

# **Interaktive Visualisierungen für den Linking- und Suchprozess heterogener Informationen im Web**

Daniel Hienert

29. Oktober 2013

Vom Promotionsausschuss des Fachbereichs 4: Informatik der Universität Koblenz-Landau zur Verleihung des akademischen Grades Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Dissertation.

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 18. Oktober 2013

Vorsitzender des Promotionsausschusses: Prof. Dr. Rüdiger Grimm

Promotionskommission

|                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| Vorsitzender:     | Prof. Dr. Ralf Lämmel      |
| Berichterstatter: | Prof. Dr. York Sure-Vetter |
|                   | Prof. Dr. Jürgen Krause    |
|                   | Prof. Dr. Maximilian Eibl  |

Veröffentlicht als Dissertation an der Universität Koblenz-Landau.



# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1 EINLEITUNG .....</b>  | <b>5</b>  |
| 1.1 Forschungsfragen .....   | 7         |
| 1.2 Aufbau der Arbeit .....  | 9         |
| 1.3 Veröffentlichungen.....  | 10        |
| <b>TEIL 1: GRUNDLAGEN.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>2 GRUNDLAGEN.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2.1 Informationssuche.....</b>  | <b>13</b> |
| 2.1.1 Modelle.....   | 13        |
| 2.1.2 Methoden.....  | 24        |
| 2.1.3 Zusammenfassung.....   | 28        |
| <b>2.2 Informationsvisualisierung .....</b>  | <b>29</b> |
| 2.2.1 Ziele, Vorteile und Eigenschaften der Informationsvisualisierung.....              | 29        |
| 2.2.2 Evaluation in der Informationsvisualisierung .....                                 | 34        |
| 2.2.3 Knowledge Crystallization .....  | 35        |
| 2.2.4 Visualisierungspipeline .....  | 36        |
| 2.2.5 Informationsstrukturen .....   | 37        |
| 2.2.6 Übersichtstechniken.....   | 47        |
| 2.2.7 Navigationstechniken .....   | 48        |
| 2.2.8 Interaktionstechniken.....   | 49        |
| 2.2.9 Visualisierungen im Web .....  | 50        |
| 2.2.10 Visualisierungen für die Informationssuche.....                                   | 51        |
| 2.2.11 Zusammenfassung.....  | 56        |
| <b>2.3 Informationsverarbeitung .....</b>  | <b>58</b> |
| 2.3.1 Aufbau des Gedächtnisses.....  | 58        |
| 2.3.2 Cognitive Load Theorie .....   | 59        |
| 2.3.3 Duale Kodierungstheorie .....  | 60        |
| 2.3.4 Das CTML-Modell .....  | 61        |
| 2.3.5 Das ITPC-Modell .....  | 63        |
| 2.3.6 Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen dem ITPC-Modell und dem CTML-Modell..... | 67        |
| 2.3.7 Kognitive Verarbeitung von Visualisierungen.....                                   | 67        |
| 2.3.8 Zusammenfassung.....   | 72        |
| <b>2.4 Diskussion und Schlussfolgerungen .....</b>                                       | <b>73</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>TEIL 2: MODELLBILDUNG UND IMPLEMENTATION.....</b>            | <b>85</b>  |
| <b>3 MODELLBILDUNG .....</b>                                    | <b>86</b>  |
| 3.1 Strukturmodelle in der Informationsvisualisierung.....      | 86         |
| 3.2 Informationen .....   | 86         |
| 3.3 Informationsstrukturen .....                                | 88         |
| 3.4 Visualisierungen .....                                      | 89         |
| 3.5 Interaktionstechniken.....                                  | 91         |
| 3.5.1 Individuelle Navigation und Interaktionstechniken.....    | 92         |
| 3.5.2 Übergreifendes Filtern, Suche und Animation .....         | 92         |
| 3.5.3 Coordinated-Views-Techniken .....                         | 92         |
| 3.5.4 Linking von Information.....                              | 93         |
| 3.5.5 Glyphenbasiertes Filtern, Suche und Browsing .....        | 94         |
| 3.6 Einbindung in den Suchprozess.....                          | 95         |
| 3.7 Integriertes Modell.....                                    | 95         |
| 3.8 Das Modell in den Anwendungsszenarien .....                 | 97         |
| 3.9 Fazit.....  | 101        |
| <b>4 IMPLEMENTIERUNG: DAS VIZGR-TOOLKIT .....</b>               | <b>102</b> |
| 4.1 Anforderungen .....   | 102        |
| 4.2 Architektur .....   | 103        |
| 4.3 Webanwendung .....  | 105        |
| 4.3.1 Visualisierungen erstellen.....                           | 106        |
| 4.3.2 Informationen verlinken.....                              | 107        |
| 4.3.3 Visualisierungen zusammenstellen .....                    | 110        |
| 4.4 Datenbasis.....   | 110        |
| 4.4.1 XML-Struktur für die Erstellung von Visualisierungen..... | 111        |
| 4.4.2 Adressierbarkeit von Glyphen .....                        | 113        |
| 4.4.3 Regeln.....   | 114        |
| 4.4.4 XML-Basis für die Verlinkung von Visualisierungen.....    | 114        |
| 4.5 Anzeige- und Interaktionskomponente.....                    | 116        |
| 4.5.1 Erstellung verschiedener Visualisierungstypen .....       | 116        |
| 4.5.2 Individuelle Navigation und Interaktion .....             | 118        |
| 4.5.3 Übergreifendes Filtern, Suche und Animation .....         | 118        |
| 4.5.4 Coordinated-Views-Techniken .....                         | 121        |
| 4.5.5 Glyphenbasiertes Filtern, Suche und Browsing .....        | 121        |

|  |   |            |
|--|---|------------|
| 4.6  | Fazit.....  | 123        |
| <b>TEIL 3: ANWENDUNGSSZENARIEN.....</b>  |   | <b>124</b> |
| <b>5 ANWENDUNGSSZENARIO: NUTZERGENERIERTE VISUALISIERUNGEN UND VERLINKUNGEN.....</b> |   | <b>125</b> |
| 5.1  | Nutzer-Interaktionsprozess .....                                  | 126        |
| 5.2  | Methode.....  | 127        |
| 5.3  | Teilnehmer .....  | 127        |
| 5.4  | Aufgaben und Fragen.....  | 128        |
| 5.5  | Ergebnisse .....  | 128        |
| 5.6  | Szenarien .....   | 129        |
| 5.7  | Zusammenfassung.....  | 130        |
| 5.8  | Evaluation von Symbolen für Links in Visualisierungen.....        | 130        |
| 5.9  | Fazit.....  | 131        |
| <b>6 ANWENDUNGSSZENARIO: STATISTISCHE DATEN.....</b>                                 |   | <b>133</b> |
| 6.1  | Visualisierung von Statistiken .....                              | 134        |
| 6.1.1  | Visualisierung durch Datenanbieter .....                          | 135        |
| 6.1.2  | Verschiedene Statistiken vergleichen.....                         | 135        |
| 6.1.3  | Eigenschaften .....   | 136        |
| 6.2  | Statistiken mit dem Vizgr-Toolkit.....                            | 137        |
| 6.2.1  | Statistische Datensätze.....                                      | 137        |
| 6.2.2  | Auswahl und Suche von Indikatoren .....                           | 139        |
| 6.2.3  | Anzeige individueller Indikatoren.....                            | 140        |
| 6.2.4  | Kombination von Indikatoren.....                                  | 143        |
| 6.2.5  | Kombination von Indikatoren mit Zeitereignissen .....             | 144        |
| 6.2.6  | Control-Panel.....  | 147        |
| 6.2.7  | Koordination zwischen Statistiken und Nutzervisualisierungen..... | 147        |
| 6.3  | Analyse von Statistiken mit koordinierten Ansichten .....         | 148        |
| 6.4  | Diskussion.....   | 151        |
| 6.5  | Fazit.....  | 154        |
| <b>7 ANWENDUNGSSZENARIO: SUCHE IN DIGITALEN BIBLIOTHEKEN.....</b>                    |   | <b>156</b> |
| 7.1  | Informationsvisualisierung in DL und IR.....                      | 157        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>7.2</b> | <b>Integration von Visualisierungen in die Digitale Bibliothek Sowiport.....</b>                                       | <b>158</b> |
| <b>7.3</b> | <b>Visualisierungen .....</b>  | <b>158</b> |
| 7.3.1      | Zeitliche und räumliche Verteilung .....   | 158        |
| 7.3.2      | Informationsfacetten.....  | 159        |
| 7.3.3      | Ko-Autoren und Suchterm-Recommendender .....   | 159        |
| <b>7.4</b> | <b>Interaktionstechniken.....</b>  | <b>162</b> |
| 7.4.1      | Suchen und Filtern mithilfe von grafischen Elementen.....  | 162        |
| 7.4.2      | Weighted Brushing .....  | 162        |
| <b>7.5</b> | <b>Anwendungsfälle in Digitalen Bibliotheken .....</b>   | <b>163</b> |
| <b>7.6</b> | <b>Nutzerstudie.....</b>   | <b>164</b> |
| 7.6.1      | Methode .....  | 164        |
| 7.6.2      | Teilnehmer.....  | 164        |
| 7.6.3      | Aufgaben und Fragen .....  | 165        |
| 7.6.4      | Ergebnisse.....  | 165        |
| 7.6.5      | Zusammenfassung.....   | 168        |
| <b>7.7</b> | <b>Fazit.....</b>  | <b>168</b> |
| <b>8</b>   | <b>ANWENDUNGSSZENARIO: VISUALISIERUNGEN IN EXPLORATIVER SUCHE –<br/>EINE NUTZERSTUDIE MIT BÖRSEINFORMATIONEN .....</b> | <b>170</b> |
| <b>8.1</b> | <b>Einleitung .....</b>  | <b>171</b> |
| <b>8.2</b> | <b>Visualisierungen in explorativer Suche .....</b>  | <b>172</b> |
| <b>8.3</b> | <b>Evaluationsumgebung .....</b>   | <b>173</b> |
| 8.3.1      | FTSE 100-Kursdiagramm.....   | 173        |
| 8.3.2      | Zeitleiste mit Finanznachrichten .....   | 174        |
| 8.3.3      | Mapping-Formular.....  | 174        |
| 8.3.4      | Nutzer-Interaktionsprozess .....   | 175        |
| <b>8.4</b> | <b>Nutzerstudie.....</b>   | <b>176</b> |
| 8.4.1      | Methode .....  | 176        |
| 8.4.2      | Teilnehmer.....  | 176        |
| 8.4.3      | Aufgaben und Fragen .....  | 177        |
| 8.4.4      | Zusätzliche Schwierigkeiten in der Studie .....  | 178        |
| 8.4.5      | Ergebnisse.....  | 178        |
| 8.4.6      | Zusammenfassung.....   | 182        |
| <b>8.5</b> | <b>Fazit.....</b>  | <b>184</b> |
| <b>9</b>   | <b>FAZIT UND AUSBLICK.....</b>   | <b>186</b> |
| <b>10</b>  | <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>  | <b>191</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| ABBILDUNG 1-1: AUFBAU DER ARBEIT UND VERBINDUNG ZU FORSCHUNGSFRAGEN .....   | 9   |
| ABBILDUNG 2-1: PRINZIP DES INFORMATION RETRIEVAL .....  | 14  |
| ABBILDUNG 2-2: ALLGEMEINES MODELL DES INFORMATION RETRIEVAL .....   | 15  |
| ABBILDUNG 2-3: DER <i>BERRY-PICKING</i> -PROZESS.....   | 17  |
| ABBILDUNG 2-4: SUCHAKTIVITÄTEN IN <i>EXPLORATORY SEARCH</i> .....   | 18  |
| ABBILDUNG 2-5: DER INFORMATION RETRIEVAL PROZESS UND HERAUSFORDERUNGEN IM WEB.....  | 21  |
| ABBILDUNG 2-6: TAXONOMIE DER RETRIEVALMODELLE .....   | 25  |
| ABBILDUNG 2-7: DER KNOWLEDGE CRYSTALLIZATION-PROZESS .....  | 36  |
| ABBILDUNG 2-8: VISUALISIERUNGSPipeline .....  | 37  |
| ABBILDUNG 2-9: VISUELLE GLYPHEN UND IHRE EIGENSCHAFTEN .....  | 37  |
| ABBILDUNG 2-10: KLASSISCHES VISUALISIERUNGSMODELL IM VERGLEICH ZUM ANGEWANDTEN MODELL FÜR<br>VERTEILTE ANWENDUNGEN IM WEB.....  | 50  |
| ABBILDUNG 2-11: MODELLE FÜR (1) DIE VISUALISIERUNG DER ANFRAGE, (2) DER ERGEBNISMENGE UND (3)<br>DER INTEGRALEN VISUALISIERUNG DER ANFRAGE UND ERGEBNISMENGE .....  | 56  |
| ABBILDUNG 2-12: GEDÄCHTNISMODELL .....  | 59  |
| ABBILDUNG 2-13: DUALE KODIERUNG .....   | 61  |
| ABBILDUNG 2-14: KOGNITIVE THEORIE DES MULTIMEDIALEN LERNENS.....  | 62  |
| ABBILDUNG 2-15: ZWEIKANALMODELL .....   | 64  |
| ABBILDUNG 2-16: INTEGRIERTES MODELL DES TEXT- UND BILDVERSTÄNDNISSES .....  | 65  |
| ABBILDUNG 2-17: DREI STUFEN DES VISUELLEN INFORMATIONSVERARBEITUNGSPROZESSES.....   | 69  |
| ABBILDUNG 2-18: PINKERS MODELL DER GRAPHENWAHRNEHMUNG .....   | 70  |
| ABBILDUNG 2-19: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN PHYSISCHEN INFORMATIONEN, EXTERNEN<br>REPRÄSENTATIONEN UND DEM MENTALEN MODELL .....  | 79  |
| ABBILDUNG 3-1: EBENE 1: HETEROGENE INFORMATIONEN IM WEB .....   | 88  |
| ABBILDUNG 3-2: ABBILDUNG VON INFORMATIONEN AUF ELEMENTARE INFORMATIONSTRUKTUREN .....   | 89  |
| ABBILDUNG 3-3: ABBILDUNG VON INFORMATIONEN AUF INFORMATIONSTRUKTUREN UND INITIALE<br>VISUALISIERUNGEN .....   | 90  |
| ABBILDUNG 3-4: DAS MODELL ERGÄNZT UM INTERAKTIONSTECHNIKEN UND DIE NEU EINGEFÜHRTE<br>PROZESSE <i>LINKING VON INFORMATION</i> UND <i>GLYPHENBASIERTES FILTERN, SUCHE, BROWSING</i> .....                                  | 92  |
| ABBILDUNG 3-5: ABBILDUNG VON INFORMATIONSATTRIBUTEN AUF GLYPHEN, DIE MIT EINEM INTERAKTIONS-<br>ICON VERBUNDEN WERDEN KÖNNEN. DAS INTERAKTIONS-ICON KANN IR-TECHNIKEN WIE BROWSING,<br>SUCHE ODER FILTERUNG AUSLÖSEN..... | 94  |
| ABBILDUNG 3-6: DAS INTEGRIERTE MODELL .....   | 97  |
| ABBILDUNG 3-7: MODELL IM NUTZERTEST DES ANWENDUNGSSZENARIOS „NUTZERGENERIERTE<br>VISUALISIERUNGEN UND VERLINKUNGEN“ .....   | 98  |
| ABBILDUNG 3-8: MODELL IM ANWENDUNGSSZENARIO „STATISTISCHE DATEN“ .....  | 99  |
| ABBILDUNG 3-9: MODELL IM ANWENDUNGSSZENARIO „SUCHE IN DIGITALEN BIBLIOTHEKEN“ .....   | 100 |
| ABBILDUNG 3-10: MODELL IM ANWENDUNGSSZENARIO „VISUALISIERUNGEN IN EXPLORATIVER SUCHE“ .....   | 101 |
| ABBILDUNG 4-1: MODULARE ARCHITEKTUR DES TOOLKITS.....   | 104 |
| ABBILDUNG 4-2: UNTERSTÜTZUNG DES NUTZERS DURCH DIE WEBANWENDUNG AUF DEN VERSCHIEDENEN<br>EBENEN DES MODELLS .....   | 106 |
| ABBILDUNG 4-3: MAPPING VOM KURSMINIMUM IM INDEXCHART ZU EINEM EREIGNIS IN DER ZEITLEISTE ...  | 108 |
| ABBILDUNG 4-4: MAPPING VON EINEM KURSMINIMUM IM INDEXCHART ZUR BESCHREIBUNG DES<br>KURSMINIMUMS IM PASSENDEN WIKIPEDIA-ARTIKEL.....   | 110 |
| ABBILDUNG 4-5: BEISPIEL FÜR DAS ERSTELLEN DER XML-DATEI AUS UNTERSCHIEDLICHEN DATENQUELLEN<br>ÜBER EINE WRAPPERKLASSE .....   | 111 |

|   |     |
|---|-----|
| ABBILDUNG 4-6: ÜBERBLICK ÜBER DIE VISUALISIERUNGSTYPEN, DIE MIT DEM VIZGR-TOOLKIT ERSTELLT<br>WERDEN KÖNNEN .....   | 116 |
| ABBILDUNG 4-7: GRUPPIERUNG VON ELEMENTEN EINER VISUALISIERUNG AUF VERSCHIEDENEN EBENEN UND<br>ANALOG IM SZENEGRAPH. ....  | 118 |
| ABBILDUNG 4-8: DAS CONTROL-PANEL. ....  | 119 |
| ABBILDUNG 4-9: SENDEN VON AKTIONEN DES CONTROL-PANELS AN VISUALISIERUNGS-INSTANZEN .....  | 120 |
| ABBILDUNG 4-10: SYNCHRONISIERUNG ZWISCHEN INSTANZEN VON VISUALISIERUNGEN FÜR COORDINATED<br>VIEWS .....   | 121 |
| ABBILDUNG 4-11: LINKS VOM KURSMINIMUM IM INDEXCHART ZUR ERLÄUTERUNG DES KURSMINIMUMS IN<br>WIKIPEDIA ODER ZUR EINER ZEITLEISTEN-VISUALISIERUNG.....   | 122 |
| ABBILDUNG 5-1: INSTANZIIERTES MODELL FÜR DAS ANWENDUNGSSZENARIO „NUTZERGENERIERTE<br>VISUALISIERUNGEN UND VERLINKUNGEN“ .....   | 126 |
| ABBILDUNG 5-2: MAPPING DES WORTES <i>LONDON</i> IN DER TAGCLOUD ZU DEM ORT AUF DER KARTE .....  | 127 |
| ABBILDUNG 5-3: VERSCHIEDENE LINKING-ICONS: PFEIL, KETTE, PIN, FLAGGE, SCHILD, LINK-LOGO, GLOBUS UND<br>GRÜNER PUNKT.....  | 130 |
| ABBILDUNG 6-1: INSTANZIIERTES MODELL IM ANWENDUNGSSZENARIO „STATISTISCHE DATEN“ (NUR<br>ABBILDUNG DER INFORMATIONSTYPEN STATISTISCHE DATEN (ROT) UND ZEITEREIGNISSE (BLAU) - OHNE<br>NUTZERDATEN) ..... | 134 |
| ABBILDUNG 6-2: STATISTISCHE DATENSÄTZE SUCHEN UND AUSWÄHLEN .....   | 140 |
| ABBILDUNG 6-3: ANZEIGE DES DATENSATZES <i>CHILDREN PER WOMAN (TOTAL FERTILITY)   KINDER PRO FRAU<br/>(ZUSAMMENGEFASSTE GEBURTENZIFFER)</i> VON GAPMINDER IN DREI KOORDINIERTEN ANSICHTEN .....          | 141 |
| ABBILDUNG 6-4: ANWENDUNG DES MODELLS AUF EINZELINDIKATOREN.....   | 143 |
| ABBILDUNG 6-5: ANWENDUNG DES MODELLS AUF EINE KOMBINATION VON INDIKATOREN UND<br>NUTZERVISUALISIERUNGEN .....   | 144 |
| ABBILDUNG 6-6: ANWENDUNG DES MODELLS AUF EINE KOMBINATION VON INDIKATOREN UND<br>ZEITEREIGNISSEN.....   | 145 |
| ABBILDUNG 6-7: KOMBINATION VON INDIKATOREN UND ZEITEREIGNISSEN.....   | 146 |
| ABBILDUNG 6-8: DAS CONTROL-PANEL IN DEM ANWENDUNGSSZENARIO „STATISTIKEN“.....   | 147 |
| ABBILDUNG 6-9: ANALYSE VON VIER VERSCHIEDENEN INDIKATOREN .....   | 150 |
| ABBILDUNG 6-10: HINZUFÜGEN EINER NUTZERGENERIERTEN KARTE VON MITTELMEERLÄNDERN ZU EINER<br>EUROSTAT-STATISTIK <i>EXTERNAL TRADE AS A SHARE OF GDP</i> FÜR DIESE LÄNDER.....                             | 151 |
| ABBILDUNG 7-1: INSTANZIIERTES MODELL IM ANWENDUNGSSZENARIO „SUCHE IN DIGITALEN BIBLIOTHEKEN“<br>.....   | 157 |
| ABBILDUNG 7-2: INTEGRATION VON KOORDINIERTEN VISUALISIERUNGEN IN DEN SUCHPROZESS VON<br>SOWIPORT .....  | 160 |
| ABBILDUNG 7-3: VISUALISIERUNGEN IN SOWIPORT .....   | 161 |
| ABBILDUNG 8-1: INSTANZIIERTES MODELL IM ANWENDUNGSSZENARIO „VISUALISIERUNGEN IN EXPLORATIVER<br>SUCHE“ .....  | 171 |
| ABBILDUNG 8-2: INTEGRATION VON INTERAKTIVEN VISUALISIERUNGEN IN DEN EXPLORATIVEN SUCHPROZESS<br>DURCH DIE VERKNÜPFUNG MIT VERLINKTEN INFORMATIONSTYPEN .....  | 172 |
| ABBILDUNG 8-3: SCREENSHOT DER EVALUATIONSUMGEBUNG MIT KURSDIAGRAMM, ZEITLEISTE MIT<br>FINANZNACHRICHTEN, MAPPING-FORMULAR UND DER AUSWAHL ZWISCHEN DEN<br>INTERAKTIONSTECHNIKEN .....                   | 173 |
| ABBILDUNG 8-4: HERVORHEBUNG DES DATENPUNKTS IM DIAGRAMM MIT BRUSHING-AND-LINKING ODER<br>VERLINKUNG MIT DEM INTERAKTIONS-ICON .....   | 175 |
| ABBILDUNG 8-5: NUTZERINTERAKTIONSPROZESS: MÖGLICHE ÜBERGÄNGE ZWISCHEN INFORMATIONSTYPEN<br>UND IHREN ABBILDUNGEN IM KURSDIAGRAMM, AUF ZEITLEISTE ODER WEBSEITE .....                                    | 176 |

## Tabellenverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| TABELLE 2-1: INFORMATION RETRIEVAL VERSUS DATA RETRIEVAL .....  | 14  |
| TABELLE 2-2: UNTERSCHIEDE ZWISCHEN WEB-IR UND KLASSISCHEM INFORMATION RETRIEVAL.....  | 19  |
| TABELLE 2-3: ABGRENZUNG VON INFORMATION FILTERING ZU INFORMATION RETRIEVAL.....   | 26  |
| TABELLE 2-4: WIE INFORMATIONSVISUALISIERUNG DEN KOGNITIONSPROZESS VERSTÄRKEN KANN .....   | 30  |
| TABELLE 2-5: VORTEILE VON TEXT UND BILD.....  | 31  |
| TABELLE 2-6: MÖGLICHE VISUALISIERUNGSTYPEN FÜR INFORMATIONSTRUKTUREN .....  | 45  |
| TABELLE 2-7: ANALOGIE ZWISCHEN DEM RELATIONALEN DATENBANK-MODELL UND DEM SNAP-<br>VISUALIZATION-MODELL .....  | 47  |
| TABELLE 3-1: EINORDNUNG VON STRUKTURMODELLEN AUS VERSCHIEDENEN LITERATURQUELLEN IN DIE<br>KATEGORIEN (1) INFORMATIONSTRUKTUREN, (2) VISUALISIERUNGSTECHNIKEN UND (3)<br>INTERAKTIONSTECHNIKEN ..... | 87  |
| TABELLE 3-2: ABSTRAHIERUNG DES SNAP-VISUALIZATION-MODELLS FÜR INFORMATIONEN IM WEB.....   | 91  |
| TABELLE 4-1: AUSSCHNITT AUS DEM INDIKATOR <i>CHILDREN PER WOMAN</i> VON GAPMINDER.....  | 114 |
| TABELLE 4-2: MÖGLICHE MODI FÜR DIE VERLINKUNG VON VISUALISIERUNGEN .....  | 115 |
| TABELLE 4-3: EINIGE ERGÄNZENDE NAVIGATIONS- UND INTERAKTIONSTECHNIKEN VON VERSCHIEDENEN<br>VISUALISIERUNGSTYPEN. ....   | 118 |
| TABELLE 5-1: ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER NUTZERSTUDIE ZUR ERSTELLUNG UND VERBINDUNG<br>VON VISUALISIERUNGEN.....   | 129 |
| TABELLE 5-2: ZUSAMMENGEFASSTE ERGEBNISSE DER EVALUATION VON LINKING-SYMBOLEN.....   | 131 |
| TABELLE 6-1. EIGENSCHAFTEN DER STATISTISCHEN DATENSÄTZE. ....   | 139 |
| TABELLE 7-1. ZUSAMMENGEFASSTE ERGEBNISSE DER AUFGABEN.....  | 167 |
| TABELLE 8-1: FINANZNACHRICHTEN, DIE ZUM KURSANSTIEG ZUGEORDNET WURDEN .....   | 180 |
| TABELLE 8-2: FINANZNACHRICHTEN, DIE ZUM KURSMINIMUM ZUGEORDNET WURDEN .....   | 181 |
| TABELLE 8-3: ZUSAMMENGEFASSTE ERGEBNISSE DER AUFGABENBEARBEITUNG .....  | 182 |

## Glossar

### BIP

Bruttoinlandsprodukt 147

### CLEF

Cross-Language Evaluation Forum 73

### CSV

Comma Separated Values 135

### DC

Distributed Cognition 70

### ES

Exploratory Search 74

### EUSI

Europäisches System Sozialer Indikatoren  
137

### GDP

Gross Domestic Product 147

### HCIR

Human-Computer Information Retrieval 18

### IR

Information Retrieval 13

### IR-System

Information Retrieval-System 13

### IV

Information Visualization 29

### KC

Knowledge Crystallization 75

### MAP

Mean Average Precision 73

### QMM

Qualitatives Mentales Modell 70

### RDF

Resource Description Framework 23

### SPARQL

SPARQL Protocol And RDF Query  
Language 23

### TREC

Text Retrieval Conference 73

### URI

Uniform Resource Identifier 23

### URL

Uniform Resource Locator 23

### UX

User Experience 34

## **Zusammenfassung**

Die Informationsmenge im Web nimmt stetig zu und auch die Art und Vielfalt von Informationen wird immer größer. Es stehen die unterschiedlichsten Informationen wie Nachrichten, Artikel, Statistiken, Umfragedaten, Börsendaten, Veranstaltungen, Literaturnachweise usw. zur Verfügung. Die Informationen zeichnen sich durch Heterogenität in Aspekten wie Informationsart, Modalität, Strukturiertheit, Granularität, Qualität und ihre Verteiltheit aus. Die zwei Haupttechniken, mit denen Nutzer im Web nach diesen Informationen suchen, sind die Suche mit Websuchmaschinen und das Browsing über Links zwischen Informationseinheiten. Die vorherrschende Art der Informationsdarstellung ist dabei weitgehend statisch in Form von Text, Bildern und Grafiken.

Interaktive Visualisierungen bieten eine Reihe von Vorteilen für die Aufbereitung und Exploration von heterogenen Informationen im Web: (1) Sie bieten verschiedene Darstellungsformen für unterschiedliche, sehr große und auch komplexe Informationsarten und (2) große Datenmengen können interaktiv anhand ihrer Eigenschaften exploriert werden und damit den Denkprozess des Nutzers unterstützen und erweitern. Bisher sind interaktive Visualisierungen aber noch kein integraler Bestandteil des Suchprozesses im Web. Die technischen Standards und Interaktionsparadigmen, um interaktive Visualisierungen als Massentechnik im Web nutzbar zu machen, werden erst langsam durch Standardisierungsgremien eingeführt.

Diese Arbeit untersucht, wie interaktive Visualisierungen für den Linking- und Suchprozess heterogener Informationen im Web eingesetzt werden können. Basierend auf Grundlagen in den Bereichen Informationssuche, Informationsvisualisierung und Informationsverarbeitung wird ein Modell gebildet, das bestehende Strukturmodelle der Informationsvisualisierung um zwei neue Prozesse erweitert: (1) das Linking von Informationen in Visualisierungen und (2) das Glyphenbasierte Suchen, Browsen und Filtern.

Der erste Prozess nutzt die Vorteile von Visualisierungen für das Linking von heterogenen Informationen. Diese können in unterschiedlichen Visualisierungen angezeigt werden, der Nutzer kann bis zu den gewünschten Informationen filtern und dann mit einer einfachen Interaktionsmetapher die Informationen direkt in den Visualisierungen verlinken. Dies hat den Vorteil, dass Informationen direkt im Suchprozess einfach verbunden werden können und bildet auch die Grundlage für weitere Suchtechniken wie Browsing oder Brushing-and-Linking-Techniken.

Der zweite Prozess erlaubt es, Visualisierungen in einen allgemeinen Suchprozess einzuordnen. Durch die Möglichkeit, beliebige visuelle Elemente mit Suchtechniken zu verbinden, können interaktive Visualisierungen als Zwischenschritte in einer explorativen Suche integriert werden. Bisher geben Visualisierungen nur Zugang zu einzelnen Datensätzen, ohne die möglichen Verbindungen zu anderen Informationen insbesondere im Web zu berücksichtigen. Große Datenmengen können nun einfach und schnell für den Nutzer zugänglich in den Suchprozess integriert werden und erweitern damit die normale Websuche.

Das Vizgr-Toolkit implementiert das entwickelte Modell in einer Webanwendung. In vier verschiedenen Anwendungsszenarien werden Teilaspekte des Modells instanziiert und in Nutzertests evaluiert oder anhand von Beispielen untersucht.

Im ersten Anwendungsszenario sollte überprüft werden, ob Nutzer prinzipiell mithilfe des Vizgr-Toolkits Visualisierungen erstellen und heterogene Informationen innerhalb der Visualisierungen verlinken können (Proof-of-Concept). Über 94% der Nutzer konnte Visualisierungen erstellen, über 87% der Nutzer konnten Informationen verlinken, ein Großteil der Nutzer konnte die Aufgaben in unter 5 Minuten lösen und empfand die Lösung als sehr einfach bis normal schwer und konnte den generellen Effekt erklären.

Im zweiten Anwendungsszenario wurden mithilfe des Vizgr-Toolkits statistische Daten mit verwandten Informationen wie Nutzervisualisierungen oder Zeitereignissen kombiniert. Diese heterogenen Informationen konnten auf verschiedenen Ebenen integriert und für die Informationssuche zugänglich gemacht werden. Basierend auf manuell erstellten oder automatischen Linkings konnten Informationen in verschiedenen Ansichten hervorgehoben und geladen werden und damit für den Nutzer zugänglich gemacht werden.

Im dritten Anwendungsszenario wurden interaktive Visualisierungen direkt in den Suchprozess eines Information Retrieval-Systems integriert. In der Nutzerstudie wurde gezeigt, dass Nutzer Mehrwertinformationen und Verknüpfungen zwischen Informationen sehr schnell finden (unter einer Minute) und den Prozess als einfach bis normal schwer empfinden. Die Suche mithilfe von Glyphen konnte schnell, einfach, und intuitiv durchgeführt werden.

Im vierten Anwendungsszenario wird das Vizgr-Toolkit in den explorativen Suchprozess in einem Szenario von Börseninformation integriert. Hier werden die neu eingeführten Prozesse wie Linking von Information in Visualisierungen und Glyphenbasiertes Suchen, Browsen und Filtern kombiniert, um heterogene Informationen wie Kursdaten, Finanznachrichten und Artikel zu verlinken und zu durchsuchen. In einem Nutzertest wird gezeigt, dass Nutzer diese Informationsquellen kombinieren und nutzen können, um in einem explorativen Suchprozess verwandte Informationen zu finden.

Als Ergebnis dieser Arbeit wird gezeigt, dass (1) interaktive Visualisierungen für das Linking von Informationen eingesetzt werden können und dass dieser Prozess prinzipiell funktioniert und als schnell und einfach empfunden wird, und dass (2) Glyphen in Visualisierungen für Suchtechniken wie Suche, Filtern und Browsing genutzt werden können und die Einordnung von interaktiven Visualisierungen in einen explorativen Suchprozess oder die Suche in einem IR-System erlauben.

## Abstract

The amount of information on the Web is constantly increasing and also there is a wide variety of information available such as news, encyclopedia articles, statistics, survey data, stock information, events, bibliographies etc. The information is characterized by heterogeneity in aspects such as information type, modality, structure, granularity, quality and by its distributed nature. The two primary techniques by which users on the Web are looking for information are (1) using Web search engines and (2) browsing the links between information. The dominant mode of information presentation is mainly static in the form of text, images and graphics.

Interactive visualizations offer a number of advantages for the presentation and exploration of heterogeneous information on the Web: (1) They provide different representations for different, very large and complex types of information and (2) large amounts of data can be explored interactively using their attributes and thus can support and expand the cognition process of the user. So far, interactive visualizations are still not an integral part in the search process of the Web. The technical standards and interaction paradigms to make interactive visualization usable by the mass are introduced only slowly through standardization organizations.

This work examines how interactive visualizations can be used for the linking and search process of heterogeneous information on the Web. Based on principles in the areas of information retrieval (IR), information visualization and information processing, a model is created, which extends the existing structural models of information visualization with two new processes: (1) linking of information in visualizations and (2) searching, browsing and filtering based on glyphs.

The first process utilizes advantages of visualizations for the linking of heterogeneous information. These can be displayed in different visualizations; the user can filter down to the required information and then link these information with a simple interaction metaphor directly within the visualizations. This has the advantage that information can be easily connected directly in the search process and forms the basis for further search techniques such as browsing or brushing-and-linking.

The second process allows the integration of visualizations into a general search process. With the ability to connect any visual element with search techniques, interactive visualizations can be integrated as an intermediate step in an exploratory search. So far, visualizations only give access to individual data sets without considering the possible connections to other information on the Web. Large amounts of data can now be integrated quickly and easily accessible for the user in the search process, and are thus extending the normal web search.

The Vizgr toolkit implements the developed model in a web application. In four different application scenarios, aspects of the model will be instantiated and are evaluated in user tests or examined by examples.

In the first application scenario, it should be evaluated, if users are able to create visualizations with the Vizgr toolkit and to link heterogeneous information within these visualizations (proof of concept). About 94% of the users were able to create visualizations, more than 87% of the users were able to link information, the majority of the users was able to solve the tasks in less than 5 minutes by judging

the level of difficulty to solve the task with very easy to normal and was moreover able to explain the general effect.

In the second application scenario, statistical data was combined with related information such as user visualizations or historical events. This heterogeneous information could be integrated at various levels and was made available for the information search process. Based on manually or automatically created links, information could be highlighted and loaded in different views and thus, made accessible to the user.

In the third scenario, interactive visualizations were integrated directly into the search process of an information retrieval system. The user study showed that users could find value-added information and links between information quickly (under a minute) and that the process was assigned an easy to normal difficulty level. A search with the help of glyphs could be performed quickly, easily, and intuitively.

In the fourth application scenario, the Vizgr toolkit is integrated into the exploratory search process in a scenario of stock market information. Here, the newly introduced processes Linking of information in visualizations and Searching, browsing and filtering based on glyphs are combined to link and search heterogeneous information such as price data, financial news and articles. In a user test, it is shown that users can combine and use these information sources to find related information in an exploratory search process.

As results of this work, it is shown that (1) interactive visualization can be used for the linking of information and that this process works in principle, being perceived as quick and easy. (2) Glyphs in visualizations can be used for search techniques such as search, filtering and browsing and allow the integration of interactive visualizations in an exploratory search process or the search in an IR system.

### 1 Einleitung

Die Informationsmenge im Web steigt jedes Jahr kontinuierlich an (Hilbert, López, 2011) und die einzelnen Informationsarten unterscheiden sich in vielen Aspekten. Beispiele für unterschiedliche Informationen sind Nachrichten, Lexikonartikel, Statistiken, Umfragedaten, Börsendaten, Veranstaltungen, Literaturnachweise, Karten, Bilder, Videos usw. Die Informationsbasis reicht damit von Dokumenten über Faktendaten zu verschiedenartigen Informationsobjekten wie Bilder, Videos, Visualisierungen in verschiedenen Modalitäten und verschiedenen Medienformaten aus verteilten Datenquellen mit unterschiedlicher Strukturiertheit, Granularität und Qualität. Die zwei Haupttechniken mit denen Nutzer im Web nach diesen Informationen suchen sind dabei weitgehend stabil: Suche und Browsing (vgl. Olston, Chi, 2003). In einer typischen explorativen Suche geben Nutzer ausgehend von einem Informationsbedürfnis Schlagwörter in eine Suchmaschine ein (Suche), erhalten passende Ergebnisse zurückgeliefert und verfolgen Links auf diesen Seiten zu verwandten Informationen (Browsing).

