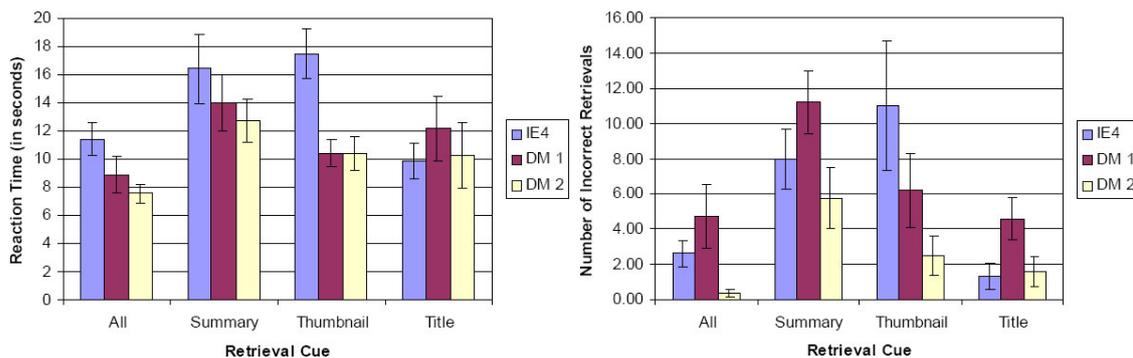


Abbildung 2.21: Links: Durchschnittliche Bearbeitungszeit je Hinweistyp und Anwendung. Rechts: Durchschnittliche Anzahl nicht korrekt gefundener Webseiten je Hinweistyp und Anwendung [RCL⁺98].

Der IE4 konnte bezüglich der durchschnittlichen Bearbeitungszeit nur beim Hinweistyp „Titel“ einen geringen Effizienzvorteil gegenüber den Data Mountain Varianten aufzeigen, ansonsten wies er beachtlich höhere Werte auf (siehe Abbildung 2.21 links). Vor

allem bei den Testaufgaben mit Miniaturabbildungen und bei deren Kombination mit anderen Informationen konnte Data Mountain überzeugen. Die räumliche Anordnung und visuelle Repräsentation der Webseiten führte hierbei wohl zu einem schnelleren Wiederauffinden der Webseiten.

Mit der zweiten Data Mountain Version benötigten die Probanden durchweg eine signifikant geringere Bearbeitungszeit als mit der ersten, ursprünglichen Variante. Auch bezüglich nicht korrekt gefundener Webseiten schnitt die zweite Version signifikant besser ab als die erste (siehe Abbildung 2.21 rechts). Im Vergleich zum IE4 konnte DM2 beim Hinweistyp Titel ähnliche und bei den anderen Hinweisen deutlich bessere Fehlerraten aufweisen. Robertson et al. schlossen aus der Studie, dass die Möglichkeit der freien räumlichen Anordnung von visuellen Objekten und damit einhergehend das räumlich, visuelle Gedächtnis großen Einfluss auf das korrekte und schnelle Wiederfinden der Webseiten hatte.

Czerwinski et al. führten dahingehend eine Folgestudie durch und fanden heraus, dass die Probanden sogar nach einem Zeitraum von vier Wochen, aufgrund ihrer räumlichen Erinnerung, die Webseiten in ihrer persönlichen Anordnung mit einer vergleichbaren Bearbeitungszeit und ähnlicher Fehlerrate wiederfanden [CvDRH99].

In einer weiteren Folgestudie zeigten Cockburn und McKenzie, dass die drei-dimensionale Anmutung von Data Mountain keinen Einfluss auf die quantitativen Ergebnisse und somit auf die räumliche Erinnerungsfähigkeit hatte [CM01]. Ohne die drei-dimensionale Anmutung kann Data Mountain bedingt auch als Zoomable User Interface verstanden werden.

Aufgrund der Diversität der untersuchten Anwendungen mit Zoomable User Interface Ansätzen scheinen die positiven Effekte bezüglich der räumlichen Erinnerung und deren zumindest gleiche oder sogar höhere Effizienz gegenüber rein textueller, hierarchischer Systeme auf Zoomable User Interfaces im Allgemeinen übertragbar zu sein. Des Weiteren ist die zumeist signifikant höhere Benutzerzufriedenheit von ZUIs auffällig.

3 Konzepte, Erkenntnisse und Modelle

Gegenstand dieses Kapitels ist die Aufbereitung bestehender, sowie die Erarbeitung neuer Konzepte, Erkenntnisse und Modelle, welche grundlegende Bedeutung für die in den nachfolgenden Kapiteln vorzustellenden Konzepte aufweisen. Hierbei werden verschiedenste Zooming & Panning Konzepte näher vorgestellt, miteinander verglichen und kritische Faktoren für die Interaktion in Zoomable User Interfaces erörtert. Des Weiteren wird ein breites Spektrum an Eingabegeräten hinsichtlich ihrer Eignung für die Kontrolle von Zooming- und Panning-Interaktionen beleuchtet.

Im weiteren Verlauf des Kapitels werden physiologische und psychologische Aspekte der menschlichen Informationsverarbeitung näher betrachtet, um darauf aufbauend fundiertere Aussagen über die kognitiven Fähigkeiten des Menschen, bezüglich der Interaktion mit Zoomable User Interfaces treffen zu können. Darüber hinaus werden die Referenzmodelle der Informationsvisualisierung und der Computergrafik thematisiert, welche in Kapitel 5 zu einem integrierten, performanten Visualisierungsprozess vereint werden.

3.1 ZUI Navigationskonzepte

Als elementare Interaktionsmechanismen zur Navigation in einem Zoomable User Interface bzw. in dessen Informationsraum stehen Zooming und Panning zur Verfügung. Panning erlaubt hierbei den sichtbaren Bereich des Informationsraumes bei gleichbleibender Skalierung zu manipulieren. Zooming verändert den Skalierungsgrad einer Ansicht in Abhängigkeit eines Referenzpunktes (Zooming Reference Point, ZRP), welcher beim Zoomen im Zentrum der aktuellen Ansicht liegt.

Beim Einzoomen wird die Ansicht auf den ZRP fokussiert, wobei Objekte am Rand der Ansicht bzw. mit größerem Abstand zum ZRP aus dem sichtbaren Bereich herausgleiten und zugunsten der Vergrößerung von ZRP-nahen Objekten nicht mehr dargestellt werden. Beim Herauszoomen vergrößert sich der darstellbare Ausschnitt des Informationsraumes und Objekte mit größerem Abstand zum ZRP, welche bisher außerhalb der Ansicht waren, werden wieder eingeblendet. Wird der ZRP nicht im Zentrum der aktuellen Ansicht positioniert, geht mit dem Zooming auch ein Panning einher. Der Fokus

bzw. das Zentrum der Ansicht wird dabei während des Zoomings in Richtung des ZRPs verschoben. Hierbei bestimmt das Verhältnis zwischen Zoom- und Panning-Faktor pro Zeiteinheit, wie schnell sich ZRP und Ansichtszentrum annähern. Bleibt das ZRP über den Zooming-Vorgang hinweg statisch an einer Position, ergibt sich eine lineare Bewegung im Informationsraum entlang eines Richtungsvektors, welcher durch die Positionen des Ansichtszentrums und des ZRPs bei der Initiierung des Zoomings bedingt wird.

Diese Art des Zoomings wird beispielsweise standardmäßig bei Piccolo Anwendungen [BGM04] verwendet. Mit Drücken der rechten Maustaste wird hier an der aktuellen Mausposition der ZRP gesetzt und durch die horizontale Bewegung der Maus die Geschwindigkeit für das Zooming entlang des Richtungsvektors variiert. Mit diesem Mechanismus ist aber eine Nachjustierung der Richtung ohne Unterbrechung des Zooming-Vorgangs nicht möglich. Soll beispielsweise ein bisher sehr klein skaliertes Objekt bildschirmfüllend gezoomt werden, ist es nicht trivial einen hierfür geeigneten ZRP zu wählen. Vergleichbar ist dies mit dem Anvisieren eines Zieles mit einem Gewehr aus großer Entfernung. Es ist wesentlich leichter, auf das Ziel zuzugehen und während der Annäherung noch die Feinjustierung vorzunehmen, als sich von Anfang an auf eine feste Richtung festzulegen. Aus der Verwendung eines dynamischen ZRPs beim Zooming resultieren dementsprechend eine höhere Flexibilität sowie eine flüssigere Navigation.

In Raskins Flash-Demo ZoomWorld¹ wird der ZRP während des ganzen Zooming-Vorgangs dynamisch durch die aktuelle Mausposition immer wieder neu gesetzt. Der Anwender hat so die Möglichkeit, sich kontinuierlich einem Bereich des Informationsraumes zu nähern, ohne vorher schon ein konkretes Ziel definieren zu müssen. Während der Bewegung kann er sich von den bereits gut sichtbaren Informationsobjekten inspirieren lassen, um sich dann auf ein spezielles zu konzentrieren. Die Geschwindigkeit des Zoomings ist allerdings bei Raskins ZoomWorld vordefiniert und bleibt konstant. Mit einer statischen Geschwindigkeit ist aber oft der Tradeoff zwischen hoher Präzision und guter Effizienz nicht zu lösen.

Einem anderen Ansatz, Zooming und Panning zu vereinen, folgt Donelson in seinem „Dataland“ [Don78]. Der Anwender gibt nicht Navigationsschritte vor, sondern umzeichnet in einem Überblicksfenster durch ein Rechteck direkt die Zielansicht, welche er als Resultat der Ansichtstransformation haben möchte. Hierbei wird das Zooming durch die Größe des Rechtecks und das Panning durch dessen Position bedingt. Oft wird dieser Navigationsmechanismus mit zusätzlichem konventionellen Zooming und Panning kombiniert, da eine präzise Abgrenzung der gewünschten Ansicht aus der Übersichtsdarstellung nur schwer möglich ist.

Woodruff et al. [WLS98] treffen die Annahme, dass Anwender direkt zu bestimmten Objekten des Informationsraumes navigieren wollen und unterstützen dies durch ein

¹Jef Raskin, ZoomWorld Demo, <http://rchi.raskincenter.org/demos/zoomdemo.swf>.

zielgerichtetes Zooming (Goal-Directed Zoom). Repräsentationen von verorteten Objekten werden hierfür in Menüs als Buttons aufgelistet, wobei bei dessen Aktivierung die Ansicht automatisch auf die entsprechenden Objekte zoomt.

Ein integrativeren Ansatz des automatischen Zoomings wählten Furnas und Zhang für ihren „Multiscale Editor“ [FZ98], bei welchem jedes sichtbare Objekt ihres ZUIs klicksensitiv ist. Wird ein Objekt aktiviert, zoomt die Ansicht automatisch auf das Objekt. Der Anwender hat so die Möglichkeit, effektiv auf Informationen zuzugreifen, ohne sich zusätzlich kognitiv durch die manuelle Navigation zu belasten.

Ist der Anwender komplett frei in seiner Navigation im ZUI, kann er sich in Situationen begeben, in welchen die Ansicht des ZUIs keine Objekte, Informationen oder Hinweise mehr für den Anwender bereithält, an denen er sich orientieren könnte. Dies wurde von Jul und Furnas auch als „Desert Fog“ bezeichnet [JF98]. Hierbei ist der Anwender entweder zu weit in die Informationslandschaft eingetaucht, so dass alle Objekte größer als die aktuelle Ansicht und daher nicht mehr sichtbar bzw. identifizierbar sind. Oder der Anwender hat durch Herauszoomen die Objekte des ZUIs bis zur Unkenntlichkeit geschrumpft. Eine dritte Situation für „Desert Fog“ kann entstehen, wenn der Anwender auf einen Bereich fokussiert, welcher keine Informationen bereithält. In einer „Desert Fog“-Situation verliert der Anwender aufgrund der fehlenden Landmarks die Orientierung und weiß nicht, wie er wieder zu einer informationstragenden Ansicht gelangen kann.

Bei Pad [PF93] und Pad++ [BH94] wird diese Problematik durch eine Limitierung der Bewegungsfreiheit auf eine geleitete, automatische Navigation ausgeschlossen. Der Anwender kann sich mittels automatischen Zoomings auf gewisse zoombare Bereiche fokussieren. Die Navigationswege sind hierbei klar vorgegeben. Bei großen und gering strukturierten Informationsräumen ist es jedoch schwierig, gute Pfade für das automatische Zooming vorzugeben. Büring et al. [BGR06] versuchen den Anwender daher nicht auf fixe Pfade einzuschränken, sondern diesen zu leiten. Der Benutzer kann sich vermeintlich frei in einem Scatterplot-artigen ZUI bewegen, wobei der manuell vom Benutzer gesetzte ZRP beim Zoomen jeweils auf das Zentrum des am nächsten verorteten Informationsobjektes verschoben wird. Somit kann gewährleistet werden, dass immer ein informationstragender Bereich des ZUIs angesteuert wird, ohne den Anwender zu sehr in seiner Exploration einzuschränken.

Die meisten der gerade besprochenen Interaktionsmechanismen beruhen auf einem animierten Zooming. Hierbei wird durch eine Animation zwischen Start- und End-Ansicht des Zooming-Vorgangs dem Anwender ein kontinuierlicher und „sanfter“ Übergang bereitet. Bei der Navigation mit animiertem Zooming hat der Anwender so die Möglichkeit, die Bewegung im Informationsraum visuell mitzuverfolgen und sich zu orientieren. Beim „Jump Zooming“ findet dagegen ein harter Wechsel ohne Übergang statt. Diese Art des

Zoomings wird vor allem in frühen ZUIs, wie Dataland und Pad, und in vielen webbasierten ZUIs, wie Google Maps² und MapQuest³, angewendet.

Bederson und Boltman [BB99] überprüften, inwieweit Zooming mit und ohne sanften Übergang (Animated vs. Jump Zooming) einen Einfluss auf die Fähigkeit des Anwenders hat, ein mentales Modell eines Informationsraumes aufzubauen. Die 20 Probanden des Experimentes konnten infolge des animierten Zoomings signifikant besser die räumliche Gesamtstruktur eines nur partiell dargestellten Familienstammbaumes rekonstruieren als unter Anwendung des Jump Zoomings.

Bei animierter Ansichtstransformation wurden weniger Fehler gemessen und 75% der Probanden äußerten, dass die Animation ihnen beim Erlernen der Beziehungen zwischen den Daten geholfen habe. In Bezug auf die Benutzerzufriedenheit und die Bearbeitungszeit konnte kein signifikanter Unterschied gemessen werden, obwohl das animierte Zooming infolge der Animation für jeden Ansichtswechsel eine Sekunde mehr als Jump Zooming benötigte.

Bederson und Boltman wählten in ihrem Experiment eine konstante Animationsdauer für die Ansichtstransformation. Card et al. [CRM91] schlagen ebenfalls für das animierte Zooming eine konstante Animationsdauer von einer Sekunde vor. Dies ermöglicht einerseits einen gleichbleibend effizienten Zugriff auf alle Objekte, egal wie tief sie im Informationsraum verortet sind. Andererseits variiert aber die Zooming-Geschwindigkeit in Abhängigkeit zur Skalierungsdifferenz – dem Tiefenabstand von Ausgangs- zur Endposition der Animation –, wodurch es dem Anwender vor allem bei sehr hohen Geschwindigkeiten schwer fällt, der Navigation kognitiv zu folgen.

Eine konstante Skalierungsrate bei einer variablen Animationszeit verwendeten Guo et al. [GZW00] in einem Experiment mit 34 Probanden, mit welchem sie ihre These der Existenz einer optimalen Zooming-Geschwindigkeit versuchen zu untermauern. Bei einer Skalierungsrate von 8 Faktoren pro Sekunde (z.B. achtfache Vergrößerung innerhalb einer Sekunde) wurden hierbei die geringsten Bearbeitungszeiten gemessen. In dem Experiment konnten aber keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Benutzerzufriedenheit und der Fehlerhäufigkeit festgestellt werden.

Vor allem beim manuellen Zooming, bei welchem der Anwender interaktiv die Ansichtstransformation direkt steuert, ist die optimale Skalierungsrate auch abhängig von der Präzision und Effizienz des Eingabegerätes. Im anschließenden Kapitel 3.2 sollen aufgrund dessen klassische und auch neue bzw. unkonventionelle Eingabegeräte zur Steuerung der Interaktion von Zoomable User Interfaces näher betrachtet werden.

²Google Maps: Suchdienst für geographische Daten und Kartenmaterial, <http://maps.google.com/>.

³MapQuest: Online Routenplaner und Kartendienst, <http://www.mapquest.com/>.

3.2 Potentielle Eingabegeräte für ZUIs

Angesichts der Vielfalt an unterschiedlichen Interaktionsmechanismen für Zoomable User Interfaces ist es nicht verwunderlich, dass die Steuerung dieser mit den konventionellen Eingabegeräten Maus und Tastatur ebenso verschieden ausfällt. Ein gemeinsames Konzept zur Verwendung der Standardgeräte konnte sich bisher noch nicht durchsetzen, wodurch der Anwender für jedes ZUI erneut die Handhabung dieses erlernen muss. Es stellt sich darüber hinaus die Frage, ob für das eher räumlich orientierte Zooming und Panning nicht auch andere Eingabegeräte ebenso oder besser geeignet wären. Die meisten der bisher vorgestellten ZUIs setzen wohl eher aus Gründen der Vergleichbarkeit und der Kompatibilität auf die Standardgeräte, wobei deren Bedienung durch andere Eingabegeräte technisch und konzeptionell nicht ausgeschlossen ist.

Für die manuelle Steuerung des Zoomings in einem ZUI ist der Zooming Reference Point (ZRP, siehe Kapitel 3.1), die Zooming-Richtung (Ein- oder Auszoomen), die Geschwindigkeit des Zoomings und die Dauer des Vorgangs von Relevanz. Für einen flüssigen, flexiblen und präzisen Zooming-Vorgang ist die Möglichkeit der dynamischen Kontrolle dieser Parameter von elementarer Bedeutung. Beim manuellen Panning ergeben sich aus Anfangs- und Endpunkt die Richtung und die Weite der Ansichtstransformation. Die automatischen Zooming- und Panning-Varianten benötigen meist nur eine Aktivierung des Zielobjektes, beispielsweise durch Anklicken oder Umrahmung.

Bederson et al. konzentrieren sich beim Steuerungskonzept, für Anwendungen auf der Basis des ZUI-Toolkits Piccolo [BGM04] vornehmlich auf die Interaktion mit der Maus. Die aktuelle Mausposition definiert den statischen ZRP und die horizontale Bewegung steuert dynamisch die Zooming-Richtung und -Geschwindigkeit. Hierdurch wird zwar nur eine Hand für die Navigation benötigt, der beim Zooming-Vorgang nur anfangs definierbare, statische ZRP lässt aber keine flexible, flüssige Interaktion zu. Ebenfalls scheint das Abtragen eines ein-dimensionalen Parameters wie die Zooming-Geschwindigkeit auf ein zwei-dimensionales Eingabegerät wie die Maus im Sinne der Bedienbarkeit und der Erwartungskonformität nicht optimal. Obwohl der Anwender die Maus in alle Richtungen auf der Fläche frei bewegen kann, werden nur die horizontalen Differenzen als Eingabe interpretiert.

Raskin setzt bei der Steuerung seines ZoomWorld Demos⁴ auf eine Kombination aus Tastatur und Maus. Die Zooming-Richtung wird hier durch die Richtungstasten der Tastatur gesteuert, wodurch Raskin die Mausposition über den ganzen Zooming-Vorgang hinweg als dynamischen ZRP interpretieren kann. Während des Einzoomens zeigt der Anwender beispielsweise einfach nur mit der Maus die Stelle im Informationsraum, auf welche er zoomen möchte. Zeitlicher Start- und Endpunkt sowie die Richtung der Skalierung kon-

⁴Jef Raskin, ZoomWorld Demo, <http://rchi.raskincenter.org/demos/zoomdemo.swf>.

trolliert der Anwender mit der anderen Hand. Die Geschwindigkeit des Zoomings kann bei Raskin aber nicht variiert werden, da die Richtungstasten nur als binäre Schalter ausgelegt sind.

Donelson verwendet in seinem Dataland [Don78] für die dynamische Steuerung des ZRPs und der Zooming-Geschwindigkeit zwei unabhängige Joysticks. Ähnlich wie bei Piccolo bezüglich der Regelung der Zooming-Geschwindigkeit mittels der Maus, scheint auch hier der zwei-dimensionale Joystick für die Kontrolle des ein-dimensionalen Parameters Geschwindigkeit nicht optimal geeignet zu sein.

Eine bessere Übereinstimmung von virtuellen und realen Interaktionsmöglichkeiten bieten ein-dimensionale, Wippen-artige Eingabegeräte (siehe Abbildung 3.1). Diese können im ZUI zur Steuerung der Geschwindigkeit und der Skalierungsrichtung mit der Hand oder dem Fuß verwendet werden. Ausgehend von der neutralen Mittelstellung der Wippe beginnt bei einer Neigung nach vorne das Einzoomen in die Informationslandschaft, wobei die Geschwindigkeit abhängig vom Neigungswinkel geregelt wird. Analog löst eine Neigung nach hinten das Herauszoomen mit der entsprechenden Geschwindigkeit aus. Ähnliche Interaktionsmechanismen finden seit Jahren schon in sicherheitsrelevanten Benutzerumgebungen, wie in Flugzeug- und Schifffahrtscockpits, oder auch in der Musik- und Textilproduktion regen Einsatz. In Kombination mit einem zwei-dimensionalen Zeigergerät wie Maus oder Joystick für die dynamische Kontrolle des ZRPs ermöglicht eine Fuß- oder Handwippe eine sehr flexible und konsistente Art der Navigation in einem Zoomable User Interface.



Abbildung 3.1: Links: Fußwippe für Lautstärkeregelung im Audio-Bereich. Rechts: Handwippe für die Drosselsteuerung bei Flugsimulatoren.

Eine noch konsequentere Umsetzung der realen Bewegung in die virtuelle ermöglicht der ChairIO [BBH05] der Universität Hamburg. Dieser basiert auf einem frei dreh-, kipp- und höhenverstellbaren Hocker, welcher durch geeignete Sensorik als drei- oder mehrdimensionales Eingabegerät verwendet werden kann. Der Anwender steuert sitzend mit-



Abbildung 3.2: Links: ChairIO, ChairBased 3D Interface. Rechts: ChairIO Demonstration im Rahmen des Genfer Automobil-Salons 2006 [BBH05].

tels Gewichtsverlagerung verschiedenste Benutzeroberflächen (siehe Abbildung 3.2). Für Zoomable User Interfaces können die Bewegungen entlang der drei Raumachsen und deren Kombinationen direkt auf die Navigation im Informationsraum übertragen werden. Die Rotation im Raum ist im Gegensatz zu virtuellen 3D-Umgebungen im ZUI nicht vorgesehen. Die Zoom- und Panning-Geschwindigkeit wird analog zur vorher beschriebenen Wippe durch den Neigungswinkel des Hockers in die jeweilige Richtung bestimmt.

In einer ersten Studie mit neun Probanden wurde die Navigation mit dem ChairIO in einer virtuellen Umgebung als kognitiv gering belastend, präzise und effektiv empfunden. Ohne vorherige Erklärung wurde das Interaktionskonzept verstanden und die Probanden äußerten, Spaß bei der Benutzung des ChairIO empfunden zu haben.

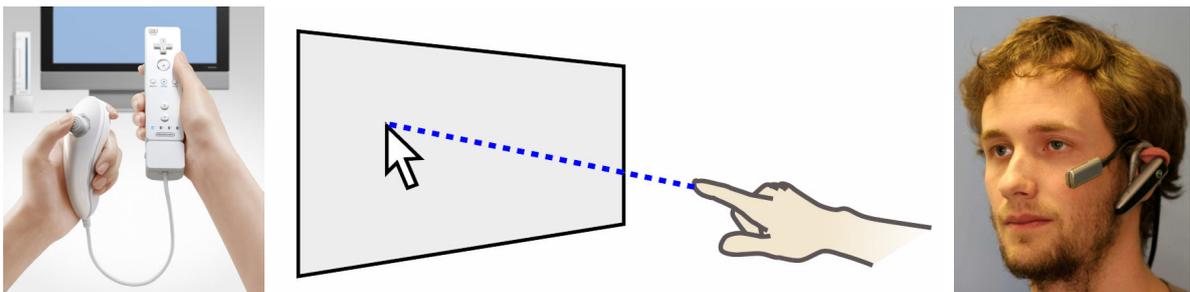


Abbildung 3.3: Links: Nintendo Wii Controller⁵. Mitte: Hand & Gesture-Tracking [VB05]. Rechts: ViewPointer Eye-Tracker [SVS05].

Als Eingabegeräte für die Bedienung von Zoomable User Interfaces sind sicherlich auch Controller von Spiele-Konsolen, wie der des Nintendo Wii⁵ mit Lage- und Bewegungssensorik, oder der Mensch selbst mittels Hand-, Körper-, Augen- und Gesten-Erkennung

⁵Nintendo Wii Controller (aka. Revolution), <http://wii.nintendo.com/>.