Die vorherrschende Art der Informationsvisualisierung im Web ist zurzeit immer noch statisch in Form von Text, Bildern und Grafiken. Zunehmend werden auch interaktive Visualisierungen für die Darstellung komplexer Informationen im Web eingesetzt. Sie haben den Vorteil, dass Nutzer sehr große Datenmengen interaktiv explorieren können und dass sie den kognitiven Prozess des Nutzers unterstützen und erweitern können. Visualisierungen können auch in Webseiten oder Blogs integriert werden, aber ein Großteil der Visualisierungen bleibt isoliert, da Verlinkungen zu verwandten Informationen fehlen und ein spezifischer Datensatz isoliert in der Visualisierung dargestellt wird. Dabei sind immer mehr Informationen im Web miteinander verknüpft und bieten dem Nutzer die Möglichkeit von Information zu Information zu browsen. Auch interaktive Visualisierungen können in diesen Prozess integriert werden.

Diese Arbeit untersucht, wie interaktive Visualisierungen für den Linking- und Suchprozess heterogener Informationen im Web eingesetzt werden können.

Dafür werden zuerst die Grundlagen in den Bereichen Informationssuche, Informationsvisualisierung und Informationsverarbeitung dargestellt.

Die Informationssuche wird in verschiedenen Modellen beschrieben, welche unterschiedliche Eigenschaften des Suchprozesses wie das Informationsbedürfnis des Nutzers, die Vagheit der Anfrage, die Unsicherheit im Suchprozess und die Iterativität mit darauf aufbauenden Lern- und Untersuchungsschritten hervorheben. Die Modelle beschreiben, dass neues Wissen generiert werden kann, wenn Nutzer unterschiedliche Informationen untersuchen, vergleichen und beurteilen, wofür hochinteraktive Systeme benötigt werden. Im Bereich Informationssuche werden auch die verschiedenen Basis-Suchtechniken wie Adhoc-Retrieval, Browsing, Filtering oder Faceted Search definiert.

Die Informationsvisualisierung bietet die Möglichkeit, heterogene Informationen anzuzeigen und interaktiv explorierbar zu machen. Dabei reichen die Vorteile für den Nutzer von einfacher Mustererkennung bis zum Einsatz als Denkhilfe, um verschiedene Aspekte der Informationen untersuchen zu können und die Bildung eines mentalen Modells zu unterstützen. Koordinierte Visualisierungen können komplexe Informationen abbilden und verstehbar machen. Untersucht werden Informationen in Visualisierungen meist nach dem Information-Seeking-Mantra von

## 1. Einleitung

Shneiderman, in dem Filterung und Navigation als Haupttechnik eingesetzt wird. Andere Suchtechniken wie Suche und Browsing werden bisher nur selten in der Informationsvisualisierung genutzt. Generell beschränkt sich die Informationsvisualisierung noch zu sehr auf die Darstellung eines Datensatzes, ohne die Verbindungen zu anderen Informationen im Web zu berücksichtigen.

Im Informationsverarbeitungsprozess des Nutzers werden heterogene Information aus verschiedenen Quellen wieder integriert. Der Prozess unterliegt verschiedenen Einflussfaktoren wie dem Aufbau des Gedächtnisses, der Theorie der dualen Kodierung und der kognitiven Last, auf denen sich unterschiedliche Modelle der Lernerfahrung gründen. Nutzer können Informationen unterschiedlichster Art wie Text, Bilder und Visualisierungen in einem qualitativen mentalen Modell integrieren, aber die Integration verbraucht die meiste Zeit im Verarbeitungsprozess (vgl. Trafton u. a., 2000). Aus dem mentalen Modell können Informationen abgeleitet, extrapoliert, räumlich transformiert oder vorhergesagt werden, wobei Interaktion den Erkenntnisprozess fördern kann.

Basierend auf den Grundlagen wird ein Modell gebildet, das bestehende Strukturmodelle der Informationsvisualisierung um die neuen Prozesse (1) Linking von Informationen in Visualisierungen und (2) Glyphenbasiertes Suchen (ausgehend von visuellen Elementen in Visualisierungen), Browsen und Filtern erweitert und damit Visualisierungen in einen allgemeinen Suchprozess einordnen lässt.

Der erste Prozess ermöglicht es, verschiedene komplexe, auch heterogene Informationen in unterschiedlichen Visualisierungen anzuzeigen. Mit Hilfe von Filterungstechniken kann sich der Nutzer in den Visualisierungen zu den gewünschten Informationen vorarbeiten und mithilfe einer einfachen Interaktionsmetapher die gewünschten Informationen direkt innerhalb der Visualisierungen verlinken. Diese Verlinkung kann dann als Basis für Such- oder Coordinated-Views-Techniken genutzt werden. Da die Verlinkung direkt in den Visualisierungen erfolgt, kann der Verlinkungsprozess auch direkt im Suchprozess im Web integriert werden.

Im darauf aufbauenden zweiten Prozess können beliebige visuelle Elemente in Visualisierungen mit Suchtechniken wie Suche, Browsing oder Filtering verbunden werden. Das öffnet die Visualisierung nach außen und erlaubt die Verbindung mit anderen Informationen im Web oder mit Suchprozessen in IR-Systemen. Visualisierungen können damit sehr große Datenmengen interaktiv abbilden, können aber auch in einen übergreifenden Suchprozess integriert werden und erweitern die normale Websuche.

Das entwickelte Modell wird im Vizgr-Toolkit implementiert, das als Basis für vier verschiedene Anwendungsszenarien eingesetzt wird. In diesen Szenarien werden verschiedene Aspekte des Modells in Nutzertests evaluiert oder anhand von Beispielen untersucht.

Im ersten Anwendungsszenario wird in einem Nutzertest gezeigt, dass Nutzer Visualisierungen mit dem Vizgr-Toolkit erstellen und Informationen innerhalb der Visualisierungen einfach und schnell verlinken können und das Konzept dahinter verstehen (Proof-of-concept). Im zweiten Anwendungsszenario wird das Toolkit für die Abbildung komplexer Informationen wie statistischer Zeitreihen genutzt, die der Nutzer mit verwandten Informationen wie Nutzervisualisierungen oder Zeitereignissen kombinieren kann. Die heterogenen Informationen in den verschiedenen Ansichten werden mit verschiedenen Coordinated-Views-Techniken visuell verbunden. Im darauf folgenden Anwendungsszenario werden interaktive Visualisierungen in den Suchprozess eines IR-Systems integriert. In einem Nutzertest wird gezeigt, dass Nutzer Mehrwertinformationen und Verknüpfungen zwischen Informationen schnell und einfach finden und ausgehend von Visualisierungen Suchergebnisse filtern oder eine neue Suche starten können. Im vierten Anwendungsszenario werden

## 1. Einleitung

interaktive Visualisierungen in eine explorative Suche integriert und die neu eingeführten Prozesse Linking von Informationen in Visualisierungen und Glyphenbasiertes Suchen, Browsen und Filtern finden kombinierte Anwendung. In einer Nutzerstudie wenden Nutzer Visualisierungen für die Suche nach Trends in Kursdaten an, vergleichen und verbinden sie mit möglichen Finanznachrichten in einer Zeitleiste und Artikeln im Web. Die Informationen können direkt in den Visualisierungen verlinkt werden und bilden die Grundlage für eine direkte Verlinkung im Kursdiagramm. Nutzer können dann von Trendpunkten im Kursdiagramm zu passenden Artikeln im Web browsen und integrieren damit interaktive Visualisierungen in eine Websuche.

In dieser Arbeit wird gezeigt, dass interaktive Visualisierungen für das Linking von Informationen eingesetzt werden können und dass dieser Prozess prinzipiell funktioniert und als schnell und einfach empfunden wird. Glyphen in Visualisierungen können für Suchtechniken wie Suche, Filtern und Browsing genutzt werden und erlauben die Einordnung von Visualisierungen in einen explorativen Suchprozess. Dies ermöglicht den Einsatz von Visualisierungen nicht nur als isoliertes interaktives Werkzeug für einen Datensatz, sondern öffnet die Visualisierung nach außen und bindet sie in den Such- und Hyperlinking-Prozess des Webs ein.

### 1.1 Forschungsfragen

Die Arbeit untersucht folgende, allgemeine Forschungsfrage:

*Frage 1 (F1):* Wie können interaktive Visualisierungen für den Linking- und Suchprozess heterogener Informationen im Web genutzt werden, in Bezug auf konzeptuelle Durchführbarkeit, Nutzerzufriedenheit und evaluatorische Messgrößen wie Schwierigkeit, Zeit und Intuitivität?  
(vgl. Kapitel 9)

Daraus ergeben sich folgende, spezielle Forschungsfragen:

#### **Modellbildung**

*Frage 2 (F2):* Wie kann ein Modell gebildet werden, das auf bestehenden Strukturmodellen der Informationsvisualisierung aufbaut und neue Prozesse wie Linking von Informationen in Visualisierungen und Glyphenbasiertes Filtern, Suche, Browsing für die Einbindung in einen allgemeinen Suchprozess integriert?  
(vgl. Kapitel 3)

#### **Implementation des Modells**

*Frage 3 (F3):* Wie kann das gebildete Modell in eine Softwarelösung integriert werden, welches die neuen Prozesse für verschiedene Informationsarten und Visualisierungstechniken unterstützt?  
(vgl. Kapitel 4)

Das Modell und die darauf basierende Softwarelösung werden in vier Anwendungsszenarien innerhalb verschiedener Domänen implementiert und in Bezug auf Teilaspekte der Forschungsfrage 1 evaluiert.

#### **Anwendungsszenario: Nutzergenerierte Visualisierungen und Verlinkungen**

*Frage 4 (F4):* Wie können Nutzer Visualisierungen erstellen und darin enthaltene Informationen verlinken?  
(F4a) Können Nutzer Visualisierungen basierend auf heterogenen Informationen einfach und schnell erstellen?

## 1. Einleitung

(F4b) Können Nutzer enthaltene Informationen einfach und schnell untereinander und mit Webressourcen verbinden?

(F4c) Verstehen Nutzer das Konzept der Verlinkung von Informationen in Visualisierungen untereinander und zu Webressourcen?

(vgl. Kapitel 5)

### **Anwendungsszenario: Statistische Daten und verwandte Informationen**

*Frage 5 (F5):* Wie können komplexe, heterogene statistische Daten und verwandte Informationen in interaktiven Visualisierungen für die Informationssuche abgebildet werden?

(F5a) *Informationsebene:* Können heterogene, komplexe und verteilte Datenbestände für statistische Daten, Nutzerdaten und Zeitereignisse in einer Anwendung integriert werden?

(F5b) *Visualisierungsebene:* Können individuelle Indikatoren und kombinierte Indikatoren mit Nutzervisualisierungen und Zeitereignissen in koordinierten Ansichten angezeigt werden?

(F5c) *Interaktionsebene:* Können Interaktionstechniken wie *Brushing-and-Linking* oder *übergreifende Suche, Filterung und Animation* und *Loading* für Kombinationen von statistischen Indikatoren, Nutzervisualisierungen und Zeitereignissen angewandt werden?

(vgl. Kapitel 6)

### **Anwendungsszenario: Suche in Digitalen Bibliotheken**

*Frage 6 (F6):* Wie können interaktive Visualisierungen zur Unterstützung des Suchprozesses genutzt werden?

(F6a) Können Nutzer Mehrwertinformationen und Verknüpfungen zwischen Informationen durch die Einbindung von Visualisierungen in den Suchprozess von Digitalen Bibliotheken schnell und einfach finden, die in normalen Trefferlisten nur schwer abgebildet werden können?

(F6b) Können Nutzer Suchergebnisse schnell, einfach und intuitiv mit dem Interaktions-Icon filtern und finden sie diese Technik hilfreich?

(F6c) Finden Nutzer in den Suchprozess integrierte Visualisierungen nützlich, um den Suchprozess zu unterstützen?

(vgl. Kapitel 7)

### **Anwendungsszenario: Einbindung in den explorativen Suchprozess**

*Frage 7 (F7):* Wie können interaktive Visualisierungen in den explorativen Suchprozess integriert werden?

(F7a) Können Nutzer heterogene Informationen in Visualisierungen und verwandten Informationen im Web in einem explorativen Suchprozess nutzen? Im konkreten Anwendungsfall: Können Relationen zwischen Kursverläufen und Finanznachrichten intuitiv gefunden werden unter Aspekten wie Zeit, Schwierigkeit und Vertrauen?

(F7b) Funktioniert der Übergang zwischen verschiedenen Informationstypen und deren Informationsdarstellung in Kursdiagramm, Zeitleiste und Artikeln auf Webseiten schnell und problemlos?

(F7c) Können Nutzer verschiedene heterogene Informationstypen schnell und einfach verbinden und basierend auf diesem Mapping Interaktionstechniken intuitiv bedienen?

(F7d) Empfinden Nutzer diese Interaktionstechniken als Mehrwert?

(vgl. Kapitel 8)

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Abbildung 1-1 zeigt den Aufbau dieser Arbeit und die Verbindung der Forschungsfragen zu den einzelnen Kapiteln.

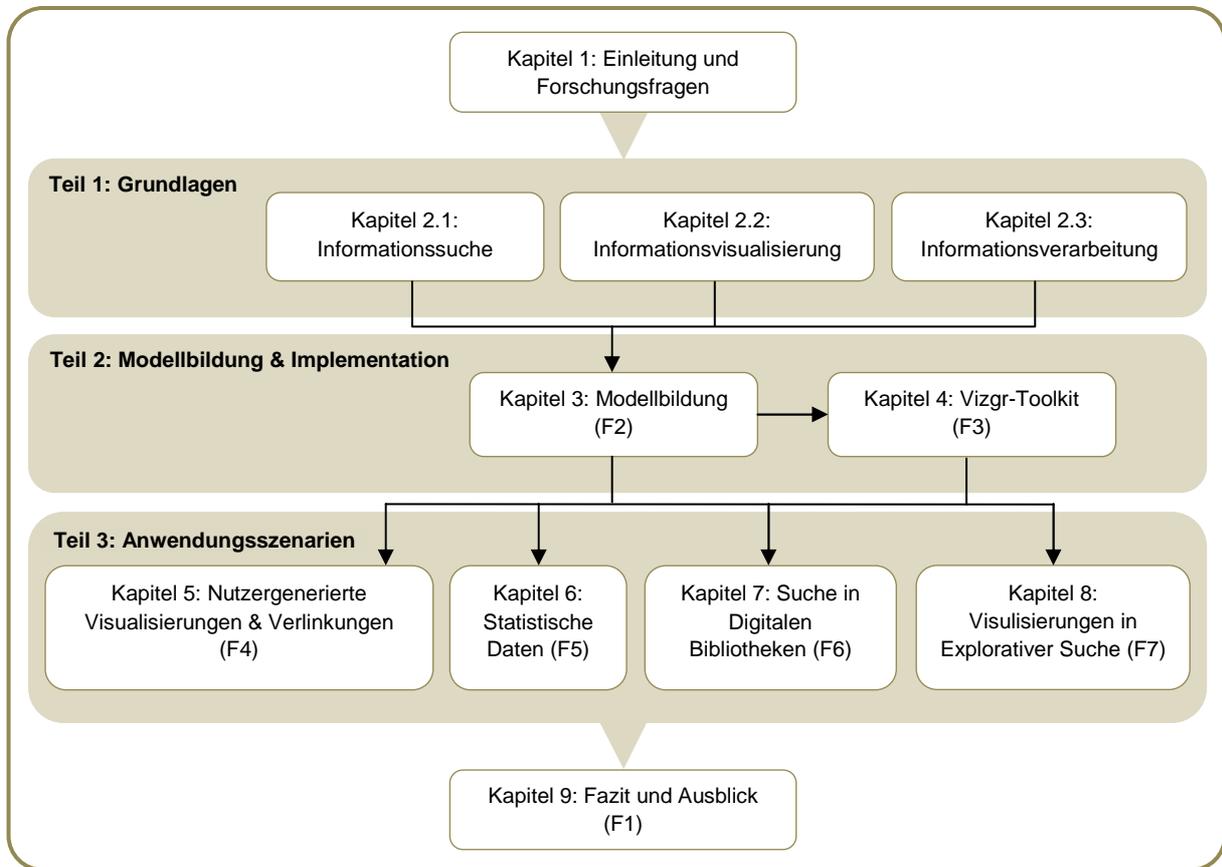


Abbildung 1-1: Aufbau der Arbeit und Verbindung zu Forschungsfragen.

In *Kapitel 2* werden die Grundlagen zur Informationssuche, Informationsvisualisierung und Informationsverarbeitung gezeigt. Abschnitt 2.1 skizziert die verschiedenen *Modelle und Methoden der Informationssuche*, um zu zeigen, dass die Suche von Informationen ein iterativer Prozess ist, in dem verschiedene Schritte nötig sind, um an das Ziel zu gelangen und verschiedenen Eigenschaften unterliegt. Abschnitt 2.2 erläutert die Grundlagen der *Informationsvisualisierung* wie Informationsstrukturen, Interaktionstechniken, Eigenschaften von Visualisierungen im Web und Visualisierungen für die Informationssuche mit dem Ziel von interaktiven Visualisierungen als komprimierte Darstellung von Information mit Erkenntnisgewinn für den Nutzer. Abschnitt 2.3 zeigt die grundlegenden Mechanismen für die kognitive Verarbeitung von Information und Visualisierungen.

In *Kapitel 3* wird auf der Basis der Grundlagen aus Kapitel 2 ein Modell für die Einbindung von Informationen, Visualisierungen und Interaktionstechniken gebildet, das in einen übergreifenden Suchprozess integriert werden kann. Die neuen Prozesse Linking von Informationen in Visualisierungen und Glyphenbasiertes Suchen, Filtern und Browsing werden dabei integriert. Das entwickelte Modell wird als Grundlage für die Implementation in Kapitel 4 und als theoretische Grundlage in den Anwendungsszenarien in den Kapiteln 5, 6, 7 und 8 genutzt.

## 1. Einleitung

*Kapitel 4* zeigt die Implementation und spezifischen Eigenschaften des Vizgr-Toolkits. Dabei werden anhand des Modells aus Kapitel 3 die Anforderungen analysiert und in einer Architektur festgelegt. Die verschiedenen Komponenten der Architektur wie Webanwendung, Datenbasis und Anzeige- und Interaktionskomponente werden entsprechend ihren Anforderungen entwickelt.

*Kapitel 5* untersucht in einer Studie die Anwendung des Vizgr-Toolkits für die Erstellung von nutzergenerierten Visualisierungen und Verlinkungen. *Kapitel 6* untersucht, wie komplexe statistische Daten und verwandte Informationen für die Informationssuche abgebildet werden können. *Kapitel 7* zeigt die Anwendung des Toolkits in einem IR-System und untersucht, ob Visualisierungen für die Unterstützung des Suchprozesses angewandt werden können. *Kapitel 8* evaluiert die Einbindung von interaktiven Visualisierungen in einen explorativen Suchprozess. *Kapitel 9* fasst schließlich die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen, zieht Schlussfolgerungen und gibt einen Ausblick über mögliche weiterführende Arbeiten.

### 1.3 Veröffentlichungen

Diskutierte Ansätze dieser Arbeit wurden als Forschungspapiere auf internationalen Konferenzen und Workshops veröffentlicht. Die folgende Aufzählung listet die Publikationen mit Hinweis auf ihren Beitrag zu den einzelnen Kapiteln auf:

#### **Kapitel 4 und 5:**

Hienert, Daniel; Zapilko, Benjamin; Schaer, Philipp; Mathiak, Brigitte (2011b): „Vizgr: Combining Data on a Visual Level“. In: Cordeiro, José; Filipe, Joaquim (Hrsg.) *Proceedings of the 7th International Conference on Web Information Systems and Technologies*. SciTePress (WEBIST 2011), S. 202–211. *Best Student Paper Award*.

Hienert, Daniel; Zapilko, Benjamin; Schaer, Philipp; Mathiak, Brigitte (2012c): „Vizgr: Linking Data in Visualizations“. In: Cordeiro, José; Filipe, Joaquim (Hrsg.) *WEBIST 2011 Selected and Revised Papers*. Berlin: Springer (Lecture Notes in Business Information Processing), S. 177–191. — ISBN: 978-3-642-28081-8

#### **Kapitel 6:**

Hienert, Daniel; Zapilko, Benjamin; Schaer, Philipp; Mathiak, Brigitte (2011c): „Web-Based Multi-View Visualizations for Aggregated Statistics“. In: *Proceedings of the 5th International Workshop on Web APIs and Service Mashups*. New York, NY, USA: ACM (DATAVIEW '11), S. 11:1–11:8, DOI: 10.1145/2076006.2076019. — ISBN: 978-1-4503-0823-6

Als weitere Datengrundlage:

Hienert, Daniel; Luciano, Francesco (2012): „Extraction of Historical Events from Wikipedia“. In: Völker, Johanna; Paulheim, Heiko; Lehmann, Jens; Niepert, Mathias (Hrsg.) *Proceedings of the First International Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining Meets Linked Open Data (KNOW@LOD 2012)*. (ESWC 2012), S. 25–36.

Hienert, Daniel; Wegener, Dennis; Paulheim, Heiko (2012b): „Automatic Classification and Relationship Extraction for Multi-Lingual and Multi-Granular Events from Wikipedia“. In: van Erp, Marieke; van Hage, Willem Robert; Troncy, Raphaël; Shamma, David A. (Hrsg.) *Proceedings of the Detection, Representation, and Exploitation of Events in the Semantic Web (DeRiVE 2012)*. Boston, USA (ISWC 2012), S. 1–10, DOI: urn:nbn:de:0074-902-3.

**Kapitel 7:**

Hienert, Daniel; Sawitzki, Frank; Schaer, Philipp; u. a. (2012a): „Integrating Interactive Visualizations in the Search Process of Digital Libraries and IR Systems.“. In: Baeza-Yates, Ricardo A.; de Vries, Arjen P.; Zaragoza, Hugo; u. a. (Hrsg.) *Advances in information retrieval : proceedings / 34th European Conference on IR Research*. Springer (Lecture Notes in Computer Science), S. 447–450. — ISBN: 978-3-642-28996-5

Als weitere Datengrundlage:

Hienert, Daniel; Schaer, Philipp; Schaible, Johann; Mayr, Philipp (2011a): „A Novel Combined Term Suggestion Service for Domain-Specific Digital Libraries“. In: Gradmann, Stefan; Borri, Francesca; Meghini, Carlo; Schuldt, Heiko (Hrsg.) *Research and Advanced Technology for Digital Libraries*. Berlin, Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Computer Science), S. 192–203, DOI: 10.1007/978-3-642-24469-8\_21. — ISBN: 978-3-642-24468-1, 978-3-642-24469-8

**Kapitel 8:**

Hienert, Daniel; Mayr, Philipp (2012): „Visualizations in Exploratory Search – A User Study with Stock Market Information“. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies*. New York, NY, USA: ACM (i-KNOW '12), S. 25:1–25:8, DOI: 10.1145/2362456.2362488. — ISBN: 978-1-4503-1242-4

## **Teil 1: Grundlagen**

## 2 Grundlagen

Dieses Kapitel behandelt die Grundlagen, die für die Modellbildung in Kapitel 3 und die darauf folgenden Anwendungsszenarien benötigt werden. Eigenschaften, Modelle und Methoden der *Informationssuche* sind wesentlich für die Einbettung von interaktiven Visualisierungen in den Suchprozess. Der Abschnitt stellt die verschiedenen Aspekte und Eigenschaften der Informationssuche auf Metaebene vor. Der zweite große Bereich ist die *Informationsvisualisierung* auf der interaktive Visualisierungen beruhen. Im Gegensatz zur Informationssuche hat die Informationsvisualisierung eigene Ziele, Eigenschaften, Methoden und Ansätze, um Information verstehbar und durchsuchbar zu machen. Beide Bereiche sind als Forschungszweige noch stark getrennt, obwohl sie beide dazu dienen, Nutzern Informationen leichter zugänglich zu machen. Der Abschnitt *Informationsverarbeitung* zeigt Strukturen, Modelle und Prozesse, wie Informationen und Visualisierungen beim Nutzer verarbeitet werden. Es ist erkennbar, dass Nutzer mit heterogenen Informationen und Darstellungsweisen sehr gut zurechtkommen, aber diese Heterogenität durch erhöhten Zeitaufwand im Verarbeitungsprozess belastet ist.

### 2.1 Informationssuche

Der Abschnitt *Informationssuche* zeigt, welche verschiedenen Modelle, Methoden und Eigenschaften die Informationssuche hat. Dafür werden zuerst verschiedene Suchmodelle ausgehend vom klassischen IR-Modell, über Berrypicking, zu Exploratory Search und der Suche im Web vorgestellt. Alle Modelle versuchen, den Suchprozess zu modellieren und zeigen verschiedene Eigenschaften der Informationssuche auf. Verschärft werden die Anforderungen an die Informationssuche durch die Eigenschaften von Informationen im Web. Ein erster Lösungsansatz dazu soll der Ansatz des Semantic Web bieten. Für die Suche werden verschiedene Retrieval-Techniken angewandt, die hier vorgestellt werden und später in den Bereich der Informationsvisualisierung transformiert werden sollen.

#### 2.1.1 Modelle

Für den Prozess der Informationssuche existieren verschiedene Modelle auf unterschiedlichen Abstraktionsschichten. Der folgende Abschnitt führt verschiedene Konzepte wie das klassische IR-Modell, das Berrypicking-Modell, den Exploratory Search-Ansatz, die Informationssuche im Web und den Ansatz des Semantic Webs auf und zeigt, welche spezifischen Eigenschaften der Informationssuche die Modelle herausarbeiten und damit die Informationssuche insgesamt hat. Die Modelle beziehen sich zudem auf verschiedene Informationstypen als Grundlage, die sich beispielsweise auf Text oder Faktendaten konzentrieren. Dabei werden die Konzepte nur auf abstrakter Ebene vorgestellt, um eine Gesamtübersicht der verschiedenen Modelle zu erhalten.

##### 2.1.1.1 Information Retrieval-Modelle

Das prinzipielle Konzept des Information Retrievals (IR) stellen Belkin und Croft (1987) dar (vgl. Abbildung 2-1). In diesem Modell wird das Informationsbedürfnis eines Anwenders in einer Anfrage repräsentiert und mit der Repräsentation von Dokumenten aus einer Datenbank verglichen. Das Information Retrieval-System (IR-System) gibt dann die Dokumente aus, die am ehesten der Anfrage entsprechen. Das klassische IR-Modell ist dabei stark verbunden mit dem Cranfield-Paradigma, das die Effektivität von IR-Systemen und Algorithmen für das Finden relevanter Dokumente anhand von Messgrößen wie Precision und Recall misst. Dabei wird ausgegangen von einer festen Dokumentsammlung, einem feststehenden Informationsbedürfnis (verschiedenen Topics) und Relevanzbeurteilungen durch Juroren (vgl. Baeza-Yates, Ribeiro-Neto, 1999).

## 2. Grundlagen

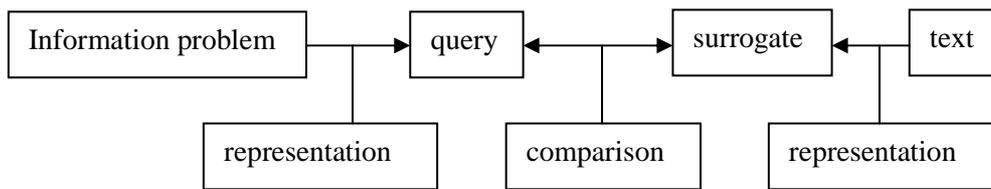


Abbildung 2-1: Prinzip des Information Retrieval (nach Belkin & Croft, 1987: Abb. 1).

Belkin und Croft gehen vornehmlich von Dokumenten als Datenbasis aus:

„...the means for identifying, retrieving, and/or ranking texts (or text surrogates or portions of texts) in a collections of texts, that might be relevant to a given query...“ (Belkin, Croft, 1987: S. 109)

Die Datenbasis wird also durch Textdokumente gestellt, die mithilfe automatischer oder manueller Indexierung repräsentiert werden. Van Rijsbergen (1979) nimmt anhand Tabelle 2-1 eine Abgrenzung von Data Retrieval (Faktenretrieval) zu Information Retrieval vor.

Tabelle 2-1: Information Retrieval versus Data Retrieval (aus van Rijsbergen, 1979)

|                            | <i>Data Retrieval</i> | <i>Information Retrieval</i> |
|----------------------------|-----------------------|------------------------------|
| <i>Matching</i>            | Exact match           | Partial match, best match    |
| <i>Inference</i>           | Deduction             | Induction                    |
| <i>Model</i>               | Deterministic         | Probabilistic                |
| <i>Classification</i>      | Monosthetic           | Polythetic                   |
| <i>Query Language</i>      | Artificial            | Natural                      |
| <i>Query specification</i> | Complete              | Incomplete                   |
| <i>Items wanted</i>        | Matching              | Relevant                     |
| <i>Error response</i>      | Sensitive             | Insensitive                  |

Van Rijsbergen geht dabei von einer dedizierten Anfrage in einer Datenbankabfragesprache aus. Diese berücksichtigt alle in der Tabelle aufgeführten Punkte wie zum Beispiel Vollständigkeit und eindeutiges Ergebnis. Nicht berücksichtigt wird jedoch bei dieser Aufstellung, dass auch bei einer Suche nach Faktendaten ein vages Informationsbedürfnis des Anwenders bestehen kann und sich die explizite Anfrage erst durch den iterativen Retrievalprozess bildet.

Kuhlen (1995) vereint auf abstrakter Ebene die unterschiedlichen Ansätze von Informationssuche und geht von einem allgemeinen Grundmodell des Information Retrievals aus (vgl. Abbildung 2-2). Daraus leitet er Modelle für das Dokumentenretrieval, Faktenretrieval, Information Retrieval als Hypertext und Information Retrieval als wissensbasiertes System ab. Datenbasis können hier also nicht nur Dokumente, sondern auch Faktendaten, Volltexte, Multimediaobjekte, bibliographische Angaben, semantische Netze usw. sein. Die Modelle des Information Retrievals sind dabei immer zweigeteilt: Auf der linken Seite der Abbildung finden sich die Prozesse der Inhaltserschließung, Modellierung und Wissensrepräsentation, auf der rechten Seite die Prozesse des Retrievals, wie Suche und Navigation (vgl. Kuhlen, 1995: S. 276).

## 2. Grundlagen

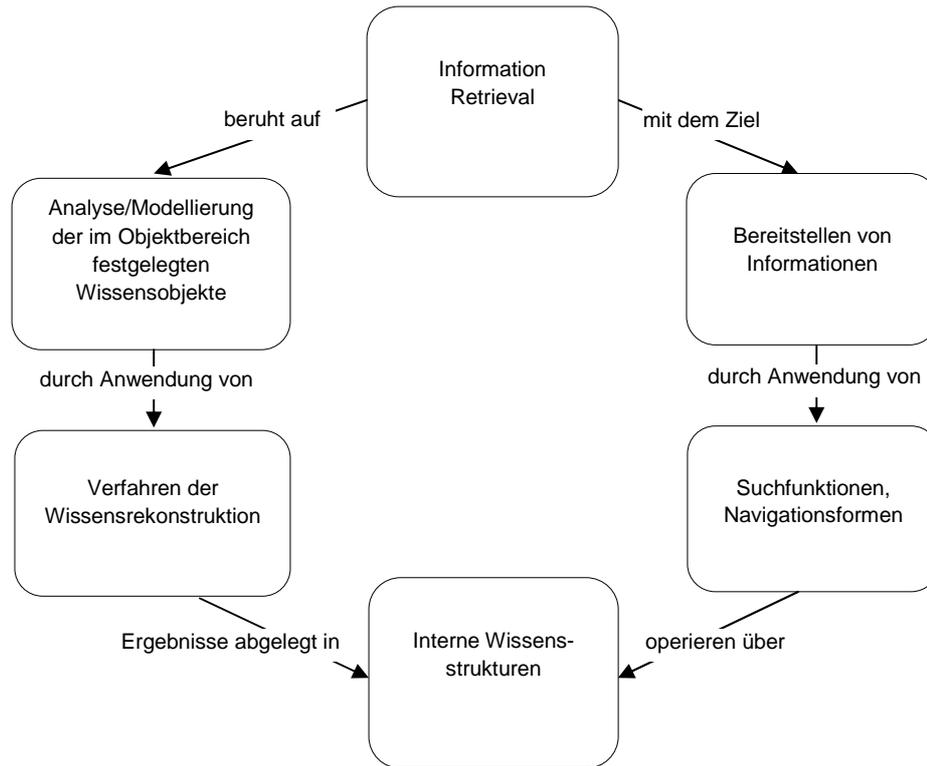


Abbildung 2-2: Allgemeines Modell des Information Retrieval (nach Kuhlen, 1995: Abb. 7-1)

Auch die Fachgruppe Information Retrieval der Gesellschaft für Informatik gibt eine Definition für den Begriff Information Retrieval:

*„Im Information Retrieval (IR) werden Informationssysteme in Bezug auf ihre Rolle im Prozess des Wissenstransfers vom menschlichen Wissensproduzenten zum Informations-Nachfragenden betrachtet. Die Fachgruppe „Information Retrieval“ in der Gesellschaft für Informatik beschäftigt sich dabei schwerpunktmäßig mit jenen Fragestellungen, die in Zusammenhang mit vagen und unsicheren Wissen entstehen. Vage Anfragen sind dadurch gekennzeichnet, dass die Antwort a priori nicht eindeutig identifiziert ist. Hierzu zählen neben Fragen mit unscharfen Kriterien insbesondere auch solche, die nur im Dialog iterativ durch Reformulierung (in Abhängigkeit von den bisherigen Systemantworten) beantwortet werden können; häufig müssen zudem mehrere Datenbasen zur Beantwortung einer einzelnen Anfrage durchsucht werden. Die Darstellungsform des in einem IR-System gespeicherten Wissens ist im Prinzip nicht beschränkt (z.B. Texte, multimediale Dokumente, Fakten, Regeln, semantische Netze). Die Unsicherheit dieses Wissens resultiert meist aus der begrenzten Repräsentation von dessen Semantik (z.B. bei Texten oder multimedialen Dokumenten); darüber hinaus werden auch solche Anwendungen betrachtet, bei denen die gespeicherten Daten selbst unsicher oder unvollständig sind (wie z.B. bei vielen technisch-wissenschaftlichen Datensammlungen). Aus dieser Problematik ergibt sich die Notwendigkeit zur Bewertung der Qualität der Antworten eines Informationssystems, wobei in einem weiteren Sinne die Effektivität des Systems in Bezug auf die Unterstützung des Benutzers bei der Lösung seines Anwendungsproblems beurteilt werden sollte.“ (Fuhr, 1996)*

## 2. Grundlagen

Auch in dieser Definition wird die Datenbasis von rein textuellen Daten auf multimediale Dokumente, Fakten, Regeln und semantische Netze erweitert. Weiterhin wird in dieser Definition ein Schwerpunkt auf die vage Anfrageformulierung gelegt. Die Anfrage durch den Anwender ist nicht a priori fest vorgegeben, sondern entsteht erst nach und nach im Prozess des iterativen Retrievals. Das Informationsbedürfnis des Anwenders steht also im Mittelpunkt und die Bewertung des IR-Systems muss durch die Qualität der Antworten erfolgen.

### 2.1.1.2 Berrypicking

Bates (1989) schlägt das *Berrypicking-Modell* für die Suche in Online- und anderen Informationssystemen vor, das auch sehr gut den Prozess des Web-Browsing abbildet. Das Modell soll näher am echten Verhalten von Informationssuchenden sein als das klassische IR-Modell. Bates geht dabei von folgenden Limitierungen des klassischen IR-Modells aus:

- Das klassische IR-Modell deckt nur einen Teil der Suchprozesse der Wirklichkeit und diese nur unvollständig ab.
- Es ist ein formales Modell, das gut für die wissenschaftliche Evaluation von verschiedenen Retrieval- und Ranking-Modellen ist, aber nicht die Wirklichkeit repräsentiert.
- Die Anfrage wird als einzige, einheitliche nicht veränderliche Auffassung des Informationsbedürfnisses behandelt.
- Bei der Anfrage-Repräsentation stellt sich die Frage, wieso die Anfrage als passend zum System formuliert werden muss und nicht umgekehrt.
- Bei der Dokumenten-Repräsentation machen es Fortschritte in der Informatik möglich, Volltexte zu repräsentieren und zu finden; auf klassischen kontrollierte Vokabulare kann weitgehend verzichtet werden.

Abbildung 2-3 zeigt den Verlauf des Berrypicking-Prozesses. Zu Beginn steht wie beim klassischen IR-Modell das Informationsbedürfnis eines Nutzers. Durch eine Abfolge von Denkprozessen, Aktionen und resultierenden Dokumenten und Informationen innerhalb des Suchprozesses wird die Anfrage immer weiter adaptiert bis zum Abschluss des Prozesses die gewünschten Informationen gefunden wurden. Der wellenartige Prozesspfeil symbolisiert dabei die Veränderungen einer sich entwickelnden Suche. In jedem Prozessschritt führen Anfragen zu Dokumenten und Informationen, die durch Denkprozesse wieder zu adaptierten Anfragen und neuen Dokumenten führen, bis das Informationsbedürfnis des Nutzers befriedigt ist.

## 2. Grundlagen

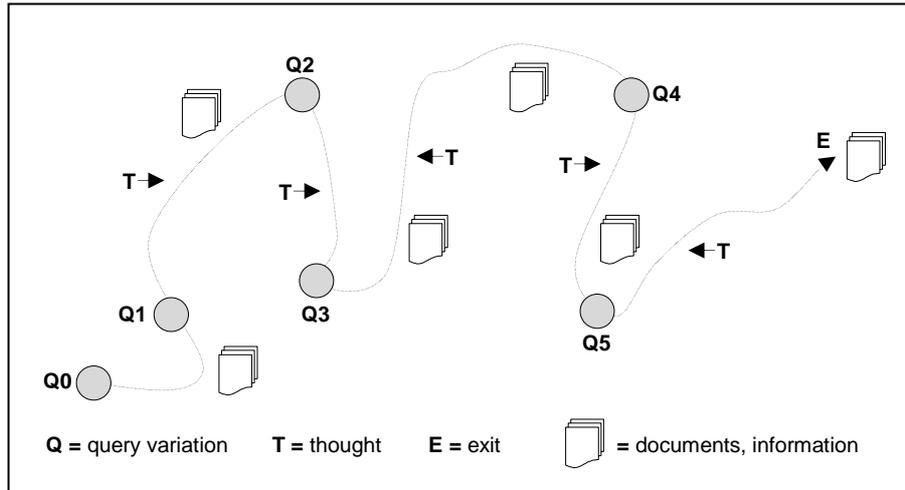


Abbildung 2-3: Der *Berrypicking*-Prozess (nach Bates, 1989: Abb. 2).

Das Berrypicking-Modell erweitert in vier Bereichen das klassische IR-Modell (Bates, 1989: S. 421):

1. Die Art der Suchanfrage entwickelt sich im Suchprozess und wird immer wieder adaptiert.
2. Der Suchprozess verhält sich nach dem Berrypicking-Muster wie oben beschrieben, anstatt dass er wie im IR-Modell zu einem einzigen, festen Suchergebnis führt.
3. Die Bandbreite der Suchtechniken ist größer und die eingesetzten Techniken wechseln im Suchprozess. Bates listet als Beispiele verschiedene Techniken wie „footnote chasing“, „citation searching“, „journal run“, „area scanning“, „subject searches in bibliographics and abstracting and indexing service“ und „author searching“ auf. Nutzer wechseln die Strategie, je nach der momentanen Anforderung. Wechselt die Anforderung teilweise oder ganz, wird auch die Suchstrategie adaptiert.
4. Die Quellen, in denen gesucht wird (Dokumente, Informationen, Zitationen etc.), ändern sich sowohl in Form als auch im Inhalt.

### 2.1.1.3 *Exploratory Search*

Eine Weiterentwicklung von Berrypicking ist *Exploratory Search* (Marchionini, 2006; White u. a., 2006). Exploratory Search kombiniert Anfrage- und Browsing-Strategien, um den Lern-, und Untersuchungsschritt im Suchprozess zu fördern. Es grenzt sich damit vom reinen Retrieval oder Lookup ab, das auf analytischen Strategien wie präzise gestellten Anfragen beruht. Exploratory Search unterscheidet drei Suchaktivitäten: (1) Lookup, (2) Learn und (3) Investigate, wobei sich Exploratory Search hauptsächlich auf die letzten beiden Schritte fokussiert (vgl. Abbildung 2-4).

*Lookup* ist dabei die Sammlung elementarer Suchaktivitäten und der vorherrschende Untersuchungsgegenstand der letzten Dekaden. Vertreten ist sie zum Beispiel durch Faktenretrieval in Datenbanksystemen oder durch die Suche mit Websuchmaschinen. Dabei werden durch den Nutzer Anfragen gestellt und die Systeme liefern diskrete und strukturierte Objekte wie Texte, Dokumente, kurze Beschreibungen oder andere Medientypen zurück. In dieser Art der analytischen Suche liefern sorgfältig spezifiziertere Anfragen präzise Resultate zurück, bezüglich derer auf Nutzerseite nur wenig Bedürfnis besteht, diese aufwendig weiter zu untersuchen oder zu vergleichen.

*Learn* erweitert diese elementare Suchaktivität um einen weiteren Schritt. Das Web hat sich zur primären Informationsquelle entwickelt und verlangt durch seine heterogenen Inhalte und komplexeren Informationsbedürfnisse der Nutzer nach einer Erweiterung des Suchprozesses.

## 2. Grundlagen

Informationsobjekte liegen in verschiedenen Medientypen und Modalitäten vor, wie zum Beispiel Text, Zahlen, Diagrammen, Karten, Videos, Bilder. Ein Großteil der Zeit im Suchprozess wird darauf verwendet die Resultate einer Suche zu untersuchen und zu vergleichen und daraus folgernd die Suchanfragen anzupassen. Der Nutzer verbringt dabei viel Zeit mit dem „scannen/betrachten, vergleichen und qualitativ beurteilen“ mit dem Ergebnis des „Erwerbs von Wissen, Verstehen von Konzepten oder Fähigkeiten, der Auslegung von Ideen und Vergleichen oder Zusammenfassungen von Daten und Konzepten“ (Marchionini, 2006). Die Informationsobjekte verlangen also multiple Iterationen und kognitive Verarbeitung und Interpretation, wobei durch einen Lernprozess die Bildung von neuem Wissen generiert werden soll.

*Investigate* ist der dritte Schritt im Suchprozess. Er verlangt mehrere Iterationen über längere Zeitabstände. Die Informationen werden kritisch überprüft, bevor sie in persönliche oder professionelle Wissensbestände integriert werden. Es benötigt vorhandenes Wissen für die Analyse, Synthese und Auswertung der Informationen. Dabei kann neu generiertes Wissen die Planung, Prognose und die Transformation von existierenden Informationen in das Entdecken von neuen Informationen oder Wissen unterstützen. Auch können dadurch Wissenslücken entdeckt werden.

Der Lern- und Untersuchungsschritt verlangt eine stärkere Beteiligung des Nutzers im Suchprozess. Anstatt den Suchprozess als Übereinstimmung von Anfrage und Dokumentenrepräsentation zu sehen, wird im Feld Human-Computer Information Retrieval (HCIR) eine aktive Beteiligung des Nutzers mit einem Informationsbedürfnis, Informationsfertigkeiten, weiter entwickelten Digitalen Bibliotheken, und lokalen und weltweiten Communities mit dynamisch veränderlichen Aspekten gesehen. Daraus ergibt sich die Anforderung, hoch interaktive Suchsysteme zu gestalten, um den Nutzer aktiv in den Suchprozess zu integrieren. Die Systeme können durch verschiedene interaktive Konzepte und Komponenten unterstützt werden, welche teilweise bereits zur Verfügung stehen. Marchionini nennt hier beispielsweise den Hyperlink-Mechanismus im Web, Query-By-Examples-Interfaces und Techniken wie Dynamic Queries oder Brushing-Techniken.

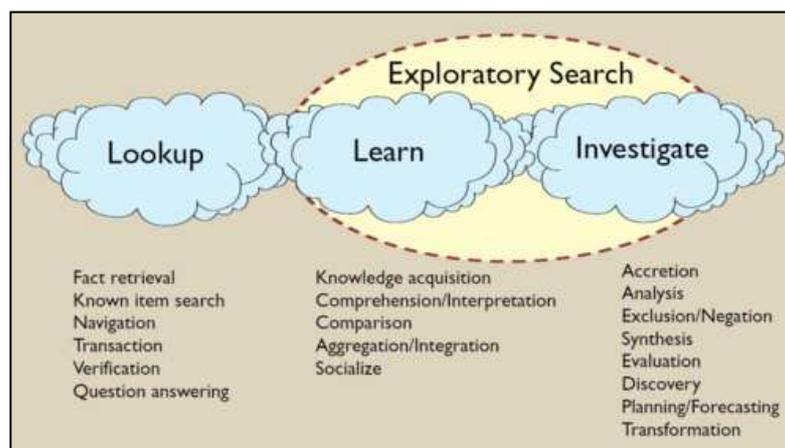


Abbildung 2-4: Suchaktivitäten in *Exploratory Search* (aus Marchionini, 2006: Abb. 1).

### 2.1.1.4 Informationssuche im Web

Die Suche von Informationen im Web unterscheidet sich stark von der Informationssuche in klassischen IR-Systemen. Lewandowski (2005: S. 71ff) fasst die Unterschiede zwischen Information Retrieval und Web Information Retrieval zusammen und unterteilt sie in die vier Kategorien: (1) Merkmale des Dokumentenkorpus, (2) Inhalte, (3) Nutzer und (4) IR-System (vgl. Tabelle 2-2).

## 2. Grundlagen

Tabelle 2-2: Unterschiede zwischen Web-IR und klassischem Information Retrieval (aus Lewandowski, 2005: Tabelle 5.1).

| <i>Unterscheidungsmerkmal</i>            | <i>Web</i>  | <i>Klassische Datenbanken</i>   |
|--|---|---|
| <i>Merkmale des Dokumentenkorporus</i>   |   |   |
| Sprachen                                 | Dokumente liegen in einer Vielzahl von Sprachen vor; aufgrund der Volltexterschließung keine einheitliche Erschließung über Sprachgrenzen hinweg. | Einzelne Sprache oder Dokumente liegen in vorher definierten Sprachen vor; Erschließung von Dokumenten verschiedener Sprachen mittels einer einheitlichen Indexierungssprache.                |
| Medienarten                              | Dokumente in unterschiedlichen Formaten.  | Dokumente liegen in der Regel in nur einem Format vor.  |
| Länge und Granularität der Dokumente     | Länge der Dokumente variiert, große Dokumente werden oft aufgeteilt.  | Länge der Dokumente variiert innerhalb eines gewissen Rahmens; pro Dokument eine Dokumentationseinheit.   |
| Spam                                     | Problem der von den Suchmaschinen unerwünschten Inhalte.  | Beim Aufbau der Datenbank wird vorab definiert, welche Dokumente erschlossen werden.  |
| Hyperlink-Struktur                       | Dokumente sind miteinander verbunden.   | Dokumente sind in der Regel nicht miteinander verknüpft; keine Notwendigkeit, aus Verlinkungsstrukturen auf die Qualität der Dokumente zu schließen.  |
| <i>Inhalte</i>                           |   |   |
| Datenmenge / Größe des Datenbestands     | Genauere Datenmenge nicht bestimmbar; keine vollständige Indexierung möglich.   | Genauere Datenmenge aufgrund formaler Kriterien bestimmbar.   |
| Abdeckung des Datenbestands              | Abdeckung der Zielmenge unklar.   | Abdeckung gemäß dem bei der Planung der Datenbank gesteckten Ziel in der Regel vollständig.   |
| Dubletten                                | Dokumente können mehrfach/ vielfach vorhanden sein; teils auch in unterschiedlichen Versionen.  | Dublettenkontrolle bei der Erfassung der Dokumente. Versionskontrolle in der Regel nicht notwendig, da jeweils eine endgültige Fassung existiert und diese in die Datenbank eingestellt wird. |
| <i>Nutzer</i>                            |   |   |
| Art der Anfragen                         | Aufgrund heterogener Informationsbedürfnisse der Nutzer sehr unterschiedlich.   | Genauere Zielgruppe mit klarem Informationsbedürfnis.   |
| Ill-formed queries                       | Geringe Kenntnis der Nutzer über angebotene Suchfunktionen/ Recherche allgemein.  | Nutzer sind mit der jeweiligen Abfragesprache vertraut.   |
| <i>IR-System</i>                         |   |   |
| Interface                                | Einfache, intuitiv bedienbare Interfaces für Laien-Nutzer.  | Oft komplexe Interfaces; Einarbeitung notwendig.  |
| Ranking                                  | Relevance Ranking aufgrund der großen Treffermengen notwendig.  | Relevance Ranking aufgrund genau formulierter Suchanfragen und dadurch geringerer Treffermengen meist nicht nötig.  |
| Suchfunktionen                           | Beschränkte Suchfunktionen.   | Komplexe Abfragesprachen.   |
| Modifikation der Suche                   | In der Regel nur Möglichkeiten zur weiteren Einschränkung der Suchanfrage.  | Umfangreiche Modifikationsmöglichkeiten.  |
| Strukturierung der indexierten Dokumente | Schwache Strukturierung; Feldsuche nur bedingt für die Recherche geeignet.  | Starke Strukturierung; Suche innerhalb einzelner Felder gut für die Recherche geeignet.   |
| Auswahl der Dokumente                    | Abgesehen vom Ausschluss von Spam keine weitere Auswahlkriterien.   | Klare Auswahlkriterien werden schon bei der Planung der Datenbank bestimmt.   |

Die Auflistung von Lewandowski lässt sich in den verschiedenen Kategorien noch erweitern bzw. für den Rahmen dieser Arbeit noch weiter spezifizieren.

## 2. Grundlagen

### *Merkmale des Dokumentenkorporus*

Die Hyperlinking-Struktur ist eines der wesentlichsten Merkmale des Webs und Grundvoraussetzung für die Retrievaltechnik *Browsing*. Da sich verteilte und inhomogene Datenbestände nur durch Indexierung durchsuchbar machen lassen, ist Adhoc-Retrieval mit intuitiv bedienbaren Benutzungsoberflächen die zweite vorherrschende Retrievaltechnik. Browsing und Adhoc-Retrieval bilden als Verbund die Techniken für das Retrieval im Web (vgl. auch Olston, Chi, 2003).

### *Inhalte*

Informationen im Web liegen in (1) verteilten Datenbeständen, (2) heterogenen Modalitäten, (3) unterschiedlicher Strukturiertheit, (4) unterschiedlicher Granularität und (5) unterschiedlicher Qualität vor.

- (1) Daten und Informationen können aus unterschiedlichen Quellen wie Webseiten, Web-Enzyklopädien (bspw. Wikipedia), Webdatenbanken, Web-APIs oder Webarchiven stammen.
- (2) Die Informationen können auch in verschiedenen Modalitäten wie Text, Bild, Video, Audio aber auch in verschiedenen Medienformaten wie HTML-Seiten, als Worddokument, im PDF-, JPG-, GIF-, WAV-, MP3-, FLASH-, DIVX-Format vorliegen.
- (3) Die Informationen sind unterschiedlich strukturiert (vgl. Lewandowski, 2005: S. 59ff). Webseiten werden über ihren Textinhalt indiziert, Ton- und Bilddokumente werden mit Schlagwörtern ausgezeichnet. Inhalte in Webdatenbanken (z.B. Nachrichtenartikel) sind oft feiner mit Metadaten ausgezeichnet.
- (4) Daten und Informationen können unterschiedliche Granularitäten aufweisen. Dabei kann die Granularität von Rohdaten bis zu komplexen Informationstypen oder Objekten reichen. Informationstypen im Sinne der Informatik sind Entitäten und ihre Beziehungen, die sich durch Auszeichnungssprachen wie Metadaten, Metadatenmodelle, Mikroformate oder Ontologien beschreiben lassen.
- (5) Auch die Qualität der Webressourcen spielt eine wesentliche Rolle für das Ranking und die wahrgenommene Qualität eines Suchergebnisses. Eine große Anzahl an Merkmalen von Webseiten wie extrahierte Features der HTML-Struktur, In- und Outlinks, aber auch das visuelle Design einer Seite können eine Rolle spielen (Mandl, 2006b).

### *Nutzer*

Lewandowski (2005) listet „heterogene Informationsbedürfnisse“ und „geringe Kenntnisse über Suchfunktion“ als Merkmale von Nutzern im Web auf. Hinzu kommen zudem Eigenschaften aus dem Information Retrieval wie *Vagheit der Anfrage* oder die *Unsicherheit* im Retrievalprozess.

### *IR-System*

IR-Systeme im Web sind im klassischen Sinne Websuchmaschinen, die nach Indexierung und Relevanzranking die Inhalte des Webs über einfache Suchformulare verfügbar machen. Ausgehend von einer Webseite können sich Nutzer durch die Nutzung von Links zu verwandten Informationen vorarbeiten. Im Sinne dieser Arbeit können auch Visualisierungen Teil eines IR-Systems oder eines übergreifenden IR-Prozesses sein.

## 2. Grundlagen

Mandl (2006a) ordnet das klassische IR-Modell in den Kontext des Webs ein und zeigt die Herausforderungen, die sich dadurch ergeben (vgl. Abbildung 2-5). Den Kern bildet wieder der Ähnlichkeitsabgleich einer durch den Informationssuchenden gestellten Anfrage und deren Anfragerrepräsentation mit einem Korpus von Webdokumenten und deren Objekteigenschaften. Einige Herausforderungen ergeben sich dabei durch den Webkorpus: Die Inhalte sind stark heterogen im Inhalt und ihrer Darstellung, der Gesamtumfang des Korpus ist unklar und schwer zu erfassen, im Korpus befindet sind durch Linkstrukturen Wissen über Beziehungen, Ähnlichkeiten und Verteilungen. Aufgrund der Größe des wachsenden Korpus erfordert die Indexierung und Repräsentation Heuristiken. Die Anfragen des Informationssuchenden sind in den meisten Fällen sehr kurz. In der Ähnlichkeitsberechnung fließen auch kommerzielle Interessen wie Werbung ein. Durch die Linkstruktur in den einzelnen Dokumenten der Ergebnismenge wird auch eine Fortsetzung des Informationsprozesses durch Browsing ermöglicht.

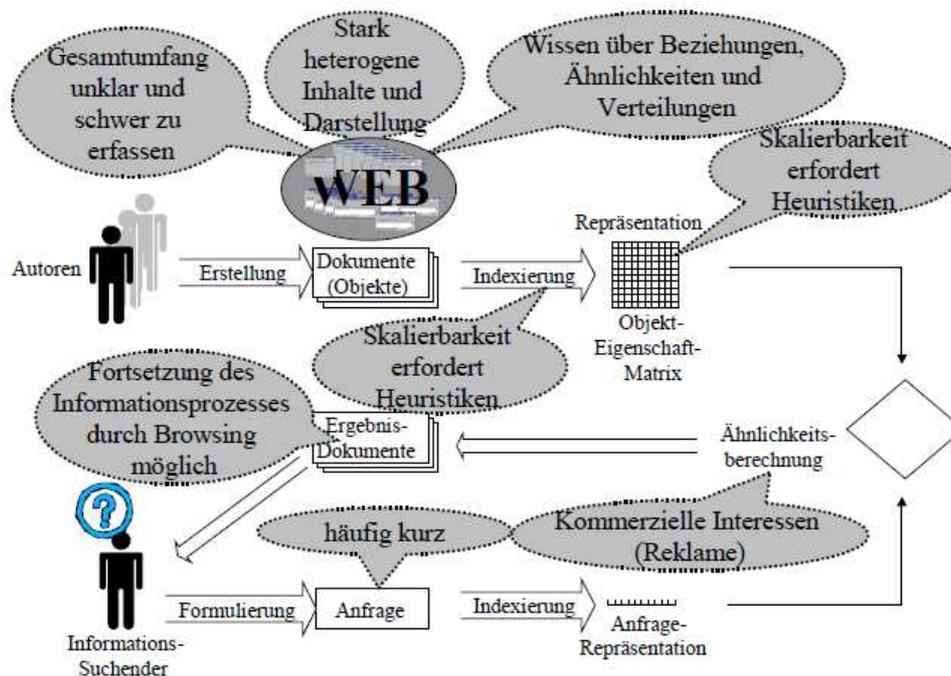


Abbildung 2-5: Der Information Retrieval Prozess und Herausforderungen im Web (aus Mandl, 2006a: Abb. 2.1).

Eine Herausforderung liegt dabei in der großen Heterogenität der Qualität von im Internet angebotenen Wissensobjekten, deren Bewertung und der Nutzung dieser Bewertung als Faktor für das Ranking von Suchergebnissen im Web Information Retrieval. Dabei kann unterschieden werden zwischen den Begriffen Qualität und Relevanz (Mandl, 2006a: S. 93ff). Als relevant wird ein Informationsobjekt angesehen, wenn es wichtig für ein akutes Informationsbedürfnis ist. Qualität von Informationsobjekten kann dagegen auch unabhängig von einem Informationsbedürfnis bewertet werden. Dabei kann die Relevanz auf Benutzer- oder Systemebene erfasst werden. Auf Benutzerebene wäre es der Abgleich eines kognitiv erfassten und natürlichsprachlich formulierbaren Informationsbedürfnisses, wobei pragmatische Kriterien einen Einfluss haben. Relevanz auf Systemebene wäre der Abgleich einer formulierten Anfrage mit Dokumenten im IR-System auf formaler Ebene, wie es für IR-Evaluationen genutzt wird. Mandl geht davon aus, dass bei großen Qualitätsunterschieden wie im Internet, Relevanzbeurteilungen durch Juroren auch von der Qualität mit beeinflusst werden.

## 2. Grundlagen

Eingeteilt werden kann die Qualität von Informationsobjekten im Internet in die vier größeren Kategorien intrinsische Qualität, Kontext, Darstellung und Zugang (Mandl, 2006a: S. 98ff). In diese Kategorien lassen sich Aspekte aus (1) umfangreichen Kriterienlisten als auch abstrakteren Definitionen wie (2) Autorität, (3) zeitliche Aspekte, (4) Gebrauchstauglichkeit, (5) wirtschaftliche Aspekte, (6) technische und Software-Qualität und (7) interkulturelle Unterschiede einordnen. Kriterienlisten enthalten eine Vielzahl von Kriterien unterschiedlicher Abstraktionsniveaus, können stark kontextabhängig sein und daher für die pragmatische Anwendung kaum anwendbar sein. Die Autorität stellt laut Mandl das zentrale Qualitätsmerkmal für Internetangebote dar. Prominent vertreten ist es durch den PageRank-Algorithmus von Google, der Webseiten anhand der Anzahl und der Qualität der eingehenden Links bewertet. Aber auch als Maß in der Szientometrie mit der Zentralität von Akteuren in einem Netzwerkgraphen spielt es eine wichtige Rolle. Zeitliche Aspekte können in Form der Aktualität der Webseite, des Zeitaufwands für die Lösung eines Informationsbedürfnisses oder der Erscheinung einer Internetquelle im Vergleich zur Printquelle eine Rolle spielen. Die Gebrauchstauglichkeit (Usability) lässt sich laut Mandl in der zentralen Frage zusammenfassen, ob der Nutzer die enthaltenen Informationen überhaupt aufnehmen und rezipieren kann (Mandl, 2006a: S. 106). Die Information und ihre Darstellung müssen so aufbereitet sein, dass der Nutzer sie leicht rezipieren kann. Die Gebrauchstauglichkeit von Informationssystemen wird in den Feldern Mensch-Maschine-Interaktion und Softwareergonomie behandelt und wird durch verschiedene Bereiche wie (1) Formen der Mensch-Maschine-Interaktion, (2) Richtlinien für die Gestaltung, (3) Gestaltungsprinzipien und (4) Ästhetische Gestaltung beeinflusst (Mandl, 2006a: S. 27ff). Verstößt man gegen diese prinzipiellen Erkenntnisse aus dem Bereich der Human-Computer-Interaktion, so kann die Information nur sehr viel schwerer aufgenommen werden. Wirtschaftliche Aspekte können der wirtschaftliche Erfolg eines Angebots basierend auf der Qualität und dem Vertrauen des Nutzers in das Angebot sein. Diese kann in Maßen wie der Benutzungshäufigkeit und dem Rückkehrverhalten gemessen werden. Der finanzielle Aufwand, der für die Erstellung von Internetangeboten investiert wird, kann auch ein Indikator für Qualität sein. Zudem existieren technische und Softwarequalitäts-Aspekte: Qualitätsmerkmale von Software im Allgemeinen, wie sie in DIN- und ISO-Normen ausgedrückt werden, technische Faktoren wie Downloadzeiten, Sicherheit und Zuverlässigkeit von Servern und die korrekte Programmierung von HTML-Seiten im Sinne von vollständiger Korrektheit und Barrierefreiheit. Qualitätskriterien, ihr Einsatz und ihre Häufigkeit scheinen stark kulturabhängig zu sein. So wird die Wichtigkeit der aufgeführten Kriterien in verschiedenen Kulturkreisen unterschiedlich bewertet.

Mandl untersucht das Qualitätsmodell für Websuchmaschinen anhand eines Prototyps. Dazu werden zuerst Ergebnisse von verschiedenen Suchmaschinen abgefragt. Dann werden die Top-Webseiten heruntergeladen, 113 verschiedene Features aus den Bereichen Grafik, visuelles Design und Inhalt extrahiert und daraus ein Qualitätsranking gebildet. Der Einfluss der verschiedenen Features auf das Qualitätsranking wurde mit Machine-Learning-Algorithmen aus einem Korpus von menschlich qualitativ bewerteten Webseiten gelernt<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Die Suchmaschine Google geht mit dem Panda-Update in 2011 einen ähnlichen Weg und nutzt Qualitätskriterien für das Ranking inklusive Faktoren wie Design, Vertrauenswürdigkeit, Geschwindigkeit und Rückkehrhäufigkeit. Dabei wurden tausende Webseiten durch menschliche Qualitätsprüfer bewertet und die Faktoren und Gewichtung durch Machine-Learning-Algorithmen gelernt. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Google\\_Panda](http://en.wikipedia.org/wiki/Google_Panda))

## 2. Grundlagen

Für die Messung der Performanz des Qualitätsmodells wurde ein Nutzertest durchgeführt, der Teilnehmer Suchanfragen im Bereich Gesundheit durchführen und dann die Suchergebnisse nach Qualität und Relevanz beurteilen ließ. Es konnte gezeigt werden, dass die mit Qualität gerankten Ergebnisse für die Top-10 Webdokumente deutlich bessere Jurorenurteile für Qualität und Relevanz erhielten als Vergleichsrangings wie das originale Suchmaschinenranking, ein Zufallsranking oder das umgekehrte Qualitätsranking.

### 2.1.1.5 Semantic Web

Eine strukturierte Vernetzung von Informationsobjekten im Web bieten die Ansätze des *Semantic Webs* (Berners-Lee u. a., 2001) und *Linked Data* (Bizer u. a., 2009a). Semantic Web wird als eine Erweiterung des heutigen Webs verstanden. Der *Linked Data*-Ansatz nutzt das Web für die Erstellung von typisierten Links zwischen Daten aus verschiedenen Quellen. Informationsobjekte aus verschiedenen Domänen wie geographische Orte, Personen, Unternehmen, Bücher, wissenschaftliche Publikationen, Filme, Musik-, Fernseh- und Radioprogramme, medizinische Informationen (bspw. Gene, Proteine, klinische Studien), Online-Communities, statistische Daten sollen dabei verbunden werden. Das finale Ziel von Linked Data ist, das Web als eine integrierte globale Datenbank nutzen zu können, die beliebige Informationstypen enthalten kann und eine große Anzahl an verteilten und heterogenen Datenquellen verbindet. Daten werden in Dokumenten in RDF (Resource Description Framework; Lassila, Swick, 1999) ausgezeichnet. Das RDF-Modell enkodiert Daten in Form von Tripeln mit einem Subjekt, Prädikat und Objekt. Subjekt und Objekt repräsentieren dabei Entitäten und das Prädikat eine Beziehung zwischen diesen Entitäten. Alle drei Komponenten können dabei auch über einen URI (Uniform Resource Identifier) aufgelöst werden.

Für das Publizieren von Daten wurde ein Satz von Regeln aufgestellt (Berners-Lee, 2006):

1. URIs stehen als Bezeichner für Dinge.
2. Der Einsatz von HTTP-URIs, so dass Nutzer diese Dinge nachschlagen können.
3. Beim Aufruf von URIs durch den Nutzer, sollten weitere nützliche Informationen auf der Basis von Standards (RDF, SPARQL) angeboten werden.
4. Links zu anderen URIs sollten angeboten werden, so dass mehr Dinge entdeckt werden können.

Nach diesen Regeln kann jeder Anbieter Daten zur *Linked Data Cloud*<sup>2</sup> hinzufügen und mit bestehenden Datensätzen verlinken. Da somit alle Daten verlinkt sind, können Anwendungen wie Linked Data Browser genutzt werden, um zwischen den Datenquellen zu navigieren. Mit Linked Data Search Engines kann nach Tripeln analog zu Websuchmaschinen gesucht werden.

DBpedia (Bizer u. a., 2009b) ist dabei ein zentraler Knotenpunkt in der Linked Open Data Cloud. DBpedia extrahiert Informationen von Wikipedia aus strukturierten Elementen wie Infoboxen, Templates oder der Kategorisierung. Sie beschreibt 3,64 Millionen Dinge<sup>3</sup> (Stand Juni 2012) in bis zu 97 Sprachen. Dabei werden verschiedene Informationen zu Dingen wie Personen, Orte, Musikalben, Filme, Videospiele, Organisationen, biologische Arten oder Krankheiten extrahiert. Entitäten erhalten einen eindeutigen Identifier und können über eine URL (Uniform Resource Locator) aufgerufen werden und sind überdies über eine Ontologie verbunden, die über 320 Klassen und 1650 Eigenschaften<sup>4</sup> verfügt. Die Entitäten sind vernetzt mit 2,72 Millionen Links zu Bildern, 6,3 Millionen Links zu externen Webseiten, 6,2 Millionen Links zu externen RDF-Datensätzen und zu anderen

---

<sup>2</sup> <http://linkeddata.org/>

<sup>3</sup> <http://wiki.dbpedia.org/Datasets>

<sup>4</sup> <http://wiki.dbpedia.org/Ontology>

## 2. Grundlagen

externen Quellen. Der Datensatz deckt dabei durch die enzyklopädische Struktur von Wikipedia viele Domänen ab und ist außerdem multilingual.

### 2.1.2 Methoden

Für die Informationssuche werden verschiedene Methoden angewandt. Der folgende Abschnitt zeigt die verwendeten Techniken und deren Definition im Information Retrieval, die sich teilweise von der in der Informationsvisualisierung unterscheiden. Die eingeführten Techniken werden später für die Anwendung in der Informationsvisualisierung genutzt und in das Modell aus Kapitel 3 integriert.

#### 2.1.2.1 Standard IR-Techniken

Basierend auf der Klassifikation von Retrievaltechniken von Belkin und Croft (1987: Abb. 2) stellen Baeza-Yates und Ribeiro-Neto (1999) eine Taxonomie der verschiedenen Retrievalmodelle auf. Auf erster Ebene wird zwischen Retrieval und Browsing unterschieden (vgl. Abbildung 2-6).

Beim Retrieval wird zwischen Adhoc-Retrieval und Filtering unterschieden. Bleibt die Datenbasis während des Absetzens von Anfragen relativ stabil, spricht man von Adhoc-Retrieval. Verändert sich die Datenbasis laufend, aber die Anfragen bleiben gleich, so spricht man von Filtering. Klassisches Adhoc-Retrieval wird also beispielweise in der Literatursuche eingesetzt, wo der Anwender explizite Suchen nach Dokumenten ausführt. Sucht ein System anhand eines vom Anwender angelegten Suchprofils, bspw. in Wirtschaftsdaten oder Nachrichtenartikeln, spricht man von Filtering.

Browsing bezeichnet das Blättern in Dokumentenmengen. Wird nur eine Liste der Dokumente angeboten, so spricht man von *flat browsing*. Beim *structure guided browsing* wird der Dokumentenraum anhand inhaltlicher Kriterien strukturiert. Der Anwender kann dann über mehrere Stufen die Dokumentenmenge filtern und gleichzeitig darin zu blättern. *Hypertext-Browsing* ist das Verfahren, bei dem Dokumente durch eine Vielzahl von Links miteinander verbunden sind. Der Anwender kann sich so von Dokument zu Dokument seinen Weg wählen. Der bekannteste Hypertext-Zugang ist das World Wide Web.

## 2. Grundlagen

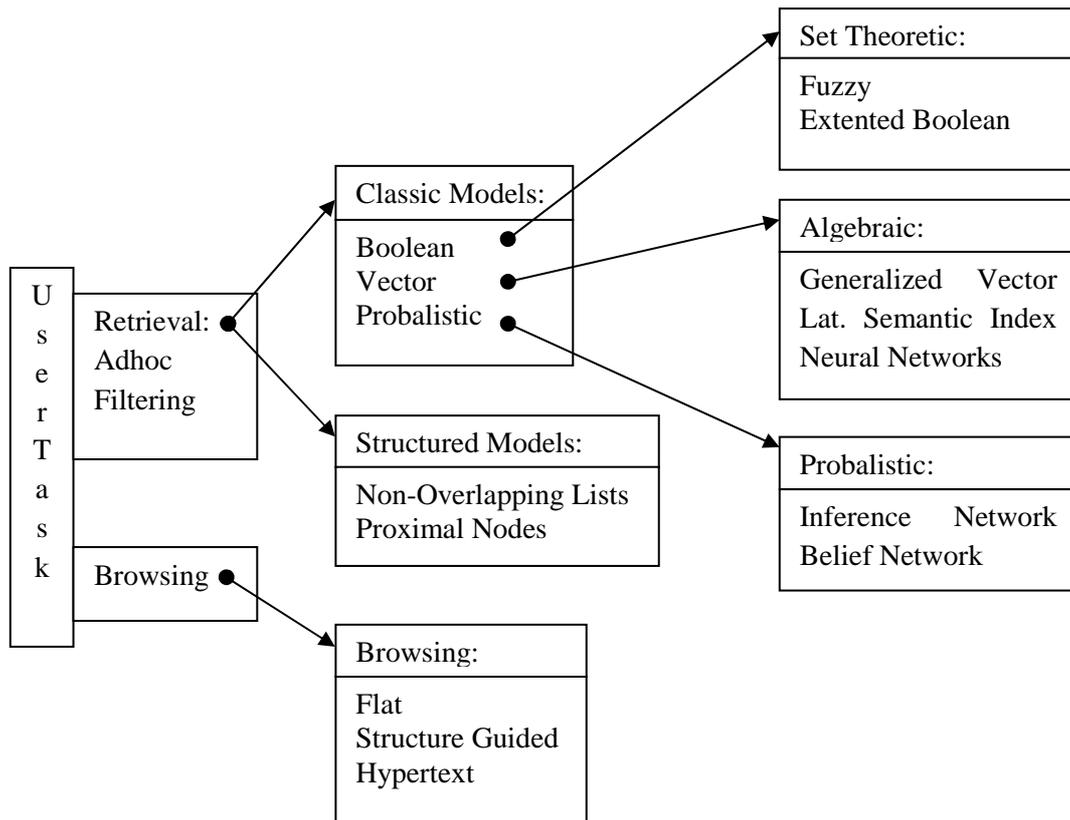


Abbildung 2-6: Taxonomie der Retrievalmodelle (nach Baeza-Yates & Ribeiro-Neto, 1999: Abb. 2.1).

Belkin und Croft (1992) stellen folgende charakteristische Merkmale für das Filtering auf:

- Ein Filteringsystem verarbeitet unstrukturierte oder semi-strukturierte Daten. Dies steht im Gegensatz zu einer typischen Datenbank-Anwendung, die strukturierte Daten enthält. Dabei bedeutet Struktur nicht nur, dass die Daten zum Beispiel durch Metaangaben weiter beschrieben sind, sondern auch, dass die einzelnen Datensätze aus einfachen Datentypen bestehen. Zum Beispiel kann eine Datenbank komplexe Dokumente wie Zeitschriftenartikel enthalten, deren Komponenten wie Text und Bild schlechter definiert sind als bspw. Metaangaben zu Autor und Titel. E-Mail-Nachrichten sind ein Beispiel für semi-strukturierte Daten, da sie definierte Header-Felder, aber unstrukturierten Text beinhalten.
- Filtersysteme befassen sich in erster Linie mit Text-Informationen. Unstrukturierte Daten werden häufig als Synonym für textuelle Daten verwendet. Filtersysteme sollten aber auch andere Datenarten wie Bilder, Sprache und Video als Teil von Multimediasystemen behandeln. Die Behandlung dieser Datenarten mit konventionellen Datenbank-Systemen stellt eine Herausforderung dar, da ihre Bedeutung und Beschreibung nur schwer zu extrahieren sind.
- Filtersysteme sind geeignet für große Datenmengen. Typische Anwendungen enthalten große Mengen an Textdaten oder große Datenmengen anderer Medien.
- Filter-Anwendungen behandeln typischerweise Ströme eingehender Daten, entweder von entfernten Quellen, wie News-Anbietern oder direkte Eingänge wie E-Mail. Filtering beschreibt auch den Abruf von Informationen aus Remote-Datenbanken, in denen der eingehende Datenstrom das Ergebnis einer Datenbankabfrage ist. Das beinhaltet auch Systeme, die mithilfe von intelligenten Agenten in entfernten heterogenen Datenbanken suchen.
- Filterung basiert auf der Beschreibung von Interessen von Einzelpersonen oder Gruppen. Die daraus entstehenden Profile vertreten meist langfristige Interessen.