[VB05][SVS05] interessant (siehe Abbildung 3.3). Obwohl diese eher unkonventionellen Geräte noch wenig Verbreitung und Anwendung finden, sollte die Steuerung von ZUIs nicht auf die klassischen Standardgeräte – Maus und Tastatur – reduziert werden, sondern je nach Anwendungsdomäne, Informationsraum und verwendeter Interaktionsmechanismen eine Wahl aus der Vielzahl der möglichen Eingabegeräte getroffen werden, um ihr volles Potential ausschöpfen zu können. Angesichts der Tatsache, dass die Tastatur noch aus der Ära der analogen Schreibmaschinen stammt und für diese Anwendungsdomäne entwickelt wurde, sollte immer wieder neu über alternative oder verbesserte Eingabegeräte nachgedacht werden.

3.3 Physiologische und Psychologische Aspekte

Aufgrund der durch das Internet und der globalen Digitalisierung angestiegenen Anzahl an zugänglichen Informationen, deren komplexen Strukturen und heterogenen Ausprägungen, ist der Anwender einer Benutzeroberfläche mehr als je zuvor darauf angewiesen, dass die angebotenen Informationen, Funktionen und Abläufe auf möglichst benutzerfreundliche Art und Weise zugänglich gemacht werden. Hierfür ist die Berücksichtigung der physiologischen und psychologischen Fähigkeiten und Restriktionen des Menschen für die Gestaltung von Benutzeroberflächen und des Interaktionsdesigns unabdinglich.

Obwohl die kognitive Psychologie bei der Entschlüsselung des Wahrnehmungsprozesses seit Ende der 60er Jahre große Fortschritte gemacht hat und wir heute, im Vergleich zu den Pionieren des Oberflächendesigns von damals, über eine fundiertere Wissensbasis verfügen, so bleiben dennoch einige Phänomene und deren Ursachen im Unklaren. Die begrenzte Kapazität der menschlichen Wahrnehmung ist aber ein klares Faktum.

Die Anatomie des Auges lässt eine detaillierte Aufnahme des Gesehenen nur in der Fovea, einer zentral gelegenen Grube auf der Retina mit der höchsten Rezeptorendichte, zu. Experimente zeigen, dass nur ein bis vier Grad des ca. 170 Grad messenden Sehbereichs im nutzbaren Sichtfeld (Useful Field of View) liegen und damit scharf gesehen werden können [Wic92]. Eine Szene wird daher seriell infolge mehrerer Fixationen und Sakkadensprünge wahrgenommen. Triesman and Gormican [TG88] zeigten, dass einfache visuelle Objekte mit einer Rate von 40 - 50 ms verarbeitet werden, woraus bei einer typischen Fixationsdauer von 100 - 300 ms eine Anzahl von zwei bis sechs verarbeiteten Objekten pro Fixation resultiert.

Das Abbild der Retina bzw. die Sinneseindrücke einer Fixation werden im „Ikonischen Gedächtnis“ für die Dauer von ca. 200 ms zur weiteren Verarbeitung und Überführung ins Kurzzeitgedächtnis vorgehalten [Phi74]. Obwohl mehrere Objekte verarbeitet werden, können nur 7 ± 2 im Kurzzeitgedächtnis⁶ gespeichert, mit Strukturen aus dem Langzeitgedächtnis verglichen und somit identifiziert werden [Mil56].

Angesichts dieser Limitierungen hinsichtlich Optik, Verarbeitung und Speicherung des visuellen Wahrnehmungsapparats wird klar, dass, um eine möglichst effektive Kommunikation zwischen Mensch und Computer zu ermöglichen, die dargestellten Informationen in Anzahl und Art mit Bedacht ausgewählt werden müssen. Der in der Motivation der vorliegenden Arbeit schon erwähnte Trend zur Erhöhung des Detailreichtums von Elementen der Benutzeroberfläche – wie Fenster, Buttons oder Icons – erscheint diesbezüglich eher kontraproduktiv, da aus der hohen Informationsdichte nur eine Teilmen-

⁶Die Begriffe Kurzzeitgedächtnis (Short-Term Memory) und Arbeitsgedächtnis (Working Memory) werden hier synonym verwendet.

ge aktiv wahrgenommen werden kann. Diese Teilmenge stimmt nicht unbedingt mit der Menge an sinntragenden Informationen überein.

Man könnte hieraus folgern, dass redundante Informationsdarstellungen in Form einer Kombination aus Text und Bild für einen einzigen Sachverhalt – was bei GUIs häufig Anwendung findet – die limitierten Ressourcen des Wahrnehmungsprozesses unnötig verschwendet. Das Gegenteil ist der Fall [WM92]. Die verschiedenen Typen von sensorischen Reizen werden nicht alle von einer zentralen Einheit des Kurzzeitgedächtnisses, sondern von getrennten Komponenten mit jeweils limitierter aber unabhängiger Kapazität verarbeitet [BL99].

In der kognitiven Psychologie gibt es verschiedene Modelle des Kurzzeitgedächtnisses mit unterschiedlicher Differenzierung der Reizarten. Eine überwiegende Übereinstimmung herrscht jedoch bei der Trennung von auditiven bzw. verbalen und visuellen Reizen [MS99].

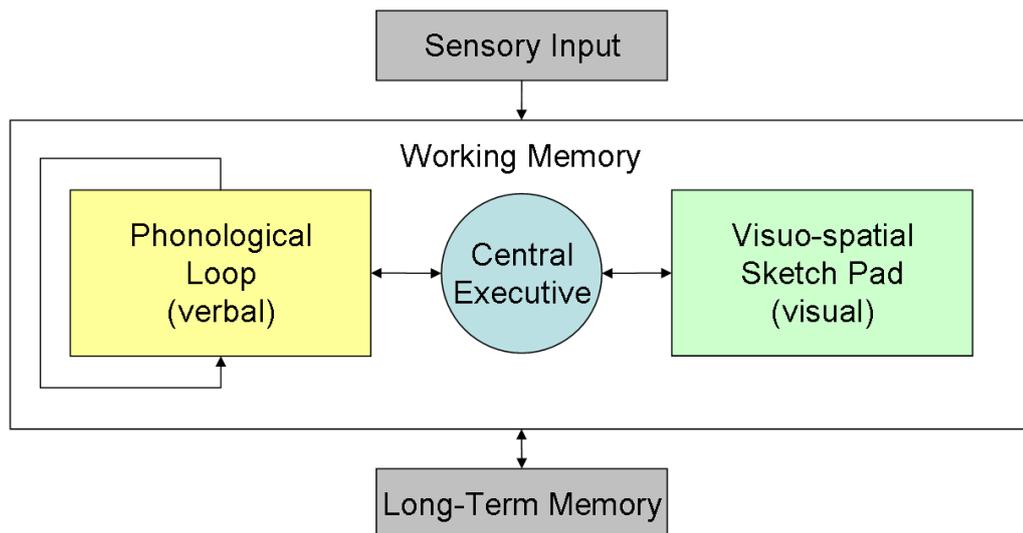


Abbildung 3.4: Modell des Kurzzeitgedächtnisses nach Baddeley und Logie [AM99].

Nach dem Modell von Baddeley und Logie [BL99] (siehe Abbildung 3.4) werden die verbalen und auditiven Reize in der phonologischen Schleife (Phonological Loop) sequentiell verarbeitet, wohingegen visuelle Eindrücke parallelisiert in dem visuell-räumlichen „Notizblock“ (Visuo-spatial Sketch Pad) ausgewertet werden. Die Funktion der „Zentralen Exekutive“ (Central Executive) besteht vornehmlich in der Kontrolle und Koordination der Subsysteme. Obwohl die visuell aufbereitete Sprache in Form von gedrucktem Text prinzipiell kein auditiver Reiz darstellt, so wird dennoch das Gelesene gleichsam mit den auditiven Reizen in der phonologischen Schleife verarbeitet. Im Folgenden wird daher nicht mehr zwischen auditiven Reizen und visuell wahrgenommener Sprache unterschieden, sondern beides als verbaler Reiz aufgefasst.

Ein deutlicher Hinweis auf die getrennte Wahrnehmung von verbalen und visuellen Reizen stellt das Phänomen der artikulatorischen Unterdrückung dar. Hierbei wird in Experimenten die phonologische Schleife durch die wiederholende Artikulation eines irrelevanten Wortes (z.B. „blah“) gestört, wodurch sich die verbale Gedächtnisleistung von Probanden erheblich reduziert. Die räumlich-visuelle Leistung, also die Speicherung von visuellen Objekten und deren Lokationen bleibt davon unberührt [PH96].

Eine Einfluss der Aufmerksamkeitsbeanspruchung auf diesen Effekt kann ausgeschlossen werden, da bei vergleichbar Aufmerksamkeit beanspruchende Leistungen wie „auf den Tisch klopfen“ keine Störung der verbalen Gedächtnisleistung auftritt [BLV84].

Die getrennte Verarbeitung von verbalen und visuellen Informationen durch unterschiedliche Subsysteme und deren unabhängige Kapazität bereitet offensichtlich eine Chance für grafische Benutzeroberflächen. Werden nicht nur Texte, sondern auch grafische Elemente und Positionen als Informationsträger verwendet, kann dem Anwender durch die Kombination der autonomen Kanäle in Summe eine höhere Wahrnehmungskapazität unterstellt werden. Dennoch darf auch bei grafischen Benutzeroberflächen die Limitierung der einzelnen Kommunikationskanäle nicht außer Acht gelassen werden.

Die von Miller [Mil56] vorgeschlagene Wahrnehmungskapazität von 7 ± 2 Elementen bezieht sich aufgrund der Auslegung der untersuchten Experimente vornehmlich auf die phonologische Schleife. Für den visuell-räumlichen „Notizblock“ kann nach Vogel et al. [VWL01] abhängig von Aufgabe und Anordnung ein Erinnerungsvermögen von drei bis fünf Objekten inklusive Farb-, Form- und Textur-Informationen festgestellt werden.

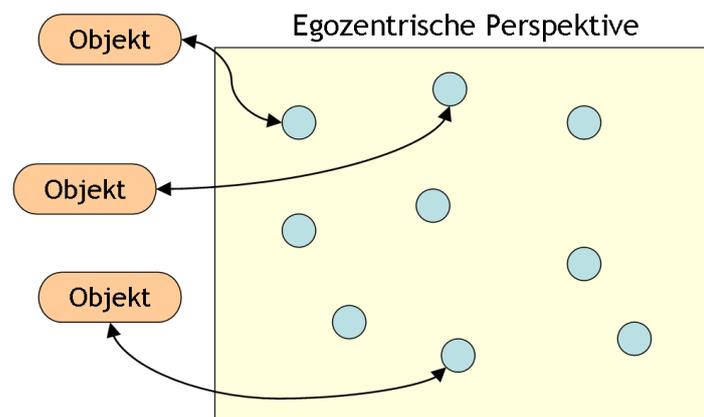


Abbildung 3.5: Neun räumliche Positionen werden im Kurzzeitgedächtnis gespeichert, aber nur drei davon aktiv als Objekte vorgehalten [War04].

Die Anzahl der räumlichen Informationen, welche im Kurzzeitgedächtnis behalten werden können, übersteigt die Anzahl der merkbaren Objekte. Nach Postma et al. [PIH98] werden ca. neun Positionen relativ zum Betrachter abgespeichert, wobei nur drei direkt

mit gesehenen Objekten verbunden sind. Bei den restlichen Positionen kann der Betrachter sich nur merken, dass sich an der betreffenden Stelle etwas befindet, aber nicht was (siehe Abbildung 3.5).

3.3.1 Informationsorganisation

Wenn man eine typisch grafische oder auch rein textbasierte Benutzeroberfläche betrachtet, erscheint eine Speicherkapazität von drei bis neun Objekten nicht unbedingt als ausreichend, um für die aktuelle Situation alle wichtigen Informationen vorzuhalten. Auch für die Orientierung im menschlichen Alltag oder bei der automobilen Fortbewegung erscheint diese Limitierung eher bedenklich. Aufgrund der Tatsache, dass wir dennoch komplexe Objekte und Szenen in kürzester Zeit wahrnehmen, verarbeiten und über Jahre hinweg abspeichern können, ist es offensichtlich, dass hier noch andere Prozesse oder Faktoren beteiligt sind. Interessant für diese Betrachtung und dementsprechend auch für die benutzergerechte Gestaltung von Benutzeroberflächen ist die Organisation der wahrgenommenen Informationen im Kurz- und Langzeitgedächtnis und deren Aktivierung im Falle der Wiedererkennung oder Erinnerung.

Die im Kurzzeitgedächtnis vorgehaltenen Informationen werden nach Kahneman et al. [KTG92] in Objektmappen (object files), temporären Gruppierungen von visuellen Merkmalen und Verweisen zu verbalen Informationen, organisiert. Die Objektmappen stellen neuronale Aktivierungsmuster dar, welche verbale und visuelle Strukturen im Langzeitgedächtnis stimulieren und dadurch eine Objektidentifikation hervorrufen.

Das Langzeitgedächtnis kann nach Collins et al. [CL75] am besten durch ein Netzwerk von verlinkten Konzepten charakterisiert werden. Konzepte stellen dabei Informationseinheiten bzw. Begriffe dar, welche mit anderen in Beziehung stehen können. Beispielsweise könnte der Begriff ZUI mit den Informationseinheiten Mensch-Computer Interaktion, Navigation, Benutzer, Psychologie und Eingabegeräte in Verbindung stehen. Diese Begriffe können ebenfalls mit weiteren verbunden sein, wodurch sich ein Netzwerk ergibt, welches Knoten mit hoher und geringer Kantenanzahl beinhaltet (siehe Abbildung 3.6).

Wird ein Objekt aus dem Kurzzeitgedächtnis verarbeitet, steht dieses im Kontext des unmittelbar vorher real oder mental Wahrgenommenen. Aktuell wahrgenommene Konzepte mit einer geringen Distanz zum bisherigen Kontext, also zum gerade aktivierten Konzept, werden schneller gefunden. Bei „großen“ Distanzen kann es Minuten, Stunden oder sogar Tage dauern bis der Pfad zum Knoten bzw. die Informationen gefunden werden [War04]. Daraus erklärt sich auch, wieso der Wiederaufruf (Recall) von Informationen oft viel länger dauert und schwieriger ist, als das Wiedererkennen (Recognition). Sehen wir ein bekanntes Gesicht, können wir relativ schnell Namen, Situationen oder

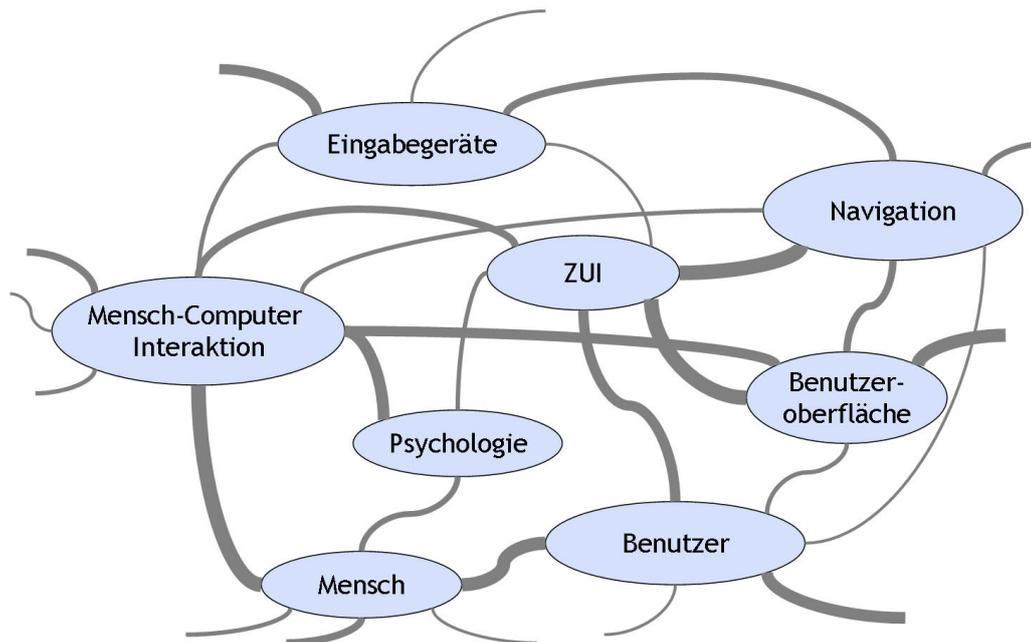


Abbildung 3.6: Individuelles Netzwerk verlinkter Konzepte um den Begriff ZUI.

Gefühle mit der Person verbinden, da diese im Kontext des Gesehenen stehen. Andersherum ist es aber wesentlich schwieriger, ohne Kontext etwas mit einem Namen zu verbinden. Im Bezug auf Benutzeroberflächen ist es sicherlich einfacher, eine Datei anhand eines Thumbnails zu erkennen, als sich ohne Kontext an den Dateinamen und das entsprechende Verzeichnis zu erinnern.

Des Weiteren wird das Netz bezüglich der aktuellen kognitiven Anforderungen, zu einem gewissen Grad kontinuierlich angepasst, reorganisiert und priorisiert [AM89]. Ein gesehenes Bild prägt die nachfolgende Wahrnehmung insoweit, dass dieses schneller wieder identifiziert werden kann [BS99]. Dieser Effekt wird in der kognitiven Psychologie auch als „Priming“ bezeichnet.

Die beschriebenen Konzepte, welche im Netzwerk untereinander verlinkt sind, werden als „Chunks“ bezeichnet. Ein Chunk stellt dabei eine Gruppierung von einfacheren Konzepten in ein komplexeres dar. Dadurch ergibt sich ein hierarchischer Aufbau, der rekursiv angewendet werden kann. Expertenwissen bezüglich einer Domäne zeichnet sich nach Colin Ware [War04] durch eine effektive Struktur von Chunks aus. Die Chunks werden im Laufe der Gewinnung von neuen Erfahrungen feiner gegliedert, erweitert, umgeordnet oder auch verworfen.

Die Kombination aus Netzstruktur und Hierarchie ergibt nicht nur ein höchst flexibles Gebilde, sondern ermöglicht auch ein hohes Maß an Abstraktion. Wie schon erwähnt, kann das verbale Kurzzeitgedächtnis 7 ± 2 Elemente speichern. Wie kann man sich dem-

zufolge einen ganzen Satz mit mehreren Wörtern merken, wenn schon einzelne Wörter aus mehr als sieben Buchstaben bestehen und damit vermeintlich die verbale Kapazität überschreiten? Oder ein ganzer Abschnitt? Die Lösung liegt in der Abstraktion. Wenn die Buchstaben eine für den Menschen bekannte Reihenfolge bilden, werden nicht diese einzeln gespeichert, sondern der entsprechende Chunk aktiviert. Man merkt sich nicht die Buchstaben, sondern den Sinn des Wortes.

Bei einer unbekanntem Reihenfolge, wie „jsasv djkluf“, ist aufgrund der fehlenden Chunks, so lang keine Abstraktion möglich, bis dieser Chunk gelernt und im Langzeitgedächtnis vernetzt ist. Die Abstraktion bedingt natürlicherweise auch eine Reduktion des Detailwissens. Liest man einen Abschnitt, so weiß man danach noch dessen Inhalt, aber nicht unbedingt welche Wörter verwendet wurden.

Die Abstraktion wird bei verbalen, wie auch bei visuellen Informationen angewendet. Beim Betrachten eines Baumes wird nicht jeder Ast und jedes Blatt gespeichert, sondern der Chunk „Baum“ und weitere Chunks bezüglich der Merkmale Form, Farbe, Muster und Position aktiviert. Bilder sind zumeist informationsreicher und differenzierter als Text, wodurch mehr Verbindungen im Netzwerk aktiviert werden. Dadurch stellen Bilder auch einen hoch effizienten Weg der verbalen Kommunikation dar. Visuelle Bilder können verbale Informationen in weniger als 100 ms aktivieren [Pot76], wobei bevorzugt vorhandene Chunks aufgerufen, als neue generiert werden [IH92].

3.3.2 Visuelle vs. verbale Informationen

Sollen nun visuelle Informationen aufgrund der angesprochenen psychologischen Erkenntnisse den verbalen vorgezogen werden? Diese Frage kann nur unter Berücksichtigung des zu kommunizierenden Sachverhaltes, des Kontextes und des Ziels beantwortet werden.

Die gesprochene oder geschriebene Sprache basiert auf einer allgemein anerkannten und teilweise reglementierten Syntaktik und Semantik. Damit kann mit der Sprache eine gewisse Eindeutigkeit und Allgemeingültigkeit gewährleistet werden, wohingegen Bilder eher subjektiv und aus dem Kontext heraus interpretiert werden. Sollen zeitliche Abhängigkeiten und abstrakte Konzepte vermittelt werden, ist die verbale Kommunikation zu bevorzugen [War04].

Für räumliche Gegebenheiten und strukturelle Zusammenhänge sind visuelle Mittel besser geeignet [War04]. Bilder können durch ihre breite Aktivierung und ihren Informationsreichtum einen Kontext bereiten, für welchen viele Wörter notwendig wären. Darüber hinaus arbeitet die für die verbale Verarbeitung zuständige phonologische Schleife im Kurzzeitgedächtnis die Informationen sequentiell ab, wohingegen der visuell-räumliche

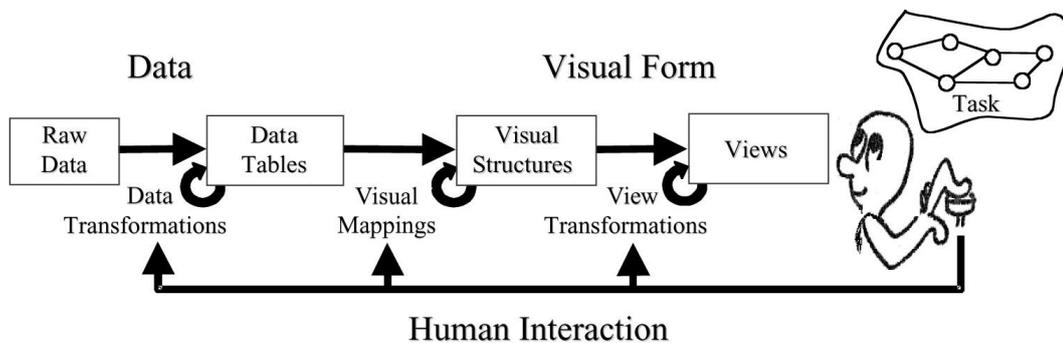
„Notizblock“ hochgradig parallelisiert vorgeht. Nicht nur Gedächtnistechniken, wie die „Method of Loci“ [Yat66], weisen auf die förderlichen Eigenschaften von visuellen Informationen auf die Gedächtnisleistung hin, sondern auch Experimentaluntersuchungen unterstreichen dies [BKD75].

Wie schon bei der Wahrnehmungskapazität des Kurzzeitgedächtnisses beschrieben, kann sich aus der Kombination aus Schrift und Bild, aus dem Verbalen und Visuellen ein Mehrwert ergeben, der getrennt nicht zu erreichen ist. Empirische Untersuchungen aus dem Bereich „Multimedia Learning“ unterstreichen die positive Auswirkung von gezielter und Aufgaben angepasster Kombination von visuellen und verbalen Informationen auf das Verständnis und die Gedächtnisleistung der Betrachter [May01].

3.4 Referenzmodell der Informationsvisualisierung

„Information Visualization is the use of interactive visual representations of abstract data to amplify cognition“, Colin Ware [War04].

Die für die Informationsvisualisierung notwendige Aufbereitung von Daten und deren Umformung in eine visuelle Abbildung variiert je nach Anwendungsdomäne, Datenart und aktueller Interaktion. Dennoch kann der grundlegende Prozess der Visualisierungsgewinnung generalisiert durch ein einheitliches Referenzmodell beschrieben werden. Card et al. [CMS99] gliedern diesen Prozess in ihrem Referenzmodell der Informationsvisualisierung in die wesentlichen Teilprozesse Datentransformation (Data Transformations), visuelle Zuordnung (Visual Mappings) und Ansichtstransformation (View Transformations) auf (siehe Abbildung 3.7).



Raw Data: idiosyncratic formats
Data Tables: relations (cases by variables) + meta-data
Visual Structures: spatial substrates + marks + graphical properties
Views: graphical parameters (position, scaling, clipping, ...)

Abbildung 3.7: Referenzmodell der Informationsvisualisierung nach Card [Car03].

Die Datentransformation reorganisiert die Rohdaten beliebigen Ursprungs und Formats in einheitliche Datentabellen mit funktionalen Bezügen und bereitet diese für die weitere Verarbeitung auf. Im nächsten Schritt werden den Inhalten visuelle Strukturen, wie räumliche Position, Farbe, Form und Orientierung zugewiesen und somit eine grafische Repräsentation der Werte erstellt. Die Ansichtstransformation wandelt die visuellen Strukturen in eine Gesamtansicht unter Berücksichtigung von Ansichtsmulationen, wie visueller Verzerrung, Skalierung und Rotation um, welche der Anwender schlussendlich betrachten, interpretieren und verändern kann.

Der Anwender kann zur Adaption der Visualisierung an seine Bedürfnisse auf jeden Teilprozess des Referenzmodells einwirken und so interaktiv die resultierende Visualisierung manipulieren. Beispielsweise kann er die anzuzeigende Datenmenge eingrenzen, einzelne

Werte aggregieren, die räumliche Anordnung bezüglich ausgewählter Metadaten vornehmen oder einen Zooming-Effekt durch entsprechende Ansichtsskalierung und -translation erwirken. Die schnelle, gegenseitige Reaktion der Generierung der Visualisierung durch die Maschine sowie der Manipulation der Visualisierungsparameter durch den Benutzer sind die Stärken der interaktiven Informationsvisualisierung [Car03].

3.4.1 Datentransformation

Die Rohdaten können verschiedenen Ursprungs und Formats sein, von Suchergebnissen über Volltexte bis hin zu medialen Inhalten. Bei der Datentransformation werden diese diversen Rohdaten in einheitlich strukturierten Datentabellen organisiert, welche infolge dessen auch eine einfachere Zuordnung von visuellen Strukturen ermöglichen [CMS99].

FilmID	230	105	540	...
Title	Goldfinger	Ben Hur	Ben Hur	...
Director	Hamilton	Wyler	Niblo	...
Actor	Connery	Heston	Novarro	...
Actress	Blackman	Harareet	McAvoy	...
Year	1964	1959	1926	...
Length	112	212	133	...
Popularity	7.7	8.2	7.4	...
Rating	PG	G	G	...
FilmType	Action	Action	Drama	...

Abbildung 3.8: Datentabelle mit Filminhalten nach Card [Car03].

Die Datentabellen halten die Inhalte in Variablen-Tupeln mit funktionalen Bezügen zu ihren Metadaten und einer Art Schlüsselwert (Cases) vor. Die Datentabelle aus Abbildung 3.8 enthält beispielsweise Filmdaten, wobei auf der linken Seite zeilenweise die Metadaten und im Tabellenkopf für die in Spalten angeordneten Tupeln die Schlüsselwerte spezifiziert werden. Ein großer Vorteil aus dieser Anordnung für die weitere Verarbeitung ergibt sich aus dem funktionalen Zugriff auf die Daten (siehe Gleichung 3.1 und Beispiel 3.2).

$$f(\text{input variables}) = \text{output variables} \quad (3.1)$$

$$\text{Year}(\text{FilmID} = 105) = 1959 \quad (3.2)$$

Mit dieser einheitlichen und sehr flexiblen Datenschnittstelle können komplexe Datentransformationen, beispielsweise zur Gewinnung von abgeleiteten Variablen, wie statistischen Kennwerten dynamisch durchgeführt werden. Ebenso ist eine Transformation von Variablentypen, beispielsweise von metrischen zu nominalen Daten möglich.

3.4.2 Visuelle Zuordnung

Der Kernprozess des Referenzmodells stellt die Zuordnung von visuellen Elementen bzw. grafischen Eigenschaften zu den aufbereiteten Inhalten der Datentabellen dar. Eine gute visuelle Repräsentation muss ausdrucksstark sein und die inhärenten Informationen klar dem Betrachter kommunizieren, ohne zusätzliche vermeintliche Informationen durch die Abbildung einzuführen. Des Weiteren ist für eine gute visuelle Zuordnung die Effektivität der Kommunikation von Bedeutung. Die Visualisierung sollte auf die Fähigkeiten und Restriktionen des menschlichen Wahrnehmungsapparates zugeschnitten sein und somit eine schnelle und fehlerlose Interpretation der Daten ermöglichen.

Für die Informationsvisualisierung haben sich vor allem die folgenden Klassen von visuellen Merkmalen als geeignet für die Kodierung von Informationen heraus gestellt:

1. Räumliche Anordnung
2. Zeichentyp
3. Verbindung
4. Kapselung
5. Präattentive Merkmale
6. Zeitliche Kodierung

Die räumliche Anordnung (1.) ist eines der dominantesten und ausdrucksstärksten Merkmale [Mac95]. Stuart Card [Car03] empfiehlt sogar, zuerst die Variablen für die räumliche Anordnung auszuwählen und dann im Anschluss für die restlichen Variablen zu entscheiden, welches der übrig gebliebenen Merkmale noch geeignet erscheint. Vor allem für den Vergleich von Werten und für die Identifizierung von Mustern ist eine räumliche Abbildung der Daten dienlich. Bei der räumlichen Anordnung wird in den Ansichtsbereich ein kartesisches Koordinatensystem der gewünschten Dimensionalität gelegt und auf die Koordinatenachsen die entsprechenden Variablen abgetragen. Je nach Variablentyp (nominal, ordinal, metrisch) können unterschiedliche Informationen aus der Position der Datenrepräsentation im Koordinatensystem bzw. aus der Achsenaufteilung geschlossen werden. Der Zeichentyp (2.) definiert die Dimensionalität der Darstellung einer Datenrepräsentation. Grundsätzlich werden vier Elementartypen unterschieden: Punkte (0D), Linien (1D), Bereiche (2D) und Körper (3D). Im Unterschied zu ihren mathematischen Eigenschaften besitzen Punkte und Linien bei ihrer Darstellung tatsächlich zwei Dimensionen, da sie ansonsten in der Ansicht nicht sichtbar wären. Verbindungen (3.) zwischen

Datenrepräsentationen können zusätzliche Informationen, wie Hierarchiegefüge und Relationen kommunizieren. Über die räumliche Position hinaus vermitteln Verbindungslinien eine Zusammengehörigkeit oder Gleichstellung bezüglich einer Variablen. Dabei können mittels Kapselung (4.) Untermengen durch eine visuelle Eingrenzung mit Rahmen oder Kreisen dargestellt werden. Die Erkennung und Unterscheidung präattentiver Merkmale (5.), wie Form, Farbe, Orientierung, Textur und Größe erfolgt beim Menschen durch den visuellen Wahrnehmungsapparat parallel und ohne Beanspruchung der Aufmerksamkeit. Daher eignen sich diese Merkmale hervorragend für die Abbildung von diversen Variablen. Hierbei ist aber zu beachten, dass die Effizienz und Effektivität der Merkmale bezüglich der visuellen Zuordnung sehr stark von deren Kombination und der Diversität der Datenwerte abhängt. Die Visualisierung der Daten muss nicht statisch, sondern kann auch als Animation über einen Zeitraum hinweg erfolgen. Die zeitliche Kodierung (6.) ermöglicht dabei die repräsentierten Daten, in Abhängigkeit zu einer zusätzlichen, auf die zeitliche Dimension abgetragenen Variablen, zu betrachten.

3.4.3 Ansichtstransformation

Im letzten Schritt des Referenzmodells werden die zugeordneten visuellen Strukturen in eine Gesamtansicht integriert und unter Berücksichtigung der Ansichtsmodulationen durch den Anwender dargestellt. Hierbei hat der Benutzer die Möglichkeit verschiedenste Visualisierungsparameter zu verändern und demzufolge die Repräsentation der Daten interaktiv an seine Anforderungen anzupassen. Einerseits sind dies Veränderungen des Betrachtungswinkels, -Abstands oder der -Position, welche dementsprechend je nach Interaktionsparadigma eine Kombination aus Rotation, Skalierung und Translation oder Zooming und Panning bewirkt. Andererseits kann der Anwender durch Interaktionsmechanismen, wie Details-on-Demand [Shn96], Brushing & Linking [BC87] oder Magic Lenses [BSP⁺93] einen Mehrwert aus der Interaktion an sich und aus den zusätzlich eingeblendeten Informationen gewinnen. Des Weiteren können bei der Ansichtstransformation visuelle Verzerrungen integriert werden, welche eine Fokussierung bzw. eine detailliertere Ansicht eines Teilbereichs der Gesamtansicht ermöglichen, ohne den Kontext dabei vollständig zu verlieren [SA82].

Der Anwender hat folglich vielfältige Möglichkeiten im Referenzmodell der Informationsvisualisierung auf den Generierungsprozess bei der Datentransformation, der visuellen Zuordnung und der Ansichtstransformation interaktiv einzuwirken. Der Grad der Interaktivität hängt jedoch direkt von der Performance der Hard- und Softwareumgebung ab, welche für die Berechnung und Darstellung und damit für das visuelle Feedback als Reaktion auf die jeweiligen Benutzerinteraktionen zuständig sind. Eine performante Berechnung und Darstellung der Visualisierung begünstigt das im nächsten Kapitel 3.5 thematisierte Referenzmodell der Computergrafik.

3.5 3D-Referenzmodell der Computergrafik

Das im vorhergehenden Kapitel betrachtete Referenzmodell der Informationsvisualisierung beschäftigt sich hauptsächlich mit den Prozessen der Informationsaufbereitung, Visualisierungsgestaltung und Interaktionsintegration, aber weniger mit der konkreten Berechnung der schlussendlich wahrzunehmenden Ansicht für das Ausgabegerät. Gerade aber bei komplexeren Ansichten mit mehreren hundert oder tausend visuellen Objekten ist eine performante Berechnung des Bildschirmbildes für eine flüssige, interaktive Bedienung unausweichlich.

Aus der Sicht der Computergrafik können Zoomable User Interfaces im Allgemeinen als Spezialisierung von drei-dimensionalen Visualisierungen verstanden werden. Infolge dessen sind die bewährten Berechnungsmodelle der Computergrafik für drei-dimensionales Rendering auch auf ZUIs übertragbar. Eine zentrale Rolle spielt hierbei die Rendering Pipeline [Wat90], ein Referenzmodell der Computergrafik, welches die einzelnen Verarbeitungsschritte und Zwischenergebnisse vom Objektmodell bis hin zum gerasterten Bild miteinander verknüpft und zeitlich zueinander anordnet [BB06]. Die Rendering Pipeline ist aber nicht als eine präzise Prozessbeschreibung, sondern mehr als eine abstrakte Verfahrensmodellierung zu sehen, da die konkrete Umsetzung, je nach Hard- und Softwareumgebung, im Detail variieren kann. Im Folgenden soll die Rendering Pipeline (siehe Abbildung 3.9) als Referenzmodell der Computergrafik näher betrachtet werden.

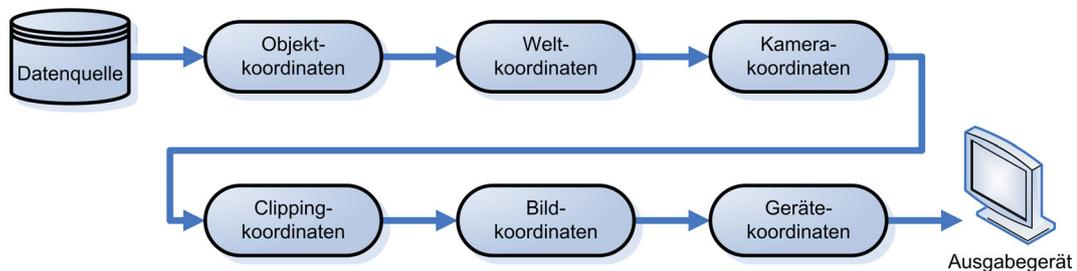


Abbildung 3.9: Rendering Pipeline für drei-dimensionale Visualisierungen [BB06].

3.5.1 Objektkoordinaten

Im ersten Schritt der Rendering Pipeline (siehe Abbildung 3.9) werden die zu visualisierenden Objekte erstellt oder alternativ von einer Datenquelle eingelesen. Hierbei sind die Objekte jeweils relativ zu einem eigenen lokalen Koordinatensystem durch homogene Koordinaten beschrieben. Diese ermöglichen die zeitgleiche Anwendung von Translation (Verschiebung), Rotation (Drehung) und Skalierung (Größenanpassung) auf ein identisches Objekt in einem einzigen Berechnungsschritt durch die Multiplikation der Objektmatrix mit einer kombinierten Transformationsmatrix.

3.5.2 Weltkoordinaten

Zur Gestaltung der Gesamtszene der drei-dimensionalen Visualisierung wird für jedes Objekt eine Transformationsmatrix erstellt, welche das Objekt in Größe, Ausrichtung und Position im Raum anordnet. Aus den autonom definierten Objektkoordinaten entsteht so ein zusammenhängendes, globales Koordinatensystem, welches die vollständige 3D-Szenerie beschreibt. Aus der Transformation der lokalen Objektkoordinaten resultieren die globalen Weltkoordinaten.

3.5.3 Kamerakoordinaten

In das in sich geschlossene Weltkoordinatensystem wird im weiteren Verlauf der Rendering Pipeline eine virtuelle Kamera positioniert, welche die Sicht auf die einzelnen Objekte definiert. Der virtuellen Kamera ist ein eigenes, lokales Koordinatensystem zugeordnet, aus dessen Sicht sich nun alle bis zu diesem Zeitpunkt in Weltkoordinaten beschriebenen Objekte betrachten lassen. Die Umwandlung der Weltkoordinaten der Objekte in die zur Kameraposition relativen Kamerakoordinaten findet durch die Multiplikation der Weltkoordinaten mit der Transformationsmatrix der virtuellen Kamera statt.

3.5.4 Clippingkoordinaten

Aus der Position der virtuellen Kamera relativ zu der 3D-Szene ergibt sich nicht nur der Betrachtungswinkel und die Betrachtungsposition, sondern es kann auch auf die Projektionsart und das Sichtvolumen – den sichtbaren Bereich der Szene – geschlossen werden. Im Falle der Parallelprojektion nimmt das Sichtvolumen die Form eines unendlichen Quaders und bei der Zentralprojektion die einer unendlichen Pyramide an.

Zur Minimierung des Berechnungsaufwandes der weiteren Prozessschritte werden Objekte, welche außerhalb des sichtbaren Bereiches liegen, geclippt (ausgeschnitten) und damit aus dem resultierenden Clipping-Koordinatensystem entfernt. Darüber hinaus wird das Sichtvolumen durch zwei orthogonal zur Sichtlinie liegende Ebenen (Front/Back Clipping Plane) nach Vorne und Hinten nochmals eingeschränkt und weitere Objekte geclippt.

3.5.5 Bildkoordinaten

Je nach Projektionsart werden im nächsten Schritt der Rendering Pipeline die Objekte des drei-dimensionalen Clipping-Koordinatensystems auf eine zwei-dimensionale Ansichtsebene projiziert und auf den sichtbaren Ausschnitt reduziert. Die ursprüngliche 3D-Szene ist infolge dessen nun innerhalb eines normalisierten logischen Ansichtsfensters abgebildet.

3.5.6 Gerätekoordinaten

Zur Darstellung der Abbildung auf dem physikalischen Ausgabegerät werden die normalisierten Bildkoordinaten in das Geräte-Koordinatensystem übertragen und ein diskretes gerastertes Pixelbild erstellt. Dieses kann letztendlich direkt auf dem Ausgabegerät an der gewünschten Stelle dargestellt werden.

Obwohl oder gerade weil die Rendering Pipeline der Computergrafik und das Referenzmodell der Informationsvisualisierung aus unterschiedlichen Forschungsbereichen stammen und für verschiedenartige Problematiken konzipiert wurden, scheint erst durch deren Kombination eine Umsetzung von interaktiven Visualisierung auf Basis von komplexen Informationsräumen möglich. Ein kombinierter Ansatz für das ZOIL Paradigma und andere ZUIs wird in Kapitel 5 vorgestellt.

4 ZOIL – Das Paradigma

Im Folgenden soll ein neues Zoomable User Interface Paradigma namens ZOIL vorgestellt und dessen Machbarkeit anhand einer prototypischen Umsetzung illustriert und überprüft werden. Das Akronym ZOIL steht für „**Z**oomable **O**bject-oriented **I**nformation **L**andscape“ und unterstreicht die grundlegende Intention, im Rahmen eines generellen Interaktions- und Visualisierungs-Paradigmas den Ansatz von Zoomable User Interfaces mit den direkt-manipulativen Konzepten von objektorientierten Benutzeroberflächen und der räumlichen Datenorganisation mithilfe einer beliebig skalierbaren Informationslandschaft zu vereinen.

Innerhalb der Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion der Universität Konstanz wurden in den letzten Jahren verschiedenste visuelle Suchsysteme für unterschiedliche Anwendungsdomänen, Benutzergruppen und Suchaufgaben entwickelt. Jedes einzelne zeichnet sich durch spezielle Fähigkeiten und Vorzüge entsprechend des jeweiligen Anforderungsprofils aus. Obwohl die überwiegende Anzahl der entwickelten Systeme den Zoomable User Interface Ansatz verfolgen und damit eine gemeinsame Schnittmenge an ähnlichen oder identischen Interaktions- und Visualisierungskonzepten teilen, existiert dennoch keine übergeordnete Struktur, welche dem Anwender je nach Bedarf die Verwendung des vermeintlich geeignetsten Systems oder eine Kombination aus mehreren Systemen erlaubt, ohne dabei zusätzlich den Anwender durch Kompatibilitätsprobleme und den Verlust des visuellen und inhaltlichen Anwendungskontexts kognitiv zu belasten.

Die beschriebene Problematik ist nicht auf die Systeme der Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion beschränkt, sondern tritt generell bei der visuellen Suche, Analyse und Organisation von diversen Informationen auf. Dies verdeutlicht auch die folgende Empfehlung des amerikanischen National Visualization and Analytics Centers für die Entwicklung von Systemen im Forschungsbereich Visual Analytics:

„Create visual analytics data structures, intermediate representations, and outputs that support the seamless integration of tools so that data requests and acquisition, visual analysis, note-taking, presentation composition, and dissemination all take place within a cohesive environment...“ The Research and Development Agenda for Visual Analytics [TC05].

Aus der Motivation heraus eine gemeinsame, konsistente Benutzeroberfläche zu generieren, welche eine flexible und leicht verständliche Kombination verschiedenster Visualisierungskomponenten zulässt, entwarfen Jens Gerken, Hans-Christian Jetter und Werner A. König das Grundkonzept des ZOIL Paradigmas [GJK05]. Dieses wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit weiterentwickelt, generalisiert und anhand eines Prototyps für den Anwendungsbereich Dokumentenmanagement umgesetzt, um damit die konzeptionelle und technische Machbarkeit zu demonstrieren.

Das ZOIL Paradigma beschreibt keine konkrete Benutzeroberfläche oder Applikation, sondern soll als eine in sich konsistente Kombination aus Visualisierungs- und Interaktionstechniken verstanden werden, welche als variables Grundkonzept für vielfältigste Anwendungsdomänen dienen kann.

Ein zentrales Element von ZOIL stellt die Informationslandschaft, eine unbegrenzte zweidimensionale Ebene unbeschränkter Auflösung, dar. Im Sinne der räumlichen Datenorganisation können beliebige Informationsobjekte direkt auf der Ebene oder innerhalb von visuellen Containern, den so genannten „Frames“, verortet und mittels Zooming und Panning exploriert werden. Die Frames stellen hierbei abgegrenzte, auf der Informationslandschaft frei positionierbare Visualisierungen dar, welche die enthaltenen Informationsobjekte entsprechend der gewählten Visualisierungstechnik anordnen und somit dem Anwender einen strukturierten Zugang zu den inhärenten Daten ermöglichen.

Tatsächlich werden nicht die Informationsobjekte selbst, sondern deren identische, visuelle Repräsentationen als Referenzen auf der Informationslandschaft und in den unterschiedlichen Frames angezeigt. Ein Informationsobjekt kann infolge der Referenzierung Teil mehrerer Frames bzw. Visualisierungen sein, wodurch der Anwender verschiedenste Möglichkeiten hat, dieses in dem Kontext der jeweiligen Visualisierung anzuordnen, zu analysieren oder wieder aufzufinden. Um auf ein Informationsobjekt zuzugreifen, muss sich der Benutzer nicht genau den (Interaktions-)Pfad zu diesem merken, sondern er kann hierfür die für seinen aktuellen Kontext passendste Visualisierung wählen.

Die Repräsentationen der Informationsobjekte und die Visualisierungen passen sich entsprechend des Konzepts des semantischen Zoomings dem jeweils zur Verfügung stehenden Bildschirmplatzes unter Berücksichtigung des menschlichen Sehvermögens an. Hierbei wird nicht nur der Detailgrad und die visuelle Form der dargestellten Informationen, sondern auch die dem Anwender offerierten objektbezogenen Funktionalitäten entsprechend adaptiert.

Aus dem Typ und Inhalt des Informationsobjektes ergeben sich die zur Verfügung stehenden Funktionalitäten, welche direkt in dessen Kontext angeboten werden. Über die spezifischen Objektfunktionalitäten hinaus, unterstreichen generelle Interaktionsmechanismen zur Positions- und Skalierungsänderung von Objekten und diverse Annotations-techniken den direkt-manipulativen Ansatz des ZOIL Paradigmas.

Die Möglichkeit zur flexiblen Kombination von verschiedensten Visualisierungen unter einem gemeinsamen Interaktions- und Navigationskonzept ergibt sich aus der räumlichen Datenorganisation in Verbindung mit einer hierarchischen Anordnung der Frames. Standardmäßig¹ werden in Frames und deren Visualisierungen nur diejenigen Informationsobjekte dargestellt, welche momentan innerhalb der sichtbaren Begrenzung des Frames liegen. Bei Positionsänderungen verhalten sich die Frames analog zum Konzept von Magic Lenses [BSP⁺93], wobei jeweils dynamisch der Visualisierungsinhalt an die aktuell eingegrenzten Informationsobjekte angepasst wird.

Darüber hinaus kann der Anwender innerhalb von Frames rekursiv weitere Frames positionieren und damit, ausgehend von der Informationslandschaft als „Root Frame“, allein durch die Positionierung und Schachtelung dieser, eine Visualisierungshierarchie erstellen, welche in Kombination als sequentieller Filter fungiert (siehe Abbildung 4.1). Hierbei werden nicht nur die Inhalte bezüglich der räumlichen Anordnung der Frames gefiltert, sondern auch textuelle oder grafische Filter der einzelnen verschachtelten Visualisierungen (z.B. Tabellenfilter oder RangeSlider [WS92]) miteinander kombiniert.

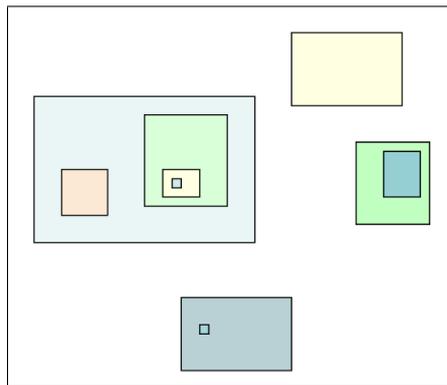


Abbildung 4.1: ZOIL Paradigma: Verschachtelte Frames auf der Informationslandschaft (abstrahierte Skizzierung).

Infolge der Verschachtelung von Frames wird die Ausgabe bzw. das Resultat einer Visualisierung – vergleichbar mit dem Programmierkonzept „Pipe and Filter“ [Meu95] – direkt wieder als Eingabe für eine weitere Visualisierung beliebiger Art verwendet. Die Positionierung und damit räumliche Filterung eines verschachtelten Frames ist hierbei jeweils relativ zu dessen „Parent Frame“ – dem in der Hierarchie direkt übergeordneten Frame – definiert. Bei einer Positionsänderung werden infolge dessen dynamisch die neuen Inhalte des verschobenen übergeordneten Frames an alle untergeordneten durchgereicht, ohne deren Visualisierungs- und Filtereinstellungen zu verändern. Der Anwender kann so modular einen Analyseprozess durch die sequentielle Anordnung von verschiedenen

¹Optional kann ein Frame auch alle Objekte des übergeordneten Frames unabhängig von seiner Begrenzung beinhalten, was beispielsweise bei metaphorartigen Visualisierungen direkt auf der Informationslandschaft für den strukturierten Zugang zum gesamten Informationsraum verwendet wird.

Visualisierungen definieren und anschließend iterativ auf unterschiedlichste Bereiche der Informationslandschaft identisch anwenden.

Soll ein Visualisierungsergebnis für die spätere Wiederverwendung vorgehalten werden, kann der Anwender mittels der so genannten „Snapshot“-Funktionalität die entsprechende Visualisierung aus der Framehierarchie, mitsamt der aktuell dargestellten Informationsobjekte, herauslösen und an einer beliebigen Position der Informationslandschaft neu verorten. Dabei bleibt die Visualisierung mit allen angebotenen Funktionalitäten erhalten, wodurch eine weitere Analyse auf Basis des herausgelösten Frames als Zwischenergebnis möglich ist.

Mithilfe von Zooming und Panning hat der Anwender jederzeit die Möglichkeit auf bestimmte Visualisierungen zu fokussieren und deren Ergebnisse weiter zu analysieren oder herauszuzoomen, um den inhaltlichen Kontext und die Abfolge der Filtersequenz zu betrachten oder zu verändern. Dementsprechend sollten die Framehierarchien trotz der Verwendung von vielfältigsten Visualisierungen für den Anwender relativ leicht durch die räumliche Anordnung und die visuelle Schachtelung der Frames zu verstehen sein.

ZOIL Prototyp & Visual Information-Seeking Mantra

In den nun folgenden Kapiteln soll anhand des Visual Information-Seeking Mantras² von Shneiderman [Shn96] das bislang nur abstrakt beschriebene ZOIL Paradigma am Beispiel einer prototypischen Umsetzung für die Anwendungsdomäne Dokumentenmanagement konkret illustriert werden. Hierbei ist zu beachten, dass dieser Prototyp nur eine Variante von vielen möglichen Anwendungen des ZOIL Paradigmas darstellt und daher vornehmlich als technische und konzeptionelle Studie verstanden werden sollte.

Tipp: Die beiliegende CD-ROM beinhaltet zur Verdeutlichung des ZOIL Prototyps ein Demonstrationsvideo. Alternativ ist das Video auch auf der Webseite der Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion als Download³ verfügbar.

²Ben Shneiderman definiert im Rahmen des Visual Information-Seeking Mantras sieben Tätigkeiten (Overview, Zoom, Filter, Details-on-demand, Relate, History und Extract), welche von einem visuellen Suchsystem unterstützt werden sollten [Shn96].

³Demonstrationsvideo: <http://hci.uni-konstanz.de/intehrdis/ZOILPrototyp.wmv>.