## 2. Grundlagen

- Filterung impliziert oft, dass nur die Daten, die aus dem Datenstrom extrahiert wurden, für den Nutzer interessant sind. Oft ist aber auch das Gegenteil der Fall und der Datenstrom selbst ist für den Nutzer interessant, wenn die Filterregel zum Beispiel die Beseitigung von Junk-Mail aus eingehenden Emails beschreibt. Nutzer können in ihrem Profil bestimmen, ob sie bestimmte Daten erhalten wollen oder nicht.

Tabelle 2-3 fasst die Unterschiede zwischen Information Filtering und Information Retrieval zusammen, die Belkin und Croft (1992) beschreiben.

Tabelle 2-3: Abgrenzung von Information Filtering zu Information Retrieval (zusammengefasst aus Belkin und Croft, 1992)

| <i>Information Filtering</i>  | <i>Information Retrieval</i>   |
|---|--|
| Wiederholtes Benutzen des Systems von Anwendern mit langfristigen Zielen und Interessen.                            | Einmaliges Benutzen des Systems mit einmaliger Zielsetzung und einmaliger Anfrage.                                       |
| Beim Filtering wird davon ausgegangen, dass Filterungsprofile korrekte Spezifikationen von Nutzerbedürfnissen sind. | IR geht von inhärenten Problemen in der Angemessenheit von Anfragen als Darstellungen von Informationenbedürfnissen aus. |
| Filterung befasst sich mit Verteilung von Texten an Gruppen oder Einzelpersonen.                                    | IR befasst sich mit der Sammlung und der Organisation von Texten.  |
| Filtering befasst sich vor allem mit der Auswahl oder dem Entfernen von Texten aus einem dynamischen Datenstrom.    | IR befasst sich in der Regel mit der Auswahl von Texten aus einer relativ statischen Datenbank.                          |
| Filterung befasst sich mit langfristigen Veränderungen in einer Reihe von Informationssuchen.                       | IR befasst sich mit der Antwort auf Nutzerinteraktion innerhalb einer einmaligen Informationssuche.                      |

Einen umfangreichen Überblick über die methodischen und technologischen Aspekte von *Information Filtering* geben Hanani u. a. (2001).

### 2.1.2.2 *Faceted Search und Faceted Navigation*

*Faceted Search* oder *Faceted Navigation* (vgl. English u. a., 2002) ist ein populäres Konzept für die Navigation durch große Informationssammlungen auf der Basis von facettierten hierarchischen Metadaten. Es ist vornehmlich geeignet für große Datenbestände möglichst gleicher Informationselemente wie Webseiten, Produktkataloge und Bild- oder Dokumentensammlungen. Durch die Kombination von Freitextsuche und Browsing erlaubt es auch Nicht-Experten die intuitive Navigation durch sehr große Informationsräume. Nutzer können beispielsweise mit einer Freitextsuche beginnen, dann über Facetten die angezeigte Ergebnismenge einschränken und in der Folge weitere Suchterme zur Anfrage hinzufügen, ohne den Interaktionsprozess zu unterbrechen. Die Nutzung des Konzepts verhindert leere Ergebnislisten und durch die Anzeige der aktuellen Suchbegriffe und der ausgewählten Facetten wird das Gefühl beim Nutzer vermieden im Informationsraum verloren zu sein.

Voraussetzung für die Anwendung ist eine Informationssammlung, die auch Metadaten enthält. Diese Metadaten können facettiert sein, das heißt, es bestehen orthogonale Sets von Kategorien oder Eigenschaften. Zum Beispiel können Fotografien architektonischer Bauwerke mit *Facetten* wie Material (Beton, Backstein, Holz etc.), Stile (Barock, Gotisch, Ming, etc.), Personen (Architekten, Künstler, Entwickler), Ansicht, Orte oder Zeiten versehen sein. Die Facetten können *hierarchisch* („gelegen in Berkeley, Kalifornien, USA“) oder *flach* („von Ansel Adams“) sein. Facetten können

## 2. Grundlagen

*einwertig* („36 cm hoch“) oder *mehrwertig* (verwendet Ölfarbe, Tusche und Wasserfarbe) sein, das heißt, eine Facette kann nur eine oder mehrere Eigenschaften beinhalten (vgl. English u. a., 2002).

English et al. führen einen Nutzertest durch, der zwei verschiedene Designvarianten eines Suchsystems für Fotografien vergleicht und Komponenten eines erfolgreichen Suchsystems evaluiert. Das System enthält 40.000 Fotografien mit 16.000 Metadaten-Termen, die in die neun Facetten Personen, Orte, Strukturtypen, Materialien, Zeiten, Stile, Ansichten, Konzepte und Gebäudenamen unterteilt sind. Die Startseite der Varianten enthalten jeweils ein Suchfeld und eine Übersicht der hierarchischen Facetten auf erster Ebene. Die erste Designvariante *Matrix* zeigt auf der Ergebnisseite die Facetten auf erster Ebene auf der linken Seite an. Im oberen Bereich wird ein Navigationspfad mit den vom Nutzer ausgewählten Facetten angezeigt, mit der Möglichkeit, davon einzelne Facetten wieder zu löschen oder einen einzelnen Pfad auszuwählen. Darunter wird das Suchfeld angezeigt, mit der Möglichkeit auch in den Ergebnissen zu suchen und einzelne Suchterme wieder zu löschen. Unter dem Suchfeld erscheinen die Treffer der Suchanfrage gruppiert. Die Designvariante *Treeview* dagegen zeigt in den Facetten nur noch mögliche Unterkategorien an und wirkt dadurch übersichtlicher. Die Ergebnisse zeigen, dass die Nutzer die Matrixansicht für alle Aufgabentypen präferieren. Interessant ist auch die Verteilung des Zeitaufwands für die Nutzung einzelner Features der Oberfläche: Doppelt so viele Teilnehmer starten mit dem Browsing-Ansatz als mit einer Suche, Suchanfragen werden zudem sehr oft angepasst, um die Ergebnisse einzuschränken. Die Ergebnisse werden oft in der Matrixansicht per Browsing eingeschränkt, in der Treeansicht wird oft in den Ergebnissen gesucht und in beiden Ansichten wird oft die Suche komplett neu gestartet oder einen Prozessschritt zurückgegangen. Der Rest des Zeitaufwands verteilt sich auf Schritte für die Reduktion oder Expandierung des Suchergebnisses.

### 2.1.2.3 Information Foraging und Information Scent

Das Konzept *Information Scent* versucht auf der Basis der *Information Foraging*-Theorie (Pirolli, Card, 1999) die subjektive Wahrnehmung der Kosten und Nutzen des Zugriffs auf eine Webseite auf der Basis von *Proximal Cues* wie zum Beispiel Web-Links, Icons und umgebenden Text vorherzusagen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass Nutzer bei der Suche im Web oft von Webseite zu Webseite über Links navigieren und ihr Navigationsverhalten durch ihr Informationsbedürfnis bestimmt wird. In Chi u. a. (2001) werden zwei berechenbare Modelle für die Zusammenhänge zwischen dem Informationsbedürfnis eines Nutzers und seinen Aktionen vorgestellt: (1) Für ein gegebenes Navigationsmuster wird ein Informationsbedürfnis berechnet, (2) für ein Informationsbedürfnis wird ein wahrscheinliches Navigationsmuster berechnet.

Basierend auf dem Konzept *Information Scent* wurden *Scented Widgets* (Willett u. a., 2007) entwickelt. *Scented Widgets* sind Standard-Interaktionselemente in Webseiten und Nutzungsoberflächen, die mit Visualisierungen angereichert werden, welche die Navigation in Informationsräumen erleichtern sollen. Ähnlich der Idee von Tuftes Sparklines (Tufte, 1999) werden zu Navigationselementen wie Radio-Buttons, Slider oder Comboboxen *Visual Scents* in Form von Text, Icons, kleinen Säulen- oder Liniendiagrammen hinzugefügt, die Aufschluss über die Verteilung oder Nutzung der Information geben. Nutzer können also direkt beim Interaktionsschritt entdecken, wie sich zum Beispiel die Veränderung eines Sliders auswirkt, da darüber die Verteilung der Information angezeigt wird. Dies kann die Exploration von unbekanntem Informationsräumen erleichtern.

## 2. Grundlagen

### 2.1.3 Zusammenfassung

#### *Modelle*

Der Abschnitt Informationssuche stellt wichtige Modelle der Informationssuche vor: Das klassische IR-Modell, den Berrypicking-Prozess und Exploratory Search. Das klassische IR-Modell beinhaltet verschiedene Eigenschaften wie das Informationsbedürfnis des Nutzers, die Vagheit der Anfrage und die Unsicherheit der Ressourcen als auch des Nutzers im Retrieval-Prozess. Der Berrypicking-Prozess stellt heraus, dass Nutzer über verschiedene Dokumente und Informationen mit verschiedenen Suchtechniken iterieren und Suchabfragen immer weiter durch Denkprozesse auf Basis von Informationen anpassen, bis sie zum gewünschten Ziel gelangen. Exploratory Search erweitert diesen Ansatz und zeigt, dass neben der elementaren Informationssuche auch Lern- und Untersuchungsschritte eine wichtige Rolle spielen, um die Informationen zur Befriedigung des Informationsbedürfnisses in Wissen zu verwandeln.

#### *Methoden*

Nutzer wenden verschiedene Basis-Suchtechniken wie Adhoc-Retrieval, Browsing oder Filtering an, die in IR-Systemen und Websuchmaschinen ergänzt werden durch Techniken wie Faceted Search und Faceted Navigation. Auf Basis der Information Foraging-Theorie verfolgen Nutzer nur die Navigationswege und Links, die sie als wertvoll für die weitere Informationssuche erachten.

#### *Dokumentenbasis*

Die Dokumentenbasis wird in der Informationssuche immer komplexer: von Dokumenten über Fakten zu verschiedenartigen Informationsobjekten wie Bilder, Videos, Visualisierungen in verschiedenen Modalitäten und verschiedenen Medienformaten aus verteilten Datenquellen und mit unterschiedlicher Strukturiertheit. Die Granularität der Information reicht dabei von einfachen Rohdaten bis zu komplexen Informationstypen. Das Semantic Web bietet einen Ansatz, um die verteilten Informationsobjekte auf technischer Basis auszuzeichnen, mit URIs eindeutig identifizierbar zu machen und zu verbinden. Hier werden Informationsobjekte auf der Basis von Ontologien ausgezeichnet und modelliert und können miteinander verlinkt werden. Dadurch sind die Informationen auf technischer Basis verbunden, aber ein schlüssiges Konzept für die Informationssuche im Sinne des Nutzers, jenseits gängiger Suchmaschinenmodelle, fehlt.

### 2.2 Informationsvisualisierung

Die Informationsvisualisierung als eigenständiger Bereich hat zum Ziel große Datenmengen zu visualisieren und Erkenntnisse beim Nutzer zu generieren. Dabei hat sie im Gegensatz zur Informationssuche andere Ziele, Eigenschaften, Methoden und Ansätze, um Information darzustellen und durchsuchbar zu machen. Der folgende Abschnitt untersucht verschiedene Aspekte des Bereichs Informationsvisualisierung: (1) Welche Ziele und Vorteile hat die Informationsvisualisierung, wie können diese Ziele erreicht und gemessen werden und wie ist der Prozess modelliert, um diese Ziele zu erreichen? (2) Wie wird der grundlegende Prozess der interaktiven Informationsdarstellung modelliert? (3) Welche elementaren Informationsstrukturen werden in der Informationsvisualisierung als Hilfe zur Bildung eines kognitiven Modells angenommen und welche Forschungssysteme existieren in den jeweiligen Bereichen? (4) Welche Interaktionstechniken existieren in der Informationsvisualisierung? (5) Welche Modelle existieren für die koordinierte Anzeige mit mehreren Ansichten? (6) Welche Eigenschaften hat die Informationsvisualisierung im Web? (7) Wie werden Visualisierungen bereits in die Informationssuche eingebunden?

#### 2.2.1 Ziele, Vorteile und Eigenschaften der Informationsvisualisierung

Dieser Abschnitt zeigt zuerst die Ziele, Vorteile und Eigenschaften, wie sie von der Informationsvisualisierung selbst beschrieben werden. Daraufhin erfolgt die Erläuterung allgemeiner Vorteile von Bild und Text. Nachfolgend werden die Eigenschaften subjektiver Wahrnehmung von Bildern, Grafiken und Visualisierungen vorgestellt, ausgedrückt im Modell der Nutzererfahrung.

Card u. a. (1999a) definieren Information Visualization (IV) als „*The use of computer-supported, interactive, visual representations of abstract data to amplify cognition*“. Dabei fassen sie zusammen auf welchen Ebenen interaktive Visualisierungen den Kognitionsprozess verstärken können und schlagen sechs Aspekte vor, wie Informationsvisualisierung dies erreichen kann: (1) Die menschliche Speicher- und Verarbeitungsleistung kann durch interaktive Visualisierungen erhöht werden, (2) die Suche nach Informationen verringert sich, (3) die Mustererkennung wird durch visuelle Repräsentationen unterstützt, (4) Inferenzprozesse der Wahrnehmung werden ermöglicht, (5) Aufmerksamkeitsprozesse der Wahrnehmung können für die Überwachung genutzt werden und (6) Information werden in ein manipulierbares Medium transferiert. Tabelle 2-4 gibt einen Überblick über diese Kategorien, ihre einzelnen Aspekte und Erläuterungen.

## 2. Grundlagen

Tabelle 2-4: Wie Informationsvisualisierung den Kognitionsprozess verstärken kann (aus Card et al., 1999: Tabelle 1.3)

|  |   |
|--|---|
| <i>Increased Resources</i>                       |   |
| High-bandwidth hierarchical Interaction          | The human moving gaze system partitions limited channel capacity so that it combines high spatial resolution and wide aperture in sensing visual environments (Resnikoff, 1987).                                    |
| Parallel perceptual processing                   | Some attributes of visualizations can be processed in parallel compared to text, which is serial.   |
| Offload work from cognitive to perceptual system | Some cognitive inferences done symbolically can be recorded into inferences done with simple perceptual operations (Larkin and Simon, 1987).  |
| Expanded working Memory                          | Visualization can expand the working memory available for solving a problem (Norman, 1993).   |
| Expanded Storage of Information                  | Visualization can be used to store massive amounts of information in a quickly accessible form (e.g., maps).  |
| <i>Reduced search</i>                            |   |
| Locality of Processing                           | Visualizations group information used together, reducing search(Larkin and Simon, 1987).  |
| High data density                                | Visualizations can often represent a large amount of data in a small space (Tufte, 1983).   |
| Spatially indexed addressing                     | By grouping data about an object, visualization can avoid symbolic labels (Larkin and Simon, 1987).   |
| <i>Enhanced Recognition of Patterns</i>          |   |
| Recognition instead of recall                    | Recognizing information generated by a visualization is easier than recalling that information by the user.   |
| Abstraction and aggregation                      | Visualizations simplify and organize information, supplying higher centers with aggregated forms of information through abstraction and selective omission (Card, Robertson, and Mackinlay, 1991; Resnikoff, 1987). |
| Visual schemata for organization                 | Visually organizing data by structural relationships (e.g. by time) enhances patterns.  |
| Value, relationship, trend                       | Visualizations can be constructed to enhance patterns at all 3 levels (Bertin, 1977/1981).  |
| <i>Perceptual inference</i>                      |   |
| Visual representation make some problems obvious | Visualization can support a large number of perceptual inferences that are extremely easy for humans (Larkin and Simon, 1987).  |
| Graphical Computations                           | Visualizations can enable complex specialized graphical computations (Hutchins, 1996).  |
| <i>Perceptual Monitoring</i>                     | Visualizations can allow for the monitoring of a large number of potential events if the display is organized so that these stand out by appearance or motion.  |
| <i>Manipulable Medium</i>                        | Unlike static diagrams, visualization can allow exploration of a space of parameter values and can amplify user operations.   |

## 2. Grundlagen

North (2005) stellt besonders den Punkt des Erkenntnisgewinns heraus. Durch die Fähigkeit des menschlichen Gehirns visuelle Schlussfolgerungen zu ziehen, kann Wissen oder Erkenntnis generiert werden (Card u. a., 1999a). Durch diese Fähigkeit können mentale Modelle (vgl. hier auch Abschnitt Informationsverarbeitung) der echten Phänomene, die in den Daten repräsentiert werden, gebildet werden (vgl. North, 2005: S. 1222). Dabei können die Erkenntnisse folgendermaßen kategorisiert werden (vgl. North, 2005: S. 1223):

Einfache Erkenntnisse:

- Zusammenfassung: Minimum, Maximum, Durchschnitt
- Finden: Suche nach bekannten Elementen

Komplexe Erkenntnisse:

- Muster: Verteilungen, Trends, Häufigkeiten, Strukturen
- Ausreißer: Ausnahmen
- Beziehungen: Übereinstimmungen, Wechselbeziehungen
- Abwägungen: Gleichgewicht, kombiniertes Maximum/Minimum
- Vergleich: Wahl (1:1), Kontext (1:M), Sets (M:N)
- Cluster: Gruppen, Ähnlichkeiten
- Pfade: Distanz, multiple Verbindungen, Zerlegungen
- Anomalien: Datenfehler

Schierl (2001) bietet eine ergänzende Auflistung von generellen Vorteilen von Bild und Text, die in der Werbung genutzt werden können (vgl. Tabelle 2-5).

Tabelle 2-5: Vorteile von Text und Bild (aus Schierl, 2001: Tabelle 9.1)

| <i>Vorteile des Bildes</i>   | <i>Vorteile des Textes</i>   |
|--|--|
| Hohe Kommunikationsgeschwindigkeit   | Eindeutiger als das Bild (kann sich selbst Zusammenhang schaffen)    |
| Fast automatische Aufnahme ohne größere gedankliche Anstrengung                                  | Kann den Leser ansprechen  |
| Wird in der Regel zuerst fixiert   | Kann argumentieren und somit wirklich verkaufen                      |
| Bildliche Informationsverarbeitung besonders effizient   | Kann Schwerpunkte setzen und Einzelaspekte betonen                   |
| Einstellungen und Gefühle können subtiler übermittelt werden                                     | Verfügt über Imperativ (Möglichkeit zum Auffordern)                  |
| Höhere Glaubwürdigkeit   | Kann Argumente (u.U. in anderer Form) in einer Botschaft wiederholen |
| Höhere Anschaulichkeit (dadurch a. bessere Verstehbarkeit und b. einem Primärerlebnis ähnlicher) | Zeitliche Vorstellungen sind gut zu vermitteln                       |
| Platzsparende Information (viel spezifische Information auf wenig Raum)                          |  |
| Allgemeine Verständlichkeit (auch für Lese- und Sprachunkundige)                                 |  |
| Räumliche Vorstellungen lassen sich gut vermitteln   |  |

## 2. Grundlagen

Die Vorteile von Bild aus Tabelle 2-5 lassen sich wie folgt erläutern:

- *Hohe Kommunikationsgeschwindigkeit:* Innerhalb von Hundertstelsekunden können vom Rezipienten die Grundinformationen bzw. das Thema wiedergegeben werden. Nach ungefähr zwei Sekunden kann ein Bild sicher wiedererkannt werden (Behrens & Hinrichs, 1986: S. 85; zitiert in Schierl, 2001). Abhängig von der Textschwierigkeit und Lesefähigkeit liegt die Lesegeschwindigkeit bei 4-6 Worten pro Sekunde (Carpenter & Just, 1983; zitiert in Schierl, 2001) (vgl. Schierl, 2001: S. 229).
- *Fast automatische Aufnahme:* Anzeigen, die überwiegend ihre Information über Bild vermitteln, verlangen weniger Denkvorgänge als über die textliche Vermittlung (Edell & Staelin, 1983; zitiert in Schierl, 2001). Bilder werden mehr auf holistische Weise aufgenommen und weniger gedanklich analysiert und kontrolliert als sprachliche Mitteilungen (Kroeber-Riel, 1985: S. 124; zitiert in Schierl, 2001). Nachteil ist, dass über Bilder Inhalte einfacher an der gedanklichen Kontrolle des Rezipienten „vorbeigemogelt“ werden können (vgl. Schierl, 2001: S. 229).
- *Fixierung:* In Anzeigen- oder Plakatlayout wird das Bild zuerst unabhängig von der Platzierung fixiert. Dies gilt für Anzeigen, als auch für den redaktionellen Teil (Witt, 1977; Barton-V.Keitz, 1981: S. 711; Kroeber-Riehl, 1985b: S.123; Kroeber-Riehl, 1993; zitiert in Schierl, 2001).
- *Effizienz:* Bildliche Informationen werden effizienter verarbeitet als textliche Information und besonders gut behalten. Die Speicherung im Langzeitgedächtnis ist praktisch unbegrenzt (Schweiger, 1985; zitiert in Schierl, 2001). Bilder haben ein hohes Aktivierungspotential, können Beziehungen zu persönlichen Erlebnissen aktivieren, Emotionen auslösen und mit Produkten in Beziehung setzen (Behrens & Hinrichs, 1986: S.88; s.a. Weidemann, 1988; Messaris, 1997; zitiert in Schierl, 2001) (vgl. Schierl, 2001: S. 230).
- *Subtile Übermittlung von Gefühlen:* Mit Bildern können Einstellungen und Gefühle subtiler übermittelt werden als mit Text, z.B. kann die Zartheit und Weichheit von Kosmetik-Tüchern mit einem kleinen Kätzchen als Bildmetapher übermittelt werden (vgl. Schierl, 2001: S. 230f mit Studien von Percy & Rossiter, 1980: S. 166; Lyon, 1968: S. 157ff und weitere).
- *Glaubwürdigkeit:* Bilder erscheinen besonders objektiv und manipulationsunverdächtig (Schifko, 1981: S. 988; zitiert in Schierl, 2001). Bilder werden selbstverständlich hingenommen und wirken somit glaubwürdiger als Text (Seyffert, 1966: S. 674ff.; zitiert in Schierl, 2001). Bilddarstellungen werden heute jedoch wesentlich kritischer betrachtet und überprüft als noch vor wenigen Jahren (vgl. Schierl, 2001: S. 232).
- *Anschaulichkeit:* Ein Bild kann das Primärerlebnis näherbringen, z.B. das Trinken einer Flasche Bier (Percy & Rossiter, 1980:S. 166; Lülfiing, 1960: S. 565; zitiert in Schierl, 2001)
- *Verständlichkeit:* Bilder haben eine hohe und schnelle Verstehbarkeit, können aber auch international unabhängig von Sprache und Kultur besser von jedermann verstanden werden (vgl. Schierl, 2001: S. 234).
- *Räumliche Vorstellungen:* Viele räumliche Gegebenheiten, Zustände und Beziehungen lassen sich im Grunde nur analog bildhaft darstellen (vgl. Schierl, 2001: S. 232). Zum Beispiel können technische Zeichnungen, Anleitungen, Illustration nur sehr schwer mit Text wiedergegeben werden (Koppelman, 1981: S. 317; Krautmann, 1981: S. 178; zitiert in Schierl, 2001).

Dem gegenüber stehen die Vorteile von Text aus Tabelle 2-5:

- *Eindeutigkeit:* Text kann den Bedeutungszusammenhang, in dem er verstanden werden muss, selbst erklären und ist die einzige Möglichkeit, die funktionelle Darstellung einer Botschaft zu erläutern. Die analog-bildhafte Darstellung von Bild in der Werbung kann dagegen offen sein (vgl. Schierl, 2001: S. 236).

## 2. Grundlagen

- *Ansprechen des Lesers*: Mit Text kann der Konsument direkt angesprochen werden und damit auch auf bestimmte Zielgruppen und ihre Eigenschaften eingehen (Schierl, 2001: S. 236f).
- *Argumentativ*: Text kann (komplex) argumentieren, Bilder dagegen nicht oder nur indirekt (Schierl, 2001: S. 237f).
- *Schwerpunkt setzen*: Text kann Schwerpunkte setzen und Einzelaspekte weiter erläutern (Schierl, 2001: S. 238f).
- *Imperativ*: Text kann aktiv den Konsumenten/Leser ansprechen und zu Handlungen auffordern (Schierl, 2001: S. 237).
- *Argumente wiederholen*: Argumente in Textform können in variiert Form wiederholt werden und bleiben dadurch besser im Gedächtnis des Angesprochenen (Schierl, 2001: S. 238).
- *Zeitliche Vorstellungen*: Zeitliche Verläufe, komplexe oder abstrakte Dinge, Tatbestände und ihre Beziehungen lassen sich besser in Text darstellen, worin er bildlicher Repräsentation überlegen ist (Schierl, 2001: S. 238).

Eng verbunden mit der subjektiven Wahrnehmung von Bildern, Grafiken und Visualisierungen sind auch Untersuchungen, welche die Korrelation zwischen wahrgenommener Ästhetik und anderen Eigenschaften einer Person im Bereich der Sozialpsychologie (Dion u. a., 1972; Eagly u. a., 1991) oder der Benutzerfreundlichkeit von Nutzungsoberflächen im Bereich HCI (Chawda u. a., 2005; Kurosu, Kashimura, 1995; Tractinsky, 1997; Tractinsky u. a., 2000) untersuchen. Dabei wurde evaluatorisch gemessen, dass die Wahrnehmung von Benutzerfreundlichkeit eng mit der Ästhetik zusammenhängt und wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit anhand ästhetischer Wahrnehmung abgeleitet werden kann. Hassenzahl (2004) führt einige Experimente durch, bei denen sich hedonische Faktoren wie Identifikation und Stimulation mit der Ästhetik eines interaktiven Produkts verbinden lassen.

Einige Studien (Chawda u. a., 2005; Kurosu, Kashimura, 1995; Tractinsky, 1997; Tractinsky u. a., 2000) fanden eine Korrelation zwischen Ästhetik und Benutzerfreundlichkeit vor und nach der Benutzung von Software. Allen Studien gemeinsam ist ein unpersönliches Studienobjekt: Kurosu und Kashimura (1995), Tractinsky u. a. (2000), Tractinsky (1997) beziehen sich auf Nutzungsoberflächen von Geldautomaten, Chawda u. a. (2005) nutzt Visualisierungen von Suchergebnissen. Hassenzahl (2004) dagegen findet keinen Zusammenhang von Ästhetik und Benutzerfreundlichkeit. In seiner Studie finden sich Zusammenhänge zwischen Ästhetik und subjektiven Eigenschaften wie Identifikation und Stimulation. Als Studienobjekte werden Oberflächen für MP3-Player Software genutzt. Diese sind sehr persönlich und bereits stark in verschiedene Richtungen grafisch gestaltet. Dass Hassenzahl in seiner Studie die zwei attraktivsten und die zwei unattraktivsten Oberflächen aus dem Pretest nutzt, verstärkt den Effekt der Identifikation. Ästhetik in den Studien von Kurosu, Kashimura (1995), Tractinsky (1997) und Tractinsky u. a. (2000) besteht dagegen nur in dem Arrangement der Oberflächenelemente der Nutzungsoberfläche eines Geldautomaten. So unterscheiden auch schon Lavie und Tractinsky (2004) zwischen den Begriffen klassischer und expressiver Ästhetik. Dabei bezeichnet klassische Ästhetik ein klares, strukturiertes und sauberes Design, das mit dem Begriff Usability verbunden ist. Gegenüber dem steht der Begriff der expressiven Ästhetik, die ein originelles und kreatives Design beschreibt. So verbindet auch Hassenzahl (2008) den Begriff der expressiven Ästhetik mit der Kategorie „hedonische Qualität – Stimulation“ seines Modells.

In allen Experimenten, die versuchen, Ästhetik mithilfe von vorgetesteten Studienobjekten zu beeinflussen, bleibt letztendlich offen, welche Attribute manipuliert wurden. Es kann unterschieden werden zwischen dem Bottom-up-Ansatz, in dem objektive, wahrnehmbare Faktoren die Ästhetik

## 2. Grundlagen

beeinflussen und Top-down-Ansätzen, wie die subjektive Meinung von Produkten mithilfe von Ästhetik beeinflusst werden kann (Hassenzahl, 2004). Auch Tractinsky (2005) bemerkt, dass in einigen Studien [(Kurosu & Kashimura, 1995), (Tractinsky, 1997), (Tractinsky u. a., 2000), (Hassenzahl, 2004)] nur eine einzige Skala genutzt wurde, um Ästhetik zu beurteilen. Hier müsse feiner differenziert und abgefragt werden, welche Parameter die Wahrnehmung und das Verhalten des Nutzers beeinflussen. Erste Ansätze finden sich in Kim u. a. (2003), die untersuchen, welche spezifischen Elemente eines Designs mit menschlichen Emotionen verbunden sind. Tractinsky und Lowengard (2007) nehmen eine Differenzierung des Begriffs Ästhetik vor. Dabei setzen sie in ihrer Definition Ästhetik mit Schönheit, die auf der subjektiven Wahrnehmung von evaluatorisch nachgewiesenen Objekteigenschaften basiert, gleich.

Hassenzahl (2004) fordert ein gemeinsames Grundmodell der Nutzererfahrung als Prämisse für eine vergleichbare Forschung. Darauf aufbauend müssen Studien über möglichst differente Studienobjekte geführt werden, damit eine Kategorisierung der Ergebnisse möglich sei. Konsequenterweise entwerfen Hassenzahl und Tractinsky (2006) ein grobes Modell der *user experience* (UX). Dabei besteht die Benutzererfahrung aus den Facetten *beyond the instrumental* (Usability, hedonische und ganzheitliche Aspekte), *emotion and affect* (1. Emotionen als Auswirkung von Produktnutzung und 2. die Bedeutung von Emotion als Vorgeschichte des Produkts und evaluativen Urteils) und *the experiential* (die räumlich-zeitliche Situation). Die Benutzererfahrung ist demnach ein Zusammenspiel aus dem inneren Zustand (Veranlagung, Erwartungen, Bedürfnisse, Motivation, Stimmung usw.) des Nutzers, den Charakteristiken des Systems (Komplexität, Zweck, Usability, Funktionalität usw.) und der Umgebung, in der die Interaktion auftritt (organisatorische/soziale Einstellung, Sinnhaftigkeit der Tätigkeit, Freiwilligkeit der Nutzung usw.). Dieses komplexe Arrangement führt zu unzähligen Design- und Erfahrungsvarianten, die auch bei der Evaluation von Informationsvisualisierungssystemen eine Rolle spielen und die Evaluation komplex gestalten.

### 2.2.2 Evaluation in der Informationsvisualisierung

Zusätzlich zu den Herausforderungen der Evaluation von Software oder interaktiven Online-Systemen (vgl. (Hegner, 2003)) spielt in der Informationsvisualisierung besonders der Aspekt eine Rolle, wie Vorteile, Ziele und Eigenschaften von Visualisierungen (vgl. vorheriger Abschnitt) wie z.B. Erkenntnisgewinn gemessen und damit Systeme für die Informationsvisualisierung angemessen evaluiert werden können. Dabei besteht besonders in der Informationsvisualisierung die Forderung nach komplexeren empirischen Untersuchungen, die nicht nur die Nutzerperformanz mit einfachen statistischen Messgrößen wie Zeit, Mausklicks oder Korrektheit der Aufgabenlösung messen. Vielmehr entsteht die Forderung in Evaluationen auch den Erkenntnisgewinn als höheres Ziel der Informationsvisualisierung zu messen. Aufgaben zur Messung einfacher Erkenntnisse sollen den Nutzer dazu veranlassen zu „vergleichen, assoziieren, unterscheiden, einteilen, gruppieren, korrelieren, kategorisieren“ (Plaisant, 2004). Aufgaben auf höherer kognitiver Ebene können den Nutzer veranlassen, Verständnis für „Datentrends, Unsicherheiten, kausale Zusammenhänge, Vorhersage der Zukunft, oder das Erlernen einer Domäne“ (Amar & Stasko, 2005 zitiert in (Carpendale, 2008: S. 20)) zu entwickeln. North (2006) fordert dahingehend auch neue Evaluationsmethoden wie (1) das protokollierte, offene Experimentieren mit Visualisierungen mithilfe von initialen Fragen, (2) die Erfassung von Erkenntnis mit Think-aloud-Protokollen und verschiedenen Metriken wie Kategorie, Komplexität und Zeitverbrauch zum Erkenntnisgewinn und (3) die Fokussierung auf Nutzer aus der Domäne, um domänen-spezifische Ableitungen und Hypothesen bilden zu können. Analog fordert Carpendale (2008) den Fokus von empirischen Evaluationen auf „echte Nutzer, echte Aufgaben und große, komplexe Datensätze“.

## 2. Grundlagen

Allerdings muss bei der Wahl einer passenden Evaluationsmethode zwischen den Konzepten *Generalisierbarkeit*, *Exaktheit* und *Realismus* unterschieden werden (McGrath, 1995; zitiert in (Carpendale, 2008)). Verschiedene Evaluationsmethoden können nur zu einem bestimmten Anteil einen oder zwei dieser Grundkonzepte abdecken. Alle drei Aspekte werden von keiner Methode abgedeckt. Carpendale (2008) gibt passend dazu eine Übersicht von etablierten Methoden der Sozialwissenschaften für die Informationsvisualisierung und wie sie diese Aspekte abdecken. Die grundlegende Einteilung erfolgt dabei anhand quantitativer Methoden, die feste Messgrößen wie Geschwindigkeit, Genauigkeit, Fehlerrate und Zufriedenheit messen und qualitativer Methoden, die einen holistischen Ansatz verfolgen und in realistischen Szenarien evaluieren, um ein besseres Verständnis für das Gesamtszenario zu erhalten.

Eine alternative Einteilung von Evaluationsmethoden und eine Übersicht, wie Evaluationen bisher in der Informationsvisualisierung eingesetzt werden, bietet Lam u. a. (2011). Sie schlagen eine szenariobasierte Einteilung von Evaluationsarten in der Informationsvisualisierung vor, um darauf basierend effektiv anhand von Zielen, Eigenschaften und Beispielen eine passende Art der Evaluation auswählen zu können. Sie führen ein Literaturreview von 800 Papieren von wichtigen Informationsvisualisierung-Konferenzen und -Journals durch. Davon haben 345 Papiere eine Evaluation durchgeführt, die sich in sieben verschiedene Kategorien einteilen lassen:

1. *Evaluation von Arbeitsumgebungen und -weisen* (Welche Arbeitsumgebungen und -weisen existieren in einer bestimmten Domäne und wie können Informationsvisualisierungs-Systeme dazu beitragen diese Prozesse zu verbessern?)
2. *Evaluation visueller Datenanalyse-Tools* (Wie werden bestehende visuelle Datenanalyse-Tools eingesetzt, um Daten zu explorieren, Hypothesen zu bilden und Wissen zu generieren?)
3. *Evaluation von Kommunikation mit Visualisierungen* (Wie werden Visualisierungen eingesetzt, um Botschaften und Nachrichten zu transportieren oder Lerneffekte zu erzielen?)
4. *Evaluation von kollaborativer Datenanalyse* (Wie werden Visualisierungen eingesetzt, um kollaborative Datenanalyse zu unterstützen?)
5. *Evaluation der Benutzerleistung* (um z.B. verschiedene Visualisierungs- oder Interaktionstechniken gegeneinander zu vergleichen)
6. *Evaluation der Nutzererfahrung* (im Sinne von Usability-Tests, um zu erforschen, was der Nutzer über eine Visualisierung oder bestimmte Interaktionstechnik denkt)
7. *Automatische Evaluation* (z.B. von verschiedenen Layout-Algorithmen)

### 2.2.3 Knowledge Crystallization

Auf welche Weise Informationsvisualisierung den Kognitionsprozess verstärken kann, wird bei Card u. a. durch das Knowledge Crystallization-Modell beschrieben. Dabei wird Knowledge Crystallization als Prozess definiert, in dem der Nutzer Informationen zu einem bestimmten Zweck sammelt (Russell u. a., 1993, zitiert in Card u. a., 1999a), in einem Schema repräsentiert und als Grundlage für Kommunikation oder weitere Aktionen nutzt (Card u. a., 1999a: S. 10). Knowledge Crystallization-Prozesse sind charakterisiert durch die Verwendung von großen Datenbeständen heterogener Informationen (Card u. a., 1999a, S. 11). Das Modell lässt sich in folgende, typische Elemente einteilen, deren Interaktionen auch in Abbildung 2-7 gezeigt werden:

1. *Information foraging*: Sammeln von heterogenen Informationen aus verschiedenen Datenquellen.
2. *Search for schema (representation)*: Identifikation, welche Eigenschaften der Information wichtig für die Entscheidungsfindung sind.
3. *Instantiate schema*: Instanziierung eines Schemas mit den Daten.