4.1 Overview

Der ZOIL Prototyp beinhaltet verschiedenste Dokumente aus dem wissenschaftlichen Alltag, wie Publikationen, Präsentationen, Bilder, Tabellen und Webseiten, welche als Informationsobjekte direkt auf der Informationslandschaft oder innerhalb von metaphor-artigen Visualisierungen verortet sind (siehe Abbildung 4.2). Infolge des Zoomable User Interface Konzepts kann der Anwender zu jeder Zeit durch manuelles Aus- bzw. Einzoomen einen Überblick über den gesamten Informationsraum erhalten. Der animierte Übergang von der Ausgangsposition zur Übersichtsansicht erlaubt dem Anwender dabei die Informationsobjekte der ersteren in den Kontext der ganzen Informationslandschaft zu setzen.

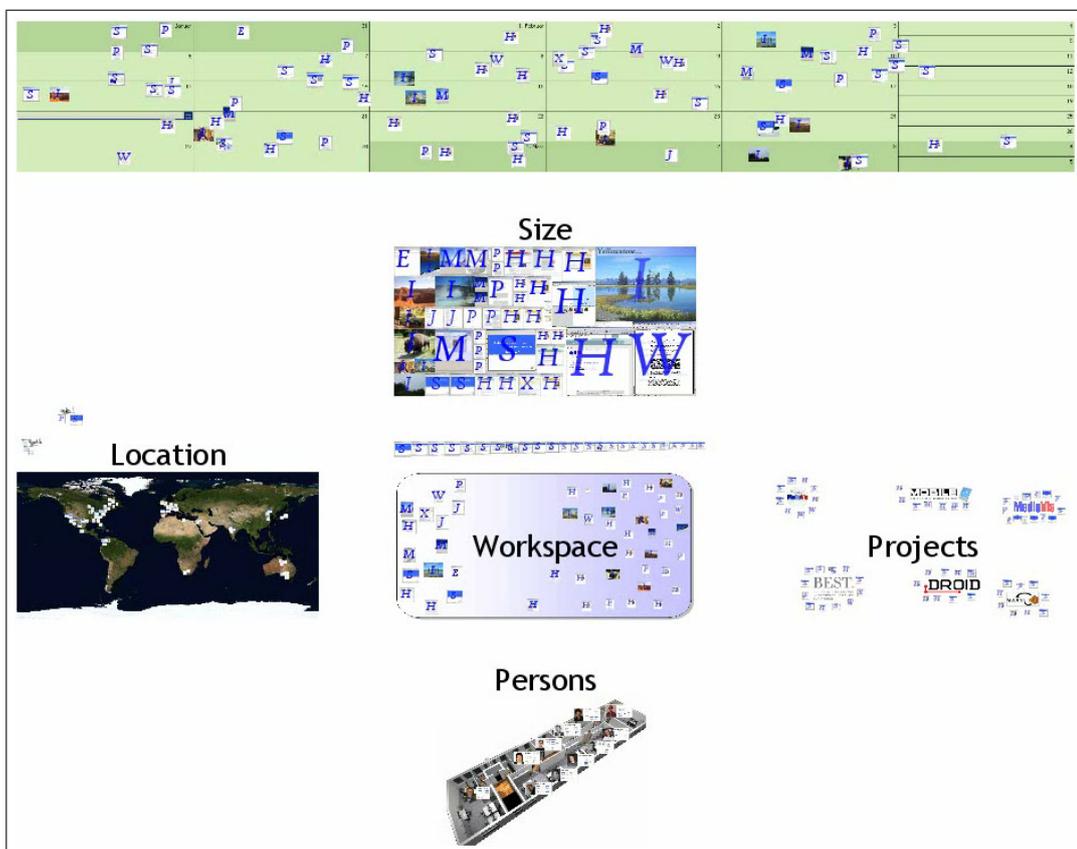


Abbildung 4.2: ZOIL Prototyp: Übersichtsansicht der Informationslandschaft mit unterschiedlichen Visualisierungen und verorteten Informationsobjekten.

Zusätzlich zum manuellen Zooming zur Übersichtsansicht stehen beim ZOIL Prototyp dem Anwender auch zwei automatische Zooming-Varianten zur Auswahl. Nach der Aktivierung, beispielsweise durch eine Mausgeste oder eine Tastenkombination, wird bei der ersten Variante automatisch aus der aktuellen Position auf der Informationslandschaft zur Übersichtsansicht animiert gezoomt, dort kurz verharret und anschließend wieder

in die Ausgangsposition zurückgezoomt. Diese temporäre Übersicht soll dem Anwender helfen, sich neu zu orientieren und ein mentales Modell der Informationslandschaft zu generieren.

Möchte der Benutzer aus einer beliebigen Position zurück zur Übersichtsansicht gelangen oder befindet er sich in einer „Desert Fog“ Situation (siehe Kapitel 3.1), in welcher die aktuelle Ansicht keine visuellen Elemente mehr für die Orientierung auf der Informationslandschaft bereithält, so ist die zweite automatische Zooming-Variante sehr hilfreich. Diese Variante zoomt ebenfalls, ausgehend von der aktuellen Position, animiert zur Übersichtsansicht und verbleibt im Gegensatz zur ersten Variante dort. Die Übersichtsansicht ist zugleich auch die Initialansicht beim Starten des Prototyps und sollte daher dem Anwender vertraut sein. Der animierte Übergang von der vermeintlich orientierungslosen Situation zu der vertrauten Ausgangsposition hilft im Nachhinein die unbekannt Position in den Kontext der Informationslandschaft einzuordnen.

Das ZOIL Paradigma schränkt den Anwender bewusst nicht in seiner Bewegungsfreiheit auf der Informationslandschaft ein, wodurch gerade auch inhaltslose Bereiche für eine Neuverortung von Informationsobjekten oder Visualisierungen erschlossen werden können, welche in anderen ZUI Konzepten zur Vermeidung von „Desert Fog“ Situationen nicht explorierbar sind. Die zuvor beschriebenen automatischen Zooming-Varianten stellen dem Anwender jedoch für den Fall der Orientierungslosigkeit geeignete Tools zur Reorientierung oder zur Rückkehr in vertraute Bereiche zur Seite.

4.1.1 Overview plus Detail

Eine weitere Möglichkeit dem Anwender einen Überblick über die gesamte Informationslandschaft zu verschaffen, ergibt sich aus dem Overview plus Detail (O+D) Konzept. Hierbei wird in getrennten Fenstern gleichzeitig eine detaillierte Ansicht des Informationsraums und ein Überblick über diesen dargestellt [PCS95]. Der Anwender kann somit, ohne Verlust der Gesamtansicht, in der Tiefe des Informationsraums navigieren und erhält bei synchronisierten O+D Fenstern zusätzlich in der Übersicht dynamisch ein visuelles Feedback über die aktuelle Position der Detailansicht.

Ein für den ZOIL Prototyp umgesetztes O+D Konzept ist in Abbildung 4.3 ersichtlich. Hierbei wird eine verkleinerte, halbtransparente Darstellung der gesamten Informationslandschaft an einer Position (z.B. oben rechts) am Bildschirm fixiert und durch einen leichten drei-dimensionalen Effekt von der restlichen Ansicht abgehoben, um damit die abweichende Funktionalität dieser Komponente zu kommunizieren. In der restlichen Bildschirmfläche kann nach wie vor beliebig die Informationslandschaft exploriert werden, wobei aber jeweils dynamisch der aktuell dargestellte Ausschnitt im Übersichtsfenster durch ein rotes Rechteck repräsentiert wird.

Aufgrund der per Definition unendlichen Auflösung der Informationslandschaft kann der Anwender theoretisch beliebig tief in diese einzoomen, wodurch die Repräsentation der aktuellen Ansicht im Übersichtsfenster bis zur Unkenntlichkeit schrumpft. Um diesem Effekt entgegen zu wirken, wird in dem ZOIL Prototyp ab einer definierten Mindestgröße der Repräsentation zusätzlich zur roten Ansichtsmarkierung ein symbolisches Fadenkreuz konstanter Größe eingeblendet und auf die entsprechende Position ausgerichtet (siehe Abbildung 4.3). Mithilfe dieser Hilfskonstruktion erhält der Anwender unabhängig von der Skalierung ein visuelles Feedback über die aktuelle Position und kann diese im Kontext der gesamten Informationslandschaft interpretieren.

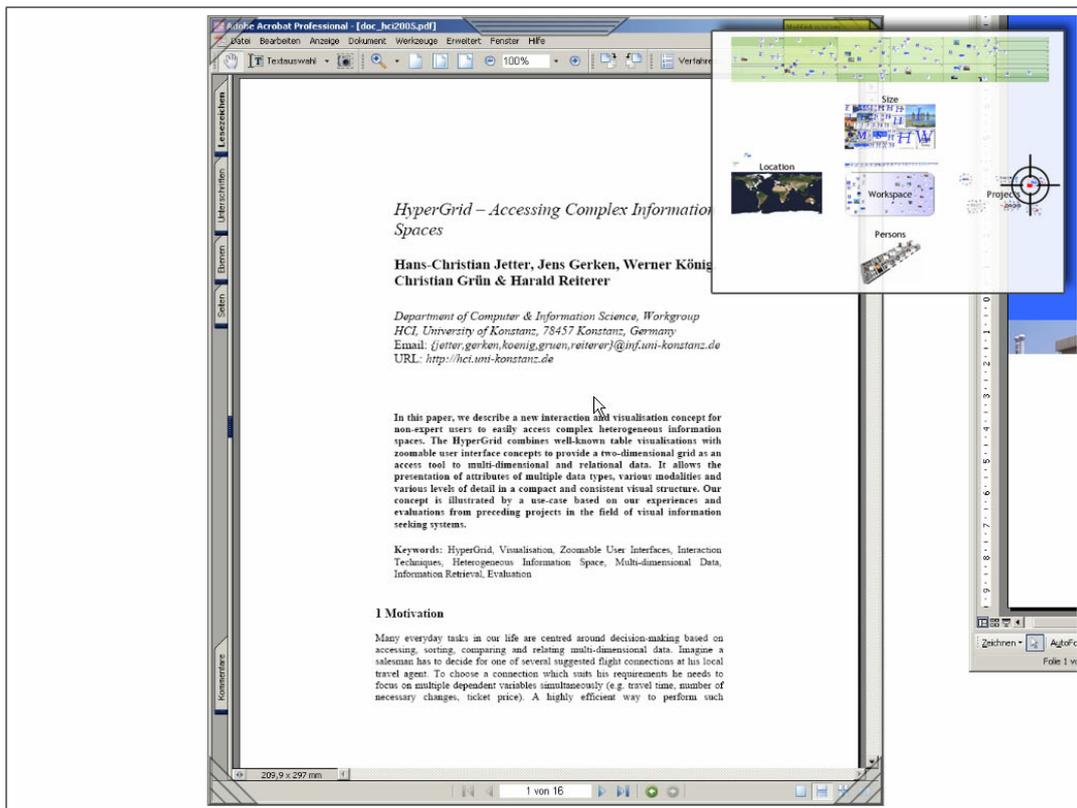


Abbildung 4.3: Overview plus Detail: Gezoomte Informationslandschaft mit fixiertem Übersichtsfenster (oben rechts).

Das Übersichtsfenster bietet auch für die Navigation auf der Informationslandschaft erweiterte Möglichkeiten. Verschiebt der Benutzer die rote Ansichtsmarkierung bzw. das Fadenkreuz in der Übersicht, wird unmittelbar die synchronisierte Detailansicht entsprechend auf der Informationslandschaft verschoben. Dies ermöglicht eine sehr effiziente Art des Pannings, welche ohne Übersichtsfenster nur durch eine Kombination aus Zooming und Panning erreichbar ist [BHP⁺96].

Des Weiteren kann der Anwender direkt im Übersichtsfenster durch Ziehen eines Rechtecks einen gewünschten Ausschnitt definieren, was ein automatisches, animiertes

Zoomen von der aktuellen Position auf diesen zur Folge hat. Unter der Voraussetzung, dass das Ansichtsfenster immer den gesamten Informationsraum anzeigt, ist der Umfang der Skalierung bei dieser Art der Interaktion relativ eingeschränkt, da analog zur vorher beschriebenen Sichtbarkeit der Ansichtsmarkierung es dem Anwender nicht möglich ist, sehr detaillierte Ansichten in der Übersicht zu definieren. Darüber hinaus kann auch keine Ansicht definiert werden, welche weiter als die Darstellung im Übersichtsfenster aus der Informationslandschaft herausgezoomt sein soll, da das aufgezoomte Rechteck nicht größer als das Übersichtsfenster gezeichnet werden kann.

Die angesprochenen Schwierigkeiten lassen sich durch ein leichtes Mitzoomen des Übersichtsfensters mildern, wobei der Skalierungsunterschied zwischen Übersicht und Detail verringert wird. Damit würde das Übersichtsfenster nur noch den unmittelbaren Kontext der Detailansicht, aber nicht mehr die gesamte Informationslandschaft darstellen. Hierbei entsteht allerdings schon bei relativ flachen Informationsräumen ein Tradeoff zwischen einem möglichst vollständigen Kontext und der Sichtbarkeit sowie Bedienbarkeit der Ansichtsmarkierung.

Infolge der Möglichkeit des Benutzers, durch Ziehen eines Rechtecks den aktuellen Bildschirmausschnitt zu bestimmen ergibt sich aufgrund der Invarianz des Bildschirmseitenverhältnisses (Aspect Ratio) eine weitere Problematik. Hierbei stimmt der vom Benutzer gewünschte Ausschnitt nicht zwingend mit dem tatsächlich gezoomten überein, ohne Verzerrungen oder Leerbereiche in der Ansicht einzuführen. Die naheliegende Lösung der Problematik, das aufziehbare Rechteck auf das fixe Seitenverhältnis des Bildschirms zu limitieren, kann jedoch zu deutlichen Irritationen der Benutzer führen [BGR06].

4.1.2 Frames & Visualisierungen

Eine weitere Art der Übersicht über den Informationsraum des ZOIL Prototyps resultiert aus den direkt auf der Informationslandschaft verorteten Frames bzw. aus deren Visualisierungen. Diese ordnen jeweils den gesamten Datenraum bezüglich unterschiedlicher thematischer Schwerpunkte oder Aspects of Interest (AOI) [RPR96] und ermöglichen dem Anwender somit einen strukturierten, interessen geleiteten Zugriff auf den Informationsraum.

Auf der Informationslandschaft des ZOIL Prototyps sind von Beginn an diverse Visualisierungen bezüglich der Anwendungsdomäne Dokumentenmanagement in verschiedenen Frames verortet (siehe Abbildung 4.2). Beispielsweise werden Dokumente nach geografischen Aspekten in einer Weltkarte, nach ihrer Relation zu Personen in skizzierten Büroräumen, nach ihrer Projektzugehörigkeit um die jeweiligen Projektlogos in visuellen Clustern, nach ihrer Größe in einem Treemap [Shn92] und nach ihrer zeitlichen Kom-

ponente in einer Kalendervisualisierung positioniert. Eine weitere Visualisierung – der „Workspace“ – fungiert als eine Art virtueller Schreibtisch ähnlich der Desktop Metapher klassischer WIMP-Oberflächen, wobei der Anwender aktuelle oder bedeutende Informationsobjekte an dominanten Positionen und mit entsprechender Darstellungsgröße innerhalb des Frames verorten kann. Dies soll einen direkteren Zugriff auf diese Objekte und eine individuelle Art des Aufgaben- und Dokumentenmanagements ermöglichen.

Das spezifische visuelle Gesamtbild der einzelnen Visualisierungen bereitet einen Kontext für die Interpretation der darin angeordneten Daten. Beispielsweise kommuniziert die gruppierte Positionierung von Dokumenten um Projektlogos rein visuell, leicht verständlich und auch noch bei geringer Skalierung erkennbar die existenten Zugehörigkeitsverhältnisse zwischen Dokumenten und Projekten (siehe Abbildung 4.4).

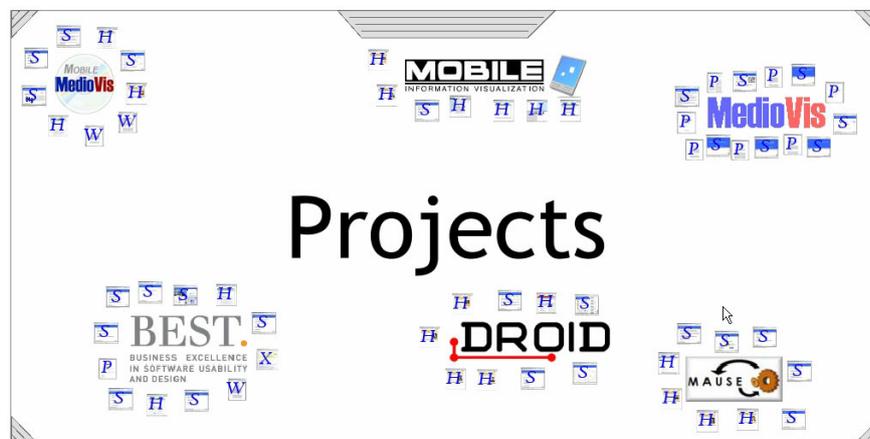


Abbildung 4.4: Informationsobjekte einer Visualisierung angeordnet nach Projektzugehörigkeit.

Des Weiteren unterstützt die unterschiedliche visuelle Struktur zwischen den einzelnen Visualisierungen und auch innerhalb dieser in Verbindung mit der räumlichen Verortung den Anwender beim Aufbau eines mentalen Modells der Informationslandschaft und der darin eingebetteten Informationsobjekte [Her80]. Der Anwender erhält räumliche, visuelle und textuelle Informationen zu den abgebildeten Dokumenten und Visualisierungen, was ihm angesichts der Erkenntnisse der Kognitionspsychologie (siehe Kapitel 3.3) aufgrund der Kombination der Kommunikationskanäle eine effizientere und effektivere Verarbeitung und Speicherung der wahrgenommenen Informationen ermöglichen soll [BL99].

Darüber hinaus erhöhen die visuelle Darstellung des Kontexts in Form der Visualisierung und die bildliche Repräsentation der Informationsobjekte wesentlich die Effektivität des Wiedererkennens (Recognition) [WM92] und den Effizienzvorteil bezüglich dem gedanklichen Wiederaufruf (Recall) [War04].

Die Informationsanordnung auf der ZOIL Informationslandschaft und den enthaltenen Visualisierungen stellt eine beabsichtigte Analogie zur Informationsorganisation im Langzeitgedächtnis her (siehe Kapitel 3.3). Nach Collins et al. [CL75] besteht das Langzeitgedächtnis aus verlinkten Informationseinheiten bzw. Konzepten, wobei die verbundenen Knoten den Kontext eines Konzeptes darstellen. So werden beispielsweise im ZOIL Prototyp alle zum Mediovis Projekt „verlinkten“ Dokumente um dessen Logo positioniert. Der Anwender kann so einerseits seine gedanklichen Konzepte bezüglich der dargestellten erweitern, zum anderen erhält er durch die Diversität der Visualisierungen mit identischen Informationsobjekten einen variableren und auch schnelleren Zugriff auf gesuchte Dokumente.

Je nach aktuellem Gedankengang kann der Anwender für die Suche eines bestimmten Dokuments die Visualisierung für den Zugriff auswählen, welche seinem aktuellen, gedanklichen Kontext mehr entspricht. Verbindet der Benutzer beispielsweise mit einem Dokument einen spezifischen Ort, wie der Tagungsort einer Konferenz, so kann er über die Weltkarten-Visualisierung zu diesem gelangen. Bei der klassischen Verwaltung von Dokumenten in einem hierarchischen Dateisystem hat der Anwender nicht die Wahl des Zugangs, sondern er muss sich an die genaue Sequenz von hierarchischen Ordnern erinnern, in welche er oder eine andere Person das gesuchte Dokument abgelegt hat. Die Sequenz der Ordner und deren Benennung sind jedoch stark personen- und situationsabhängig und daher zu einem späteren Zeitpunkt schwer nachvollziehbar.

Über die von Beginn an angebotenen Visualisierungen hinaus, kann der Anwender neue Frames auf der Informationslandschaft verorten und diesen Visualisierungen zuordnen oder die Visualisierungen bestehender Frames verändern und damit die Informationslandschaft nach seinen Bedürfnissen modellieren. Prinzipiell ist jeder Visualisierungsalgorithmus anwendbar, welcher eine zwei-dimensionale Anordnung von Informationsobjekten erwirkt und technisch gesehen ein Interface für die Datenanbindung und das Aktionsmanagement implementiert.

Die in einer Visualisierung des ZOIL Prototyps darzustellenden Informationsobjekte ergeben sich aus der Framehierarchie und dem Modus des Frames, in welchem die Visualisierung integriert ist. Ausgehend von der Informationslandschaft als „Root Frame“ können Frames ineinander geschachtelt werden und ergeben durch ihre Position und Reihenfolge eine Hierarchie, welche jeweils die Menge der zu visualisierenden Informationsobjekte bestimmt. Hierbei reichen die Frames im so genannten „All“-Modus alle Dokumente des übergeordneten Frames an die eigene Visualisierung weiter, wie es beispielsweise die bisher besprochenen, direkt auf der Informationslandschaft verorteten Frames praktizieren. Mit diesem Modus sind alternative Visualisierungen auf Basis identischer Datenmengen möglich. Ein dynamischer Filtermechanismus bietet der „Clipping“-Modus von Frames, welcher analog zum Clipping-Verfahren der Computergrafik alle Objekte aus der darzustellenden Menge entfernt, welche räumlich außerhalb der visuellen Begrenzung des

Frames liegen. Mit der Veränderung der Position oder der Größe des Frames geht, ähnlich wie bei Magic Lenses [BSP⁺93], eine dynamische Anpassung des Visualisierungsinhalts und damit der Menge der darzustellenden Informationsobjekte einher. Durch eine Verschachtelung von mehreren Frames im Clipping-Modus kann ein flexibler, sequentieller Filtermechanismus generiert werden, welcher verschiedenste Visualisierungen und die jeweiligen räumlichen und visualisierungsspezifischen Filterkriterien miteinander kombiniert.

4.2 Zoom

Das Zooming wird als elementarer Bestandteil des Interaktionskonzepts dem Anwender im ZOIL Prototyp in vielfältiger Weise angeboten. Zum einen verhelfen die in Kapitel 4.1 schon beschriebenen automatischen Zooming-Varianten dem Benutzer zu einem temporären oder stationären Überblick über die Informationslandschaft, in dem aus der aktuellen Position automatisch zu einer Übersichtsansicht gezoomt wird und dort je nach Zooming-Variante entweder verharrt oder wieder an die ursprüngliche Position zurück gezoomt wird. Zum anderen stehen dem Anwender weitere automatische und auch manuelle Zooming-Techniken zur Verfügung, welche eine gezielte Exploration der Informationslandschaft ermöglichen.

Für das manuelle Zooming im ZOIL Prototyp wird eine dynamische Spezifikation des Zooming Reference Points (ZRP, siehe Kapitel 3.1) und der Zooming-Geschwindigkeit angestrebt. Der Anwender kann so die Richtung und Geschwindigkeit des Zoomings noch während des laufenden Interaktionsvorgangs variieren bzw. nachjustieren. Demgegenüber entsteht bei einer statischen Festlegung der Zooming-Geschwindigkeit ein Tradeoff zwischen einer hohen Präzision und guten Effizienz. Ebenso schränkt eine statische, nur zu Beginn der Interaktion spezifizierbare Zooming-Richtung den Anwender in seiner Bewegungsfreiheit im Informationsraum ein, da für jede Richtungsänderung oder Feinjustierung eine Unterbrechung des Zooming-Vorgangs notwendig ist.

Die Variabilität der beiden Interaktionsparameter – Richtung und Geschwindigkeit – setzt jedoch entsprechende Eingabegeräte und eine adäquate Aktionsbelegung voraus. Die Spezifikation der Zooming-Richtung mittels eines Zooming Reference Points kann durch gängige zwei-dimensionale Zeigegeräte, wie Maus, Stift oder berührungssensitive Flächen erfolgen. Für die dynamische Geschwindigkeitskontrolle scheint ein kontinuierliches, ein-dimensionales Eingabegerät (z.B. Wippe) für die Bedienung durch die zweite Hand oder einen Fuß von Vorteil zu sein (siehe Kapitel 3.2 und Abbildung 4.5 links). Die dynamische Kontrolle der beiden Parameter mit nur einem Eingabegerät ist drei-dimensionalen Eingabegeräten, wie dem innovativen ChairIO [BBH05] vorbehalten (siehe Abbildung 4.5 rechts), da der Parameter Richtung an sich schon die horizontale und vertikale Dimension für sich beansprucht und damit eine weitere kontinuierliche Dimension für die Geschwindigkeit benötigt wird. Um das manuelle Zooming im ZOIL Prototyp aber auch für Arbeitsplätze ohne drei-dimensionales Eingabegerät oder zusätzliche Fuß- oder Handwippe anzubieten, kann wahlweise die Kontrolle eines Parameters auch statisch definiert werden.

Eine weitere Zooming-Variante des ZOIL Prototyps erlaubt automatisch auf ein beliebiges visuelles Objekt der Informationslandschaft bis zu einer bildschirmfüllende Größe heran zu zoomen. Möchte der Anwender beispielsweise auf ein Frame bzw. dessen Visualisierung zoomen, so kann er im ZOIL Prototyp im Falle der Bedienung mit der



Abbildung 4.5: Links: Fußwippe für Lautstärkeregelung im Audio-Bereich. Rechts: ChairIO, ChairBased 3D Interface [BBH05].