## 2. Grundlagen

4. *Problem solve to trade off features*: Nutzung des Schemas mit einfachen Operationen zur Entscheidungsfindung.
5. *Search for a new schema that reduces problem to a simple trade-off*: Ist das Schema noch zu komplex, wird ein neues Schema gesucht, welches das Problem auf einfache Abwägungsprozesse reduziert.
6. *Package the patterns found in some output product*: Entscheidungsfindung aufgrund der gefundenen Muster oder erneuter Zyklusstart.

Visualisierungen können für die meisten der Schritte im Prozess eingesetzt werden (vgl. Card u. a., 1999a: S. 12)

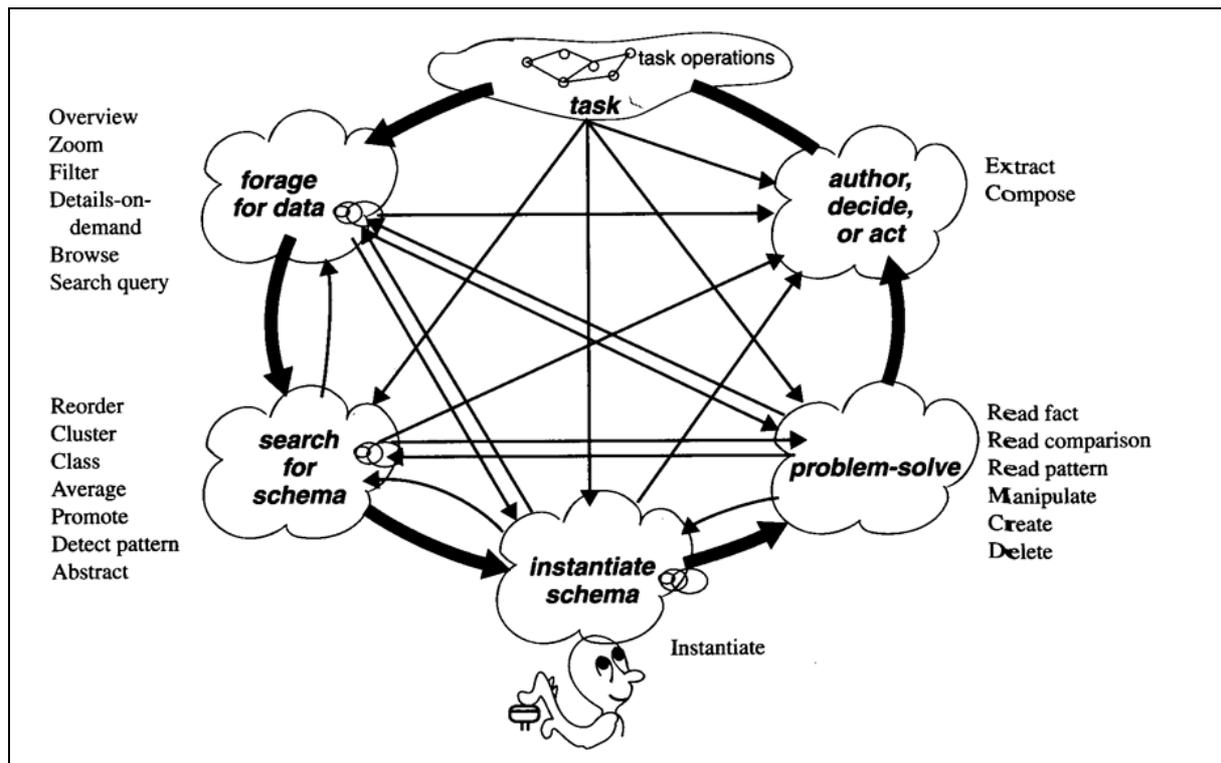


Abbildung 2-7: Der Knowledge Crystallization-Prozess (aus Card u. a., 1999a: Abb. 1.15).

### 2.2.4 Visualisierungspipeline

Die Visualisierungspipeline (vgl. Abbildung 2-8) beschreibt den Prozess der Umsetzung von Rohdaten in eine Visualisierung, mit welcher der Nutzer interagieren kann. Zu Beginn stehen unbearbeitete Rohdaten, die mithilfe von Selektion, Filterung und Mapping in einen wohlgeformten Datensatz umgewandelt werden. Die einzelnen Entitäten dieses Datensatzes werden anhand des visuellen Mappings visuellen Glyphen zugeordnet und damit in eine visuelle Form gebracht. Der dritte Schritt stellt die Visualisierung auf dem Bildschirm dar, welche der Nutzer unter Verwendung des menschlichen, visuellen Systems wahrnehmen kann. Zwischen jedem Schritt hat der Anwender die Möglichkeit, durch Interaktion Einfluss auf den Prozess zu nehmen.

## 2. Grundlagen

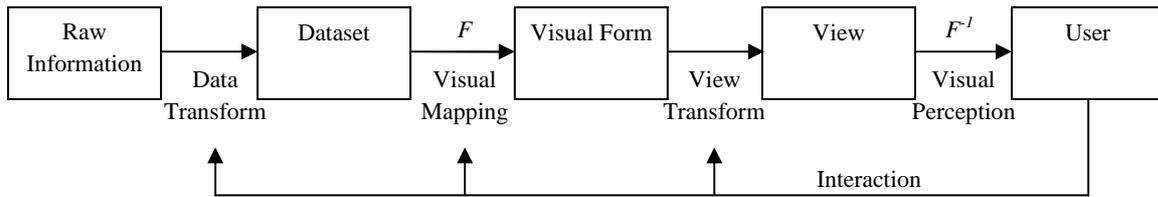


Abbildung 2-8: Visualisierungspipeline (nach North, 2005, adaptiert von (Card u. a., 1999b))

Das visuelle Mapping ist der Kern der Visualisierungspipeline und besteht aus zwei Schritten. Zuerst wird jeder Datenentität eine visuelle Glyphe zugeordnet.

Abbildung 2-9 zeigt die möglichen visuellen Glyphen. Sie bestehen aus Punkten, Linien (Segmente, Kurven, Pfade), Regionen (Polygone, Volumen, Flächen) und Ikonen (Symbole, Bilder). In einem zweiten Schritt werden die Attribute der Datenentität einer Eigenschaft der visuellen Glyphe zugeordnet. Diese unterscheiden sich in Position und der räumlichen Anordnung (x-, y-, z-Koordinaten), Größe (Länge, Fläche, Volumen), Farbe (Farbverlauf, Farbton, Sättigung), Orientierung im Raum (Winkel, Neigung, Einheitsvektor) und Gestalt. Andere visuelle Eigenschaften können Textur, Bewegung, Blinken, Dichte und Transparenz sein.

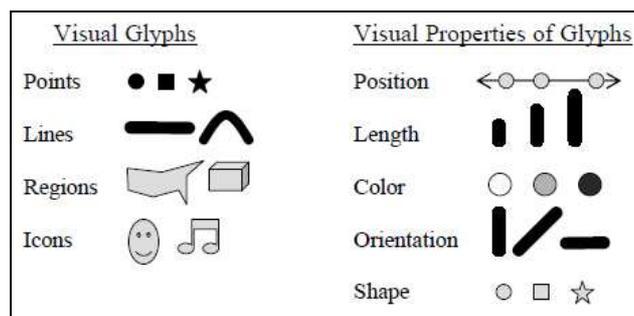


Abbildung 2-9: Visuelle Glyphen und ihre Eigenschaften (aus North, 2005, adaptiert von Card u. a., 1999b).

### 2.2.5 Informationsstrukturen

Die Struktur der Information ist ein Hilfsmittel für die initiale Visualisierung der Daten. Auch bildet sie in vielen Fällen die Grundlage für das mentale Modell des Nutzers (North, 2005: S. 1226). Die Informationsstrukturen werden grob eingeteilt in tabellarische, räumliche/zeitliche, baum-/netzwerkförmige, textförmige sowie kombinierte Informationsstrukturen. Die Abbildung dieser Informationsstrukturen als interaktive Visualisierungen wird in diesem Abschnitt anhand der wichtigsten Forschungssysteme verdeutlicht. Die prinzipielle Auswahl der in diesem Abschnitt vorgestellten Systeme gründet dabei auf Übersichten wie (North, 2005) oder (Andrews, 2002), die eine Darstellung der wichtigsten Forschungssysteme anhand verschiedener Informationsstrukturen nutzen. Ergänzt werden sie durch Forschungssysteme, die ab diesem Zeitpunkt eine wesentliche Rolle für die Informationsvisualisierung spielen (vgl. auch Abschnitte 2.2.9 und 2.2.10). Prinzipiell lassen sich Forschungssysteme dabei in zwei Generationen einteilen: (1) die erste Generation, die durch die beginnenden grafischen Möglichkeiten von Computern in den 1990er Jahren entstanden ist. Hier wurden experimentell die neuen Visualisierungs- und Interaktionsmöglichkeiten in verschiedenen Systemen ausprobiert. Beispielsweise nutzten viele Systeme die Möglichkeiten der dreidimensionalen Darstellung für die Anzeige verschiedener Informationsstrukturen. Dabei entstanden zudem auch viele der prinzipiellen Visualisierungs- und Interaktionstechniken, die heute noch genutzt werden (TableLens, Parallel Coordinates, Treemap, TopicMaps, ThemeRiver); (2) die zweite Generation, die

## 2. Grundlagen

auf der Entwicklung des Internets, seinen Austausch- und Vernetzungsmöglichkeiten, bereits etablierten Visualisierungs- und Interaktionstechniken und enormen Datenmengen basiert, die in verschiedensten Domänen wie beispielsweise Lebenswissenschaften, Wetterdaten, Publikationsdaten, Nachrichten etc. entstehen.

### 2.2.5.1 Tabellarische Informationsstrukturen

Tabellarische oder mehrdimensionale Informationsstrukturen basieren auf Tabellen (vgl. North, 2005: S. 1226). Tabellen bestehen aus Reihen (Entitäten), denen in Spalten Attribute zugeordnet sind. Über jedes Attribut kann ein Informationsraum aufgespannt werden, in dem jede Entität einen Punkt darstellt. Visualisierungen von Tabellen mit wenigen Attributen können einfach dargestellt werden. Beispiele für die Darstellung einfacher Tabellen sind Diagramme in verschiedenen Ausführungen, zum Beispiel Linien-, Säulen- oder Kreisdiagramme. Bei einer großen Anzahl von Attributen gestaltet sich die Visualisierung komplexer, da für jedes Attribut eine visuelle Eigenschaft von Glyphen genutzt werden muss. Die Problematik der Darstellung mehrerer Attribute greifen Forschungssysteme auf. Zwei wichtige Standardtechniken für die Anzeige multivariater Daten sind *TableLens* und *Parallel Coordinates*.

Das System *TableLens* (Pirolli, Rao, 1996) stellt die gesamte Datenmenge auf einem Bildschirm dar und erlaubt so Muster und Ausreißer in den Daten zu erkennen. Dabei werden die verschiedenen Attribute in einer Tabelle abgebildet. Die Struktur der Daten bleibt erhalten und wird auf verschiedene Weise visuell kodiert. Numerische Daten werden als Balken dargestellt, Wochentage farbige angezeigt. Die einzelnen Spalten können auf- oder absteigend sortiert werden, woraus der Nutzer Abhängigkeiten zwischen den Spalten erkennen kann. Mithilfe der Maus können einzelne Spalten oder Bereiche markiert werden. Von der markierten Zeile werden die Attribute nun als Text angezeigt. Dies funktioniert im Sinne der Fokus&Kontext-Technik, welche die Details der markierten Zeile und den Kontext gleichzeitig anzeigt.

Ein anderer Ansatz ist die Methode *Parallel Coordinates* (Inselberg, 1997). Hier werden mehrere Achsen parallel nebeneinander gesetzt, die jeweils ein Datenattribut repräsentieren. Jeder Datenpunkt wird nun als Polylinie mit dem Wert auf der jeweiligen Achse aufgezeichnet. Aus den Mustern, die mehrere Datenpunkte bilden, lassen sich Eigenschaften wie Clusterbildung oder Beziehungen zwischen Attributen ablesen. Wichtig ist dabei die Anordnung, Rotation und Skalierung der Achsen.

### 2.2.5.2 Räumliche und zeitliche Informationsstrukturen

Räumliche und zeitliche Informationsstrukturen haben einen ein-, zwei- oder dreidimensionalen Bestandteil in dem navigiert werden muss (vgl. North, 2005: S. 1227). Beispiele für eindimensionale Informationsstrukturen sind Zeitleisten, Musik, Videostreams, Listen, lineare Dokumente und Slideshows. Zweidimensionale Strukturen sind beispielsweise Karten, Satellitenbilder und Fotografien. Dreidimensionale Strukturen können beispielsweise medizinische MRT- oder CT-Bilder, CAD-Architektur-Planungen oder virtuelle Umgebungen sein.

Dreidimensionale Nutzungsoberflächen wurden neben natürlichsprachlichen Anfragen und Softwareagenten immer wieder als nächstes oder alternatives Paradigma zu zweidimensionalen, grafischen Benutzungsoberflächen gesehen. Der Vorteil wird in der Natürlichkeit der Räumlichkeit gesehen. Die Desktopmetapher könne sozusagen ausgeweitet werden auf eine RealWorld-Metapher. Das Ziel ist dabei die natürliche Orientierung im Raum des Menschen zu nutzen, so dass er in Benutzungsoberflächen ähnlich agieren kann, wie in der realen Welt. Hauptargument von Norman (1999) dagegen ist, dass das Bild einer dreidimensionalen Oberfläche mit wirklichem Raum

## 2. Grundlagen

verwechselt wird. Der Nutzer betritt nicht wirklich einen dreidimensionalen Raum, in dem er frei mit seinen Händen und Füßen interagieren kann, sondern er sieht nur ein dreidimensionales Bild auf einem Bildschirm, deren Interaktionsmedien auf Tastatur und Maus beschränkt sind. Die Interaktion wird eingeschränkt auf primitive Instrumente, welche die Vorteile der menschlichen Motorik nicht ansatzweise ausnutzen können. Lösungskonzept dafür sollen dreidimensionale Eingabegeräte wie Datenhandschuh oder 3D-Mäuse sein. Da Navigation aber zum Beispiel auf Handbewegungen abgebildet wird, bleibt die Interaktion durch die zusätzliche Dimension schwierig. Der Nutzer muss die Interaktionstechnik neu lernen und hat vermehrt Schwierigkeiten sich im Raum zu orientieren. Dieser Nachteil gilt auch für die Benutzung von Dreidimensionalität in visualisierenden Systemen. Zusätzlich zur Selektion muss der Nutzer auch in der Dreidimensionalität mit primitiven Mitteln navigieren, ohne wirklich immersiv in sie einzutauchen. Dreidimensionalität kann deshalb nur ansatzweise in wirklich einfachen Diagrammen genutzt werden, ob als besonderer visueller Effekt, oder um die Vergleichbarkeit möglich zu machen. Die Szenerie muss dabei aber immer vollständig durch den Nutzer überblickbar sein und eine Navigation ausgeschlossen werden.

Eine dreidimensionale Darstellung von Treemap wird in *Information Cube* (Rekimoto, Green, 1993) verwendet. Hier werden geschachtelte, dreidimensionale Boxen genutzt, um komplette Hierarchien auf einer Bildschirmseite zu präsentieren. Die äußerste Box präsentiert die höchste Hierarchieebene, die darin liegende Box die zweithöchste usw. Auf der Oberfläche jeder Box wird der Titel angezeigt. Die Boxen sind semitransparent, wodurch die Struktur und die Inhalte gleichzeitig angezeigt werden können. Zudem können selektierte Boxen durch Veränderung der Transparenz hervorgehoben werden. Angezeigt werden die Boxen entweder auf einem Head-Mounted-Display oder auf einem Monitor. Interaktion findet über einen Datenhandschuh oder über eine 3D-Maus statt. Dabei können Boxen auf jeder Ebene mit einem Fokusstrahl ausgewählt und selektiert werden. Die Boxen können dann mit Drehungen oder Bewegungen der Hand gedreht und verschoben werden.

Eine dreidimensionale Visualisierung von großen Hierarchien auf der Basis von Cheops bietet *Information Pyramids* (Andrews u. a., 1997). Ein Plateau repräsentiert dabei das Wurzelement, Unterverzeichnisse werden als kleinere Plateaus auf dem Wurzelplateau dargestellt. Die Größe wird durch die Anzahl der Dateien und Unterverzeichnisse bestimmt. Dateien und Dokumente werden durch verschiedene Ikonen repräsentiert. Die Ordnung der Plateaus kann alphabetisch, chronologisch oder nach anderen Kriterien geschehen. Der Nutzer kann frei in der Pyramiden-Landschaft navigieren und zu beliebigen Details heranzoomen.

Ein Beispiel für die Darstellung hierarchischer Informationsstrukturen als dreidimensionale Baumdarstellung durch verbundene Kegel ist *Cone Tree* (Robertson u. a., 1991). Der Wurzelknoten wird mittig an der Raumdecke platziert, Knoten werden als Index-Karten abgebildet. Die Kanten werden mit einem semitransparenten Kegel umschlossen. Die Größe des gesamten Baums ist immer raumausfüllend, um den maximalen Platz auszunutzen. Dreidimensionalität wird genutzt, um den verfügbaren Platz für die Anzeige der gesamten Struktur möglichst gewinnbringend zu nutzen. Wird ein Knoten selektiert, wird er mit einer einsekündigen Animation in das Zentrum des Blickfelds verschoben und hervorgehoben. Diese interaktiven Animationen sollen die kognitive Last des Nutzers verringern und nach mehreren Selektionen sollen sich dem Nutzer Zusammenhänge innerhalb der Hierarchie erschließen. Zur Unterstützung der Wahrnehmung werden neben der dreidimensionalen Darstellung auch Schatten der Kegel und Knoten auf dem Boden angezeigt. Der Nutzer kann Teilbäume aus- und einblenden und an eine andere Stelle verschieben. Auch eine Suche ist möglich. Suchparameter werden durch Selektion oder Deskriptoreneingabe gesetzt. Die Suchergebnisse werden direkt im Baum angezeigt. Die entsprechenden Knoten werden mit einem roten Balken markiert,

## 2. Grundlagen

wobei die Größe die Relevanz kodiert. *Cam Tree* ist eine Variante, bei der der Wurzelknoten links mittig angeordnet wird.

*Perspective Wall* (Mackinlay u. a., 1991) ist ein System für die Anzeige von linearen Daten, die zeitlich oder alphabetisch geordnet sind. Es ist eine dreidimensionale Variante der Detail&Kontext-Technik, bei der 2D-Bildschirmseiten auf eine 3D-Tafel projiziert werden. Die mittlere Tafel zeigt die detaillierte Ansicht, die perspektivischen Tafeln zeigen den Kontext. Durch Interaktion kann ein Element der perspektivischen Seiten gewählt werden und mit einer Animation wird diese zum Zentrum.

### 2.2.5.3 Baum- und Netzwerkstrukturen

Baum- und Netzwerkstrukturen enthalten Verbindungen zwischen den einzelnen Entitäten (vgl. North, 2005: S. 1229). In der Graphentheorie besteht ein Netzwerk aus einer Anzahl von Knoten, die mit Kanten miteinander verbunden sind. Die Kanten können zwei Knoten direkt oder indirekt miteinander verbinden. Wie Knoten können auch Kanten Attribute enthalten. Netzwerkgraphen eignen sich beispielsweise für die Darstellung von Kommunikationsnetzwerken oder Hyperlinks zwischen Webseiten. Baumstrukturen sind hierarchische Strukturen, die Knoten mit einer Eltern-Kind-Beziehung verbinden. Dabei darf ein Kindknoten höchstens einen Elternknoten besitzen. Baumdarstellungen finden sich bei Darstellung von Dateiordnern von Computern, Menüs oder Organisationsprogrammen. Die Herausforderung bei der Visualisierung ist (1) das Layout des Netzwerkes oder Baumes, um die Struktur der Verbindungen aufzudecken und (2) die Visualisierung der Attribute von Entitäten und Verbindungen.

Für die Visualisierung von Eltern-Kind-Beziehungen gibt es zwei Verfahren:

1. Das Link-Verfahren nutzt Knoten-Link-Diagramme. Dabei werden Entitäten auf visuelle Knoten und Verbindungen als Linien zwischen den Knoten abgebildet.
2. Das Containment-Verfahren, bei dem die zur Verfügung stehende Fläche maximal genutzt wird.

*Treemap* (Shneiderman, 2009) bietet eine Baumdarstellung der gesamten Hierarchie mittels der Verschachtelung von Rechtecken. Ein rekursiver Algorithmus unterteilt Rechtecke abwechselnd horizontal und vertikal während der Baum nach unten traversiert wird. Werden auf einer Ebene zu viele Rechtecke auf einmal dargestellt, ist der Nutzer überlastet. Große Mengen an Rechtecken auf unterer Ebene können zu einem homogenen Feld zusammengefasst werden und erst beim Hineinzoomen wieder aufgelöst werden. Es existieren zahlreiche Varianten von Treemap, zum Beispiel mit alternativen Grundformen wie Polygonen und Kreisen. Benutzertests ergaben, dass neue Nutzer 10 bis 15 Minuten benötigen, um mit Treemap vertraut zu werden.

Auch die Anzeige der gesamten Hierarchie in der Darstellung einer Pyramide bietet *Cheops* (Beaudoin u. a., 1996). Visuelle Komponente für einen Knoten ist ein Dreieck. Diese werden ohne Kanten übereinander gestapelt, so dass sie die Form einer Pyramide erhalten. Unterknoten werden überlappend dargestellt, um Platz zu sparen. Durch die komprimierte Darstellung und fehlenden Kanten haben die inneren Knoten mehrere mögliche Elternknoten. Die Selektion des richtigen Kind-Knotens wird dabei durch den aktiven Elternknoten bestimmt. Somit ist nur der Wurzelknoten eindeutig bestimmt. Bei der Preselection-Technik wird der aktuelle Zweig beim Darüberfahren mit der Maus hervorgehoben. Bei der Selektion wird der aktuelle Zweig farbig markiert und der übrige Baum ausgegraut.

## 2. Grundlagen

Eine Fokus&Kontext-Technik innerhalb einer hyperbolischen Baumansicht für die Anzeige großer hierarchischer Daten bieten Lamping u. a. (1995). Metapher ist die Abbildung in einer Spiegelkugel. Die Mitte stellt den Fokus dar und erscheint unverzerrt, zum Rand hin nimmt der Detailreichtum ab und die Verzerrung zu. Durch Anklicken kann ein Knoten in den Mittelpunkt verschoben werden und der Kontext wird angepasst.

### 2.2.5.4 Textförmige Informationsstrukturen

Textförmige Informationsstrukturen bestehen aus Sammlungen von Dokumenten (vgl. North, 2005: S. 1232), zum Beispiel Digitale Bibliotheken, Nachrichtenarchive oder Quellcodes von Software. Gegenüber den bereits vorgestellten Informationsstrukturen sind textförmige nur wenig strukturiert und lassen sich schwieriger darstellen. Text kann nicht einfach einem visuellen Mapping unterzogen werden. Eine Möglichkeit, Dokumentenräume zu visualisieren, ist durch Methoden von Semantic Maps. Dabei wird die semantische Nähe der Dokumente zueinander auf einer Karte eingezeichnet. Die thematische Ähnlichkeit kann zum Beispiel durch die Häufigkeit bestimmter Wörter im Text bestimmt werden.

*WEBSOM* (Honkela u. a., 1998) organisiert beliebige Sammlungen von Textdokumenten auf einer thematischen Karte. Inhaltlich ähnliche Dokumente befinden sich auf der Karte nahe beieinander. Einzelne Dokumente können durch Browsing oder durch eine Suche gefunden werden. In einem ersten Schritt werden die Dokumente vorbehandelt. Steuerungszeichen, häufige Wörter ohne Themenrelevanz und Wörter unterhalb einer gewissen Häufigkeit werden aus dem Textraum entfernt. Nun werden Wortkategorien zusammengefasst, die auf der nächsten Umgebung des Wortes basieren und auf einer Karte dargestellt werden können. Zur Erstellung der Dokumentenkarte werden die Dokumente mithilfe der Wortkategorien als Histogramm enkodiert. Diese werden mit einem Gaußschen Filter geglättet, um sie unempfindlicher gegen leichte Variationen im Text zu machen. Mithilfe der Histogramme werden die Dokumente dann auf einer Karte angeordnet, wobei ähnliche Dokumente nahe beieinander stehen. Häufigkeiten von Dokumenten werden durch hellere Farbtöne dargestellt. Der Nutzer kann stufenweise durch Anklicken einer Region in die Karte hineinzoomen, wobei zuerst die Übersicht, dann die vergrößerte Ansicht, eine Liste der dort angesiedelten Dokumente und dann der Volltext selbst erscheint. Mithilfe eines Interaktionselements kann innerhalb der Karte und zur höhergelegenen Ansicht navigiert werden. Alternativ kann der Nutzer mit Deskriptoren suchen, die gefundenen Regionen werden in der Karte eingekreist, wobei größere Kreise eine höhere Trefferanzahl visualisieren.

Ein System für die Darstellung von Ergebnissen von Suchanfragen auf Karten ist *VisIslands* (Andrews u. a., 2001). Dabei werden Dokumentencluster als Inseln auf einer zweidimensionalen Karte eingezeichnet. *VisIslands* ist eine Visualisierungskomponente von xFIND, einem System für das Sammeln und Indizieren von Datenquellen und der Ergebnisdarstellung von Suchanfragen. Suchresultate werden zuerst in Clustern vorsortiert. Die Mittelpunkte der Cluster werden zufällig auf einer zweidimensionalen Fläche angeordnet. Die dazugehörigen Dokumente werden kreisförmig darum eingezeichnet. Durch ein iteratives Verfahren werden ähnliche Dokumente zueinander gezogen, bis sich das System nach einer bestimmten Zeit stabilisiert. Die einzelnen Dokumente tragen ihr Relevanzgewicht zu den Höhenlinien, auf denen sie liegen, bei. Die gesamte Darstellung erinnert an eine Reliefkarte von mehreren Inseln.

Eine dreidimensionale Darstellung von Dokumentenclustern als Höhenkarte findet sich in *IN-SPIRE Themeview* (Wong u. a., 2004). Das System nutzt Text-, HTML- oder XML-Dokumente als Datenbasis. Durch statistische Verfahren werden Schlüsselwörter und Themen extrahiert. *IN-SPIRE Themeview* baut auf *IN-SPIRE Galaxy* auf. Es extrahiert die relevanten Schlüsselwörter einer Galaxie

## 2. Grundlagen

und stellt diese als Themenberge in einer dreidimensionalen Landschaft dar. Die Höhe der Berge ist analog zu der Anzahl der Beiträge. Um den Effekt zu verstärken, wird die Höhe zusätzlich farbig kodiert. Als alternative Visualisierung zu *IN-SPIRE Themeview* nutzt *IN-SPIRE Galaxy* auch die Sternenhimmel-Metapher. Die Dokumente werden als Sterne dargestellt, semantisch nahe Dokumente bilden Galaxien. Durch Interaktion kann im Sternenhimmel gezoomt und navigiert werden. Mit diesen Visualisierungen kann einerseits die Struktur eines vollständigen Datenraums abgeschätzt werden als auch die Ergebnisse einer spezifischen Suche angezeigt werden, wobei die Relevanz mit einer Farbkodierung der Elemente arbeitet.

Beispiele für die Anzeige von Dokumenten mit der Metapher eines Sternenhimmels finden sich in *Infosky* (Kappe u. a., 2002) und *IN-SPIRE Galaxy* (Wong u. a., 2004). In ihnen wird die Visualisierung von großen hierarchisch angeordneten Ablagesystemen möglich. Dokumente werden als Sterne dargestellt, ähnliche Dokumente werden in geometrischer Nähe zueinander angeordnet. Durch diese thematische Anordnung entstehen Sternhaufen und Galaxien. Thematisch nahe Galaxien werden auch wieder nahe beieinander positioniert. In *Infosky* stehen Sterne für Dokumente, Galaxien und Cluster bilden hierarchische Strukturelemente wie Ordner ab. Diese werden als polygone Linienzüge dargestellt, die Sternhaufen umschreiben. Das Teleskop ist die Metapher für die Interaktion. Der Nutzer kann bestimmte Objekte fokussieren und zoomen (zooming) und über den Sternenhimmel schwenken (panning). *Infosky* besteht aus einer dreigeteilten Oberfläche: einer Toolbar für Optionen und Zugang zur Suche; einer Baumansicht auf der linken Seite für das Öffnen und Schließen von Ordnern und einer Teleskopdarstellung der aktuell selektierten Galaxie. Baumansicht und Teleskop-Darstellung sind dabei immer synchronisiert.

*ThemeRiver* (Havre u. a., 2000) zeigt aggregierte Thematiken, beispielweise eines Dokumentenkorporus in einer Flussmetapher auf einer Zeitleiste an. So kann die Entwicklung einer Thematik über die Zeit beurteilt werden und gleichzeitig mit Zeitereignissen, welche in das Diagramm eingezeichnet sind, in Verbindung gebracht werden.

Eine Anwendung der Treemap-Visualisierung wird auch für die Visualisierung von Nachrichten in der Online-Anwendung *Newsmap*<sup>5</sup> genutzt. Hier wird die Anzahl ähnlicher Nachrichten und damit ihre momentane Wichtigkeit in Größe der Blöcke kodiert, verschiedenen Kategorien sind Farben zugeordnet und die Anzeige der Nachrichten ist dynamisch und ändert sich nach der Nachrichtenlage.

Die *Flip Zoom*-Technik (Holmquist, 1997) ist eine Variante der Fokus&Kontext-Technik, um eine Überblicks- und Detailansicht gleichzeitig anzuzeigen. Das aktuelle Dokument wird vergrößert dargestellt, die Seiten davor und danach werden als Thumbnails angezeigt. Dabei erfolgt die Ordnung der Thumbnails um die aktuelle Seite analog ihrer Reihenfolge von links nach rechts und von oben nach unten. So kann vom Nutzer erkannt werden, in welchem Kontext sich die aktuelle Seite befindet. Um den Nachteil nicht lesbarer Schrift in den Thumbnails auszugleichen, werden die Überschriften aus den Seiten extrahiert und vergrößert in den Thumbnails dargestellt. Die Technik wurde im System *Zoom Browser* integriert.

Neben der zweidimensionalen Darstellung von textförmigen Informationsstrukturen existieren auch dreidimensionale Systeme. *VR-VIBE* (Snowdon, Jää-Aro, 1997) ist eine dreidimensionale, virtuelle Umgebung, in der mehrere Nutzer gemeinsam an Daten arbeiten und miteinander kommunizieren können. Dokumente oder Referenzen werden als Symbole in einer 3D-Umgebung angezeigt. Der dreidimensionale Raum wird aufgespannt durch Point of Interests (POI), die Stichwörter der aktuellen

---

<sup>5</sup> <http://newsmap.jp/>

## 2. Grundlagen

Suchanfrage repräsentieren. Die Position der Dokumente zeigt den Bezug zu den einzelnen Stichwörtern an. Je näher Dokumente zueinander positioniert sind, umso näher sind sie sich thematisch. Die Relevanz eines Dokumentes wird durch die Größe und Helligkeit des Icons angezeigt. So kann zwischen Dokumenten dessen Bezug zu Stichwörtern der aktuellen Suchanfrage gleich, deren Relevanz aber unterschiedlich ist, unterschieden werden. Die Relevanz wird durch Algorithmen errechnet, welche die Häufigkeit der gesuchten Deskriptoren in Titel, Abstract und im Text ermitteln. POIs werden als grüne Oktaeder repräsentiert, eine weiße Kugel zeigt den aktuellen POI an. Dokumente werden als blaue Blöcke angezeigt, mehrere Nutzer mit verschiedenen Ikonen gekennzeichnet. Nutzer können im Raum navigieren, einzelne Dokumente auswählen und POIs verschieben. Durch das Verschieben der POIs wird der Dokumentenraum verändert. Neue Suchen können über das Anlegen eines neuen POI oder das Spezifizieren von Suchtermen geschehen. Verschiedene Nutzer können unterschiedliche Visualisierungen der Daten nutzen.

*LyberWorld Navigation Cone* (Hemmje, 1995; Hemmje u. a., 1994) ist Teil des LyberWorld-Projekts für die Schlagwortfindung. Als visuelles Mittel wird ein ConeTree eingesetzt. Ausgehend von einem Schlagwort wird eine ConeTree-Ebene erzeugt, die alle Texte anzeigt, die das Schlagwort enthalten. Öffnet man einen Textknoten, werden in einer weiteren Ebene alle Terme des Textes angezeigt. In einer dritten Ebene werden alle Texte angezeigt, die den jeweiligen Term enthalten. So können ausgehend von einem Schlagwort weitere Schlagwörter für die Suche gefunden werden, die dann in der *RelevanceSphere* verschieden gewichtet werden können.

*RelevanceSphere* (Hemmje u. a., 1994: S. 253ff) ist eine Entwicklung innerhalb des LyberWorld-Projekts für die Gewichtung von Suchbegriffen. Dokumente werden innerhalb einer Kugel abgebildet. Je höher die Relevanz eines Dokumentes, umso näher ist es an einem Suchbegriff positioniert. Dokumente, die alle Suchbegriffe enthalten, verbleiben im Zentrum, wenn die Deskriptoren gleichmäßig auf der Oberfläche verteilt sind. Diese werden als Trabanten in Form von Kugeln außerhalb der Sphäre dargestellt. Die Suchbegriff-Icons können verschoben werden, um so Suchbegriffe eines Kontextes räumlich nahe beieinander zu positionieren und damit relevante Dokumente zu finden. Durch das Anklicken eines Icons kann der Deskriptor höhergewichtet werden und damit werden relevante Dokumente mehr in diese Richtung angezogen. Durch Verkleinerung der Kugel treten Dokumente aus der Sphäre heraus, die nun im Volltext gelesen werden können. Krause (1996: S. 32ff) kritisiert das System, da die genutzte Metapher Mehrdeutigkeiten aufweist und die Dreidimensionalität eher negativ wirkt.

*SpaVis* (Keskin, Vogelmann, 1997) und *City of news* (Sparacino u. a., 1996) ordnen Informationen als Stadtlandschaften an. *SpaVis* nutzt die Stadtbild-Metapher, um hierarchische Bäume dreidimensional darzustellen. Für strukturierte, relationale Informationen, wie hierarchische und Netzwerkinformation wird eine Generalisierung von Säulendiagrammen in 3D genutzt. Knoten werden als auf Ebenen geordnete Quader oder Zylinder angezeigt. Höhe und Position kodieren die Ebene in der Hierarchie, die Größe kodiert die Anzahl der Kindknoten. Dabei werden die Kindknoten kreisförmig um den Elternknoten angeordnet.

*City of news* nutzt die die Stadtbild-Metapher, verfolgt aber einen philosophischen Ansatz. Ausgehend von einer Homepage werden Texte und Bilder von Webseiten auf Hochhäuser und Straßen projiziert. Die Stadt wird dabei weiter in Bezirke, zum Beispiel für Finanzen, Unterhaltung und Einkäufe unterteilt. Genutzt werden soll in diesem System die Fähigkeit der natürlichen Orientierung vom Menschen im Raum. Lynch (1960) identifiziert fünf Elemente, welche für die Bildung einer kognitiven Karte einer städtischen Umgebung wichtig sind: Orientierungspunkte (landmarks), Bezirke (districts), Wege (paths), Knotenpunkte (nodes) und Begrenzungslinien (edges). Mit dem Einsatz

## 2. Grundlagen

dieser Charakteristika soll die Bildung einer kognitiven Karte gefördert und die Orientierung im System erleichtert werden.

### 2.2.5.5 Kombinierte Informationsstrukturen

Häufig werden in realen Anwendungen verschiedene Informationsstrukturen verwendet, die in Beziehung zueinander stehen (vgl. North 2005: S. 1232). Eine Visualisierung verschiedener Informationsstrukturen in einer kombinierten Ansicht ist ausgesprochen schwierig. Da bereits eine Informationsstruktur den gesamten Platz beim visuellen Mapping ausfüllen kann, können kombinierte Informationsstrukturen beim Mapping in einem Konflikt enden. Eine Möglichkeit, dies zu umgehen, sind Mehrsichtensysteme, in denen die Informationsstrukturen in separierten Ansichten angezeigt werden. Dabei kann jede Informationsstruktur unabhängig voneinander das optimale visuelle Mapping nutzen. Die verschiedenen Sichten werden mit einem interaktiven Linking verbunden. Da interaktive Linkings nur wenige Assoziationen gleichzeitig anzeigen können, muss der Nutzer die Beziehungen zwischen den Strukturen im Laufe der Zeit mental zuordnen. So können vom Benutzer interessante Beziehungen übersehen werden. Werden mehrere Strukturen in einer Ansicht integriert, muss eine Informationsstruktur als räumliche Basis dienen. Die anderen Strukturen werden dann in diesen Raum eingefügt. Dies stellt die Beziehung der zweiten zur ersten Struktur heraus, aber die Klarheit über den Aufbau der zweiten Struktur kann verloren gehen.

Wang-Baldonado et al. (2000) entwickeln ein Modell für koordinierte Mehrsichten (*Multiple Coordinated Views*) und geben Regeln vor, damit der positive Mehrwert nicht durch die erhöhte Komplexität gestört wird. Die Kernidee ist, dass Daten in verschiedenen Ansichten verbunden werden können. Werden Daten in einer Ansicht selektiert, werden sie auch in den anderen Ansichten hervorgehoben (Brushing-and-Linking). North und Shneiderman präsentieren ein alternatives Visualisierungs-Modell, welches auf dem relationalen Datenmodell basiert (North, Shneiderman, 2000). Das System *Snap* (North u. a., 2002) ist eine Implementierung dieses Modells. Es erlaubt dem Nutzer, Datenbasen auszuwählen und Visualisierungen zuzuweisen. In einem zweiten Schritt können verschiedene Visualisierungen verbunden und koordinierte Visualisierungen generiert werden. Hervorhebungen oder andere Aktionen werden zwischen den verschiedenen Sichten koordiniert. Werden Daten zum Beispiel in einer Visualisierung ausgewählt, werden sie auch in den anderen Ansichten ausgewählt.

Tabelle 2-6 fasst die grundlegenden Informationsstrukturen für die Bildung eines mentalen Modells zusammen und zeigt mögliche Visualisierungstypen.

## 2. Grundlagen

Tabelle 2-6: Mögliche Visualisierungstypen für Informationsstrukturen

| <i>Informationsstruktur</i> | <i>Mögliche Visualisierungstypen</i>   |
|-----------------------------|--|
| Tabellarisch                | Diagramme, TableLens, Parallel Coordinates, Aufteilung der Attribute in separate Ansichten   |
| Textförmig                  | Makrolevel (Dokumentenübersichten): Topic-Maps, Baumstrukturen für TOC, tabellarische Strukturen für Metadaten, Netzwerkstrukturen für Zitations- oder Autorennetzwerke<br>Mikrolevel (einzelne Dokumente): Tagclouds, Word Tree, Wordle |
| Räumlich & Zeitlich         | 1D: Zeitleisten, Musik, Video, Streams, Listen, lineare Dokumente, Slideshows<br>2D: Karten, Satellitenbilder, Fotografien, Blaupausen<br>3D: MRT- & CT-Bilder, CAD-Architekturpläne, Virtuelle Umgebungen                               |
| Baum- und Netzwerk          | Netzwerkgraph, Baumdarstellung in verschiedenen Layouts: gegliedert-verschachtelt (Explorer-Ansicht), SpaceTree, HyperbolicTree, ConeTrees   |
| Kombiniert                  | Kombinierte Ansicht oder Mehrsichtensysteme  |

### 2.2.5.5.1 Snap-Visualization-Modell

North u. a. (2002) stellen ein Modell für die koordinierte Anzeige von mehreren Sichten vor. Das Modell wurde analog zum relationalen Datenmodell entworfen, wobei sich folgende Beziehungen zwischen den Konzepten ergeben (vgl. North u. a., 2002: S. 215f; vgl. auch Tabelle 2-7):

- *Visualisierungskomponente = Datenrelation:*  
Eine Visualisierungskomponente ist eine Ansicht, die eine Datenrelation oder ein Anfrageergebnis abbildet. Ein Beispiel ist ein Streudiagramm, das eine binäre Relation abbildet. Eine Visualisierungskomponente kann einen bestimmten Visualisierungstyp nutzen oder automatisierte Techniken anwenden, um dynamisch Visualisierungen zu erstellen.
- *Visuelles Element (item) = Datentupel:*  
Datentupel werden als visuelle Elemente in der Visualisierungskomponente angezeigt. So wird beispielsweise ein Tupel als Punkt in einem Streudiagramm angezeigt.
- *Visuelle Eigenschaft (property) = Datenattribut:*  
Datenattribute werden genutzt, um die Grafiken in der Visualisierungskomponente darzustellen. Der Nutzer kann Datenattributen komponentenspezifische visuelle Eigenschaften zuweisen. Zum Beispiel kann ein Datenattribut der X-Achse zugewiesen werden. So werden die Tupel anhand ihres Wertes für dieses Attribut visuell auf der X-Achse ausgerichtet.
- *Nutzerinteraktion = Selektion einer Untermenge von Tupeln:*  
Eine Interaktion des Nutzers in einer Visualisierungskomponente wählt eine Teilmenge von Tupeln analog zu einer Selektionsanfrage und verändert normalerweise die Anzeigart der ausgewählten Tupel. So kann der Nutzer beispielsweise eine Menge von Tupeln in einem Streudiagramm direkt selektieren oder er zoomt auf ein einzelnes Tupel, um Details über diesen Datensatz zu erfahren. Interaktionen werden durch jede Visualisierungskomponente definiert und nur durch ihren Namen identifiziert (z.B. „select“, „zoom“). Jede durch eine Visualisierungskomponente definierte Interaktion hat eine Teilmenge an Tupeln, die sie kontrollieren kann. Diese Teilmenge besteht aus null oder mehr Tupeln, wobei null Tupel anzeigt, dass kein Tupel ausgewählt ist. Tupel einer Teilmenge können anhand ihres Primärschlüssels identifiziert werden. Jede Visualisierungskomponente hat inhärent die komplette Relation geladen, die in der Visualisierungskomponente angezeigt wird.

## 2. Grundlagen

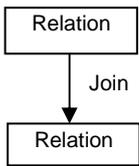
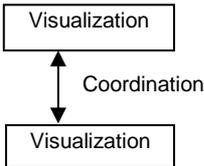
- *Koordinationen zwischen Visualisierungen = Verbund der Relationen:*  
Eine Koordination verknüpft eine Interaktion in einer Visualisierungskomponente zu einer Interaktion in einer zweiten Visualisierungskomponente, wobei die beiden Teilmengen basierend auf einer Join-Operation der beiden zugrundeliegenden Relationen abgeglichen werden. Interaktion des Nutzers in einer Visualisierungskomponente verursacht visuelle Aktionen in der per Join-Operation verbundenen zweiten Visualisierungskomponente. Die durch Interaktion ausgewählte Teilmenge in der ersten Visualisierungskomponente wird mit einer Inner-Join-Operation mit der zweiten Visualisierungskomponente verbunden, woraus eine neue Teilmenge entsteht, die als Basis für die Aktion in der zweiten Visualisierungskomponente dient. Zum Beispiel ist ein Brushing-and-Linking zwischen zwei Streudiagrammen, die auf derselben Relation basieren, eine Koordination der Select-Aktion in einer 1-zu-1 Join-Verknüpfung. Werden Elemente in einem Diagramm hervorgehoben, werden die verknüpften Elemente in dem zweiten Diagramm automatisch hervorgehoben. Eine Koordination kann jedes Paar von Aktionen zwischen Visualisierungskomponenten verknüpfen. Koordinationen wie Joins sind dabei bidirektional.

Es wird im Snap-Visualization-Modell zwischen vier Arten des Joins unterschieden (vgl. North u. a., 2002: S. 216f):

- *Self Join*  
Der Self Join stellt eine 1-zu-1 Beziehung zwischen zwei Visualisierungskomponenten her, die auf derselben Relation beruhen.
- *Single Join*  
Eine Koordination kann zwischen zwei Visualisierungskomponenten hergestellt werden, deren Relationen eine direkte Assoziation haben.
- *Compound Join*  
Eine Koordination kann zwischen zwei Visualisierungskomponenten hergestellt werden, die eine indirekte Assoziation über eine oder mehrere dazwischen liegende Relationen haben.
- *Multiple Alternative Join*  
Der Multiple Alternative Join ist ähnlich dem Compound Join, es bestehen jedoch mehrere Möglichkeiten der Join-Assoziationen zwischen den Relationen zweier Visualisierungskomponenten.

## 2. Grundlagen

Tabelle 2-7: Analogie zwischen dem relationalen Datenbank-Modell und dem Snap-Visualization-Modell (nach North u. a., 2002: Tabelle 2)

|                           | <i>Relational Databases</i>  | <i>Snap Visualization</i>   |
|---------------------------|--|---|
| <i>Usage:</i>             |  |   |
| Design goal               | Data design  | Visualization design  |
| Design method             | Data schema  | Visualization schema  |
| Designer                  | Data owner   | Data owner  |
| Design change             | Rapid, dynamic   | Rapid, dynamic  |
| Adaptability              | Flexible   | Flexible  |
| <i>Perspectives:</i>      |  |   |
| Theory                    | Relational data model  | Snap visualization model  |
| User interface            | Relational data schema   | Snap visualization schema   |
| Architecture              | Relational DBMS  | Snap visualization server   |
| <i>Schema primitives:</i> |  |   |
| Theory                    | Relation   | Visualization component   |
|                           | Tuple  | Visual item   |
|                           | Attribute  | Visual property   |
|                           | Selection  | User interaction  |
|                           | Join   | Coordination  |
| User interface            |  |  |

### 2.2.6 Übersichtstechniken

Der Visualisierungsprozess von sehr großen Datenmengen ist problematisch, da nicht alle Informationen gleichzeitig auf einem Bildschirm visuell dargestellt werden können. Um den Visualisierungsprozess von sehr großen Datenräumen zu unterstützen, schlägt Shneiderman ein Design Mantra vor: „*overview first, zoom and filter, then details on demand*“ (Shneiderman, 1996). Der Nutzer startet mit einer Übersicht und kann mithilfe von Interaktionstechniken zur gewünschten Information zoomen und Daten filtern. Zuletzt kann er sich durch gezielte Selektion Details zu den Daten ansehen. Die Übersicht zu Beginn hat mehrere Vorteile (North, 2005: S. 1234):

- Mithilfe der Übersicht kann sich der Nutzer ein mentales Model des Informationsraumes machen.
- Der Nutzer kann erkennen, welche Informationen zur Verfügung stehen und welche nicht.
- Durch die Übersicht besteht ein direkter Zugang und durch Selektion kann direkt zu den gewünschten Daten navigiert werden.
- Eine Übersicht unterstützt die Erforschung der Daten.

Es existieren zwei Methoden, um Übersichten darzustellen, die auf einer großen Datenmenge basieren: (1) Aggregation und (2) Verringerung der Glyphen. Die erste Möglichkeit zur Verringerung der Datenmenge ist die Gruppierung von Datensätzen zu einem neuen Datensatz. Der erste Schritt dabei ist die Wahl der Datensätze, die zusammengefasst werden sollen. Datensätze können anhand gemeinsamer Attribute oder durch fortgeschrittene Techniken ausgewählt werden. Der entstehende Datensatz sollte die gruppierten Datensätze hinreichend repräsentieren. Statistische Methoden wie Mittel, Minimum, Maximum oder Anzahl werden oft eingesetzt (North, 2005: S. 1235). Alternativ

## 2. Grundlagen

können die Glyphen, die durch den visuellen Mapping-Prozess entstehen, minimiert werden. Dabei wird pro Glyphen so wenig wie möglich Fläche verbraucht, so dass eine maximale Anzahl von Daten auf dem Bildschirm dargestellt werden kann.

### 2.2.7 Navigationstechniken

Navigationstechniken werden für den Übergang von einer Überblicks- zu einer Detailansicht der Daten in der Visualisierung genutzt. Diese Interaktionsmöglichkeit befindet sich auf dritter Ebene der Visualisierungspipeline. Es werden hauptsächlich drei Navigationstechniken genutzt: Zoom & Panning, Overview & Detail, sowie Focus & Context. (North, 2005: S. 1237)

#### 2.2.7.1 Zoom & Panning

Zoombare Visualisierungen beginnen mit einem Überblick und lassen den Anwender dynamisch in eine Region hineinzoomen, um Details über die Daten zu erfahren. Der Nutzer kann wieder zum Überblick hinaus- und in eine andere Region hineinzoomen. Durch Schwenken oder Scrollen kann auf jeder Zoom-Ebene im Raum navigiert werden (North, 2005: S. 1237). Vorteile dieser Technik sind das effektive Ausnutzen des Bildschirmplatzes und die unendliche Skalierbarkeit der Ansicht. Nachteile sind die Risiken für den Nutzer, beim Hineinzoomen in die Visualisierung den Überblick zu verlieren und die langsame Navigation, da ständige Interaktion notwendig ist (vgl. North 2005: S. 1238).

#### 2.2.7.2 Overview & Detail

Overview & Detail nutzt mehrere Sichten, um gleichzeitig eine Überblicks- und eine Detailansicht anzuzeigen. Ein Sichtfeld-Indikator in der Übersichtsansicht zeigt die aktuelle Position in der Detailansicht an. Die beiden Ansichten sind verbunden, so dass ein Verschieben des Sichtfeld-Indikators auch die Veränderung der Detailansicht zur Folge hat. Umgekehrt beeinflusst das Verändern der Detailansicht auch den Sichtfeld-Indikator (North, 2005: S. 1237). Vorteile sind (vgl. North 2005, S. 1238) eine stabile Übersichtsansicht über die gesamten Daten und gleichzeitig eine skalierbare Detailansicht, die miteinander verkettet sind und unterschiedliche Fokusse auf die Daten bieten können. Nachteile sind ein optischer Bruch und der damit verbundene nötige Blickwechsel des Anwenders zwischen den verschiedenen Ansichten. Zusätzlich besteht eine Konkurrenz zwischen den Größen der beiden Ansichten, insofern als dass die Überblicksansicht in den meisten Fällen sehr klein ausfällt.

#### 2.2.7.3 Focus & Context

Mit der Fokus und Kontext-Technik werden Übersichts- und Detailansicht verbunden. Der Fokus wird erweitert und vergrößert dargestellt, um detaillierte Information für einen Bereich darzustellen. Der Anwender kann einfach in der Übersichtsansicht navigieren, um den Fokus zu verschieben. Um den nötigen Raum für die Fokusregion zu beschaffen, wird der Raum um den Fokus verzerrt dargestellt. Der Vergrößerungsgrad der Detailansicht ist im Brennpunkt am größten und nimmt zum Rand hin ab. Diese Technik funktioniert wie ein Vergrößerungsglas oder ein Fischauge, das die Details im Brennpunkt vergrößert darstellt, aber trotzdem die Umgebung anzeigt. Vorteil ist, dass die Details visuell verbunden zu ihrer Umgebung angezeigt werden. Die Skalierbarkeit ist aber auf einen Faktor von 1:10 limitiert und die Verzerrung führt zu einer instabilen Ansicht der Übersicht. Diese dynamische Verzerrung kann beim Nutzer zu Desorientierung führen. (vgl. North 2005: S. 1238).

### 2.2.8 Interaktionstechniken

Interaktionstechniken bieten die Möglichkeit, die Komplexität der Daten zu reduzieren. Die vorrangigsten Techniken sind: Selecting, Linking, Filtering, Rearranging and Remapping.

#### 2.2.8.1 *Selecting*

Die grundlegendste Interaktionstechnik ist die interaktive Auswahl von Daten durch den Nutzer. Dies kann aus mehreren Gründen geschehen: Entweder, um sich detaillierte Informationen zu den Daten anzeigen zu lassen, um Daten hervorzuheben, um verwandte Daten zu gruppieren oder um sie für eine weitere Verarbeitung zu markieren. Die Auswahl der Daten kann dabei direkt oder indirekt erfolgen. Die direkte Auswahl kann über direktes Anklicken der Glyphen oder die Auswahl einer Gruppe von Glyphen mithilfe des Mauszeigers erfolgen. Eine indirekte Auswahl erfolgt zum Beispiel über Attributkriterien, die den Daten zugeordnet sind oder die Auswahl ganzer Pfade in Netzwerk- oder Baumdarstellungen. Selecting-Techniken sollten so gestaltet sein, dass der Anwender sehr einfach mehrere Glyphen markieren und weitere hinzufügen kann. Auch sollten Glyphen aus der aktuellen Auswahl entfernt oder die gesamte Auswahl gelöscht werden können. (vgl. North, 2005: S. 1240)

#### 2.2.8.2 *Linking*

Mit Linking werden Daten interaktiv in mehreren Ansichten verbunden. Daten können in mehreren Ansichten unterschiedlich in Bezug auf verschiedene Perspektiven, unterschiedlichen Fokus oder Art der Darstellungsweise angezeigt werden. Die bekannteste Form des Linkings ist Brushing-and-Linking (Becker, Cleveland, 1987), bei der das Markieren von Daten in einer Ansicht auch die Daten in den anderen Ansichten markiert und hervorhebt. Beim Linking kann der Nutzer die individuellen Stärken verschiedener Repräsentationen nutzen. So können in einer Ansicht Daten markiert werden, um diese in einer anderen abzufragen (North, 2005, S. 1240f).

#### 2.2.8.3 *Filtering*

Filtering lässt den Nutzer dynamisch die Menge der Daten in der Visualisierung verkleinern und den Fokus auf die Daten lenken, die den Betrachter interessieren. Slider in Form grafischer Schieberegler können Filter-Parameter bestimmen, die der Nutzer in Echtzeit verändern kann. So kann das gefilterte Ergebnis direkt vom Nutzer gesehen werden. Zusätzlich kann die Verbindung von Filterparameter zu Datenattribut durch das direkte visuelle Feedback durch den Nutzer erkannt werden. Dynamic Queries können den Nutzer bei der Suche unterstützen, indem er die vorhandenen Daten erkundet und unerwünschte herausfiltern kann. Durch die Manipulation grafischer Bildelemente können die Parameter der Datenbankabfrage in Echtzeit verändert werden und die Ergebnismenge wird sofort angezeigt (North, 2005: S. 1241).

Ein erstes System für die Anwendung von Dynamic Queries war der *Film Finder* (Ahlberg, Shneiderman, 1994; Jog, Shneiderman, 1995). In einem zweidimensionalen Koordinatensystem wird eine Filmdatenbank in der Sternenhimmel-Metapher visualisiert. Dabei ist die x-Achse mit dem Erscheinungsjahr und die y-Achse mit der Popularität von eins bis neun belegt. Jeder Film wird farblich kodiert nach Genre in das Diagramm als Rechteck eingezeichnet und je nach Zoom-Stufe mit Titel angezeigt. Klickt man einen Film an, werden Detailangaben angezeigt. Über die Achsen können die Popularität und das Erscheinungsjahr eingeschränkt werden. Auf der rechten Seite können die Filme nach Titel, Schauspieler und Regisseur alphabetisch gefiltert werden. Die Technik wird auch weiterhin in der kommerziellen Version *Spotfire* genutzt und wird auch immer mehr als Standard-Interaktionselement im Web eingesetzt (durch sie ist eine einfache und schnelle Einschränkung von Preisen oder Zeiten bspw. in Hotel-Portalen möglich).

2.2.8.4 *Rearranging and Remapping*

Die Visualisierung von Daten wird meist gemäß ihrer Informationsstruktur dargestellt. Die Darstellung nach Ordnungen kann aber zu Abbildungen führen, aus der sich für den Nutzer keine Erkenntnisse ziehen lassen. Die Wahlmöglichkeit zwischen mehreren Visualisierungsarten kann demnach beim Nutzer zu vermehrten Einsichten führen, wenn sich durch die andersartige Darstellung bestimmte Muster in den Daten erkennen lassen. Auch die Parameter der Visualisierung wie Belegung der Achsen, Auswahl der Glyphen usw. können durch den Nutzer bestimmt werden, um Beziehungen zwischen Daten oder Datenattributen zu erkennen. Generell können alle Mapping-Prozesse der Visualisierungspipeline durch den Nutzer angepasst werden (North, 2005: S. 1241).

2.2.9 Visualisierungen im Web

McKeon (2009) wendet das klassische Visualisierungs-Referenzmodell für verteilte Visualisierungsanwendungen im Web an. Durch die Integration im Web steht die Visualisierung nicht mehr isoliert da. Auf den verschiedenen Stufen des Modells ergeben sich durch Standards für Daten und Medien und verteilte Webapplikationen neue Möglichkeiten, Visualisierungen interaktiv zu integrieren. Abbildung 2-10 zeigt das angewandte Modell im Vergleich zum klassischen Modell. Auf der ersten Stufe stehen verschiedene Datenquellen und -applikationen im Web zur Verfügung. Datengrundlagen können zum Beispiel HTML-Tabellen, Tabellen aus Online-Office-Applikationen, RSS-Feeds oder Online-Datenbanken sein. Diese können auf zweiter Stufe in Mashup-Services wie Yahoo! Pipes oder DabbleDB zu einem integrierten Datensatz arrangiert werden. Auf dritter Stufe stehen dann verschiedene Visualisierungs-Anbieter (IBM Many Eyes, Google Maps, Google Visualization API), die es ermöglichen, den Datensatz auf verschiedene Weise zu visualisieren. Diese Ansichten können nun auf unterschiedliche Arten aggregiert, arrangiert und weitergenutzt werden, z.B. in Dashboards und Wikis oder auf Social Media-Plattformen wie sozialen Netzwerken und Blogs. Das ermöglicht die Integration der Visualisierungen als Diskussionsgrundlage.

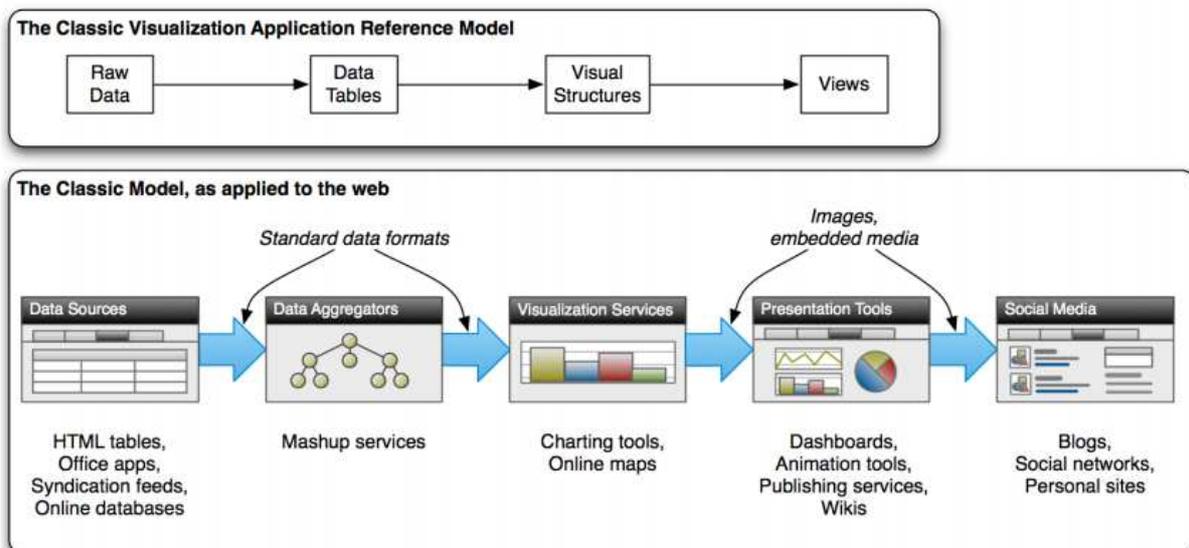


Abbildung 2-10: Klassisches Visualisierungsmodell im Vergleich zum angewandten Modell für verteilte Anwendungen im Web (aus McKeon, 2009).

Heer u. a. (2009) verweisen dabei besonders auf den kollaborativen Aspekt von Visualisierungen im Web unter dem Mantra „Point, Talk, Publish“. Daten und Visualisierungen können in Onlinesystemen veröffentlicht werden und Interessierte können zeit- und ortsunabhängig interessante Aspekte und Muster in Visualisierungen analysieren und diskutieren. Analog zur kollaborativen Analyse von Daten und Visualisierungen außerhalb des Internets, sollen auch online Teilnehmer in der Lage sein auf

## 2. Grundlagen

besondere Aspekte in Visualisierungen hinzuweisen („Point“), darüber zu sprechen („Talk“) und verschiedene Ansichten von Visualisierungen zu publizieren („Publish“).

Als Diskussionsgrundlage muss eine gemeinsame Ansicht der Daten vorliegen. In interaktiven Visualisierungen müssen dafür die Daten und Kontrollparameter wie Zoom-Stufe, Farbauswahl usw. reproduzierbar sein. In webbasierten Systemen können URLs genutzt werden, um die spezifischen Ansichten festzulegen, mit der Möglichkeit die URL über Email, Instant-Messages, Blogs usw. weiterzugeben. Standard für das Hinweisen auf Datenbereiche („Point“) ist die Brushing-Technik, wobei ein Teil der Daten selektiert und hervorgehoben wird. Bei visuellen Effekten wie Animation können sichtbare Spuren helfen, den Weg der ausgewählten Daten zu verfolgen. Zudem sind grafische Annotationen wie das Markieren von bestimmten Daten mit Freihandformen ein wünschenswerter Effekt.

Die asynchrone Diskussion („Talk“) über Beobachtungen, Fragen und Hypothesen der Daten wird über die Kopplung von bestimmten Ansichten und dazugehörigem Text erlaubt. Das kann dadurch geschehen, dass Text mithilfe der URLs auf bestimmte Marker in der Visualisierung verweist oder passender Text auch bei der Exploration der Daten in der Visualisierung angezeigt wird.

Wesentlich für die vorherigen Punkte ist die Veröffentlichung („Publish“) von Daten, Visualisierungen, Kommentaren und Diskussionen im Web. Systeme wie *IBM Many Eyes* (Viegas u. a., 2007) erlauben die Veröffentlichung und Präsentation von Informationen mit verschiedenen Visualisierungen. Nutzer können ihre eigenen Daten hochladen und mit der Nutzercommunity teilen. Dabei können verschiedene Visualisierungstypen wie Diagramme, Treemaps oder Tagclouds für die Anzeige gewählt werden. Diskutiert werden kann sowohl direkt auf derselben Seite als auch durch die Integration von interaktiven Varianten in Blogs, so dass eine im Web verteilte Diskussion stattfinden kann.

Eine Reihe von Toolkits kann verwendet werden, um Dashboards mit Visualisierungen zu erstellen. *Tableau* (Mackinlay u. a., 2007) oder *Spotfire* (Ahlberg, 1996) sind kommerzielle Lösungen, welche die Erstellung von Dashboards mit unterschiedlichen Visualisierungstypen ermöglichen. *Dashiki* (McKeon, 2009) ist eine wiki-basierte kollaborative Plattform zur Erstellung von Visualisierungs-Dashboards. Benutzer können hier Visualisierungen integrieren, die Live-Verbindungen zu Datenquellen enthalten. *Exhibit* (Huynh u. a., 2007) ist ein leichtgewichtiges Framework zur einfachen Veröffentlichung von strukturierten Daten im Web. Benutzer können Daten importieren und in verschiedenen Ansichten wie Karten, Tabellen, Thumbnails und Zeitleisten präsentieren. Kombinierte Eigenschaften von Informationsvisualisierung wie das Erstellen thematischer Dashboards, Techniken wie Zooming und Filtering können in einer Präsentation kombiniert werden, um eine bestimmte Idee oder Geschichte zu präsentieren und nutzerfreundlich aufzubereiten (Gershon, Page, 2001). Es existieren außerdem eine Reihe von Visualisierungs-Toolkits, die es ermöglichen, Visualisierungen in unterschiedlichen Programmiersprachen zu erstellen: das InfoVisToolkit (Fekete, 2004), Prefuse/Flare (Heer u. a., 2005), Processing (Reas, Fry, 2003 ) oder Protovis (Bostock, Heer, 2009).

### 2.2.10 Visualisierungen für die Informationssuche

Das vorherrschende Paradigma für die visuelle Exploration von Daten in Visualisierungen ist das Information-Seeking-Mantra von Shneiderman (1996): *“Overview first, zoom and filter, then details-on-demand”*. Er unterscheidet in seiner *Task by Data Type Taxonomy* sechs Datentypen (1-,2-,3-dimensionale Daten, zeitliche und multidimensionale, Baum- und Netzwerk-Daten), wobei alle Datentypen eine gewisse Anzahl an Attributen enthalten. Die initiale Suchanforderung besteht nun

## 2. Grundlagen

darin, Elemente zu filtern, deren Attribute bestimmte Werte annehmen. Dafür schlägt Shneiderman einen Prozess in sieben Schritten vor:

1. *Overview*: Erhalt eines Überblicks über die gesamte Kollektion
2. *Zoom*: Zoomen auf Elemente von Interesse
3. *Filter*: Herausfiltern von uninteressanten Elementen; Dynamic Queries werden als Hauptmethodik für die interaktive und schnelle Filterung der Daten genannt
4. *Details-on-demand*: Auswahl eines Elementes oder einer Gruppe; Details-on-demand Pop-Ups können HTML-Links zu weiteren Informationen enthalten
5. *Relate*: Anzeige von Beziehungen zwischen den Elementen
6. *History*: Aufzeichnen einer Historie von Aktionen, um Operationen wie Undo, Replay oder Refinement zu unterstützen
7. *Extract*: Nutzerunterstützung für die Extraktion von Sub-Kollektionen und der Filter-Parameter

Keim (2002) hat einen sehr ähnlichen Ansatz und unterscheidet in seiner Klassifikation der Informationsvisualisierung und der Data-Mining-Techniken zwischen (i) dem Datentyp der visualisiert wird, (ii) den genutzten Visualisierungstechniken und (iii) den Interaktions- und Distortion-Techniken. Die Interaktionstechniken die unter Punkt (iii) aufgezählt werden, sind: (1) Interactive Projection (siehe Rearranging und Remapping Abschnitt 2.2.8.4), (2) Interactive Filtering, (3) Interactive Zooming, (4) Interactive Distortion (Fokus & Kontext-Techniken Abschnitt 2.2.7.3), (5) Interactive Brushing-and-Linking.

Zahlreiche Systeme mit unterschiedlichen Datentypen und verschiedenen Visualisierungstechniken werden genutzt, um Informationen darzustellen und nach dem Information-Seeking-Mantra zu durchsuchen. Systeme geordnet nach Art der Informationsstruktur wurden in Abschnitt 2.2.5 vorgestellt, weitere Übersichten bieten auch Shneiderman (1996), Keim (2002) und North (2005).

Ein Beispiel für das Filtern heterogener Informationen ist das System FacetMap (Smith u. a., 2006). Hier werden in einer Treemap-ähnlichen Anzeige Top-Level Facetten für die interaktive Filterung von persönlichen Informationen wie Webseiten, Emails, Fotos, Dokumente etc. genutzt. In einer Übersicht werden Facetten wie Informationstyp, Datum, Personen, Ort etc. angezeigt, wobei die Größe der Facetten die Anzahl der Informationselemente kodiert. Durch einen Mausclick auf die gewünschte Facette filtert der Nutzer bis zu den gewünschten Informationen und bekommt sie direkt als Thumbnail angezeigt. Als Alternative zu diesem Browsing-Ansatz kann der Nutzer auch direkt nach den Informationselementen suchen.

### 2.2.10.1 Facettierte Filterung von Information im Web

Das Information-Seeking-Mantra wird auch für die Repräsentation und Filterung von Information im Web genutzt. Dafür werden populäre Visualisierungen im Web wie Tagclouds, Karten, Diagramme, aber auch anderen Arten genutzt.

Wood et al. (2007) nutzen die kombinierte Anzeige von *Tag Clouds* und *Tag Maps* für die interaktive Anzeige von Log-Daten einer mobilen Applikation für lokale Information in Google Earth. Der Service auf dem Mobiltelefon schlägt standortabhängig Geschäfte, Lokale oder Dienstleister in der Nähe vor. Die Log-Dateien beinhalten unter anderen Informationen zu Zeit, Ort, User-ID und Name des gewählten Services. Diese Daten können nun ortsabhängig in Google Earth angezeigt werden. Beispielsweise zeigt eine Tagcloud die wichtigsten Lokalitäten für einen Kartenausschnitt an (Größe der Tags kodiert Anzahl des ausgewählten Services durch den Nutzer). Klickt man auf ein Tag, so wird in Google Earth auf den Kartenausschnitt gezoomt, welches diese Tags enthält und zeigt nun

## 2. Grundlagen

weiterhin *auf* der Karte Tags an (Tag Maps), welche Services die Nutzer in dieser Region gewählt haben. Tagclouds werden also auch hier für die Filterung und den Übergang von einer Übersicht zu Details von Interesse genutzt. Tag Maps können auch animiert werden, um den Verlauf über eine Zeitperiode anzuzeigen.

Das System VisGets (Dörk u. a., 2008) kombiniert verschiedene Visualisierungen wie Karte, Tagcloud und Säulendiagramm zur Repräsentation und Filterung von abgerufenen Webressourcen wie RSS-Feeds, Wikipedia-Einträgen oder Flickr-Fotos anhand von Facetten wie Zeit, Ort und Thematik. Basierend auf dem Konzept von Dynamic Queries können Resultate interaktiv durch Manipulation der Visualisierungen gefiltert werden. VisGets implementiert auch Coordinated Views. Fährt der Nutzer mit der Maus über ein visuelles Element, werden alle verbundenen Elemente in der Visualisierung in der Trefferliste hervorgehoben. Der neu eingeführte Ansatz Weighted Brushing wird genutzt, um stark verbundene Elemente stärker als schwach verbundene Elemente hervorzuheben.

Einen ähnlichen Ansatz bietet ein System für die dynamische Anzeige von Twitter-Nachrichten, die zu einem bestimmten Event oder Thema gepostet werden (Dörk u. a., 2010). In drei verschiedenen Visualisierungen werden Facetten der Nachrichten angezeigt, die auch wieder zur Filterung der Nachrichten genutzt werden können und untereinander mit Brushing-and-Linking verbunden sind. Die Hauptvisualisierung *Topic Streams* ist ein gestapelter Graph, der Nachrichten-Topics über die Zeit anzeigt und sich dynamisch anpasst. Die *People Spiral* zeigt die Teilnehmer der Diskussion und ihren Aktivitätsgrad, in der *Image Cloud* werden populäre Fotos zum Thema nach Popularität unterschiedlich groß angezeigt. Zusammen mit der Liste der Twitter-Nachrichten werden die Grafiken dynamisch aktualisiert und zeigen damit die aktuelle Diskussion, aber auch die vergangenen Thematiken.

### 2.2.10.2 Links innerhalb des Informationsraums

Informationen die mit dem Information-Seeking-Mantra gefiltert wurden, können auf Detail-Ebene Links zu verwandten Informationen enthalten, die im Sinne von Punkt 5 des Information-Seeking-Mantras: *Relate* oder der IR-Retrieval-Technik *Browsing* vom Nutzer verfolgt werden können, um im Navigationsraum zu navigieren. Ein gutes Beispiel dafür ist das System BrainGazer (Bruckner u. a., 2009), das Volumendaten visualisiert, die durch konfokale Mikroskopie erworben wurden. Zum Beispiel kann das Gehirn einer Fruchtfliege mit annotierten anatomischen Strukturen visualisiert werden, um explorierbar zu machen, wie anatomische und physiologische Zusammenhänge im Nervensystem das Verhalten beeinflussen. Das System bietet drei grundlegende Arten von visuellen Abfragen: (1) Mit einem Mausklick auf ein Objekt werden Informationen zur Struktur und Links zu verwandten Objekten angeboten (semantic queries). Damit kann der Nutzer durch den Informationsraum navigieren. (2) Außerdem werden Links zu Objekten angezeigt, die sich in der räumlichen Nähe des Objektes befinden (spatial queries). (3) Der Nutzer kann einen Pfad frei Hand auf die Visualisierung zeichnen, wodurch Informationen über die ausgewählten Objekte angezeigt werden (path queries).

### 2.2.10.3 Graphisches Ergebnisretrieval

Einen ergänzenden Ansatz für die visuell gestützte Recherche bietet die Systemkomponente Wing-Graph (Wolff, 1996) im Forschungsprojekt Wing-IIR, welches die Unterstützung der multimodalen Faktenrecherche nach Werkstoffdaten untersucht. Dabei verbindet das System verschiedene Zugangswege (multimodale Systemgestaltung) zu Datenbanken in einer Benutzerschnittstelle: (1) der natürlichsprachliche Zugang für die Recherche und (2) eine direkt-manipulative graphische Benutzerschnittstelle als allgemeine Arbeitsumgebung und für die Recherche. Die Komponente Wing-

## 2. Grundlagen

Graph erlaubt es, Werkstoffparameter als Liniendiagramme darzustellen und graphische Operationen direkt im Liniendiagramm als visuelle Definition für den Anfrageaufbau zu nutzen. Dabei soll das visuelle Denken der Benutzer für das Retrieval in Faktendatenbanken genutzt werden, wobei die Recheresituation, der bereits ein Retrievalprozess vorangegangen ist, im Mittelpunkt stehen soll (graphisches Ergebnisretrieval).