Maus durch einen Doppelklick auf die Visualisierung das automatische Zooming auf diese auslösen. Die Ansicht zoomt daraufhin animiert aus der aktuellen Position auf die Visualisierung bis diese zentriert und in voller Größe angezeigt wird.

Das zielgerichtete, automatische Zooming erlaubt dabei einen direkten Zugriff auf ein beliebiges Objekt und dessen hinsichtlich der Größe optimale Darstellung und befreit dabei den Anwender von der manuellen, kognitiv höher belastenden Navigation auf der Informationslandschaft. Des Weiteren werden durch die zielgerichtete Navigation „Desert Fog“ Situationen vermieden, in welchen dem Anwender keine visuellen Informationen für die Orientierung mehr zur Verfügung stehen (siehe Kapitel 3.1).

4.2.1 Semantisches Zooming

Infolge der Ansichtsmodulation durch die Zooming-Interaktionen im ZOIL Prototyp variieren die Darstellungsgrößen der visuellen Repräsentationen der abgebildeten Informationsobjekte je nach aktueller Ansichtsskalierung. Beim Einzoomen fokussiert der Anwender auf einen gewissen Ausschnitt der Informationslandschaft, wobei die dort positionierten Repräsentanten größer werden und mehr Bildschirmplatz für die Darstellung der objektspezifischen Informationen erhalten. Beim Auszoomen werden die einzelnen Repräsentationen zugunsten eines weiteren Überblicks über die Informationslandschaft verkleinert und deren Darstellungsfläche reduziert.

Im Gegensatz zum geometrischen Zooming, bei welchem in Abhängigkeit von der Ansichtsskalierung nur die Darstellungsgröße der abgebildeten Objekte variiert, passt sich beim semantischen Zooming auch das Erscheinungsbild und die angebotenen Funktionalitäten an den für das entsprechende Objekt zur Verfügung stehenden Bildschirmplatz an. Die

grundlegende Idee ist hierbei, dem Anwender unabhängig von der Darstellungsgröße Informationen über das jeweilige Objekt in einer wahrnehmbaren Größe zu offerieren. Die Anzahl und Art der zu kommunizierenden Informationen passen sich dabei der Größe der Darstellung in Abhängigkeit zum menschlichen Sehvermögen an. Bei einer geringen Darstellungsgröße kann beispielsweise zu einer wissenschaftlichen Veröffentlichung nur der Titel, im Verlauf des Einzoomens dann weitere Metadaten, wie Autor und Publikationsjahr und ab einer genügend hohen Skalierung auch der Volltext dargestellt und Funktionen zum Editieren und Kommentieren angeboten werden.

Der Zeitpunkt bzw. der Skalierungsbereich, welcher den Übergang einer Darstellung in eine andere infolge des semantischen Zoomings spezifiziert, ist in Kombination mit der visuellen Repräsentation für die Wahrnehmbarkeit und damit für das Verständnis des Anwenders von enormer Bedeutung. Die skalierungsabhängigen Darstellungsformen und deren Übergänge können mit den Space-Scale Diagrams von Furnas und Bederson [FB95] skizziert und kommuniziert werden. Der Zeitpunkt für den Darstellungswechsel resultiert allerdings bei den bisherigen ZUIs eher aus „trial and error“ Erfahrungen [PF93]. Im Folgenden soll hierfür durch die Herleitung von Grenzwerten auf Basis des menschlichen Sehvermögens in Relation zur Darstellungsgröße eines Objektes eine formale Methode vorgestellt werden.

Entsprechend der Anforderung des semantischen Zoomings, dem Anwender unabhängig von der Darstellungsgröße Informationen über das jeweilige Objekt in einer wahrnehmbaren Größe anzubieten, scheint das menschliche Sehvermögen ein klares Kriterium für den Wechsel der Informationsdarstellungen zu sein. Ist infolge der aktuellen Skalierung der Volltext eines Dokumentes beispielsweise nicht mehr lesbar, sollten anstelle diesem kürzere Metadaten, wie der Titel oder die Zusammenfassung dargestellt werden, welche aufgrund des geringeren Platzbedarfes größer als der Volltext abgebildet werden können.

„The standard definition of normal visual acuity is the ability to resolve a spatial pattern separated by a visual angle of one minute of arc“, Hermann Snellen, 1862.

Die normale Sehschärfe definiert sich nach Hermann Snellen aus der Fähigkeit, ein Muster mit einer räumlichen Auflösung von einer Bogenminute relativ zu der Position des Betrachters noch klar wahrnehmen zu können. Infolge der Winkeleigenschaften des rechtwinkligen Dreiecks (siehe Gleichungen 4.1 und 4.2) und dem Auflösungsvermögen von einer Bogenminute (Winkel $\alpha = 1' = \frac{1}{60}$ Grad) kann ein Mensch mit normaler Sehschärfe aus einer Betrachtungsdistanz d gerade noch zwei Punkte mit einem Punkt-zu-Punkt-Abstand von $p = \frac{d \times \sin(1')}{\cos(1')}$ getrennt wahrnehmen (siehe Gleichungen 4.3). Ist ein visuelles Element kleiner als p – in diesem Fall der Raum zwischen den Punkten – verschmilzt dieses aus der Sicht des Betrachters mit der direkten Umgebung.

$$\cos(\alpha) = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypothenuse}} \quad \sin(\alpha) = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypothenuse}} \quad (4.1)$$

$$p = \frac{d \times \sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} \quad (4.2)$$

$$p = \frac{d \times \sin(1')}{\cos(1')} \quad (4.3)$$

Aufgrund des limitierten Sehvermögens kann demnach ein „unterer“ Grenzwert für den Wechsel von einer Abbildung in die nächst größere beim semantischen Zooming anhand der Darstellungsgröße p in Abhängigkeit zur Betrachtungsdistanz d festgelegt werden (siehe Gleichungen 4.3). Für die Identifikation eines Buchstabens – wie dem Landolt C – ist es aber nicht ausreichend, dass das Gesamtbild des Buchstabens größer als p ist, sondern dessen visuelle Merkmale, welche ihn von anderen unterscheiden, müssen für den Betrachter noch wahrnehmbar sein.

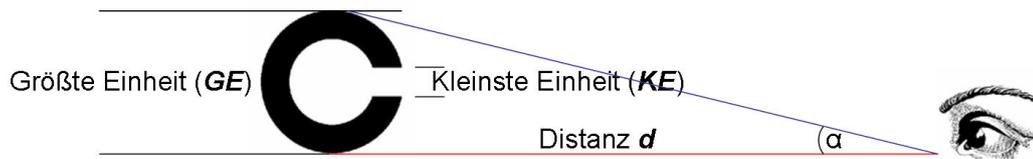


Abbildung 4.6: Größte und kleinste visuelle Informationseinheit eines Objektes am Beispiel des Landolt C.

Das Landolt C, welches auch für Sehtests verwendet wird, zeichnet sich durch eine Öffnungsgröße von einer Bogenminute bei entsprechender Betrachtungsdistanz aus. Kann vom menschlichen Auge die Öffnung nicht mehr klar wahrgenommen werden, ist eine Unterscheidung des Landolt C von dem Buchstaben O nicht mehr möglich. Dementsprechend bezieht sich die Darstellungsgröße p beim unteren Grenzwert für das semantische Zooming auf die kleinste Informationseinheit (KE) eines Objektes. Im Falle des Landolt C ist dies entsprechend die Öffnung des Kreises (siehe Abbildung 4.6).

Die Sehschärfe bzw. räumliche Auflösung des menschlichen Auges ist in der Fovea, dem Zentrum der Retina, am höchsten und fällt nach außen hin stark ab. Die Fovea erfasst aber nur etwa zwei Grad des ca. 170 Grad messenden Sichtbereichs [Dow87], weshalb der Mensch seine Umgebung infolge mehrerer Fixationen und Sakkaden wahrnimmt (siehe Kapitel 3.3). Für das Lesen eines Satzes, bei welchem jeder Buchstabe größer als der von der Fovea abgedeckte Bereich ausfällt, wird dementsprechend pro Buchstabe eine Fixation und zwischen diesen jeweils eine Sakkade benötigt. Bei normaler Textgröße und

Betrachtungsdistanz nimmt der Mensch jedoch durchschnittlich sieben bis neun Buchstaben pro Sakkade war [Ray98]. Die Effizienz der Wahrnehmung von größeren Objekten (> 2 Grad) nimmt durch die sequentielle Vorgehensweise des menschlichen Wahrnehmungsapparates und die zusätzlich benötigte Zeit für die Bewegung des Auges und dessen Neufokussierung deutlich ab. Hinsichtlich einer guten Lesbarkeit bzw. effizienten Wahrnehmbarkeit sollten dementsprechend Informationen nicht größer als der Abdeckungsbereich der Fovea abgebildet werden, weshalb für die hier vorgestellte Methodik die obere Schwelle für den Wechsel beim semantischen Zooming bei einem Sichtwinkel von zwei Grad in Relation zur größten visuellen Einheit (GE) der Abbildung liegt (siehe Abbildung 4.6 und Gleichung 4.4). Beispielsweise müsste beim Landolt C, sobald dessen Gesamtgröße als GE bei einer Betrachtungsdistanz von d den Grenzwert $p = \frac{d \times \sin(2^\circ)}{\cos(2^\circ)}$ überschreitet, eine alternative, kleinere Darstellung beim semantischen Zooming gewählt werden.

$$p = \frac{d \times \sin(2^\circ)}{\cos(2^\circ)} \quad (4.4)$$

Aus der Kombination des hier vorgestellten oberen und unteren Grenzwertes kann anhand der Fähigkeiten des menschlichen Wahrnehmungsapparates eine eindeutige Richtlinie für die skalierungsabhängige Darstellung von Informationsobjekten beim semantischen Zooming definiert werden (siehe Gleichung 4.5). Hierbei wird bei einer gegebenen Betrachtungsdistanz d ein Bereich zwischen dem unteren und oberen Grenzwert für die kleinste und größte Informationseinheit einer Abbildung spezifiziert, in welchem sich diese für eine gut wahrnehmbare Informationsrepräsentation bewegen sollten. Beispielsweise würde bei einem durchschnittlichen Desktop-Arbeitsplatz mit einer Betrachtungsdistanz von 50 cm zwischen Monitor und Auge der Bereich für die tatsächliche Darstellungsgröße zwischen 0.15 mm und 17.46 mm liegen. Wird der Bereich durch eine Skalierungsmodulation verlassen, muss eine alternative Darstellung gewählt werden, welche wieder innerhalb des Bereiches liegt. Aufgrund der Tatsache, dass hier keine optimale Größe, sondern ein breiter Bereich spezifiziert wird, können flüssige Übergänge zwischen den Repräsentationen durch Transparenzeffekte, persönliche Präferenzen und vom Durchschnitt abweichendes Sehvermögen berücksichtigt werden.

$$\frac{d \times \sin(1')}{\cos(1')} < KE \leq GE \leq \frac{d \times \sin(2^\circ)}{\cos(2^\circ)} \quad (4.5)$$

Der Zeitpunkt des Wechsels der visuellen Repräsentation eines Objektes infolge der Ansichtsmodulation beim semantischen Zooming ist bei der hier vorgestellten Methodik dementsprechend abhängig von den Eigenschaften der Abbildung (KE & GE) und den Grenzwerten. KE & GE können dynamisch aus den typographischen und visuel-

len Eigenschaften der Darstellungen gewonnen werden. Die für die Grenzwertberechnung notwendige Betrachtungsdistanz kann entweder statisch festgelegt oder durch einfache Tracking-Systeme dynamisch ermittelt werden. Im letzteren Fall resultiert aus einer Positionsänderung des Betrachters eine Anpassung der Darstellungen. Die Bewegung des Anwenders im reellen Raum hat damit einen direkten Einfluss auf den virtuellen Informationsraum. Hieraus ergeben sich weitere Möglichkeiten, aber auch konzeptionelle Herausforderungen, welche jedoch unter Berücksichtigung der jeweiligen Anwendungsdomäne und der reellen Systemumgebung betrachtet werden sollten und daher hier nicht weiter vertieft werden können.

4.2.2 Informationsobjekte

Die im ZOIL Prototyp enthaltenen Dokumente sind als Informationsobjekte direkt auf der Informationslandschaft oder innerhalb von Visualisierungen verortet und über Zooming und Panning zugänglich. Entsprechend der im vorherigen Kapitel 4.2.1 vorgestellten Methodik wird die visuelle Erscheinung der Informationsobjekte bzw. Dokumente beim semantischen Zooming hinsichtlich der Wahrnehmbarkeit der dargestellten Informationen variiert (siehe Abbildung 4.7).



Abbildung 4.7: Visuelle Repräsentation eines Informationsobjektes in Abhängigkeit zur Darstellungsgröße im ZOIL Prototyp.

Stehen einem Informationsobjekt aufgrund der Skalierung nur wenige Pixel zur Verfügung, so wird dieses zunächst farbig markiert, um dem Anwender die Position des Objekts zu vermitteln. Durch das Einzoomen erhöht sich der verfügbare Platz und nach und nach werden weitere Informationen zu dem Objekt direkt auf diesem eingeblendet - zunächst eine symbolische Repräsentation des Dokumententyps, anschließend inhaltsreichere Metadaten wie der Titel, Autor und das Erstellungsjahr.

Das eigentliche Dokument, also beispielsweise dessen Text, wird von Beginn an eingeblendet um ein Wiedererkennen zu verbessern - allerdings zunächst ausgegraut um den Platz für die genannten Metadaten zu verwenden. Hat der Benutzer weit genug eingezoomt, so dass beispielsweise der Text eines Dokumentes lesbar wäre, verschwindet

diese Ausgrauung und die genannten Metadaten wandern an die rechte obere Ecke des Dokuments, um den freien Blick auf dieses zu ermöglichen.

Der Übergang der skalierungsabhängigen Repräsentationen beim semantischen Zooming findet hierbei durch Transparenzeffekte flüssig und analog zur Größenveränderung statt. Beispielsweise wird beim Einzoomen mit dem langsamen Ausbleichen der zusätzlich eingeblendeten Metadaten die Darstellung des vorher schwächer angezeigten Volltextes intensiviert und damit in den Vordergrund gerückt. Obwohl die Repräsentation des Dokumentes sich je nach Skalierung verändert, so bleibt sie in ihrer Form und generellen Erscheinung durch den immer dargestellten Volltext relativ stabil. Bei starken visuellen Veränderungen könnte der Anwender beispielsweise in Zweifel kommen, ob er noch auf das identische Objekt einzoomt oder ob dieses durch ein anderes ausgetauscht wurde. Des Weiteren könnte es aufgrund der begrenzten visuellen Wahrnehmungskapazität des Menschen zu einer Reizüberflutung beim Anwender durch die starken visuellen Veränderungen in Kombination mit einer großen Anzahl von dargestellten Informationsobjekten kommen (siehe Kapitel 3.3).

Beim Einzoomen auf ein Informationsobjekt äußert der Anwender implizit den Grad seines Interesses (Degree of Interest [Fur86]) an diesem. Entsprechend offeriert das Informationsobjekt, analog zur ansteigenden Skalierung bzw. Grad des Interesses, mehr und detailliertere Informationen. Die bei mittlerer Größe über dem Volltext eingeblendeten Metadaten werden bei weiterem Einzoomen zugunsten des Volltextes wieder ausgeblendet, aber an anderer Stelle weiterhin dem Anwender zur Verfügung gestellt. Diese werden im ZOIL Prototyp halbtransparent in der oberen, rechten Ecke des Informationsobjektes mittels einer Notizzettel-Metapher abgebildet, wodurch der Anwender jederzeit über ein weiteres Einzoomen auf diese zugreifen kann (siehe Abbildungen 4.8 und 4.7).



Abbildung 4.8: Darstellung der Metadaten zu einem Informationsobjekt bei unterschiedlichen Skalierungen.

Nicht nur die Anzahl und Art der abgebildeten Informationen, sondern auch die angebotenen objektspezifischen Funktionalitäten passen sich der Darstellungsgröße des Informationsobjektes an. Erst bei einer lesbaren Darstellung des Volltextes werden auch die dem Dokumententyp entsprechenden Funktionalitäten beispielsweise zum Editieren, Kommentieren und Formatieren angeboten (siehe Abbildung 4.9 Vergleich links und Mitte/rechts).

Funktionsbereiche zum Verschieben der Informationsobjekte auf der Informationslandschaft und zum Verändern der Abbildungsgröße werden jedoch unabhängig von der Skalierung, aber nur bei fokussierten Dokumenten eingeblendet. Hierfür wird in jeder Ecke der Informationsobjekte eine dreieckige Fläche zur Veränderung der Größe und am oberen Rand in der Mitte eine Fläche zum Verschieben des Dokumentes angeboten (siehe Abbildung 4.9 links und Mitte).

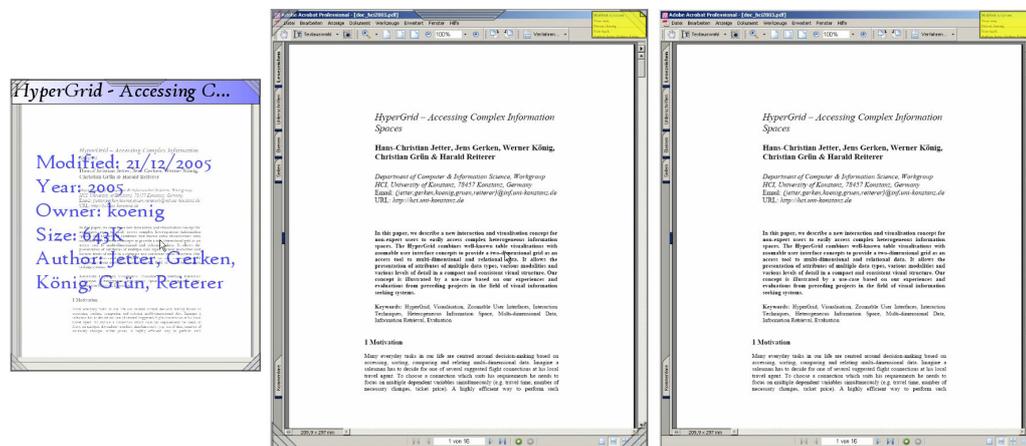


Abbildung 4.9: Informationsobjekte bei unterschiedlicher Skalierung und mit (links/Mitte) sowie ohne Fokus (rechts). Die objektspezifischen Funktionalitäten, z.B. Bearbeitungswerkzeuge für PDF-Dateien, werden erst bei voller Darstellungsgröße eingeblendet (Mitte/rechts).

Zum Bearbeiten von Dokumenten muss im ZOIL Prototyp keine zusätzliche Anwendung gestartet werden, welche dann in einem eigenen Fenster und daher außerhalb des bisherigen Kontexts das Dokument darstellen würde, sondern der Anwender zoomt auf ein Dokument und erhält die entsprechenden Funktionalitäten direkt beim Dokument angeboten. Der Anwender kann sich dementsprechend auf seine konkrete Aufgabe konzentrieren und muss sich beispielsweise nicht mit der Auswahl und dem Starten einer zur Bearbeitung geeigneten Anwendung, dem Laden der Datei oder dem Window-Management zusätzlich kognitiv belasten.

4.3 Filter

Im ZOIL Prototyp stehen dem Anwender vielfältige Filtermechanismen zur Verfügung, um die Gesamtdatenmenge, entsprechend seinen Bedürfnissen, auf eine relevante Untermenge einzuschränken. Die auf der Informationslandschaft innerhalb von Frames verorteten Visualisierungen ordnen, entsprechend ihrer Positionierungsalgorithmen, die Informationsobjekte jeweils auf unterschiedliche Art und Weise an (z.B. anhand von Weltkarten-, Projekt-, Personen-Metaphern). Infolge eines Einzoomens auf einen Teilbereich einer Visualisierung schränkt der Anwender die sichtbaren Informationsobjekte anhand der Anordnungskriterien der Visualisierung und der Begrenzung durch die Dimensionen des Bildschirms ein.

Location

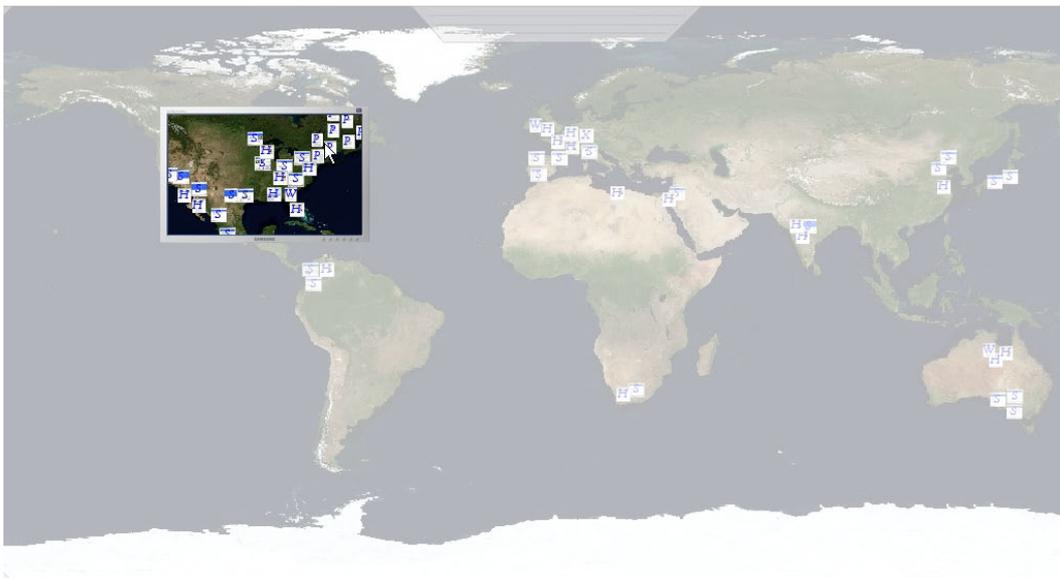


Abbildung 4.10: Filterung von Dokumenten mittels Zooming anhand der Bildschirmbegrenzung und des Positionierungsmechanismus der Visualisierung.

Zoomt der Anwender beispielsweise in der Weltkarten-Visualisierung des ZOIL Prototyps auf den Teilbereich Nordamerika, so werden in der aktuellen Ansicht des Anwenders nur noch die Dokumente dargestellt, welche auf Nordamerika aufgrund ihrer Metadaten (z.B. Publikationsort) positioniert sind und sich innerhalb des sichtbaren Bereichs befinden (siehe Abbildung 4.10). Das Zooming fungiert hierbei als ein räumlicher Filter, wobei die Filterkriterien durch die Position und Skalierung der aktuellen Ansicht auf der Informationslandschaft in Verbindung mit den angewendeten Positionierungsmechanismen gegeben sind.

Des Weiteren können mittels weiterer Frames verschiedenste Visualisierungen und damit einhergehend vielfältige Filtermechanismen autonom oder in Kombination mit den bestehenden Visualisierungen in die Informationslandschaft des ZOIL Prototyps integriert werden (siehe Kapitel 4.1.2). Möchte der Anwender beispielsweise die vorher räumlich gefilterten Dokumente im Bereich Nordamerika weitergehend mithilfe eines Scatterplots analysieren und damit die bisherige Auswahl an Informationsobjekten, entsprechend seiner Bedürfnisse weiter verfeinern, so erstellt er hierfür über dem zu analysierenden Bereich der Informationslandschaft zunächst einen neuen Frame (siehe Abbildung 4.11 links).

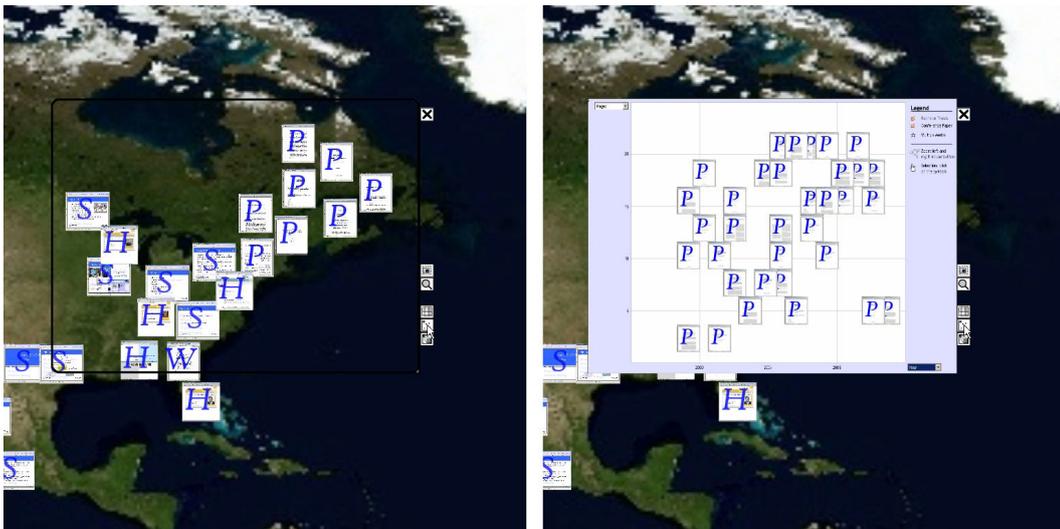


Abbildung 4.11: Weitergehende Analyse der Informationsobjekte eines Teilausschnittes der Weltkarten- Visualisierung mit einem innerhalb eines neuen Frames integrierten Scatterplots.

Im ZOIL Prototyp wird ein Frame durch ein transparentes, schwarz umrahmtes Rechteck mit einer rechts angebrachten Toolbar dargestellt, mit welcher der Anwender eine Visualisierung auswählen und den gewünschten Datenmodus des Frames spezifizieren kann. Im Falle des vorherigen Beispiels würde der Anwender hier nun den Scatterplot als Visualisierung auswählen und den „Clipping“-Modus aktivieren (siehe Abbildung 4.11 rechts). Bei diesem Modus übergibt der Frame der gewählten Visualisierung nur die Informationsobjekte, welche innerhalb dessen räumlicher Begrenzung liegen (siehe Kapitel 4.1.2). Dementsprechend fungiert der Frame an sich wiederum als räumlicher Filter, welcher mit dem Filtermechanismus der jeweiligen Visualisierung kombiniert wird.

Die Visualisierung des Frames wird jeweils dynamisch, entsprechend der aktuell eingeschlossenen Informationsobjekte angepasst. Eine Veränderung der Position oder der Größe des Frames verursacht folglich eine sofortige Aktualisierung der Visualisierung. Infolge dessen können verschiedene Bereiche der Informationslandschaft analog zum Konzept von Magic Lenses [BSP⁺93] interaktiv mit der identischen Visualisierung analysiert

werden. Ebenso ist dadurch eine Änderung des räumlichen Filters und damit der Ausgangsdatenmenge zu jeder Zeit möglich.

Die Flexibilität des Analyse- bzw. Filterprozesses lässt sich darüber hinaus durch eine Verschachtelung von Frames bzw. des Aufbaus einer Framehierarchie erweitern. Erweist sich ein Teilbereich einer Visualisierung als interessant, können die Informationsobjekte dieses Teilbereiches wiederum mittels eines neuen Frames in einer weiteren Visualisierung neu angeordnet und weiterführend gefiltert werden. Hierbei wird analog zum Programmierkonzept „Pipe and Filter“ [Meu95] die Ausgabe einer Visualisierung gefiltert und als Eingabe für die folgende verwendet. Dieser Mechanismus erlaubt es somit unterschiedlichste Visualisierungen und deren integrierte Filtermechanismen, allein durch die Anordnung der Frames, beliebig miteinander zu kombinieren. Im vorherigen Beispiel könnte der Anwender etwa die Informationsobjekte im oberen, rechten Bereich des Scatterplots als besonders relevant empfinden und deshalb deren Inhalte beispielsweise mit der HyperGrid [JGK⁺05] weiter explorieren (siehe Abbildung 4.12).

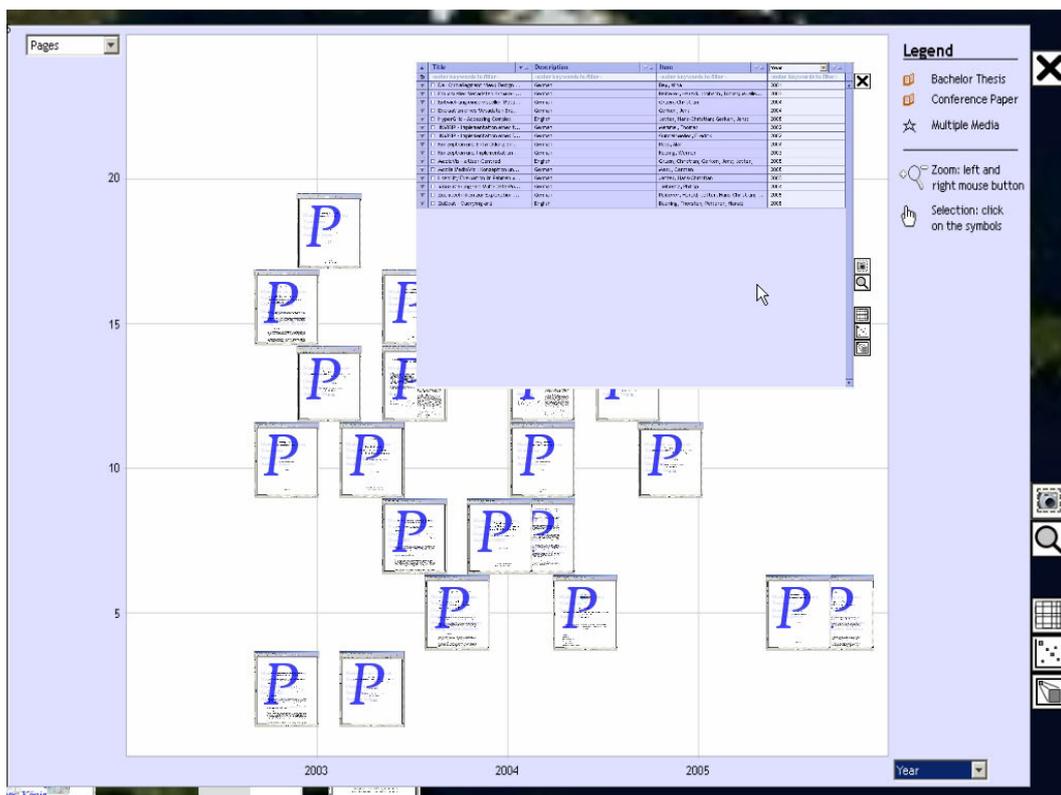


Abbildung 4.12: Flexible Kombination von HyperGrid-, Scatterplot- und Weltkarten-Visualisierung mittels deren hierarchischer Anordnung.

Der ZOIL Prototyp erlaubt, infolge der hierarchischen Anordnung der Frames und der räumlichen Informationsorganisation, nicht nur eine einfache, visuelle Kombination von verschiedensten Visualisierungen, sondern auch komplexe Analyseprozesse zu modellie-

ren und auf verschiedenste Datenmengen anzuwenden. Die sequentielle Vorgehensweise durch die Verschachtelung der Frames und die dynamische, visuelle Aufbereitung der Zwischenergebnisse in Form der jeweiligen Visualisierungen innerhalb der Frames unterstützen den Anwender beim Aufbau des Analyseverfahrens und bei der Interpretation der Zwischen- und Endergebnisse. Die Konzepte des ZOIL Prototyps bzw. des ZOIL Paradigmas sind entsprechend auf verschiedenste Anwendungsdomänen, vom Dokumentenmanagement bis zum Data Mining (z.B. DROID⁴), anwendbar.

„Users of spatial data management systems benefit from the ability to access computerresident information while retaining a familiar, visual orientation. Many types of questions can be answered without using a keyboard and a conventional query language. By organizing information in a natural, spatial framework, spatial data management encourages browsing and requires less prior knowledge of the contents and structure of the database. A user can find the information he needs without having to specify it precisely or knowing exactly where in the database it is stored“, Friedell et al. [FBK82].

⁴DROID: Dynamic Remote Operation Incident Detection, System zur Erfassung und Analyse von Live-Interaktionsdaten, <http://hci.uni-konstanz.de/research/projects/droid>.

4.4 Details-on-demand

Das im ZOIL Prototyp umgesetzte Konzept des semantischen Zoomings erlaubt dem Anwender zu jeder Zeit durch Zooming den Informationsgehalt einer Darstellung zu kontrollieren. Metadaten zu einem Dokument oder der Volltext selber werden nicht, wie beispielsweise in gängigen Webanwendungen, in einem zusätzlichen Fenster und daher außerhalb des ursprünglichen Kontext angezeigt, sondern der Inhaltsgehalt eines Informationsobjektes wächst mit dessen Darstellungsgröße an (siehe Abbildung 4.13 und Kapitel 4.2.2).

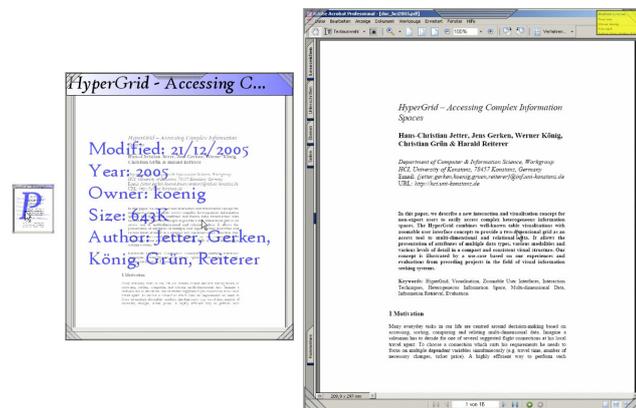


Abbildung 4.13: Der Inhaltsgehalt eines Informationsobjektes steigt infolge des semantischen Zoomings mit dessen Darstellungsgröße an.

Des Weiteren können die im ZOIL Prototyp integrierten Visualisierungen, wie beispielsweise Scatterplot oder HyperGrid [JGK⁺05], jeweils weiterführende Konzepte für die Informationsdarstellung und die Manipulation des Informationsumfangs mitbringen (siehe Abbildung 4.14). Der Anwender erhält dadurch vielfältige Möglichkeiten zur Exploration der in der Informationslandschaft enthaltenen Dokumente.

Title	Description	Item	Year
<enter keywords to filter>	<enter keywords to filter>	<enter keywords to filter>	<enter keywords to filter>
<input type="checkbox"/> Title: Ein visueller Metadaten Browser fuer die explorative Erkundung ... Document Type: Conference Paper	Language: German Abstract: Es wird ein visuelles Suchsystem zur explorativen Erkundung großer Datenmengen vorgestellt. Das System VisMeB (Visueller Metadaten-B...	Author(s): Reiterer, Harald; Limbach, Tobias; Mueller, Frank; Klein, Peter; Jetter, Hans-Christia... Institution: M&C	2003
<input type="checkbox"/> HyperGrid - Accessing Com...	English	Jetter, Hans-Christian; Gerken, Jen...	2005
<input type="checkbox"/> MedioVis - a User-Centred ...	French	Gruen, Christian; Gerken, Jens; Jett...	2005
<input type="checkbox"/> Title: Usability Evaluation im Rahmen von INVISIP Document Type: Bachelor Thesis File Name: doc_bachelor_jetter.pdf	Abstract [Usability Evaluation im R... This bachelor thesis presents and discusses the different techniques of usability evaluation applied in the INVISIP project. Apart from a brief presentation of the evaluation results this thesis focusses on the explanation of the individual evaluation techniques and the discussion of their applicability to the project. With the introduction of remote usability testing techniques and a usability software-framework the experiences from the INVISIP project are transferred into concepts for new remote evaluation tools, which can be used ...	Author(s): Jetter, Hans-Christian Institution: University of Konstanz Publisher: University of Konstanz	2003
<input type="checkbox"/> Zoomtechniken zur Explora...	German	Reiterer, Harald; Jetter, Hans-Chris...	2005

Abbildung 4.14: HyperGrid mit Dokumentendaten des ZOIL Prototyps [JGK⁺05].

4.5 Relate

Zusammenhänge, Unterschiede und Verbindungen zwischen Informationsobjekten werden im ZOIL Prototyp auf vielfältige Art und Weise kommuniziert. Vor allem die räumliche Anordnung, als dominante visuelle Eigenschaft der Informationsvisualisierung [Car03], ermöglicht in Verbindung mit den Prinzipien der Gestaltpsychologie [vE90] dem Anwender Dokumente miteinander in Bezug zu setzen.

Beispielsweise stellt die Projekt-Visualisierung des ZOIL Prototyps durch die Anwendung des Prinzips der Nähe die Zusammengehörigkeitsverhältnisse innerhalb der Dokumente und den durch die Logos symbolisierten Projekten heraus (siehe Abbildung 4.15 links). Die Reihenfolge der zuletzt bearbeiteten Informationsobjekte oder Prioritätseigenschaften können darüber hinaus mittels variierender Größenverhältnisse visuell kodiert werden (siehe Abbildung 4.15 rechts).

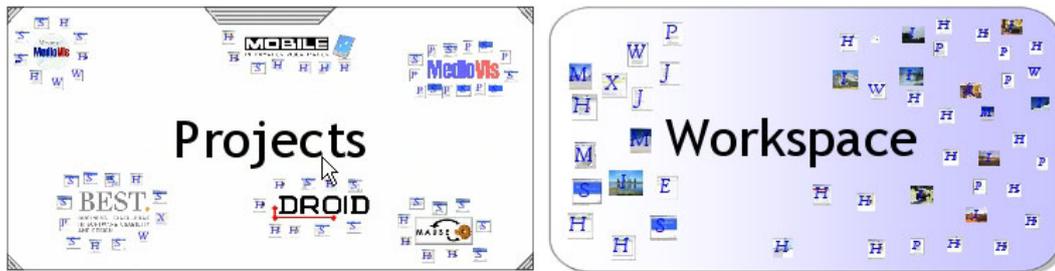


Abbildung 4.15: Projekt- und Workspace-Visualisierung des ZOIL Prototyps.

Ein weiterer Ansatz zur Interpretation eines Informationsobjektes bietet die automatische, farbliche Hervorhebung von identischen Dokumenten (siehe Abbildung 4.16 links). Die Dokumente des ZOIL Prototyps werden von verschiedenen Visualisierungen auf der Informationslandschaft jeweils hinsichtlich des zugehörigen Positionierungsmechanismus mehrfach angeordnet.

Bei der Fokussierung eines Informationsobjektes werden, analog zum Brushing & Linking Konzept [BC87], alle anderen Informationsobjekte, welche das identische Dokument repräsentieren, durch einen farblichen Schein hervorgehoben, wodurch der Anwender die Möglichkeit hat, aufgrund der jeweiligen Positionen des Dokumentes, in den unterschiedlichen Visualisierungen Rückschlüsse über dessen Eigenschaften zu treffen.

Zur Verdeutlichung und genaueren Spezifizierung von Verbindungen zwischen Dokumenten können im ZOIL Prototyp manuelle Annotationen vorgenommen werden. Hierbei können entweder direkt auf den Repräsentationen der Dokumente oder aber auf die Informationslandschaft bzw. die verorteten Visualisierungen handschriftlich Bemerkungen oder Skizzierungen vorgenommen werden (siehe Abbildung 4.16 grüner Pfeil). Eignet

sich das verwendete Eingabegerät nicht für eine handschriftliche Eingabe, so kann beispielsweise auch über eine Tastatur eine textuelle Annotation vorgenommen werden.

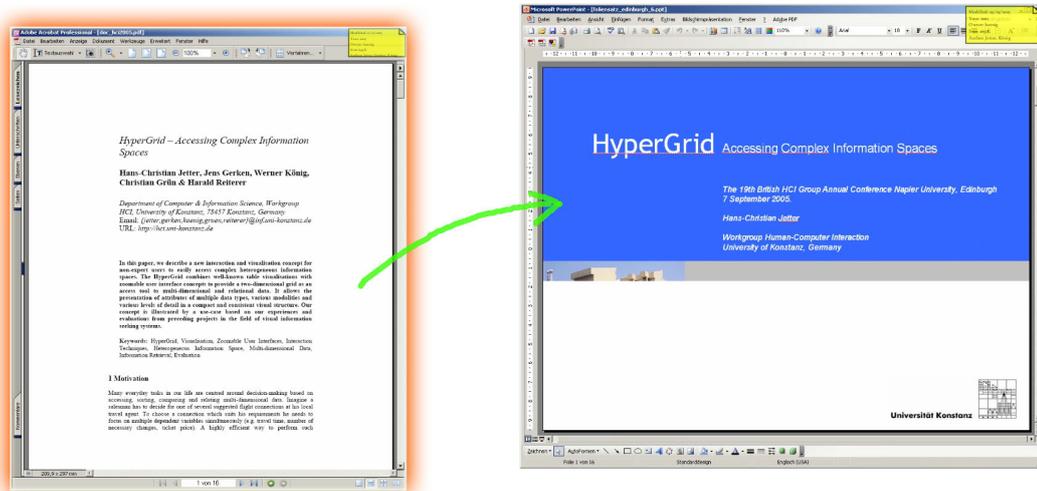


Abbildung 4.16: Farblich hervorgehobenes Informationsobjekt (links) und manuelle Annotation zwischen einzelnen Dokumenten.

Die direkt vom ZOIL Prototyp angebotenen Möglichkeiten, Dokumente miteinander in Relation zu setzen oder diese zu analysieren, können durch integrierte Visualisierungen und deren Funktionalitäten beliebig erweitert werden (siehe Kapitel 4.1.2). Somit können die Dokumente der Informationslandschaft auf unterschiedlichste Art und Weise entsprechend den Anforderungen des Anwenders flexibel und interaktiv exploriert, miteinander verglichen und interpretiert werden.

4.6 History

Innerhalb der Informationslandschaft des ZOIL Prototyps kann sich der Anwender mittels Zooming und Panning frei bewegen und die verorteten Informationsobjekte explorieren. Dabei stellt der Bewegungspfad eine kontinuierliche Sequenz von Interaktionen dar.

Soll dem Anwender im ZOIL Prototypen eine History-Funktionalität zur Hand gegeben werden, so muss es ihm möglich sein, an jeden beliebigen Punkt des Bewegungspfad zurückzukehren, da durch die animierte Bewegung die Ansicht des Anwenders sich kontinuierlich, entsprechend des Pfades verändert. Für den Benutzer ist dementsprechend nicht nur die resultierende Ansicht einer Interaktion – z.B. die Endposition eines Zooming-Vorgangs – relevant, sondern auch die Zwischenansichten können für den Anwender von Interesse sein.

Die Kontinuität der Interaktionen, deren räumliche Kopplung, sowie die weichen, animierten Übergänge der visuellen Repräsentationen der Dokumente infolge des semantischen Zoomings legen daher eine Repräsentation der Bedienungssequenzen mittels einer Video-Metapher nahe.

Die Bewegung des Anwenders auf der Informationslandschaft und alle weiteren Interaktionen werden entlang der zeitlichen Dimension mitgeschnitten, wodurch der Anwender die Möglichkeit hat, wieder zu einer beliebigen, vergangenen Situation zurückzukehren. Die videobasierte History kann daher auch als virtuelle Zeitmaschine aufgefasst werden.

Prinzipiell spielt der Anwender dabei das vermeintliche Video bis zum gewünschten Zeitpunkt zurück und kann diesen dann als neuen Ausgangspunkt für die weiteren Interaktionen verwenden. Hierbei entsteht eine temporale Gabelung, da ab diesem Punkt – metaphorisch gesprochen – die Geschichte neu geschrieben wird.

Die zeitlichen Verläufe sollen dem Anwender in Form einer Zeitlinie visualisiert werden, welche bei einer temporalen Gabelung sich in zwei unabhängige Pfade aufteilt. Durch eine intensive Verwendung der History kann dementsprechend ein Baum entstehen, welcher die einzelnen Wege aufzeigt und auch noch im Nachhinein einen Zugriff auf alle vergangenen Situationen bzw. Zeitpunkte ermöglicht.

4.7 Extract

Der Anwender kann infolge des Konzepts der Framehierarchien im ZOIL Prototyp verschiedenste Visualisierungen miteinander kombinieren und komplexe Analyseprozesse modellieren. Für die spätere Wiederverwendung ermöglichen so genannte Snapshots dem Anwender ganze Framehierarchien mitsamt allen Visualisierungseinstellungen und den dargestellten Dokumenten aus dem bisherigen Gefüge herauszulösen und an einer beliebigen Stelle auf der Informationslandschaft neu zu verorten.

Im ZOIL Prototyp wird die Snapshot-Funktionalität durch einen entsprechenden Button in der Frame-Toolbar (siehe Kapitel 4.3) aktiviert, wobei daraufhin alle Informationsobjekte des aktuellen Frames kopiert und in diesen persistent eingebettet werden. Beim Verschieben dieses Frames werden dementsprechend nicht mehr dynamisch die dargestellten Dokumente relativ zu der Position im Raum aktualisiert, sondern die Visualisierung und die Menge der enthaltenen Dokumente bleiben von einer Positionsänderung unberührt. Dies ermöglicht es, den Snapshot und damit die enthaltenen Dokumente an eine beliebige Position in der Informationslandschaft zu verschieben.

Alle Frames, welche innerhalb des Snapshots liegen und damit in der Hierarchie dem herausgelösten Frame untergeordnet sind, werden automatisch mit verschoben, da sie jeweils relativ zum übergeordneten Frame spezifiziert sind. Deren Funktionalität der dynamischen Anpassung der Visualisierung entsprechend der eingeschlossenen Dokumente bleibt erhalten, wodurch eine weitere Analyse auf Basis des Snapshots und der untergeordneten Frames möglich ist.

Der Anwender kann mittels der Snapshot-Funktionalität für ihn relevante Visualisierungsgefüge bzw. deren Inhalte als Favoriten an einer dominanten Position auf der Informationslandschaft verorten, um sich infolge dessen einen schnelleren Zugriff auf diese zu ermöglichen. Durch eine Ansammlung von Favoriten entsteht implizit eine weitere Visualisierung auf der Informationslandschaft, welche für den Anwender einen besonderen, mit der Generierung der Snapshots verbundenen Kontext für den Zugang zu den enthaltenen Dokumenten bereithält.

Ben Shneiderman definiert im Rahmen des Visual Information-Seeking Mantras sieben Tätigkeiten, welche von einem visuellen Suchsystem unterstützt werden sollten [Shn96]. Im Verlauf der letzten Kapitel wurden die Konzepte und Funktionalitäten des ZOIL Prototyps anhand dieser Tätigkeiten beschrieben. Folglich wurde nicht durch die generelle Machbarkeit des ZOIL Paradigmas mithilfe der konkreten Umsetzung des ZOIL Prototyps, sondern auch dessen grundsätzliche Eignung als visuelles Suchsystem gezeigt.

5 ZOIL Referenzmodell

Interaktive Benutzeroberflächen, wie der ZOIL Prototyp oder Zoomable User Interfaces im Allgemeinen, sind auf eine performante Erstellung der Darstellung angewiesen. Ohne ausreichend flüssige Animationen kann es beispielsweise dem Anwender schwer fallen, die Navigation im Informationsraum zu steuern oder dieser kognitiv zu folgen.

Im Gegensatz zu klassischen, zwei-dimensionalen WIMP-Anwendungen sind bei vielen ZUIs und bei ZOIL im Speziellen, aufgrund der flexiblen, räumlichen Informationsorganisation und der skalierungsabhängigen Objektdarstellung, optimierte Berechnungsmodelle der 3D-Computergrafik von Nöten, um komplexere Szenen dynamisch abzubilden.

Das Referenzmodell der Informationsvisualisierung (siehe Kapitel 3.4) betrachtet nur die im Allgemeinen für interaktive Visualisierungen notwendigen Prozesse der Informationsaufbereitung, Visualisierungsgestaltung und Interaktionsintegration unabhängig von deren Dimensionalität und Komplexität. Es trifft keine Aussage über die konkrete Transformation der Visualisierungsansicht in das letztendlich am Bildschirm wahrzunehmende Pixelbild.

Es liegt also nahe das Referenzmodell der Informationsvisualisierung mit der Rendering Pipeline der 3D-Computergrafik (siehe Kapitel 3.5) zu kombinieren, um dadurch einen ganzheitlichen, zielgerichteten Ansatz für einen effizienten Visualisierungsprozess zu erhalten. Eine Schwierigkeit bei diesem integrativen Ansatz besteht darin, die Flexibilität im Prozess der Visualisierungsgestaltung nicht zugunsten einer besseren Performance aufzugeben.

Eine weitere Problematik ergibt sich aus den Anforderungen des semantischen Zoomings von ZUIs (z.B. ZOIL Prototyp) Teile der Visualisierung je nach tatsächlicher Darstellungsgröße in ihrer Erscheinung variieren zu müssen. Im Referenzmodell der Informationsvisualisierung wird jedoch die visuelle Erscheinung der Informationen – noch vor der Ansichtstransformation (View Transformation) – während des Prozesses der visuellen Zuordnung (Visual Mapping) und somit ohne Kenntnis der tatsächlichen Ansichtsparameter festgelegt (siehe Abbildung 5.1). Die Skalierung der Visualisierung und damit die Darstellungsgröße der inhärenten Objekte ergeben sich aber erst innerhalb der Ansichtstransformation entsprechend der Ansichtsmodulation durch den Anwender.

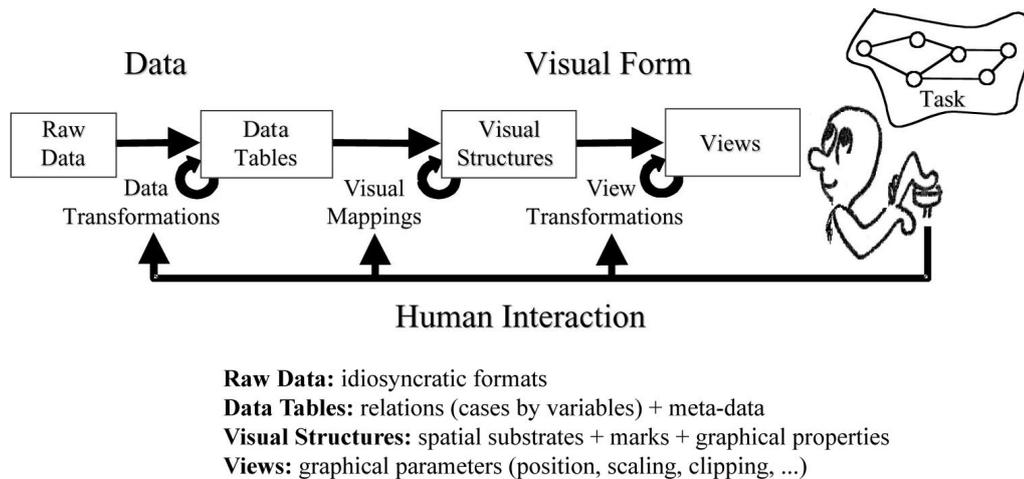


Abbildung 5.1: Referenzmodell der Informationsvisualisierung nach Card [Car03].