Der konkrete Anwendungsbereich ist dabei die Domäne der Werkstoffinformation. Hier lag die Beobachtung vor, dass die graphische Informationsdarstellung von Werkstoffparametern als Kurvendarstellung in der Literatur, bei der Informationsbeschaffung und -interpretation weit verbreitet ist und als sehr wichtig eingestuft wird. Fachexperten sind in der Lage, ein bestimmtes Kenngrößenverhalten eines Werkstoffes als Kurve auch ohne Vorlage zu skizzieren. Auch nach der Suchphase nutzen Werkstofffachleute visualisierte Informationen bei der Dateninterpretation und für die Recherche nach ähnlichen Werkstoffen. Dabei sind in der Recherche vergleichende, sich auf vorgegebene Werkstoffe und Daten beziehende Fragestellungen besonders relevant.

Bei Standardsystemen zur Werkstoffrecherche liegt für diese und ähnliche Fragestellungen eine kognitive Bruchstelle zwischen Ergebnisdarstellung/-interpretation und erneuter Anfragestellung vor. Die Werkstoffkenngrößen werden grafisch als Liniendiagramme dargestellt. Fachexperten denken empirisch beobachtet visuell und möchten ähnliche Werkstoffe anhand dieser Vorlage finden. Dieses Informationsbedürfnis müssen sie nun wieder vom grafischen Modus in einen textuellen Modus (Modaliätswechsel) und in das Schema der Anfragesprache (z.B. Query-by-example-Formulare oder Boolesche Suchanfragen) umwandeln. Dabei entsteht eine erhöhte mentale Belastung für die verschiedenen Umwandlungsprozesse und Information kann verloren gehen, da sich visuelle Vorstellung nur mit erhöhtem Aufwand in exakte sprachliche Konstrukte durch den Nutzer umwandeln lässt.

Das System Wing-Graph bietet nun die Möglichkeit Anfragen direkt in der Ergebnisvisualisierung zu definieren. Durch unterschiedliche Ansätze wie (1) abstrakte Verfahren (Setzen mehrerer Suchpunkte oder eines Streubandes), relative Verfahren (Suche nach ähnlichen Werkstoffen durch Setzen eines Streubandes) oder produktive Verfahren (Skizzieren einer Werkstoffkurve als Suchhypothese) können Folgeanfragen direkt in der Ergebnisdarstellung definiert werden. Durch die Zusammenlegung von Ergebnis- und Anfragedisplay lassen sich die Probleme beim Übergang von Ergebnisinterpretation zur Anfragedefinition vermindern oder beseitigen. Dabei werden insbesondere Folgerecherchen unterstützt, in denen ein Ähnlichkeitscharakter zu bestehenden Ergebnissen vorliegt. Durch die Anfrageerstellung direkt in den Ergebnissen ergibt sich ein Kreislaufmodell, bei der die Visualisierung gleichzeitig für die Anfrage- und Ergebnisdarstellung genutzt wird.

Dabei setzt das graphische Ergebnisretrieval auf Pinkers Modell der Graphenwahrnehmung auf (vgl. Abschnitt 2.3.7) und wird um den Rechercheaspekt erweitert. Dazu werden zwei Komponenten hinzugefügt: (1) Eine externe Aufgabenstellung kann die konzeptuellen Fragen an die Informationsdarstellung beeinflussen und (2) die grafische Information kann ein neues Informationsbedürfnis beim Nutzer auslösen, das durch die visuelle Anfragedefinition definiert wird.

Die Leistungsfähigkeit des graphischen Ergebnisretrievals erklärt Wolff durch die duale Kodierung der Information. Visuelle Informationen werden im Gehirn doppelt als visuelle und als sprachliche Repräsentation kodiert (vgl. Abschnitt 2.3.3) und zu höherwertigen visuellen Einheiten aggregiert, mit denen sich im Kurzzeitgedächtnis visuelle Operationen durchführen lassen (vgl. Abschnitt 2.3.7). Das Informationsbedürfnis nach ähnlichen Werkstoffen innerhalb einer bestimmten Parameterspanne lässt sich mit diesen visuellen Operationen innerhalb der Graphendarstellung visuell vorstellen und in eine

## 2. Grundlagen

visuelle Anfragedefinition überführen. Dabei ist die Durchführung der visuellen Operation und Übertragung in die Diagrammdarstellung kognitiv weniger aufwendig und vom Benutzer selbst leistbar, als es durch die Dekodierung von transformierten visuellen Elementen zu komplexen sprachlichen Konstrukten und der erneuten Enkodierung in eine formale Anfragesprache machbar wäre.

Weitere Eigenschaften von IR-Retrieval wie Vagheit der Anfrage werden auch hier behandelt (Wolff, Womser-Hacker, 1997), indem visuelle Anfragen nicht direkt in numerische Datenbankanfragen umgewandelt werden, sondern vorher mit Domänen-Modellen vager Konzepte und Regelsammlungen behandelt werden, um die Intention und Unschärfe der visuellen Anfrage besser zu berücksichtigen.

### 2.2.10.4 Visualisierungen im Document Retrieval

Eibl (2003) unterscheidet in seiner Kategorisierung von Visualisierungen im Document Retrieval zwischen (1) der Visualisierung der Anfrage, (2) der Visualisierung der Ergebnismenge und (3) der integralen Visualisierung von Anfrage und Ergebnismenge (vgl. Abbildung 2-11). Die Visualisierung der Anfrage wurde als Forschungsfokus in den 1980er Jahren von einigen Systemen umgesetzt (vgl. Eibl, 2003: S. 58ff) und stützt sich meist auf das Boolesche Suchmodell. Der Anwendungsschwerpunkt der Visualisierung soll hier in der Unterstützung des Nutzers bei der Anfrageformulierung mit Booleschen Operatoren liegen. Da sich der Einsatz von Booleschen Operatoren bei komplexen Anfragen für Laien als auch Experten äußerst schwierig gestaltet und eine Diskrepanz zwischen natürlichsprachlicher und logischer Verwendung existiert, soll die Visualisierung den Nutzer bei der Anfrageformulierung unterstützen (vgl. Eibl, 2002: S. 142).

Systeme für die Visualisierung von Ergebnismengen wurden seit Beginn der 1990er Jahre entwickelt (Eibl, 2003: S. 57). Eibl unterscheidet grob zwischen (1) der Darstellung des Informations- oder Dokumentenraumes und (2) der Darstellung des Dokumenteinhaltes und wie sich Suchkriterien darin verhalten. Beispielsysteme für die Darstellung des Dokumentenraums wie WEBSOM, VisIslands, IN-SPIRE, Infosky, ThemeRiver, VR-VIBE oder LyberWorld wurden bereits in Abschnitt 2.2.5.4 aufgeführt (vgl. auch Eibl, 2003: S. 62ff). Beispielsysteme für die Verteilung von Suchhäufigkeiten in Dokumenten stellt Eibl (2003: S. 79ff) vor. Eibl (2003) entwickelt das System DEVID für die integrierte Darstellung von Suchanfrage und Suchergebnis in einer Oberfläche mit dem Fokus auf Grafikdesign und Softwareergonomie. Dabei wurde mit Interviews und Beobachtung von professionellen Datenbankanwendern in der sozialwissenschaftlichen Domäne festgestellt, dass Nutzer am besten bei der Anfrageformulierung und mit direktem Feedback über die Größe des Suchergebnisses unterstützt werden können. Die Nutzer reformulierten die Boolesche Suchanfrage typischerweise so oft, bis sie ein Ergebnis von 20-30 Dokumenten erreicht hatten. Dabei traten Schwierigkeiten bei der Formulierung von komplexen Booleschen Suchanfragen auch für Experten auf. Diese waren begründet durch die Unterschiede in der natürlichsprachlichen und streng logischen Verwendung von Booleschen Operatoren, durch die Verwendung des „Not“-Operators und durch die komplexe Klammerung innerhalb von Suchanfragen. Als gestalterischer Ausgangspunkt wurde das Forschungssystem InfoCrystal (vgl. Eibl, 2003: S. 103ff) genutzt. DEVID nutzt die Grundidee der visuellen Kodierung von Suchbegriffen und deren Boolescher Ergebniskombination und nimmt eine starke Vereinfachung der visuellen Sprache vor. Deskriptoren können vom Nutzer unter einen farblich kodierten Winkel als Sinnbild für eine Karteikarte eingegeben werden und die Größe des Suchergebnisses wird direkt dort neben dem Eingabefeld angezeigt. Begriffe innerhalb eines Eingabefeldes werden mit „OR“ verknüpft, die Art des Eingabefeldes (Titel, Schlagwort, Ort, Datum usw.) lässt sich auswählen. Bei der Eingabe von Suchbegriffen in mehr als zwei Eingabefeldern wird die Boolesche „AND“-Verknüpfung gebildet und die Größe des Suchergebnisses unter der Kombination der beiden farblich kodierten Winkel in einer neuen Spalte angezeigt. So können die

## 2. Grundlagen

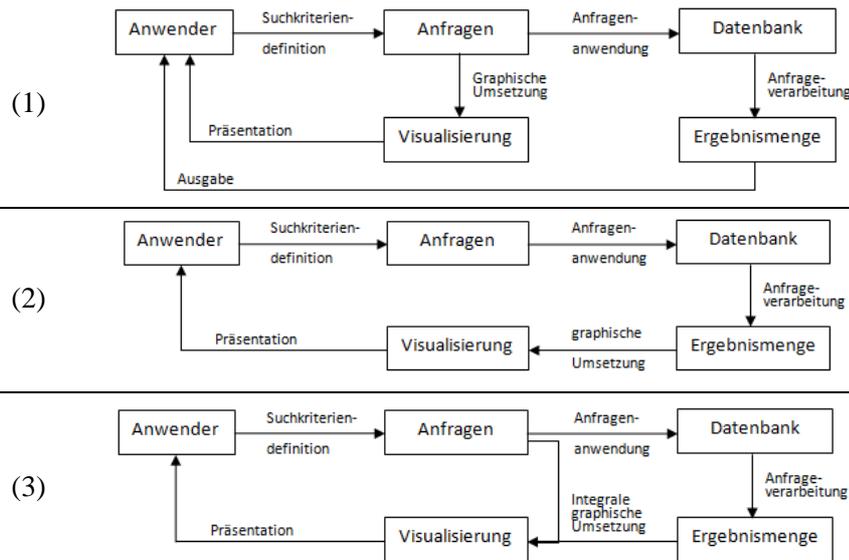


Abbildung 2-11: Modelle für (1) die Visualisierung der Anfrage, (2) der Ergebnismenge und (3) der integralen Visualisierung der Anfrage und Ergebnismenge (aus Eibl, 2003: Abb. 3.9, Abb. 3.13, Abb. 3.41).

Endnutzer direkt erkennen, wie sich die Boolesche Kombination auf die Ergebnismenge auswirkt. Durch das Ausfüllen mehrerer Felder und der direkten Kombination der Deskriptoren lassen sich komplexe Anfrage bilden und direkt die Größe der Ergebnismenge ablesen. Durch Interaktion mit dem Mauszeiger über Felder oder Kombinationen werden nicht benötigte visuelle Elemente ausgeblendet. In einer erweiterten Version kann die Wichtigkeit von Deskriptoren für das Suchergebnis durch Verschiebung auf der X-Achse angezeigt werden oder der Nutzer kann die Wichtigkeit durch Verschieben selbst bestimmen. Vages Retrieval wird interaktiv in der Oberfläche unterstützt, indem durch ein Kontext-Icon basierend auf einer Similaritätsfunktion, weitere dem Suchergebnis ähnliche Dokumente gesucht werden, ohne die Suchanfrage zu ändern. In einer vergleichenden Evaluation mit neun Topics basierend auf dem GIRT-Korpus als Teil der TREC-Initiative wurde angegeben, dass DEVID den Vergleichssystemen Messenger und freeWais in Recall und Precision überlegen war; die Anzahl der durchschnittlichen Reformulierungen war vergleichsweise gering und die Ergebnisse der Fragebogenauswertung zu Einfachheit, Gestaltung, Präsentation und Nutzungsfreude des Systems waren sehr positiv. Kritisch lässt sich anmerken, dass der Einfluss auf Precision und Recall nur auf Ebene der Benutzungsoberfläche durch die Anfrageformulierung der Testpersonen bestimmt wurde. Weitere wichtige Einflussfaktoren wie der Rankingalgorithmus, die Visualisierung selber, Interaktion, ästhetische Gestaltung usw. wurden nicht näher untersucht.

### 2.2.11 Zusammenfassung

Die Vorteile und Ziele von Visualisierungen reichen von der Unterstützung einfacher Mustererkennung bis zum Einsatz als Werkzeug, um die Limitierungen des kognitiven Prozesses abzumildern. Im Knowledge Crystallization-Prozess wird abgebildet, auf welchen unterschiedlichen Stufen im Prozess der Wissensgenerierung Visualisierungen eingesetzt werden können, um den kognitiven Prozess zu verstärken. Herausgestellt werden kann, dass komplexe heterogene Informationen aus verschiedenen Datenquellen gesammelt, geordnet und in einer externen Repräsentation (Text, Bilder, Tabellen, Visualisierungen usw.) und einem internen Schema (mentalen Modell) repräsentiert werden, um daraus Informationen abzuleiten und Entscheidungen zu treffen. Verschiedene Informationsstrukturen wie tabellarisch, räumlich/zeitlich, baum-/netzwerkförmig und Text werden für die initiale Visualisierung und die Bildung eines mentalen Modells genutzt.

## 2. Grundlagen

Komplexere Informationsstrukturen können in kombinierten Ansichten angezeigt werden. Ein Modell dafür ist das Snap-Visualization-Modell, das eine Analogie zwischen dem relationalen Datenbank-Modell und koordinierten Ansichten bildet.

Der Transfer von Visualisierungen in das Internet verstärkt die Ausgangslage von verteilten Datenquellen und heterogenen Informationen, bietet aber die Möglichkeit diese mit Online-Tools zu aggregieren und anzuzeigen. Die entstandenen Visualisierungen können als kollaborative Arbeitsgrundlage verwendet und als Komponenten in Blogs oder Dashboards weitergenutzt werden.

Die Methodik der Informationssuche richtet sich in der Informationsvisualisierung stark nach dem Mantra von Shneiderman, d.h. ausgehend von einer Übersicht der Daten wird in den Systemen immer weiter zu Punkten von Interesse gefiltert. Als Technik für die Anzeige von Relationen zwischen verschiedenen Daten in Visualisierungsansichten werden Multiple Coordinated Views und die Brushing-and-Linking-Technik eingesetzt.

### 2.3 Informationsverarbeitung

Die beiden vorangegangenen Abschnitte haben die grundlegenden Modelle und Eigenschaften von Informationssuche und Informationsdarstellung vorgestellt. Beide Bereiche setzen sich zum Ziel das Informationsbedürfnis des Nutzers mit dem Finden und der Darstellung von Information zu befriedigen. Um zu verstehen wie verschiedene Informationen wie Text, Bild und interaktive Visualisierungen im menschlichen Gehirn verarbeitet werden, muss der kognitive Prozess und die grundlegenden menschlichen Eigenschaften der Informationsverarbeitung untersucht werden. Dafür wird in diesem Abschnitt zuerst der prinzipielle Aufbau des Gedächtnisses beschrieben und die Prinzipien der dualen Kodierung und kognitiven Last eingeführt. Auf dieser Basis bilden sich zwei Theorien des multimedialen Lernens, die das Erfassen und Verständnis von Text und Bildern in Modellen kombinieren. Aus den Modellen lassen sich Prinzipien ableiten, welche die kognitive Last verringern sollen und damit den Lerneffekt erhöhen. Informationen verschiedener Modalitäten werden in einem mentalen Modell abgebildet. Darauf aufbauend wird gezeigt, wie Nutzer einfache bis komplexe Visualisierungen kognitiv verarbeiten und in einem qualitativen mentalen Modell integrieren, um daraus Informationen abzuleiten.

#### 2.3.1 Aufbau des Gedächtnisses

Beim Aufbau des Gedächtnisses wird unterschieden zwischen dem Ultrakurzzeitgedächtnis, dem Kurzzeitgedächtnis (in anderen Modellen auch Arbeitsgedächtnis genannt) und dem Langzeitgedächtnis (vgl. Brand, Markowitsch, 2004). Das Ultrakurzzeitgedächtnis hat eine Vorhaltezeit von Millisekunden und speichert Wahrnehmungserlebnisse. Visuell oder auditiv Wahrgenommenes wird durch verschiedene Kanäle als sinnlicher Eindruck kurzzeitig festgehalten. Das Kurzzeitgedächtnis hat eine Vorhaltezeit von Sekunden bis sehr wenige Minuten und unterliegt verschiedenen Restriktionen. Zum Beispiel kann es nur ungefähr sieben plus/minus zwei Informationseinheiten gleichzeitig behalten (Miller, 1956). Eine Aufteilung des Kurzzeitgedächtnisses in ein komplexeres System mit operierenden Einheiten bietet das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (1986, 2000). In diesem Modell wird unterschieden zwischen dem (1) räumlich-visuellen Notizblock, der visuelle Eindrücke speichert, (2) der phonologischen Schleife, die verbale Informationen speichert und (3) dem episodischen Buffer, der sowohl visuelle als auch verbale Informationen kurzfristig in Form von Episoden speichern kann. Die zentrale Exekutive verwaltet die verschiedenen Systeme und steuert die Verknüpfung mit Systemen im Langzeitgedächtnis (vgl. Abbildung 2-12).

## 2. Grundlagen

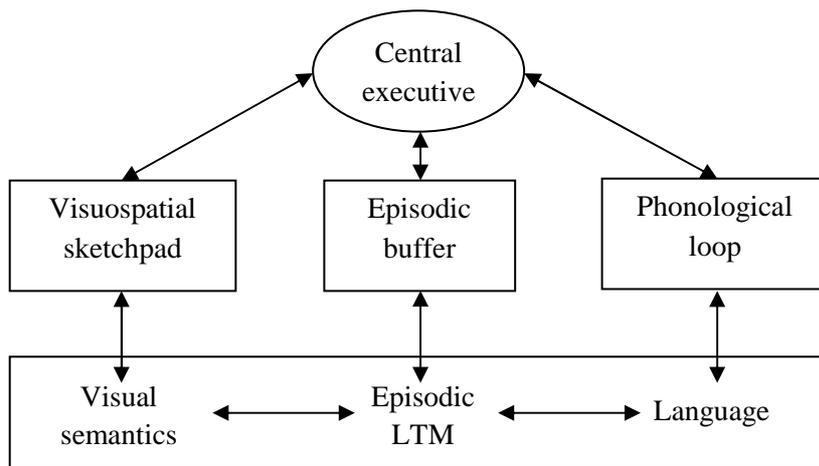


Abbildung 2-12: Gedächtnismodell (nach Baddeley, 2000: Abb. 1).

Das Langzeitgedächtnis hat eine sehr hohe Aufnahmekapazität und die Dauer der Speicherung kann für ein ganzes Leben reichen. Dabei wird zwischen folgenden inhaltlichen Einheiten des Langzeitgedächtnisses unterschieden (vgl. Aufstellungen von Brand, Markowitsch, 2004; Meier, 1999; und Gedächtnismodellen von Squire u. a., 1993; Squire, 1992):

- *Prozedurales Gedächtnis*: Speicherung von motorischen Fähigkeiten und Routinehandlungen (Tulving, 1985).
- *Primingsystem*: Das unbewusste Erkennen von Objekten oder Geräuschen aufgrund ihrer wahrgenommenen Charakteristika (Tulving, Schacter, 1990).
- *Perzeptuelles Gedächtnis*: Das bewusste Erkennen von Objekten oder Geräuschen aufgrund ihrer wahrgenommenen Charakteristika (Tulving, Schacter, 1990).
- *Semantisches Gedächtnis*: Das Wissenssystem, das Weltwissen und Fakten kontextfrei abspeichert (Tulving, 1972).
- *Episodisches Gedächtnis*: Speicherung von persönlichen Erlebnissen mit Raum-/Zeitbezug und emotionalem Anteil (Tulving, 1972).

Für die Aufnahme von Informationen in das Langzeitgedächtnis wird zwischen folgenden Prozessen unterschieden (Brand, Markowitsch, 2004):

- Die Einspeicherung (Enkodierung) von Informationen,
- die Konsolidierung (Festigung) und Ablagerung von Informationen durch Einbettung in bereits bestehende Netzwerke von Gedächtniseinheiten, und
- den Abruf (Erinnerung) von Informationen.

### 2.3.2 Cognitive Load Theorie

Die Cognitive Load Theorie (CLT) wurde von Chandler und Sweller (1991) anhand empirischer Untersuchungen entwickelt. Dabei ist Lernen mit kognitiver Belastung verbunden. Je niedriger die kognitive Belastung ist, umso besser ist der Lerneffekt. Das Arbeitsgedächtnis ist für die Informationsverarbeitungsprozesse verantwortlich, das Langzeitgedächtnis hält die verarbeiteten Informationen in Schemata vor. Restriktiv für den Lernprozess sind die Limitierungen, die das Arbeitsgedächtnis und das Langzeitgedächtnis haben. Ist die kognitive Belastung beispielsweise

## 2. Grundlagen

größer als der Speicher im Arbeitsgedächtnis, entsteht eine Überlastung und der Lerneffekt wird negativ beeinflusst.

Die Kapazität und Vorhaltezeit des Arbeitsgedächtnisses ist beschränkt. Laut Miller (1956) kann das Kurzzeitgedächtnis sieben plus/minus zwei Informationen gleichzeitig speichern oder zwei bis vier Informationen gleichzeitig verarbeiten. Peterson und Peterson (1959) fanden heraus, dass ohne Wiederholung die Informationen im Kurzzeitgedächtnis innerhalb von zwanzig Sekunden verloren gehen. Lernen ist definiert als die Änderung von Schemata im Langzeitgedächtnis. Neue Informationen werden im Arbeitsgedächtnis verarbeitet und als Schemata im Langzeitgedächtnis gespeichert und mit anderen Schemata verknüpft. Schemata sind kognitive Konstrukte, die es erlauben, mehrere Informationen als eine Einheit zu kategorisieren.

Es existieren drei verschiedene Faktoren, die zusammen die kognitive Belastung bestimmen: die lernbezogene (germane), die extrinsische (extraneous) und die intrinsische (intrinsic) Belastung (loads). Die verschiedenen Faktoren sind additiv und bestimmen gemeinsam die kognitive Belastung beim Lernprozess (vgl. Sweller, 2005). Die lernbezogene Belastung ist direkt mit dem Lernprozess verbunden. Die kognitive Belastung besteht aus dem Verstehen des Lernmaterials und dem Aufbau von Schemata im Langzeitgedächtnis. Belastungsfaktoren, die das Lernen zum Positiven oder Negativen beeinflussen, sind die Aufbereitung des Lernmaterials, die Aufmerksamkeit, das Vorwissen und die Motivation des Lernenden.

Die extrinsische Belastung wird verursacht durch falsche Aufbereitung des Lernmaterials, wenn Limitierungen des Arbeitsgedächtnisses und der Vorgang des Aufbaus von Schemata im Langzeitgedächtnis nicht beachtet werden. Ist die Darstellung des Lernmaterials fehlerhaft, muss zu viel Zeit auf die Informationssuche aufgewendet werden. Auch zu viele unnötige Wiederholungen und Erklärungen erhöhen die kognitive Belastung. Durch die Anwendung der Multimediaprinzipien (Sweller, 2005; vgl. Kapitel 2.3.4) kann die extrinsische Belastung gesenkt werden. Die intrinsische Belastung entsteht durch den Lerninhalt selber. Je schwerer der Inhalt, desto höher die Belastung. Je mehr die einzelnen Lerninhalte miteinander verknüpft sind und interagieren, umso höher ist die kognitive Belastung (vgl. Sweller, 2003).

### 2.3.3 Duale Kodierungstheorie

Die duale Kodierungstheorie geht auf Paivio (1986) zurück. Er stellt ein Modell für die kognitive Verarbeitung von Texten und Bildern auf. Dabei geht er von der Hypothese aus, dass zwei unabhängige kognitive Systeme existieren: das verbale und das bildliche System (vgl. Abbildung 2-13). Bei der Verarbeitung von Texten werden diese im verbalen System kodiert. Bilder hingegen werden bei nicht zu kurzen Präsentationszeiten doppelt kodiert abgespeichert, einmal im bildlichen System und zusätzlich im verbalen System. Die duale Kodierung bei Bildern führt dabei zur besseren Memorierung als die einfache Kodierung von Text. Zudem ist der Größenvergleich von Objekten in grafisch kodierter Form schneller als bei Wörtern, da das bildliche System für den Vergleich verantwortlich ist.

## 2. Grundlagen

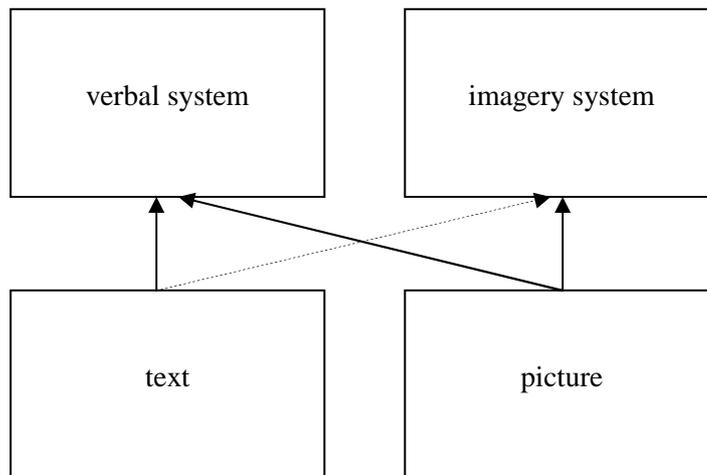


Abbildung 2-13: Duale Kodierung (nach Paivio, 1986).

### 2.3.4 Das CTML-Modell

Basierend auf der dualen Kodierungstheorie nach Paivio (1986), der Theorie der kognitiven Belastung nach Chandler und Sweller (1991) und der Theorie des aktiven Prozesses (Mayer, 2001; Wittrock, 1989) stellt Mayer (2001, 2005) eine Theorie des multimedialen Lernens auf: Aus psychologischer Sicht versteht man darunter das kombinierte Erfassen und Verstehen von Text und Bildern. Dabei wird Text als Synonym für gesprochene und geschriebene Sprache gebraucht. Webbasiertes multimediales Lernen verschiebt Texte und Bilder in den Kontext des Computers und des Internets. Beim multimedialen Lernen werden verschiedene externe Repräsentationen wie gesprochener oder geschriebener Text, Zeichnungen, Bilder, Fotos, Diagramme, Klang oder Ton als Informationsquelle für die Bildung eines internen mentalen Modells genutzt. Das mentale Modell wird zuerst im Arbeitsgedächtnis gebildet und dann in das Langzeitgedächtnis überführt.

Die kognitive Theorie des multimedialen Lernens (Mayer, 2005) basiert auf drei Annahmen zum menschlichen Lernprozess:

1. *Duale Kodierung*: Das menschliche Informationsverarbeitungssystem hat zwei Kanäle für die Verarbeitung von Text und Bild, den visuellen/bildlichen Kanal und den auditiven/verbalen Kanal.
2. *Begrenzte Kapazität*: Jeder Kanal hat eine begrenzte Kapazität für die Verarbeitung und Speicherung von Informationen.
3. *Aktiver Prozess*: Bedeutsames Lernen besteht aus einem Paket von fünf kognitiven Prozessen.

Die fünf kognitiven Prozesse aus Punkt 3 sind Folgende:

1. Auswahl der relevanten Wörter aus dem Text.
2. Auswahl der relevanten Bildinhalte aus dem Bild.
3. Strukturierung der relevanten Wörter zu einer kohärenten verbalen Repräsentation.
4. Strukturierung der Bildinhalte zu einer kohärenten bildlichen Repräsentation.
5. Integration der verbalen und bildlichen Repräsentation zu einem Modell mit Hilfe von Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis.

Abbildung 2-14 zeigt das Modell der kognitiven Theorie des multimedialen Lernens nach Mayer (2005). Die einzelnen Boxen repräsentieren die verschiedenen Gedächtnisstufen: sensorisches Gedächtnis, Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis. Text und Bilder werden im Rahmen einer Multimediapräsentation in das sensorische Gedächtnis überführt. Texte werden als geschriebene und

## 2. Grundlagen

gesprochene Sprache über die Wahrnehmung durch Augen und Ohren in das visuelle und auditive sensorische Arbeitsgedächtnis abgelegt. Bilder werden über die Augen in das visuelle sensorische Arbeitsgedächtnis abgelegt. Das sensorische Gedächtnis kann das genaue Abbild von Text- oder Bildfragmenten für sehr kurze Zeit speichern.

Auf der folgenden Stufe findet im Arbeitsgedächtnis der kognitive Prozess zur Auswahl von relevanten Wörtern oder Bildinhalten statt. Dabei wird aktiv ein Fokus auf bestimmte Wörter oder Bildinhalte gelenkt und in das Arbeitsgedächtnis für Ton oder Bild übernommen. Text kann dabei als gesprochene oder geschriebene Sprache über Ohren und Augen aufgenommen werden und wird in dem Arbeitsgedächtnis für Ton oder Bild verarbeitet. Durch kognitive Prozesse kann ein Austausch zwischen dem verbalen und auditiven Arbeitsgedächtnis stattfinden, wenn zu Wörtern mental Klangbilder konstruiert oder wenn Klangbildern Wörter zugeordnet werden. Der Selektionsprozess ist aufgrund der begrenzten Kapazität der Kanäle notwendig. Dabei ist der Selektionsprozess ein aktiver Prozess, da der Lernende entscheiden muss, welche Inhalte fokussiert werden.

Im nächsten Schritt werden die internen Repräsentationen aus dem Arbeitsgedächtnis für Ton und Bild in zwei getrennte mentale Modelle integriert: ein verbales und ein bildliches, mentales Modell. Diese werden dann mithilfe von Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis zu einem integrierten mentalen Modell zusammengeführt.

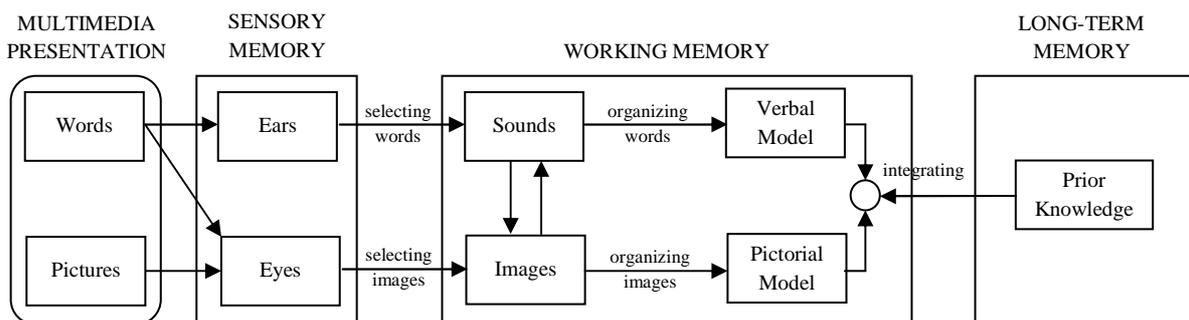


Abbildung 2-14: Kognitive Theorie des multimedialen Lernens (nach Mayer, 2005: Abb. 3-2).

Basierend auf einer Vielzahl von empirischen Untersuchungen stellt Mayer in *Cognitive Theory of Multimedia Learning* von 2005 die grundlegenden Prinzipien des multimedialen Lernens vor:

- *Prinzip der dualen Kodierung (multimedia principle)*: Der Lerneffekt ist höher bei einer integrierten Darstellung von Text und Bild als nur bei Text.
- *Prinzip der räumlichen Nähe oder Kontiguitätsprinzip I (split-attention principle, spatial contiguity principle)*: Eine integrierte Präsentation von Text und Bild ist besser als eine getrennte Darstellung. Text und Bild sollten in der Präsentation nahe beieinander stehen.
- *Prinzip der simultanen Darstellung oder Kontiguitätsprinzip II (temporal contiguity principle)*: Die gleichzeitige Darstellung von Text und Bild ist besser als eine sukzessive Präsentation von Text und Bild.
- *Multimodalitäts-Prinzip oder Modalitätsprinzip (modality principle)*: Die audiovisuelle Darstellung von Bild und Text ist besser als geschriebener Text mit einem Bild.
- *Kohärenz-Prinzip (coherence principle)*: Irrelevante, visuelle oder akustische Informationen beeinträchtigen die Lernleistung.

## 2. Grundlagen

- *Redundanz-Prinzip (redundancy principle)*: Die audiovisuelle Darstellung von Bild ist besser als eine redundante Darstellung von Bild, Ton und Text. Die gleichzeitige Darstellung von geschriebenem und gesprochenem Text beeinträchtigt den Lernerfolg.

### 2.3.5 Das ITPC-Modell

Schnotz (2005) vereint verschiedene Modelle und Konzepte aus den Bereichen duale Kodierung, multimediales Lernen und einer kognitiven Architektur mit mehreren Gedächtnisstufen in einem integrierten Modell des Text- und Bildverständnisses. Basis ist ein Zweikanalmodell (Schnotz, Bannert, 2003) ähnlich dem Paivios (1986), bei dem zwischen externen und internen Repräsentationen unterschieden wird (vgl. Abbildung 2-15).

Bei der externen Repräsentation wird differenziert zwischen Deskriptionen und Depiktionen. Deskriptionen bestehen aus Symbolen, die auf Konventionen beruhen und keine Ähnlichkeit mit dem Bezeichneten haben. Beispiele sind mathematische Formeln oder Text als das gängigste Zeichensystem. In Texten werden Substantive als Symbole für Objekte, Verben als Symbol für Relationen und Adjektive als Symbol für Attribute genutzt. Depiktionen bestehen aus Ikonen und sind Repräsentationen mit Ähnlichkeiten zu dem Bezeichneten; bspw. Fotografien, Zeichnungen, Bilder oder Karten besitzen eine Analogie zu dem Abgebildeten.

Interne Repräsentationen entstehen durch die Perzeption und kognitive Verarbeitung. Beim Lesen von Text entstehen drei mentale Repräsentationsformen:

1. *Oberflächenstruktur (text surface representation)*: Der Text kann wiedergegeben werden, wurde aber noch nicht verstanden.
2. *Propositionale Repräsentation (propositional representation)*: Die Ideen und Konzepte des Textes können unabhängig von der Wortwahl und der Syntax des Textes wiedergegeben werden.
3. *Mentales Modell (mental model)*: Einzelne Ideen und Konzepte werden zu einem mentalen Modell zusammengefügt.

Beim Erfassen von Bildern entstehen zwei bzw. drei mentale Repräsentationsformen:

1. *Repräsentation der Wahrnehmung (perceptual representation)*: Es wird eine interne Abbildung des Bildes angelegt.
2. *Mentales Modell (mental model)*: Aus dem internen Bild wird ein mentales Modell gebildet, das die Informationen aus dem Bild zu einem Modell zusammenfügt, aus dem mentalen Modell können dann spezifische Informationen abgeleitet werden, die als Propositionen enkodiert werden.

Auch in der internen Repräsentation wird unterschieden zwischen deskriptiven und depiktiven Repräsentationen. Deskriptiv sind dabei die Oberflächenstruktur und die propositionale Repräsentation, da sie Symbole zur Beschreibung nutzen. Depiktiv ist das mentale Modell, da es eine ikonische Repräsentation ist, die eine analoge Struktur zum Sachverhalt hat.

## 2. Grundlagen

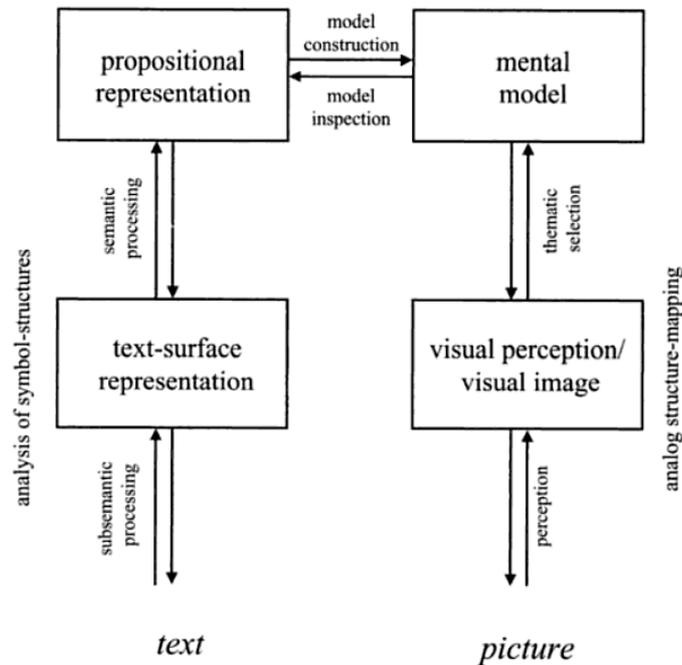


Abbildung 2-15: Zweikanalmodell (aus Schnotz, 2005: Abb. 4.2).