Da die Rendering Pipeline und das Referenzmodell der Informationsvisualisierung einen gerichteten, nicht iterativen Ansatz aufweisen, müssen bei der Kombination beider, zur effizienten Unterstützung des semantischen Zoomings, die einzelnen Prozesse entsprechend intelligent aufgeteilt und aneinander gereiht werden. Eine iterative, nachträgliche Anpassung einzelner visueller Elemente an die aktuelle Skalierung ist einerseits konzeptionell nicht vorgesehen und würde andererseits die Performance nachhaltig beeinträchtigen. Hierbei ist auch zu beachten, dass die Mehrzahl der Rendering Schritte direkt durch die hierfür spezialisierte GPU¹ durchgeführt werden können, wobei diese strikt nach dem Pipeline Prinzip aufgebaut ist und daher keine für Iterationen notwendige Speicherung von Zwischenergebnissen zulässt. Um weiterhin eine Unterstützung des Renderings durch die hoch effiziente Grafikkarte zu ermöglichen, darf daher nicht vom Pipeline Prinzip abgewichen werden.

Im Folgenden wird ein kombiniertes Referenzmodell vorgestellt, welches entsprechend den Anforderungen des ZOIL Prototyps und anderen ZUIs mit semantischem Zooming und komplexen, grafischen Strukturen einen effizienten und dennoch flexiblen Visualisierungsprozess beinhaltet. Das Referenzmodell zeichnet sich durch einen ganzheitlichen, integrativen Ansatz aus, wobei der komplette Prozessumfang von der Datengewinnung bis zur tatsächlichen Darstellung auf dem Ausgabegerät berücksichtigt wird.

Im ersten Prozessschritt des ZOIL Referenzmodells (siehe Abbildung 5.2) werden die Rohdaten beliebigen Formats, Dimension und Ursprungs infolge der Datentransformation aufbereitet und die darzustellenden Informationen identifiziert. Hieraus resultieren Informationsobjekte, welche die zugehörigen Daten als Attribute vorhalten und für das grafische Rendering in einem autonomen, lokalen Koordinatensystem verortet sind. Nach einer eventuellen Einschränkung der Gesamtmenge an Informationsobjekten durch

¹GPU: Spezialisierter Prozessor der Grafikkarte (engl. Graphics Processing Unit).

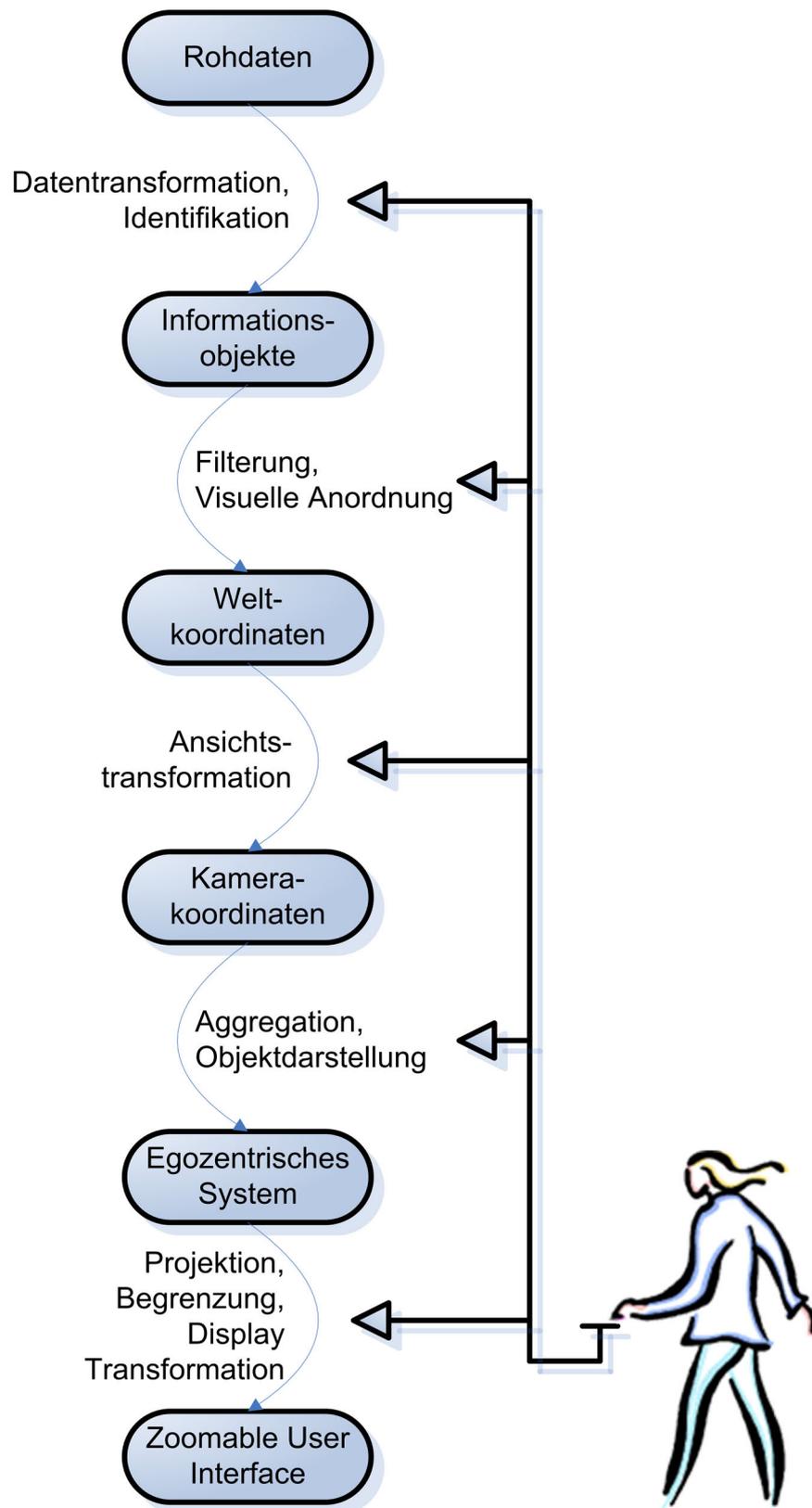


Abbildung 5.2: ZOIL Referenzmodell.

einen beliebigen Filtermechanismus werden die lokalen Koordinaten der Informationsobjekte in ein Weltkoordinatensystem transformiert und entsprechend der jeweiligen Anordnungstechnik in der globalen Visualisierungsszene verortet. Bei der Ansichtstransformation wird die Sichtweise des Betrachters durch die Positionierung einer virtuellen Kamera in das Weltkoordinatensystem in Abhängigkeit von Anwenderinteraktionen, wie Zooming und Panning, berücksichtigt. Des Weiteren werden die globalen Koordinaten der Informationsobjekte entsprechend erweiterter Interaktionsmechanismen, wie Details-on-Demand [Shn96], Brushing & Linking [BC87] oder Magic Lenses [BSP⁺93] angepasst und in das Kamerakoordinatensystem transformiert. Erst jetzt steht die konkrete Visualisierungsszene in Abhängigkeit zur Kameraposition fest und erlaubt nun Aussagen über die jeweilige Skalierung der Informationsobjekte für das semantische Zooming zu treffen. Infolge dessen werden nun die visuellen Repräsentationen der Informationsobjekte festgelegt und eventuell mehrere Objekte aus Gründen der Sichtbarkeit zu einer Gruppierung oder einem repräsentativen Multi-Data Point aggregiert. Aus dieser betrachtungsabhängigen Gestaltung der Visualisierungsszene resultiert das egozentrische (Koordinaten-)System, welches in den folgenden Schritten auf die Sichtebene projiziert, zugeschnitten, in die Gerätekoordinaten des Ausgabegeräts transformiert und letztendlich dargestellt wird. Der Anwender nimmt nun das erzeugte Abbild der Visualisierung wahr und kann interaktiv auf die einzelnen Prozessschritte für die Generierung des nächsten Bildes einwirken und somit die Visualisierung steuern. Eine abstrahierte Illustration des ZOIL Referenzmodells am Beispiel des ZOIL Prototyps wird in Abbildung 5.3 dargestellt. Auf die einzelnen Prozessschritte des ZOIL Referenzmodells wird im Folgenden nochmals detaillierter eingegangen.

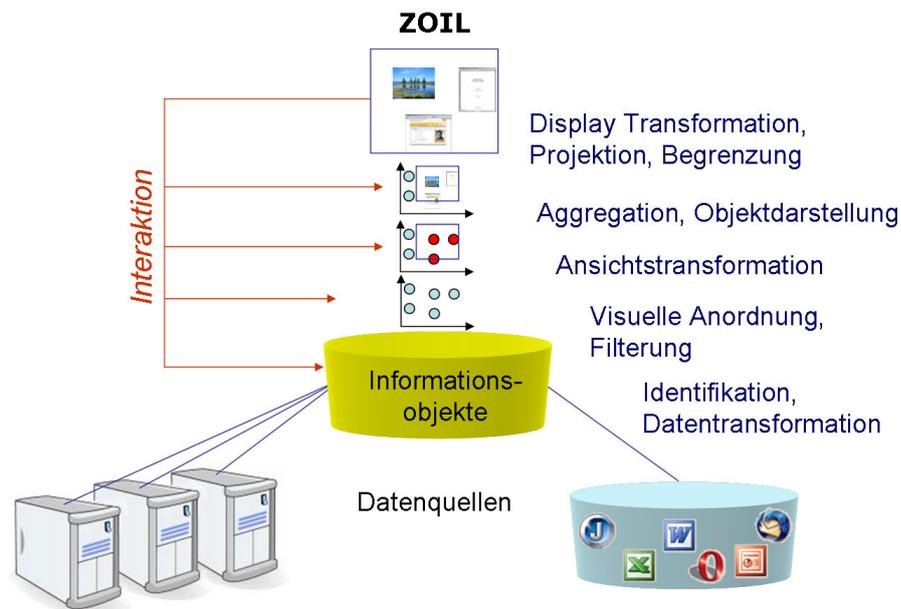


Abbildung 5.3: Illustration des ZOIL Referenzmodells am Beispiel des ZOIL Prototyps.

5.1 Rohdaten

Die Ausgangsbasis für das ZOIL Referenzmodell stellen die Rohdaten dar. Prinzipiell können Daten aller Art, Herkunft und Dimensionalität verarbeitet werden. Beispielsweise können diese aus einer lokalen Datenbank ausgelesen, dynamisch von Webseiten geparkt oder aus dem aktuellen Status des Dateisystems erzeugt werden. Für die weitere Verarbeitung werden die Rohdaten analog zum Referenzmodell der Informationsvisualisierung in einheitlich strukturierten Datentabellen organisiert, um eine einfachere Datenaufbereitung zu ermöglichen. Aus der Gesamtmenge der nun strukturiert vorliegenden Daten kann anschließend die Untermenge identifiziert werden, welche für den weiteren Visualisierungsprozess von Relevanz ist. Vor allem bei großen Datenmengen ist diese erste Reduzierung der Informationsmenge von enormer Bedeutung, da oft nicht die einzelnen Datenwerte, sondern nur aus diesen gewonnene, aggregierte Kennwerte visualisiert werden.

5.2 Informationsobjekte

Aus den reduzierten Informationseinheiten der strukturierten Datentabellen werden im weiteren Verlauf des ZOIL Referenzmodells Informationsobjekte erstellt, wobei ein Objekt ein Daten-Tupel repräsentiert und dessen Metadaten in zugeordneten Attributen vorgehalten werden. Nimmt der Anwender die Möglichkeit zur interaktiven Filterung der darzustellenden Informationsmenge mittels textueller oder visueller Filter – wie Tabellenfilter oder RangeSlider [WS92] – in Anspruch, so wird hier die Menge der Informationsobjekte entsprechend der Filterkriterien eingeschränkt.

Den restlichen Informationsobjekten wird jeweils ein lokales Koordinatensystem zugeordnet, in welches später die tatsächliche visuelle Repräsentation des Informationsobjektes in Abhängigkeit zur Skalierung eingefügt wird. Für ein effizientes Rendering werden im ZOIL Referenzmodell analog zur Rendering Pipeline der Computergrafik sämtliche Koordinaten-Transformationen über den ganzen Prozessverlauf hinweg durch Matrixmultiplikationen auf Basis von homogenen Koordinaten durchgeführt (siehe Kapitel 3.5).

5.3 Weltkoordinaten

Die Informationsobjekte werden anschließend entsprechend des Anordnungsmechanismus der darzustellenden Visualisierung an die jeweilige Position im globalen Weltkoordinatensystem positioniert und ihre Skalierung und Ausrichtung adaptiert. Beispielsweise

würde in dieser Phase bei einer Scatterplot-artigen Visualisierung die Anordnung der Informationsobjekte entsprechend ihrer Attribute in Relation zu den auf den Achsen abgetragenen Attributen vorgenommen werden.

Das Weltkoordinatensystem enthält kodiert in objektspezifischen Transformationsmatrizen die Position, Ausrichtung und Skalierung der darzustellenden Informationsobjekte, aber noch keine konkreten, visuellen Repräsentationen, da diese je nach Ansichtskalierung variieren können. Die endgültige visuelle Repräsentation muss aber später nicht noch einmal durch den Anordnungsmechanismus positioniert werden, sondern die Verortung findet automatisch durch die Multiplikation mit der bestehenden Transformationsmatrix statt.

5.4 Kamerakoordinaten

Im Zuge der Ansichtstransformation wird in das globale Weltkoordinatensystem eine virtuelle Kamera positioniert, aus deren Sicht die Visualisierungsszene und alle enthaltenen Objekte betrachtet werden. Hierbei ist die Position der Kamera abhängig von den bisher durch den Anwender getätigten Ansichtsmodulationen. Beispielsweise bewirkt Zooming eine Annäherung bzw. Eintauchen der Kamera in die Visualisierungsszene und Panning eine horizontale und/oder vertikale Translation.

Die virtuelle Kamera ist in einem eigenen lokalen Koordinatensystem definiert, wodurch gleichzeitig mehrere Kameras, ohne gegenseitige Beeinträchtigung, die identische Visualisierungsszene aus unterschiedlichen Blickwinkeln interpretieren können. Dies ermöglicht beispielsweise auch Overview plus Detail Ansichten (siehe Kapitel 4.1.1) oder kollaboratives, verteiltes Arbeiten auf Basis einer gemeinsamen Oberfläche.

Des Weiteren können in der Ansichtstransformation auch zusätzliche Visualisierungs- und Interaktionsmechanismen, wie Details-on-Demand [Shn96], Brushing & Linking [BC87] oder Magic Lenses [BSP⁺93] integriert werden, welche entweder noch vor der Transformation in das Kamerakoordinatensystem global auf die Weltkoordinaten angewendet werden und damit für alle virtuellen Kameras gleich sichtbar sind oder speziell nur für eine Sichtweise und dementsprechend erst bei dem jeweiligen Kamerakoordinatensystem berücksichtigt werden.

5.5 Egozentrisches System

Das Kamerakoordinatensystem lässt nun Rückschlüsse über die Skalierungen der einzelnen Informationsobjekte in Bezug auf die gesamte Ansicht zu. Dies ermöglicht Zoomable User Interfaces mit semantischem Zooming – je nach Skalierung der einzelnen Informationsobjekte – eine angepasste visuelle Repräsentation zu generieren und mithilfe der zugehörigen Transformationsmatrizen in die Visualisierungsszene einzubetten.

Des Weiteren können mehrere Informationsobjekte, welche beispielsweise auf einer identischen oder nahezu gleichen Position verortet sind, zu einer Gruppierung oder einem Multi-Data Point [Kön03] aggregiert und durch ein gemeinsames Objekt repräsentiert werden. Die resultierende, sehr situations- und skalierungsspezifische Visualisierungsszene wird hier als egozentrisches System bezeichnet.

5.6 Zoomable User Interface

Die Transformation des egozentrischen Systems in das schlussendlich wahrzunehmende Pixelbild auf dem Ausgabegerät wird analog zur Rendering Pipeline der Computergrafik gestaltet. Die für die aktuelle Ansicht nicht relevanten visuellen Elemente der Szene werden abgeschnitten und die verbliebenen auf eine zwei-dimensionale Ebene projiziert. Dieses Abbild wird anschließend in die Gerätekoordinaten des physischen Ausgabegeräts transformiert und zu einem darstellbaren Pixelbild gerastert (siehe Kapitel 3.5.4 bis 3.5.6).

Der Anwender hat in allen Prozessschritten des ZOIL Referenzmodells Einfluss auf die Generierung des resultierenden Pixelbildes und infolge dessen auch auf das Verhalten des damit modellierten Zoomable User Interfaces (siehe Abbildung 5.2). Mit dem hier vorgestellten Referenzmodell soll auch für komplexere ZUIs eine effiziente und dennoch flexible Visualisierungsgenerierung ermöglicht werden, um somit dem Anwender das Gefühl einer flüssigen, interaktiven Steuerung des ZUIs zu vermitteln.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein neues Zoomable User Interface Paradigma namens ZOIL vorgestellt und dessen konzeptionelle und technische Machbarkeit anhand einer prototypischen Umsetzung illustriert und überprüft. Das Akronym ZOIL steht hierbei für „Zoomable Object-oriented Information Landscape“ und unterstreicht die grundlegende Intention, im Rahmen eines generellen Interaktions- und Visualisierungs-Paradigmas, den Ansatz von Zoomable User Interfaces mit den direkt-manipulativen Konzepten von objektorientierten Benutzeroberflächen und der räumlichen Datenorganisation mithilfe einer beliebig skalierbaren Informationslandschaft zu vereinen.

Ein herausragendes Merkmal des ZOIL Paradigmas stellt die Möglichkeit zur flexiblen Integration und Kombination unterschiedlichster Visualisierungen, innerhalb eines gemeinsamen, konsistenten Interaktions- und Visualisierungskonzepts, dar. Hierbei können beliebig komplexe Filtermechanismen durch eine sequentielle, räumliche Anordnung von diversen Visualisierungen realisiert und interaktiv auf unterschiedliche Datenmengen angewendet werden. Darüber hinaus unterscheidet sich das ZOIL Paradigma von anderen ZUIs – wie Raskins ZoomWorld – durch eine konsequente Umsetzung des semantischen Zoomings unter Berücksichtigung der kognitiven Fähigkeiten des Menschen. Hierfür wurde eine formale Methode zur Herleitung von Grenzwerten für die Regulierung der skalierungsabhängigen Informationsrepräsentationen beim semantischen Zooming, auf Basis des menschlichen Sehvermögens in Relation zur Darstellungsgröße der Objekte, vorgestellt.

Um den technischen und konzeptionellen Anforderungen des ZOIL Paradigmas gerecht zu werden, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein neues Referenzmodell für Zoomable User Interfaces definiert, welches das Referenzmodell der Informationsvisualisierung nach Card [Car03] und die Rendering Pipeline der 3D-Computergrafik [Wat90] hinsichtlich eines flexiblen sowie performanten Visualisierungsprozesses miteinander vereint.

Das ZOIL Referenzmodell zeichnet sich durch einen ganzheitlichen, integrativen Ansatz aus, wobei der komplette Prozessumfang von der Datengewinnung bis zur tatsächlichen Darstellung auf dem Ausgabegerät berücksichtigt wird. Hierbei wurde auf eine effiziente Integration der infolge des semantischen Zoomings variierenden Informationsrepräsentationen sowie auf eine hardwarenahe Unterstützung durch spezialisierte, grafische Prozessoren (GPU) Wert gelegt.

Zur Heranführung an die in dieser Arbeit vorgestellten Konzepte wurden relevante Vorarbeiten in Form von konkreten Systemen oder wissenschaftlichen Prototypen betrachtet und einschlägige Evaluationsstudien zu Zoomable User Interfaces aufgeführt. Des Weiteren wurden physiologische und psychologische Aspekte der menschlichen Wahrnehmung erarbeitet und diverse Zooming & Panning Konzepte sowie deren kritische Faktoren diskutiert. Ebenso wurde das Potential klassischer als auch unkonventioneller Eingabegeräte, bezüglich deren Einsatz in Zoomable User Interfaces, erörtert und die Verwendung von ein-dimensionalen, Wippen-artigen Eingabegeräten für die Steuerung des Zoomings vorgeschlagen.

6.1 Ausblick

Obwohl das ZOIL Paradigma in der vorliegenden Arbeit anhand der Anwendungsdomäne „Dokumentenmanagement“ illustriert wurde, kann es als generelles Grundkonzept auf verschiedenste Bereiche angewendet werden. In weiterführenden Arbeiten wäre daher eine Übertragung der hier vorgestellten Konzepte auf andere Domänen – wie auf die Analyse von komplexen Interaktionsdaten (z.B. DROID) – oder als alternativer Zugang zu den heterogenen Informationen des Internets interessant. Ferner könnte das ZOIL Paradigma auch für industrielle Anwendungsbereiche, wie Gebäude- oder Anlagenleitstände, sowie für die Aufbereitung und Visualisierung von Unternehmensdaten verwendet werden.

Des Weiteren sollten die Interaktions- und Visualisierungskonzepte des ZOIL Paradigmas hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit evaluiert und entsprechend der hieraus resultierenden Änderungserfordernisse adaptiert werden. Für eine quantitative Vergleichsstudie mit einer klassischen Lösung sollte der ZOIL Prototyp jedoch noch weiter konkretisiert und auf die jeweilige Anwendungsdomäne zugeschnitten werden, um die Vergleichbarkeit der System zu erhöhen.

Das ZOIL Paradigma scheint aufgrund der beliebigen Skalierbarkeit und der räumlichen Informationsorganisation gerade auch für große, hochauflösende Displays geeignet zu sein. Hierbei treten neue Herausforderungen hinsichtlich des kollaborativen Arbeitens auf einer gemeinsamen Informationslandschaft sowie bezüglich der autonomen Interaktion von mehreren Anwendern auf. Des Weiteren ergeben sich aus der erheblichen Beweglichkeit des Anwenders vor einem großen Display neue Fragestellungen und Chancen. Weitergehende Konzepte des semantischen Zoomings könnten die räumliche Bewegung des Anwenders bei der Darstellung der Informationsobjekte berücksichtigen oder diese sogar als eigenständige Interaktion interpretieren. Auf Basis der in dieser Masterarbeit vorgestellten Konzepte, Erkenntnisse und Erfahrungen eröffnet sich nun ein breites Spektrum interessanter Anknüpfungspunkte für Folgeprojekte unterschiedlichster Ausrichtung.

7 Anhang

CD-ROM

Dieser Arbeit liegt eine CD-ROM bei, welche eine digitale Version der vorliegenden Arbeit und ein Demonstrationsvideo des ZOIL Prototyps beinhaltet. Das Video wurde mit Microsoft Windows Media 9 kodiert und kann dementsprechend mit Windows Media Player 9 für Microsoft Windows oder Apple Macintosh abgespielt werden. Open Source Player mit entsprechenden Codec sind hierfür ebenso geeignet. Alternativ ist das Video auch auf der Webseite der Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion als Download¹ verfügbar.

Kontaktinformation

Werner A. König
Email: We.Koenig@gmx.de
Tel: +49 7531 385888
Web: <http://hci.uni-konstanz.de>
AG Mensch-Computer Interaktion
Universität Konstanz

¹Demonstrationsvideo: <http://hci.uni-konstanz.de/intehrdis/ZOILPrototyp.wmv>.

Literaturverzeichnis

- [AM89] J. R. Anderson and R. Milson. Human memory: An adaptive perspective. *The Psychological Review*, 96(4):703–719, 1989.
- [BB99] Benjamin B. Bederson and Angela Boltman. Does animation help users build mental maps of spatial information? In *INFOVIS '99: Proceedings of the 1999 IEEE Symposium on Information Visualization*, page 28, Washington, DC, USA, 1999. IEEE Computer Society.
- [BB06] Michael Bender and Manfred Brill. *Computergrafik*. Hanser, München, Deutschland, 2d edition, 2006.
- [BBH05] Steffi Beckhaus, Kristopher J. Blom, and Matthias Haringer. Intuitive, hands-free travel interfaces for virtual environments. In *VR2005, Workshop, New directions in 3D User Interfaces*, 2005.
- [BC87] Richard A. Becker and William S. Cleveland. Brushing scatterplots. *Technometrics*, 29(2):127–142, 1987.
- [BCCR03] Benjamin B. Bederson, Aaron Clamage, Mary P. Czerwinski, and George G. Robertson. A fisheye calendar interface for pdas: providing overviews for small displays. In *CHI '03: CHI '03 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 618–619, New York, NY, USA, 2003. ACM Press.
- [BCCR04] Benjamin B. Bederson, Aaron Clamage, Mary P. Czerwinski, and George G. Robertson. Datelens: A fisheye calendar interface for pdas. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 11(1):90–119, 2004.
- [Bed01] Benjamin B. Bederson. Photomesa: a zoomable image browser using quantum treemaps and bubblemaps. In *UIST '01: Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 71–80, New York, NY, USA, 2001. ACM Press.

- [BGM04] Benjamin B. Bederson, Jesse Grosjean, and Jon Meyer. Toolkit design for interactive structured graphics. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, 30(8):535–546, 2004.
- [BGR06] Thorsten Büring, Jens Gerken, and Harald Reiterer. Usability of overview-supported zooming on small screens with regard to individual differences in spatial ability. In *AVI'2006: Advanced visual interfaces*. ACM Press, 2006.
- [BH94] Benjamin B. Bederson and James D. Hollan. Pad++: a zooming graphical interface for exploring alternate interface physics. In *UIST '94: Proceedings of the 7th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 17–26, New York, NY, USA, 1994. ACM Press.
- [BHP⁺96] Benjamin B. Bederson, James D. Hollan, Ken Perlin, Jonathan Meyer, David Bacon, and George W. Furnas. Pad++: A zoomable graphical sketchpad for exploring alternate interface physics. *Journal of Visual Languages and Computing*, 7(1):3–32, 1996.
- [BKD75] G. H. Bower, M. B. Karlin, and A. Dueck. Comprehension and memory for pictures. *Memory and Cognition*, 3(2):216–220, 1975.
- [BL99] A. D. Baddeley and R. H. Logie. Working memory: The multiple component model. In *A. Miyake & P. Shah (Eds.) Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*, pages 28–61, New York, NY, USA, 1999. Cambridge University Press.
- [BLV84] A. D. Baddeley, V. J. Lewis, and G. Vallar. Exploring the articulatory loop. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36:233–252, 1984.
- [BMG00] Benjamin B. Bederson, Jon Meyer, and Lance Good. Jazz: an extensible zoomable user interface graphics toolkit in java. In *UIST '00: Proceedings of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 171–180, New York, NY, USA, 2000. ACM Press.
- [BS99] N. P. Bichot and J. D. Schall. Effects of similarity and history on neural mechanisms of visual selection. *Nature Neuroscience*, 2(6):549–554, 1999.
- [BSP⁺93] Eric A. Bier, Maureen C. Stone, Ken Pier, William Buxton, and Tony D. DeRose. Toolglass and magic lenses: the see-through interface. In *SIGGRAPH '93: Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 73–80, New York, NY, USA, 1993. ACM Press.
- [BSW02] Benjamin B. Bederson, Ben Shneiderman, and Martin Wattenberg. Ordered and quantum treemaps: Making effective use of 2d space to display hierarchies. *ACM Trans. Graph.*, 21(4):833–854, 2002.

- [BW90] David Beard and John Walker. Navigational techniques to improve the display of large two-dimensional spaces. *Behavior and Information Technology - BIT*, 9(6):451–466, 1990.
- [Car03] Stuart Card. Information visualization. *The human-computer interaction handbook: fundamentals, evolving technologies and emerging applications*, pages 544–582, 2003.
- [CB99] Tammara T. A. Combs and Benjamin B. Bederson. Does zooming improve image browsing? In *DL '99: Proceedings of the fourth ACM conference on Digital libraries*, pages 130–137, New York, NY, USA, 1999. ACM Press.
- [CDN88] John P. Chin, Virginia A. Diehl, and Kent L. Norman. Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface. In *CHI '88: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 213–218, New York, NY, USA, 1988. ACM Press.
- [CL75] A. M. Collins and E. F. Loftus. A spreading activation theory of semantic processing. *The Psychological Review*, 82:407–428, 1975.
- [CM01] Andy Cockburn and Bruce McKenzie. 3d or not 3d?: evaluating the effect of the third dimension in a document management system. In *CHI '01: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 434–441, New York, NY, USA, 2001. ACM Press.
- [CMS99] Stuart K. Card, Jock D. Mackinlay, and Ben Shneiderman, editors. *Readings in information visualization: using vision to think*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1999.
- [CRM91] Stuart K. Card, George G. Robertson, and Jock D. Mackinlay. The information visualizer, an information workspace. In *CHI '91: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 181–186, New York, NY, USA, 1991. ACM Press.
- [CvDRH99] Mary P. Czerwinski, Maarten van Dantzich, George Robertson, and Hunter Hoffman. The contribution of thumbnail image, mouse-over text and spatial location memory to web page retrieval in 3d. In *Proceedings of INTERACT '99*, pages 163–170, 1999.
- [Don78] William C. Donelson. Spatial management of information. In *SIGGRAPH '78: Proceedings of the 5th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 203–209, New York, NY, USA, 1978. ACM Press.
- [Dow87] John E. Dowling. *The Retina: An Approachable Part of the Brain*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, 1987.

- [FB95] George W. Furnas and Benjamin B. Bederson. Space-scale diagrams: understanding multiscale interfaces. In *CHI '95: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 234–241, New York, NY, USA, 1995. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- [FBK82] Mark Friedell, Jane Barnett, and David Kramlich. Context-sensitive, graphic presentation of information. In *SIGGRAPH '82: Proceedings of the 9th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 181–188, New York, NY, USA, 1982. ACM Press.
- [Fur86] G. W. Furnas. Generalized fisheye views. In *CHI '86: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 16–23, New York, NY, USA, 1986. ACM Press.
- [Fur91] George W. Furnas. The fisheye calendar system. Technical Report TM-ARH-020558, Bellcore, Morristown, NJ, USA, 1991.
- [FZ98] George W. Furnas and Xiaolong Zhang. Muse: a multiscale editor. In *UIST '98: Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 107–116, New York, NY, USA, 1998. ACM Press.
- [GGJ⁺05] Christian Grün, Jens Gerken, Hans-Christian Jetter, Werner König, and Harald Reiterer. Medioviz - a user-centred library metadata browser. In *ECDL*, pages 174–185, 2005.
- [GJK05] Jens Gerken, Hans-Christian Jetter, and Werner A. König. Psitop - a zoomable workspace for visual document search and browsing. *Course Interactive Visualization, Robert Spence, University of Konstanz*, 2005.
- [GZW00] Huo Guo, Vivian Zhang, and Jing Wu. The effect of zooming speed in a zoomable user interface. Report from student hci online research experiments (shore), University of Maryland, 2000.
- [HBP02] Kasper Hornbaek, Benjamin B. Bederson, and Catherine Plaisant. Navigation patterns and usability of zoomable user interfaces with and without an overview. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 9(4):362–389, 2002.
- [Her80] Christopher F. Herot. Spatial management of data. *ACM Trans. Database Syst.*, 5(4):493–513, 1980.
- [HRH⁺98] Ron R. Hightower, Laura T. Ring, Jonathan I. Helfman, Benjamin B. Bederson, and James D. Hollan. Graphical multiscale web histories: a study of padprints. In *HYPertext '98: Proceedings of the ninth ACM conference on Hypertext and hypermedia : links, objects, time and space—structure in hypermedia systems*, pages 58–65, New York, NY, USA, 1998. ACM Press.

- [IH92] H. Intraub and J. E. Hoffman. Reading and visual memory: Remembering scenes that were never seen. *American Journal of Psychology*, 105:101–114, 1992.
- [JF98] Susanne Jul and George W. Furnas. Critical zones in desert fog: aids to multiscale navigation. In *UIST '98: Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 97–106, New York, NY, USA, 1998. ACM Press.
- [JGK⁺05] Hans-Christian Jetter, Jens Gerken, Werner König, Christian Grünen, and Harald Reiterer. Hypergrid - accessing complex information spaces. In *People and Computers XIX - The Bigger Picture, Proceedings of HCI 2005*, volume 1, Edinburgh, UK, 2005. Springer Verlag.
- [KMRE02] Peter Klein, Frank Muller, Harald Reiterer, and Maximilian Eibl. Visual information retrieval with the supertable + scatterplot. In *Sixth International Conference on Information Visualisation (IV'02)*, pages 70–76, London, England, 2002. IEEE Computer Society.
- [Kön03] Werner König. *Konzeption und Implementation eines 3D-Scatterplots zur Visualisierung von Metadaten*. Universität Konstanz, Fachbereich für Informatik und Informationswissenschaft, 2003.
- [KS96] Eser Kandogan and Ben Shneiderman. Elastic windows: improved spatial layout and rapid multiple window operations. In *AVI '96: Proceedings of the workshop on Advanced visual interfaces*, pages 29–38, New York, NY, USA, 1996. ACM Press.
- [KTG92] D. Kahneman, A. Triesman, and B. J. Gibbs. The reviewing of object files: Objectspecific integration of information. *Cognitive Psychology*, 24:175–219, 1992.
- [Mac95] Alan MacEachren. *How Maps Work*. The Guilford Press, New York, NY, 1995.
- [May01] R. E. Mayer. *Multimedia learning*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2001.
- [Meu95] Regine Meunier. The pipes and filters architecture. *Pattern languages of program design*, pages 427–440, 1995.
- [Mil56] Georg A. Miller. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review*, 63:81–97, 1956.

- [MS99] Akira Miyake and Priti Shah. *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 1999.
- [PCS95] Catherine Plaisant, David Carr, and Ben Shneiderman. Image-browser taxonomy and guidelines for designers. *IEEE Softw.*, 12(2):21–32, 1995.
- [PdSFM96] Linda B. Páez, Jose Bezerra da Silva-Fh, and Gary Marchionini. Disorientation in electronic environments: A study of hypertext and continuous zooming interfaces. In *ASIS*, pages 58–66, Baltimore, MD, USA, 1996.
- [PF93] Ken Perlin and David Fox. Pad: an alternative approach to the computer interface. In *SIGGRAPH '93: Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 57–64, New York, NY, USA, 1993. ACM Press.
- [PH96] A. Postma and E. H. F. De Haan. What was where? memory for object locations. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A(1):178–199, 1996.
- [Phi74] W. A. Phillips. On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception and Psychophysics*, 16:283–290, 1974.
- [PIH98] A. Postma, R. Izendoorn, and E. H. F. De Haan. Sex differences in object location memory. *Brain and Cognition*, 36:334–345, 1998.
- [PKL97] Roderick Perkins, Dan Smith Keller, and Frank Ludolph. Inventing the lisa user interface. *interactions*, 4(1):40–53, 1997.
- [Pot76] M. C. Potter. Short-term conceptual memory for pictures. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 2:509–522, 1976.
- [Ras00] Jef Raskin. The humane interface (book excerpt). *Ubiquity*, 1(14):3, 2000.
- [Ray98] K. Rayner. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3):372–422, 1998.
- [RCL⁺98] George Robertson, Mary Czerwinski, Kevin Larson, Daniel C. Robbins, David Thiel, and Maarten van Dantzich. Data mountain: using spatial memory for document management. In *UIST '98: Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 153–162, New York, NY, USA, 1998. ACM Press.
- [RJK⁺05] Harald Reiterer, Hans-Christian Jetter, Werner König, Jens Gerken, and Christian Grün. Zoomtechniken zur exploration komplexer informationsräume am beispiel hypergrid. In *Mensch & Computer 2005: Kunst und*

- Wissenschaft - Grenzüberschreitungen der interaktiven ART*, Linz, 2005. Oldenbourg Verlag.
- [RPR96] Michael Rürger, Bernhard Preim, and Alf Ritter. Zoom navigation exploring large information and application spaces. In *AVI*, pages 40–48, 1996.
- [SA82] Robert Spence and Mark Apperley. Data base navigation: An office environment for the professional. *Behavior and Information Technology - BIT*, 1(1):43–54, 1982.
- [Shn92] Ben Shneiderman. Tree visualization with tree-maps: 2-d space-filling approach. *ACM Trans. Graph.*, 11(1):92–99, 1992.
- [Shn96] Ben Shneiderman. The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations. In *VL '96: Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Visual Languages*, page 336, Washington, DC, USA, 1996. IEEE Computer Society.
- [Sut63] Ivan E. Sutherland. *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, Lincoln Lab, 1963. Also published as technical report UCAM-CL-TR-574 of the University of Cambridge, UK, Computer Laboratory.
- [SVS05] John D. Smith, Roel Vertegaal, and Changuk Sohn. Viewpointer: light-weight calibration-free eye tracking for ubiquitous handsfree deixis. In *UIST '05: Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 53–61, New York, NY, USA, 2005. ACM Press.
- [TC05] James J. Thomas and Kristin A. Cook. *Illuminating the Path: The Research and Development Agenda for Visual Analytics*. National Visualization and Analytics Center, 2005.
- [TG88] A. Triesman and S. Gormican. Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *The Psychological Review*, 95(1):15–48, 1988.
- [VB05] Daniel Vogel and Ravin Balakrishnan. Distant freehand pointing and clicking on very large, high resolution displays. In *UIST '05: Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 33–42, New York, NY, USA, 2005. ACM Press.
- [vE90] Christian von Ehrenfels. Über gestaltqualitäten. *Vierteljahrsschrift für wissenschaftliche Philosophie*, 14:249–292, 1890.
- [VWL01] E. K. Vogel, G. F. Woodman, and S. J. Luck. Storage of features, conjunctions and objects in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(1):92–114, 2001.

- [War04] Colin Ware. *Information visualization: perception for design*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2nd edition, 2004.
- [Wat90] Alan Watt. *Fundamentals of three-dimensional computer graphics*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1990.
- [Wic92] C. D. Wickens. *Engineering Psychology and Human Performance*. Harper-Collins, New York, NY, USA, 2d edition, 1992.
- [WLS98] Allison Woodruff, James Landay, and Michael Stonebraker. Goal-directed zoom. In *CHI '98: CHI 98 conference summary on Human factors in computing systems*, pages 305–306, New York, NY, USA, 1998. ACM Press.
- [WM92] P.J. Waddill and M.A. McDaniel. Pictorial enhancement of text memory: limitations imposed by picture type and comprehension skill. *Memory and Cognition*, 20(5):472–482, 1992.
- [WS92] Christopher Williamson and Ben Shneiderman. The dynamic homefinder: evaluating dynamic queries in a real-estate information exploration system. In *SIGIR '92: Proceedings of the 15th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*, pages 338–346, New York, NY, USA, 1992. ACM Press.
- [Yat66] F. A. Yates. *The Art of Memory*. University of Chicago Press, Chicago, IL, USA, 1966.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Xerox Viewpoint 6085 (links) und Microsoft Windows XP (rechts). . . .	6
2.1	Jef Raskins Vision ZoomWorld als Flash Prototyp [Ras00].	10
2.2	Konstruktion eines Space-Scale Diagrams für ZUIs nach Furnas und Bederson [FB95]. Ansicht des ZUIs bei einer Skalierung(a) und Verlauf der einzelnen Ansichten über mehrere Skalierungen hinweg beim geometrischen Zooming (b).	11
2.3	Gegenüberstellung von geometrischem Zoom (a) und semantischem Zoom (b) mittels eines Space-Scale Diagrams [FB95]. Die Form der Repräsentation in (b) variiert je nach Skalierung.	11
2.4	Donelsons Spatial Data Management System [Don78].	13
2.5	MIT Media Room: Umgebung für Donelsons SDMS [Don78].	14
2.6	Pad – drei Ansichten einer Kalenderanwendung bei unterschiedlicher Skalierung [PF93].	16
2.7	In Pad++ umgesetzter Verzeichnis-Browser [BH94].	17
2.8	Pad++ Dialog für die Stichwortsuche [BH94].	18
2.9	Der kürzeste Pfad zwischen zwei Punkten ist nicht unbedingt die verbindende Gerade. Jeder Pfeil repräsentiert hier eine Gewichtungseinheit. Zooming verhält sich im Gegensatz zu Panning nicht linear, sondern logarithmisch. Daher ist es oft „günstiger“ zuerst herauszuzoomen (a), dann zu pannen (b) und anschließend wieder einzuzoomen (c), als direkt entlang der verbindenden Geraden zu pannen (d) [BHP ⁺ 96].	19
2.10	PhotoMesa Image Browser mit rotem Markierungsrahmen für die nächste Zoomstufe und vergrößerter Bildansicht [Bed01].	21
2.11	Furnas Fisheye Calendar System, der Fokus liegt auf dem 07. April 1986, die Zellengrößen ergeben sich aus dem Degree of Interest [Fur91].	23
2.12	DateLens mit Dreimonatsansicht (links) und Zoom in zwei Schritten (mitte & rechts) auf den 17. Juli 2002 [BCCR03]&[BCCR04].	24
2.13	HyperGrid mit Filmdaten, Biographien und Trailern.	26
2.14	Links: Position des Attributs „Autor“ innerhalb des Attributraums. Rechts: Gruppierung von Attributen entlang des AOI „Beteiligte“ in vier Ebenen [RJK ⁺ 05].	27

2.15	Links: PadPrints History mit Browser-Komponente. Rechts: Nahansicht der besuchten Webseiten als Miniaturabbildungen im ZUI [HRH ⁺ 98].	30
2.16	Ergebnisse der zweiten PadPrints Studie von Hightower et al. Links: Durchschnittliche Bearbeitungszeit. Rechts: Durchschnittliche Anzahl der Seitenaufrufe [HRH ⁺ 98].	31
2.17	Thumbs Plus (oben links), Simple LandScape (unten links), Zoomable Image Browser (Mitte), Photo GoRound (rechts) [CB99].	32
2.18	Links: Durchschnittliche Bearbeitungszeit der Browser je Mengengröße. Rechts: Durchschnittliche Bewertung der Benutzerzufriedenheit über alle Größen [CB99].	32
2.19	Durchschnittliche Rate der korrekt wieder gefundenen Bilder in Prozent je Mengengröße [CB99].	33
2.20	Rechts & Links: Data Mountain mit 100 Webseiten. Rechts: Eine selektierte Webseite wird groß (gezoomt) dargestellt [RCL ⁺ 98].	34
2.21	Links: Durchschnittliche Bearbeitungszeit je Hinweistyp und Anwendung. Rechts: Durchschnittliche Anzahl nicht korrekt gefundener Webseiten je Hinweistyp und Anwendung [RCL ⁺ 98].	34
3.1	Links: Fußwippe für Lautstärkeregelung im Audio-Bereich. Rechts: Handwippe für die Drosselsteuerung bei Flugsimulatoren.	41
3.2	Links: ChairIO, ChairBased 3D Interface. Rechts: ChairIO Demonstration im Rahmen des Genfer Automobil-Salons 2006 [BBH05].	42
3.3	Links: Nintendo Wii Controller ⁵ . Mitte: Hand & Gesture-Tracking [VB05]. Rechts: ViewPointer Eye-Tracker [SVS05].	42
3.4	Modell des Kurzzeitgedächtnisses nach Baddeley und Logie [AM99].	45
3.5	Neun räumliche Positionen werden im Kurzzeitgedächtnis gespeichert, aber nur drei davon aktiv als Objekte vorgehalten [War04].	46
3.6	Individuelles Netzwerk verlinkter Konzepte um den Begriff ZUI.	48
3.7	Referenzmodell der Informationsvisualisierung nach Card [Car03].	51
3.8	Datentabelle mit Filminhalten nach Card [Car03].	52
3.9	Rendering Pipeline für drei-dimensionale Visualisierungen [BB06].	55
4.1	ZOIL Paradigma: Verschachtelte Frames auf der Informationslandschaft (abstrahierte Skizzierung).	60
4.2	ZOIL Prototyp: Übersichtsansicht der Informationslandschaft mit unterschiedlichen Visualisierungen und verorteten Informationsobjekten.	62
4.3	Overview plus Detail: Gezoomte Informationslandschaft mit fixiertem Übersichtsfenster (oben rechts).	64
4.4	Informationsobjekte einer Visualisierung angeordnet nach Projektzugehörigkeit.	66
4.5	Links: Fußwippe für Lautstärkeregelung im Audio-Bereich. Rechts: ChairIO, ChairBased 3D Interface [BBH05].	70

4.6	Größe und kleinste visuelle Informationseinheit eines Objektes am Beispiel des Landolt C.	72
4.7	Visuelle Repräsentation eines Informationsobjektes in Abhängigkeit zur Darstellungsgröße im ZOIL Prototyp.	74
4.8	Darstellung der Metadaten zu einem Informationsobjekt bei unterschiedlichen Skalierungen.	75
4.9	Informationsobjekte bei unterschiedlicher Skalierung und mit (links/Mitte) sowie ohne Fokus (rechts). Die objektspezifischen Funktionalitäten, z.B. Bearbeitungswerkzeuge für PDF-Dateien, werden erst bei voller Darstellungsgröße eingeblendet (Mitte/rechts).	76
4.10	Filterung von Dokumenten mittels Zooming anhand der Bildschirmbegrenzung und des Positionierungsmechanismus der Visualisierung.	77
4.11	Weitergehende Analyse der Informationsobjekte eines Teilausschnittes der Weltkarten- Visualisierung mit einem innerhalb eines neuen Frames integrierten Scatterplots.	78
4.12	Flexible Kombination von HyperGrid-, Scatterplot- und Weltkarten - Visualisierung mittels deren hierarchischer Anordnung.	79
4.13	Der Inhaltsgehalt eines Informationsobjektes steigt infolge des semantischen Zoomings mit dessen Darstellungsgröße an.	81
4.14	HyperGrid mit Dokumentendaten des ZOIL Prototyps [JGK ⁺ 05].	81
4.15	Projekt- und Workspace-Visualisierung des ZOIL Prototyps.	82
4.16	Farblich hervorgehobenes Informationsobjekt (links) und manuelle Annotation zwischen einzelnen Dokumenten.	83
5.1	Referenzmodell der Informationsvisualisierung nach Card [Car03].	87
5.2	ZOIL Referenzmodell.	88
5.3	Illustration des ZOIL Referenzmodells am Beispiel des ZOIL Prototyps.	89

Index

- Animiertes Zooming, 38
- Ansichtstransformation, 54
- AOI, Aspect of Interest, 25, 65
- Aspect Ratio, 65
- Attributraum, 27
- Automatisches Zooming, 38

- Bildkoordinaten, 57
- Brushing & Linking, 54, 82, 89, 91

- ChairIO, 41, 69
- Chunk, 48
- Clipping, 56, 67
- Clippingkoordinaten, 56
- Computergrafik, 55

- Data Mountain, 33
- Dataland, 14, 37
- DateLens, 23
- Datentabelle, 52
- Datentransformation, 51, 52
- Desert Fog, 38, 63, 70
- Details-on-Demand, 54, 89, 91
- Details-on-demand, 81
- DOI, Degree of Interest, 23, 75
- DROID, 80

- Egozentrisches System, 92
- Evaluation, 29
- Extract, 85

- Filter, 77
- Fisheye, 23
- Fixation, 44, 72

- Fovea, 44, 73
- Frame, 65
- Frames, 59

- Geometrisches Zooming, 10
- Gerätekoordinaten, 57
- Goal-Directed Zoom, 38
- Grenzwert, 72
- GUI, 6

- History, 84
- HyperGrid, 25, 79, 81

- Ikonischen Gedächtnis, 44
- Informationslandschaft, 59
- Informationsobjekt, 74
- Informationsobjekte, 90
- Informationsorganisation, 47

- Jazz, 7, 20
- Jump Zooming, 38

- Kamerakoordinaten, 56, 91
- Kapselung, 53
- Konzept, 47
- Kurzzeitgedächtnis, 44

- Landolt C, 72
- Langzeitgedächtnis, 47

- Magic Linse, 54, 60, 68, 78, 89
- MedioVis, 25
- Mensch-Computer Interaktion, 58
- Method of Loci, 50

- Multi-Data Point, 92
Multimedia Learning, 50
Multiscale Editor, 38
- Nintendo Wii, 42
Nutzbares Sichtfeld, 44
- Object Files, 47
Objektkoordinaten, 55
Overview, 62
Overview plus Detail, 63
- Pad, 7, 15, 38
Pad++, 7, 16, 29, 38
PadPrints, 30
Panning, 7, 9, 36, 54
Paradigma, 58
Parallelprojektion, 56
Phonologische Schleife, 45
Photo GoRound, 31
PhotoMesa, 20
Piccolo, 7, 23, 37
Pipe and Filter, 60, 79
Präattentives Merkmal, 53
Priming, 48
- Quantum Treemaps, 20
QUIS, 30
- Räumliche Anordnung, 53
Recall, 47, 66
Recognition, 47, 66
Referenzmodell der Computergrafik, 55
Referenzmodell der Informationsvisualisierung, 51, 87
Relate, 82
Rendering Pipeline, 55, 87
Retina, 72
Roam and Zoom, 29
Roaming, 29
Rohdaten, 52, 90
Rotation, 54, 55
- Sakkade, 44, 72
- SDMS, 13
Sehschärfe, 71
Semantisches Zooming, 11, 59, 70
Sichtvolumen, 56
Simple LandScape, 31
Skalierung, 54, 55
Snapshot, 61, 85
Space-Scale Diagrams, 10
- Thumbs Plus, 31
Transformationsmatrix, 55
Translation, 54, 55
- Verbindung, 53
View Transformation, 51
ViewPointer, 43
Visual Analytics, 58
Visual Information-Seeking Mantra, 61
Visual Mapping, 51
Visuell-räumlicher Notizblock, 45
Visuelle Einheit, 73
Visuelle Merkmale, 53
Visuelle Zuordnung, 53
- Weltkoordinaten, 56, 90
Wippe, 41
Workspace, 66
- Zeichentyp, 53
Zeitliche Kodierung, 53
Zentrale Exekutive, 45
Zentralprojektion, 56
ZIB, 31
ZIP, 9
ZOIL, 7, 58
ZOIL Paradigma, 58
ZOIL Referenzmodell, 86
Zooming, 7, 9, 36, 54
ZoomWorld, 7, 37
ZRP, Zooming Reference Point, 36, 40
ZUI, Zoomable User Interface, 6, 9, 92