Schnotz verbindet nun die Modelle und ordnet die Prozesse auf den Ebenen der sinnlichen Wahrnehmung, des Arbeitsgedächtnisses und des Langzeitgedächtnisses an (vgl. Abbildung 2-16). Das Arbeitsgedächtnis hat dabei eine begrenzte Aufnahmefähigkeit.

Auf der Ebene der sinnlichen Wahrnehmung gibt es zwei Wahrnehmungskanäle. Gesprochener Text und Geräusche gelangen durch das Ohr über den auditiven Kanal in das auditive Arbeitsgedächtnis. Geschriebener Text und Bilder gelangen durch die Augen über den visuellen Kanal in das visuelle Arbeitsgedächtnis. Die Wahrnehmungskanäle haben eine begrenzte Aufnahme- und Verarbeitungskapazität.

Im Arbeitsgedächtnis findet die Verarbeitung in zwei weiteren Kanälen statt: dem verbalen und dem bildlichen Kanal. Gesprochene oder geschriebene Sprache wird im verbalen Kanal verarbeitet. Visuelle Bilder und Ton werden im bildlichen Kanal verarbeitet und in propositionale Strukturen oder mentale Modelle verarbeitet. Auch diese Kanäle haben eine beschränkte Aufnahme- und Verarbeitungskapazität.

Das Langzeitgedächtnis unterstützt den Prozess der Verarbeitung in propositionale Strukturen und mentale Modelle durch Vorwissen, das für die Verarbeitung benötigt wird. So sind für das Verstehen von geschriebenem Text die Kodierung der Symbole und die Syntaxstruktur notwendig. Das Verstehen von Bildern kann durch Vorwissen vereinfacht werden.

In dem Modell kann zwischen Perzeption und Kognition unterschieden werden. Die Perzeption findet beim Transfer von Information von der Außenwelt durch den auditiven und visuellen Wahrnehmungskanal in das Arbeitsgedächtnis statt. Die kognitive Informationsverarbeitung findet im Arbeitsgedächtnis mithilfe von Langzeitgedächtnis in den verbalen und bildlichen Kanälen statt.

## 2. Grundlagen

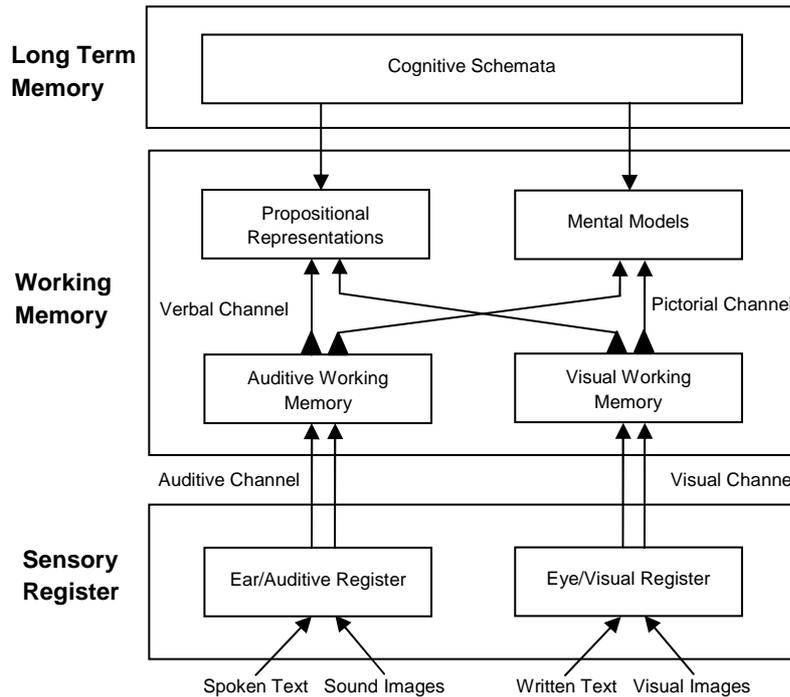


Abbildung 2-16: Integriertes Modell des Text- und Bildverständnisses (nach Schnotz, 2005: Abb. 4.3).

Beim Lesen von Text wird die Information über das Auge aufgenommen und durch den visuellen Kanal in das visuelle Arbeitsgedächtnis weitergeleitet. Im visuellen Arbeitsgedächtnis befindet sich nun eine Repräsentation der Wahrnehmung. Die verbale Information wird nun herausgefiltert (schwarzes Dreieck in Abbildung 2-16) und über den verbalen Kanal in das Arbeitsgedächtnis für propositionale Repräsentationen geleitet, wo die Bildung oder Erweiterung von Propositionen und mentalen Modellen mithilfe des Langzeitgedächtnisses angestoßen wird.

Beim Hören eines Textes wird die Information über das Ohr aufgenommen und durch den auditiven Kanal in das auditive Arbeitsgedächtnis weitergeleitet. Im visuellen Arbeitsgedächtnis befindet sich nun eine Repräsentation der Wahrnehmung. Die verbale Information wird wieder herausgefiltert und weiter verarbeitet, analog zum Vorgang beim Lesen von Texten.

Beim Erfassen von Bildern wird die Information über das Auge aufgenommen und durch den visuellen Kanal in das visuelle Arbeitsgedächtnis weitergeleitet und dort repräsentiert. Die bildliche Information wird herausgefiltert und durch den bildlichen Kanal in das Arbeitsgedächtnis für mentale Modelle geleitet, wo sich ein mentales Modell mithilfe des Langzeitgedächtnisses bildet oder wo dieses erweitert wird. Aus dem mentalen Modell können dann wieder Propositionen abgeleitet werden.

Beim Erfassen von Ton wird die Information über das Ohr aufgenommen und durch den auditiven Kanal in das auditive Arbeitsgedächtnis weitergeleitet. Aus der nun hier befindlichen Repräsentation der Wahrnehmung wird die hörbildliche Information herausgefiltert und durch den bildlichen Kanal in das Arbeitsgedächtnis für mentale Modelle geleitet, wo sich ein mentales Modell mithilfe des Langzeitgedächtnisses bildet oder wo dieses erweitert wird. Aus dem mentalen Modell können auch hier wieder Propositionen abgeleitet werden.

## 2. Grundlagen

Sinnvolles Lernen aus Texten und Bildern ist folglich laut Schnotz die Gesamtleistung aus kognitiven Prozessen wie Selektieren und Organisieren der Information, Aktivierung von Vorwissen und die Integration von Wissen aus verschiedenen Quellen, die zu einer propositionalen Repräsentation und zu einem mentalen Modell führen. Beim Verständnis von visuellen Bildern beispielsweise, werden relevante bildliche Informationen aus einer Zeichnung, Karte oder einem Diagramm als externe Quelle selektiert und organisiert. Vorwissen wird als interne Quelle genutzt, was zur Bildung eines mentalen Modells führt, mit dessen Hilfe neues Wissen in propositionale Repräsentation überführt werden kann.

Basierend auf dem ITPC-Modell trifft Schnotz mehrere Voraussagen, die sich mit den vorliegenden empirischen Studien decken sollen (vgl. Schnotz, 2005: S. 62ff) und die Prinzipien des multimedialen Lernens entweder erweitern oder einschränken:

- Bilder verbunden mit gesprochenem Text führen zu einem besseren Lerneffekt, da der gesprochene Text über den auditiv-verbale Kanal und das Bild über den visuellen-bildlichen Kanal gleichzeitig verarbeitet werden können (multimedia principle).
- Werden Bild und Text kombiniert, so sollten sie räumlich nah beieinander stehen (spatial contiguity principle).
- Es ist besser ein passendes Bild vor der Textlektüre als nach der Textlektüre zu präsentieren.
- Ungeübte Leser profitieren mehr von Illustrationen in geschriebenen Texten als geübte Leser.
- Das Konzept der dualen Kodierung geht davon aus, dass die Kombination von Bildern und Text immer zu besseren Lerneffekten führt. Nach dem ITPC-Modell ergeben sich aber ggf. Synchronisations- und Ablenkungsstörungen.
- Bilder verbunden mit gesprochenem und geschriebenem Text führen zu einem schlechteren Lerneffekt, da Leser den Text oft schneller lesen können, als er gesprochen wird und sich dadurch Synchronisationsprobleme zwischen gelesenen und gesprochenem Text ergeben (specific redundancy effect).
- Redundanz durch mehrere Quellen wie Text und Bild führt bei Lernenden mit großem Vorwissen zu schlechten Lerneffekten, da beide Informationen über den visuellen Kanal aufgenommen werden müssen und die Aufmerksamkeit des Lernenden zwischen den beiden Quellen geteilt werden muss (general redundancy effect).
- Visualisierungen müssen für die Aufgabe geeignet sein. Nicht geeignete Visualisierungen führen bei Lernenden mit geringem Vorwissen zu Schwierigkeiten bei der Bildung eines mentalen Modells, da die Visualisierung nicht direkt in ein mentales Modell umgewandelt werden kann. Bei Lernenden mit Vorwissen und existentem mentalen Modell kann es zu Schwierigkeiten bei der Einordnung der Visualisierung in das existente Modell kommen.
- Da das ITPC-Modell unterschiedliche Wege für Text- und Bildverständnis hat, besteht die Möglichkeit, Text- durch Bildverständnis oder umgekehrt zu ersetzen. So können zur Bildung eines mentalen Modells nur Text oder nur Bild herangezogen werden.
- Bei der Integration von mehreren Lernquellen müssen Vorteile und Kosten immer gegeneinander abgewogen werden. Mehrere externe Quellen bedeuten eine erhöhte kognitive Last, welche die Vorteile mehrerer Quellen nicht immer ausgleichen können.

## 2. Grundlagen

### 2.3.6 Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen dem ITPC-Modell und dem CTML-Modell

Die Modelle von Schnotz (ITPC-Modell) und Mayer (CTML-Modell) sind fast deckungsgleich und unterscheiden sich nur in wenigen Aspekten. Beide Modelle basieren auf einer kognitiven Architektur, die aus mehreren Gedächtnisformen mit limitierten Kapazitäten und Kanälen für die Verarbeitung und Speicherung von Information nach dem Konzept der dualen Kodierung besteht. Die Modelle unterscheiden sich jedoch in folgenden zwei Aspekten. Im CTML-Modell wird ausgegangen von einem kombinierten auditiv-verbale Kanal und einem visuell-bildlichen Kanal, der die Ebenen der Sinneswahrnehmung und Repräsentation im Arbeitsgedächtnis zusammenführt. Im ITPC-Modell dagegen sind die beiden Ebenen und die darin enthaltenen Kanäle getrennt. Auf der Ebene der sinnlichen Wahrnehmung existieren der auditive und der visuelle Kanal und auf Ebene des Arbeitsgedächtnisses der verbale und bildliche Kanal. Information kann beim Lesen von geschriebenem Text durch das Auge über den visuellen Kanal in das Arbeitsgedächtnis gelangen und dann weiter im verbalen Kanal verarbeitet werden. So sind alle Kombinationen von Kanälen möglich, was die Verarbeitung von Information als gesprochener und geschriebener Text, von Bildern und Ton möglich macht. Zudem geht Mayer von der Bildung getrennter mentaler Modellen für verbale und bildliche Information aus („verbal model“ und „pictorial model“), die mithilfe des Langzeitgedächtnisses im Arbeitsgedächtnis integriert werden. Das ITPC-Modell unterscheidet nicht explizit zwischen zwei getrennten mentalen Modellen.

Das Prinzip der dualen Kodierung nach Mayer macht die Annahme, dass der Lerneffekt höher bei einer integrierten Darstellung von Text und Bild ist als nur bei Text. Visualisierungen unterstützen also den Lerneffekt, da Text und Bild über zwei getrennte Kanäle verarbeitet werden. Beide Modelle sagen voraus, dass Visualisierungen dazu genutzt werden, um ein mentales Modell beim Nutzer zu bilden. Basierend auf der Annahme, dass Text- durch Bildverständnis ersetzt und zur Bildung eines mentalen Modells nur Text oder nur Bild herangezogen werden kann, können Visualisierungen für die Bildung eines mentalen Modells herangezogen werden.

Schnotz grenzt im ITPC-Modell die Umstände, unter denen diese Vorteile der dualen Kodierung wirken, ein. Ungeübte Leser profitieren mehr von Illustrationen in geschriebenen Texten als geübte Leser. Weiterhin müssen Visualisierungen für die Aufgabe geeignet sein. Es kann zu Schwierigkeiten bei der Bildung eines mentalen Modells oder bei der Einordnung in ein bestehendes mentales Modell kommen, wenn Visualisierungen nicht aufgaben- und nutzeradäquat eingesetzt werden.

### 2.3.7 Kognitive Verarbeitung von Visualisierungen

In den bisherigen Modellen wurde die kognitive Informationsverarbeitung von verschiedenen Modalitäten wie Text und Bild unter Berücksichtigung von Gedächtnismodellen und -limitierungen besprochen und erläutert, welche Effekte sich auf den Lerneffekt ergeben. In den folgenden Abschnitten wird tiefer darauf eingegangen, wie Visualisierungen von einfachen Diagrammen bis zu komplexen Visualisierungen kognitiv verarbeitet werden und welche Effekte sich daraus ergeben.

## 2. Grundlagen

Bertin (1983) unterscheidet drei Hauptprozesse bei der Verarbeitung von Diagrammen und Visualisierungen:

1. Die Identifikation und Enkodierung der visuellen Elemente einer Grafik und die Zuweisung zu konzeptionellen oder realen Referenten über die der Graph Informationen übermittelt (external identification).
2. Die Identifikation der möglichen Varianten, welche die visuellen Elemente einnehmen können und zu welcher konzeptuellen Variable oder Skalierung sie gehören (internal identification).
3. Aus der Anordnung der visuellen Elemente kann nun interpretiert werden, welche Bedeutung sie für die konzeptuellen Variablen haben (perception of correspondence).

Cleveland und McGill (1984, 1986) untersuchen die psycho-physikalischen Aspekte der grafischen Wahrnehmung. Sie untersuchen die Frage, wie Informationen die in Graphen enkodiert angezeigt werden, im menschlichen Gehirn wieder dekodiert werden. Dabei unterscheiden sie zwischen grundlegenden Operationen für die Extraktion von quantitativen Informationen aus Graphen und messen ihre Genauigkeit. Die elementaren Wahrnehmungsleistungen („elementary perceptual tasks“) geordnet nach Genauigkeit der menschlichen Wahrnehmung sind folgende (Cleveland, McGill, 1984: S. 536):

1. Position auf einer gemeinsamen Skala
2. Position auf mehreren identischen Skalen bei unterschiedlicher Anordnung
3. Länge, Richtung, Winkel
4. Flächengröße
5. Volumen, Krümmung
6. Schattierung, Farbton

Dabei werden die Wahrnehmungsleistungen kombiniert für das Lesen von verschiedenen Diagrammtypen angewandt. In Linien- oder Streudiagrammen wird zum Beispiel der erste Task „Position auf einer gemeinsamen Skala“ genutzt. Kombinierte Faktoren wie Winkel, Flächengröße oder Bogenlängen werden in Kreisdiagrammen eingesetzt, Farbschattierungen zum Beispiel in einer statistischen Karte. Im ersten Experiment (Cleveland, McGill, 1984) zeigen sie, dass die Positionsbeurteilung genauer ist als die Längenbeurteilung bei Faktoren zwischen 1,4 und 2,5 und dass die Positionsbeurteilung um den Faktor zwei genauer ist als die Winkelbeurteilung. In einem weiteren Experiment (Cleveland, McGill, 1986) mit einfachen Diagrammen ordnen sie die Genauigkeit der Wahrnehmungsleistungen nach 1. Position, 2. Länge, 3. Winkel und Neigung und 4. Flächengröße.

Kosslyn (1989) präsentiert das Standardmodell der visuellen Informationsverarbeitung (vgl. Spoehr & Lehmkuhle, 1982 zitiert in Kosslyn, 1989). Hier werden drei Stufen der visuellen Informationsverarbeitung unterschieden (vgl. Abbildung 2-17). Auf erster Stufe steht das wahrgenommene Bild (perceptual image), das sensorische Aspekte wie Kanten und Regionen enthält, solange man auf das Display schaut. Im Kurzzeitgedächtnis (short-term memory) erfolgt die Zwischenspeicherung des wahrgenommenen Bildes. Die Kapazität ist limitiert in Dauer und Anzahl der Informationen, die vorgehalten werden können. Zur Interpretation des Bildes wird vorher gelerntes Wissen aus dem Langzeitgedächtnis (long-term memory) abgerufen und im Kurzzeitgedächtnis findet die Reorganisation und Reinterpretation der Information statt. Im Langzeitgedächtnis wird eine große Anzahl an Informationen für eine lange Zeit gespeichert. Verschiedene Eigenschaften beeinflussen das Ablesen von Graphen, Diagrammen und anderer visueller Reize: (1) *Unterscheidbarkeit* (Discriminability): Ist der Stimulus zu klein oder hebt sich nicht genug ab, so wird er übersehen. (2) *Verzerrung* (Distortion): Verzerrung bei der Wahrnehmung von Eigenschaften von Objekten wie

## 2. Grundlagen

Größe und andere. (3) *Anordnung* (Organization): Stimuli werden bei der Wahrnehmung automatisch in Gruppen und Einheiten organisiert (Gestalt-Gesetze). (4) *Priorität* (Priorities): Manchen Eigenschaften von Stimuli wird mehr Beachtung geschenkt, zum Beispiel: Hervorhebung, starke Farbgebung etc.

Die Kapazitätslimitierung des Kurzzeitgedächtnisses limitiert das Vorhalten und die Verarbeitung von Informationen. Information im Kurzzeitgedächtnis wird im Langzeitgedächtnis enkodiert und mit bestehendem Wissen abgeglichen und interpretiert. Auf diese Weise können zum Beispiel auch abfallende Linien in einem Liniendiagramm als Abwärtstrend identifiziert werden.

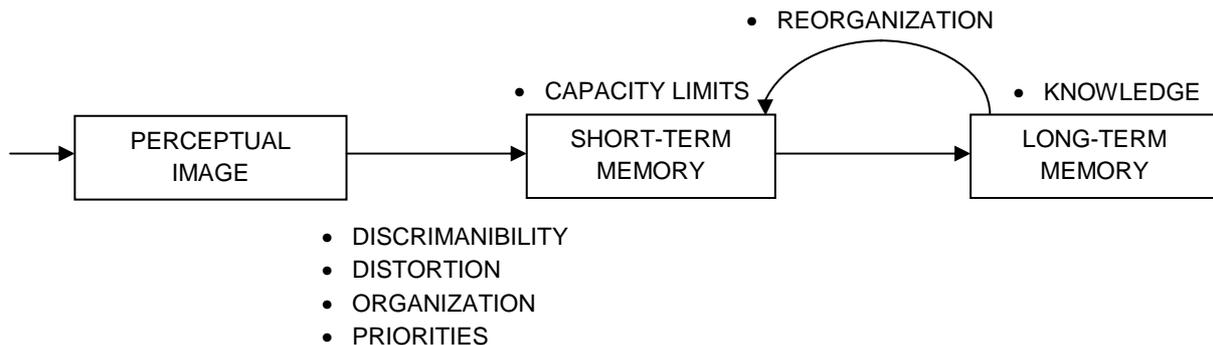


Abbildung 2-17: Drei Stufen des visuellen Informationsverarbeitungsprozesses (nach Kosslyn, 1989: Abb. 2).

Darauf baut Pinkers Modell der Graphenwahrnehmung (Pinker, 1990) auf (vgl. Abbildung 2-18). Der Graph wird im visuellen Array (visual array) als weitgehend unverarbeitete, visuell-bildliche Repräsentation gespeichert. Mithilfe von visuellen Enkodierungsprozessen wird die Repräsentation in eine symbolische Repräsentation (symbolic representation) oder strukturierte Beschreibung (structural description) der Szene umgewandelt. In der Beschreibung werden die einzelnen Elemente der Szene (z.B. Legende, Achsen, Linien usw.), ihre Eigenschaften (Größe, Position, Form, Farbe, Textur usw.) und ihre räumliche Zuordnung untereinander in separate Symbole kodiert. Übergeordnete Kognitionsprozesse müssen dann nur auf die Symbole zurückgreifen, die für den aktuellen Verarbeitungsschritt benötigt werden. Bei der kognitiven Verarbeitung existieren verschiedene Prozesse:

- Der *Match-Prozess* erkennt individuelle Graphen als zugehörig zu einem bestimmten Typ, welche im Langzeitgedächtnis gespeichert sind und instanziiert ein Graphenschema im Kurzzeitgedächtnis. Dabei werden Parameter im Schema durch Konstanten in der visuellen Beschreibung ersetzt. Das instanziierte Graphenschema ist dabei durch die Kapazitätsgrenzen des Kurzzeitgedächtnisses beschränkt.
- Beim Prozess der Informationsenkodierung (message assembly) wird grafische Information in konzeptuelle Information übersetzt. Diese kann (je nach Komplexität des Graphen) als Liste von n-Tupeln gespeichert werden (z.B.  $\{V_1 \text{ absolute-value} = \text{January}, V_2 \text{ absolute-value} = \$20/\text{oz}\}$  für die Information, dass in einem Balkendiagramm der Wert  $\$20/\text{oz}$  für Januar abzulesen ist).
- *Interrogation*: Konzeptuelle Fragen werden wiederum top-down aufgelöst. Dafür wird ein Parameter als Variable gesetzt:  $\{V_1 \text{ absolute-value} = \text{March}, V_2 \text{ absolute-value} = ?\}$ ;  $V_1$  in das entsprechende visuelle Element enkodiert und überprüft, ob es in der visuellen Beschreibung existiert.
- *Konzeptuelle Informationen*: Informationen, die aus dem Graphen abgeleitet werden.
- *Konzeptuelle Fragen*: Informationen, die aus dem Graphen abgeleitet werden *sollen*.

## 2. Grundlagen

- Inferenzprozesse: Inferenzprozesse können aus den konzeptuellen Nachrichten mithilfe von mathematischen und logischen Inferenzregeln weitere konzeptuelle Fragen bilden, die nicht direkt aus dem Graph abgelesen werden können.

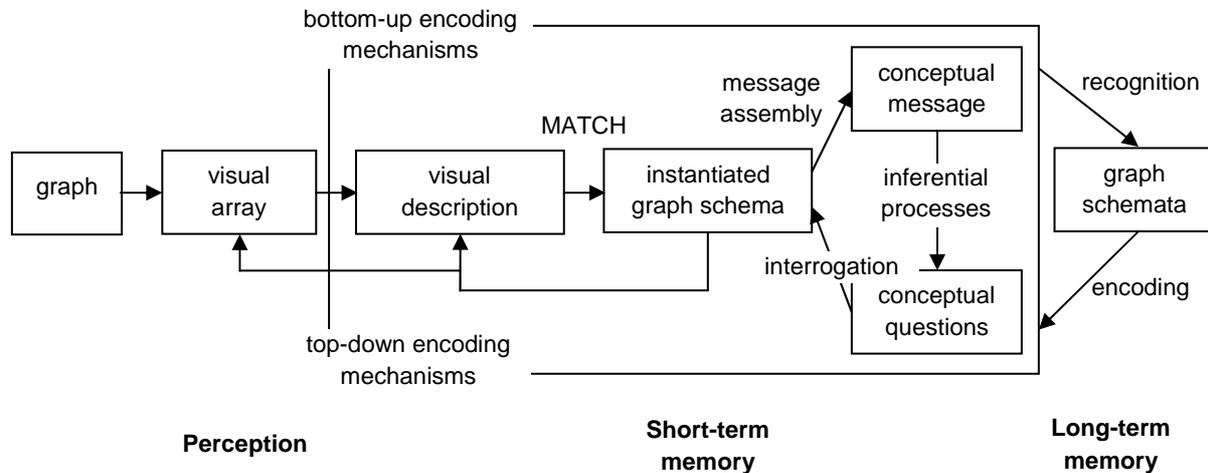


Abbildung 2-18: Pinkers Modell der Graphenwahrnehmung (nach Lohse, 1991A: Abb. 3.1 adaptiert von Pinker 1990: Abb. 4.19).

Lohse (1993) entwickelt ein Computerprogramm namens UCIE (Understanding Cognitive Information Engineering), das die grafische Informationsverarbeitung simuliert. Einzelne Komponenten des Modells sind dabei (1) Sequenzen von Augenfixierungen, (2) Limitierungen in der Kapazität und Vorhaltezeit im Kurzzeitgedächtnis, sowie (3) der Schwierigkeitsgrad der Informationsverarbeitung in jedem Schritt. Dabei wird auch Pinkers Modell des instantiierten Graph-Schemas genutzt. UCIE (a) bildet den Graph, (b) analysiert die Anfrage, (c) modelliert den menschlichen Informationsverarbeitungsprozess und (d) weist jedem Schritt Zeitspannen zur Verarbeitung zu. Durch die Bildung der Summe der Zeitspannen, die für jeden Teilschritt benötigt wird, prognostiziert UCIE die Gesamtzeit des Verarbeitungsprozesses.

In einer Nutzerstudie stellen Carpenter und Shah (1998) fest, dass Nutzer mit der Augenfixierung zwischen verschiedenen Bereichen im Graphen wie visuellen Elementen, Achsen, der Legende, Titel usw. wechseln. Für jedes visuelle *chunk* bewegt sich die Augenfixierung zwischen diesen Bereichen, was folgern lässt, dass Nutzer zwischen verschiedenen Stufen der Verarbeitung iterieren. Wenn die Komplexität des Graphs erhöht wird (Erhöhung der chunks), erhöht sich auch die Bewegung zwischen den Regionen des Graphs, d.h. für jeden chunk wird eine Verarbeitungsiteration benötigt. Mehrere Zyklen der Verarbeitung werden benötigt, um Informationen zu integrieren.

Ratwani et al. (2008) führen mehrere Experimente durch, um zu zeigen, dass die Integration während der kognitiven Verarbeitung von Graphen zwei Komponenten hat: (1) Die visuelle Integration basiert auf wahrgenommenen Merkmalen (Farbe, Nähe, semantische Nähe usw.). Die individuellen Datenpunkte werden visuell integriert, um Cluster höherer Ordnung zu bilden. (2) Die kognitive Integration macht es möglich, visuelle Cluster direkt zu vergleichen, was einen neuen Prozess darstellt. Wenn die Komplexität des Graphs erhöht wird, werden mehr Zyklen von visueller Clusterbildung und deren Vergleichen benötigt. Je komplexer ein Graph ist, umso mehr wird integriert, was einen zyklischen Prozess darstellt.

## 2. Grundlagen

Auch Ware (2005) unterstützt die Annahme, dass nicht ein komplettes Modell der visuellen Beschreibung im Gedächtnis vorgehalten wird, sondern dass jede konzeptuelle Frage im Sinne Pinkers wieder in der Visualisierung abgelesen wird. Dies beruht auf Untersuchungen, dass auch das visuelle Arbeitsgedächtnis starken Limitierungen unterworfen ist und beispielsweise nur drei farbige Objekte gleichzeitig speichern kann (Vogel, Woodman & Luck, 2001, zitiert in Ware, 2005).

In einer Nutzerstudie zeigen Trafton et al. (2000), wie Wetterexperten Informationen aus komplexen Visualisierungen extrahieren, Informationen in ein qualitatives Modell integrieren und das mentale Modell nutzen, um quantitative Vorhersagen zu machen. Die bisherigen Modelle beschreiben, wie einfache Visualisierungen mit wenigen Variablen direkt abgelesen werden können. In realen komplexen Visualisierungen dagegen wird (1) oft Domänenwissen benötigt, (2) muss entschieden werden, welche Information angezeigt werden, (3) welche Information extrahiert werden und (4) wie das Wissen weiterverarbeitet wird. Die extrahierten Informationen werden dann von den Wissenschaftlern für das Ableiten, Generalisieren, Extrapolieren und Vorhersagen genutzt. Die komplexen wissenschaftlichen Visualisierungen enthalten viele Variablen mit unterschiedlichen Skalierungen und Verläufen über die Zeit. Das Informationsverhalten wurde mit einer Kognitiven Task Analyse (CTA) untersucht: Die Wissenschaftler haben (1) sich zuerst einen groben Überblick über Wetterbedingungen gemacht, (2) ein qualitatives mentales Modell (QMM) gebildet, (3) das Modell verifiziert und angepasst und (4) abschließend eine Zusammenfassung der Vorhersage geschrieben. Trafton et al. schlagen vor, dass im konsistenten QMM Informationen aus verschiedenen Quellen und Visualisierungen integriert werden. Dabei werden Informationen verschiedener Modalitäten und Arten integriert. Wissenschaftler haben Informationen aus Diagrammen, Graphen, Bildern und Text extrahiert, in ein mentales Modell integriert und daraus Vorhersagen abgeleitet. Das QMM kann genutzt werden, um quantitative Informationen, qualitative Informationen und What-if-Szenarien zu bilden und Vorhersagen zu machen. Im Gesamtprozess verbraucht die Bildung des QMM die meiste Zeit.

In weiteren Studien (2001; 2002) zeigen Trafton et al., dass Wissenschaftler Information nicht nur ablesen, sondern auch die mentale Vorstellungskraft und räumliche Transformation („spatial transformation“) nutzen, um Information, die nicht in der Visualisierung zu finden ist, zu extrapolieren. Räumliche Transformationen sind kognitive Operationen, die ein Wissenschaftler auf einer Visualisierung anwenden kann. Beispiele sind: mentale Rotation, Erzeugung eines mentalen Bildes, Modifizieren des mentalen Bildes durch das Hinzufügen oder Löschen von Merkmalen, Animation eines Aspekts der Visualisierung, die Vorhersage des Fortgangs einer Zeitreihe, das mentale Verschieben eines Objekts, die Transformation einer 2D- in eine 3D-Ansicht oder umgekehrt und alles andere, was mental durchgeführt werden kann, um ein Problem besser zu verstehen oder zu vereinfachen. Diese Operationen können dabei entweder intern mental ausgeführt werden, aber auch extern (z.B. in einem IV-System). In dem Experiment mit Wissenschaftlern der Astronomie und Physik, die Daten mit Visualisierungen auswerten, wird gezeigt, dass fast genauso viel Information direkt abgelesen wird, wie Information extrapoliert wird, die nicht explizit in der Visualisierung vorhanden ist.

Liu et al. (2008) schlagen *Distributed Cognition* (DC) (vgl. Hutchins, 1980 zitiert in Liu u. a., 2008) als theoretisches Framework für die Informationsvisualisierung, insbesondere für die Komponenten *Repräsentation* und *Interaktion* vor. Die traditionelle Ansicht ist, dass Kognition die Informationsverarbeitung im menschlichen Gehirn ist. Der Fokus der Forschung liegt deshalb darauf, wie Informationen im Gehirn aufgenommen und verarbeitet werden. Dabei wird der Kontext, in dem der Nutzer interagiert, außer Acht gelassen. In DC ist Kognition mehr eine Eigenschaft von Interaktion

## 2. Grundlagen

als eine Eigenschaft des menschlichen Verstands. Tools (zum Beispiel in der Informationsvisualisierung) erlauben es, schwierige Aufgaben in solche zu verwandeln, die mit einfacher, menschlicher (kognitiver) Mustererkennung gelöst werden können. In DC besteht das kognitive System aus Individuen und Artefakten, die sie benutzen: In der Informationsvisualisierung aus Personen, die zusammenarbeiten, den Informationssystemen, Hilfsmitteln wie Maus, Computer, Stift und Block usw. Die beobachtbaren Repräsentationen von Information befinden sich damit auch außerhalb des menschlichen Gehirns, aber innerhalb des kognitiven Systems. Auch bei individueller Analyse mit IV-Systemen existieren enge Kopplungen zwischen internen Repräsentationen wie Schemata, mentalen Modellen, Propositionen, lexikalischen Modellen und mentalen Bildern sowie externen Repräsentationen in der Visualisierung. Wie interne und externe Repräsentationen genau zusammenhängen, bleibt dabei ein offenes Problem in DC. Externe Repräsentationen sind mehr als nur Stimuli, mehr als nur Inputs. In DC ist Interaktion kein Einweg-Prozess von Systemen zu Menschen, sondern Koordination zwischen interner und externer Repräsentationen. Dabei werden Visualisierungen nicht einfach von einem Anfangszustand in einen Endzustand mit Interaktionstechniken gebracht. Sondern es besteht ein andauernder Austausch zwischen intern und extern, wobei externe Repräsentationen auch als Denkhilfen gebraucht werden (zum Beispiel wie bei dem Computerspiel „Tetris“, wo Bausteine als Denkhilfe gedreht werden). Interaktion ist die Propagierung von Repräsentations-Zuständen („representation states“) in einem kognitiven System durch Koordination. Interne und externe Repräsentationen interagieren reziprok und kreieren auch Erkenntnis und konzeptionelle Veränderung.

### 2.3.8 Zusammenfassung

Dieser Abschnitt stellt die grundlegenden menschlichen Mechanismen der Informationsverarbeitung, insbesondere die kognitive Verarbeitung von Visualisierungen vor. Die menschliche Kognition basiert auf dem Aufbau des Gedächtnisses, auf den Theorien der dualen Kodierung und der kognitiven Last. Auf dieser Basis bilden sich zwei leicht unterschiedliche Modelle des multimedialen Lernens, welche die kognitive Verarbeitung von unterschiedlichen Modalitäten wie Text und Bild modellieren und beschreiben, wie die Informationen in einem mentalen Modell enkodiert werden.

Darauf aufbauend wird näher auf kognitive Prozesse für die Verarbeitung von Visualisierungen eingegangen. Die Modelle zeigen die Verarbeitung von Visualisierungen über die verschiedenen Gedächtnisstufen mit der Abrufung von bereits gelernten Schemata aus dem Langzeitgedächtnis. In den Experimenten von Trafton et al. wird gezeigt, dass Wissenschaftler Informationen verschiedener Modalitäten und verschiedener Darstellungsarten wie Diagramme, Graphen, Bilder und Text in einem qualitativen mentalen Modell integrieren.

Die Bildung des mentalen Modells benötigt dabei den längsten Zeitraum im Gesamtprozess. Das mentale Modell kann dann genutzt werden, um Informationen abzuleiten, zu generalisieren, zu extrapolieren und um Vorhersagen zu machen. Räumliche Transformation wird genutzt, um Information, die nicht explizit in der Visualisierung abzulesen ist, zu extrapolieren (Trafton u. a., 2002). Liu et al. betont die enge Kopplung zwischen externer Repräsentation der Information im IV-System und interner Repräsentation im mentalen Modell. Es besteht ein andauernder Austausch, wobei externe Repräsentationen auch als Denkhilfen gebraucht werden.

### 2.4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Eines der Hauptziele dieser Arbeit ist es, zu untersuchen, ob interaktive Visualisierungen in einen allgemeinen Suchprozess im Web integriert werden können. Grundlegende Eigenschaften des Informationsprozesses wie das Informationsbedürfnis, die Vagheit der Anfrage, die Unsicherheit und Iterativität und Nutzung verschiedener Suchtechniken im Retrieval-Prozess werden dabei im Bereich Information Retrieval (IR) definiert. Die Nutzung von interaktiven Visualisierungen zur Verstärkung des Kognitionsprozesses wird im Bereich Information Visualization (IV) propagiert. Die folgenden Definitionen zeigen noch einmal Gemeinsamkeiten und Unterschiede auf abstraktem Niveau.

Eine aktuelle Zielsetzung von Information Retrieval bieten Ingwersen und Järvelin (2007):

„...that the ultimate goal of information retrieval is to facilitate human access to and *interaction* with information that probably may entail cognition.“.

Card u. a. (1999a) definieren Information Visualization als:

„The use of computer-supported, interactive, visual representations of abstract data to amplify cognition“.

Sicherlich geht es in beiden Definitionen um den Informationsverarbeitungsprozess mit dem Ziel, Informationen oder Daten zu finden und daraus Erkenntnisse zu ziehen. In beiden Definitionen geht es um Interaktion und den Kognitionsprozess. Unterschiedlich ist, dass IR allgemein von Informationen spricht und IV von „visuellen Repräsentationen von abstrakten Daten“. Auf diesen Unterschied wird später in diesem Abschnitt noch eingegangen. IV nutzt computerunterstützte, interaktive Visualisierungssysteme, um den Kognitionsprozess zu verstärken. Die Definition von IR spricht nur allgemein von Interaktion mit Informationen.

Die Ausgangslage für die Informationssuche ist komplex. Die Informationsmenge im Web nimmt jedes Jahr kontinuierlich zu (Hilbert, López, 2011) und die Informationen unterscheiden sich stark voneinander. Abschnitt 2.1.1.4 zeigt die Heterogenität von Informationen im Web, die sich in Eigenschaften wie unterschiedlicher Modalität, Informationsart, Strukturiertheit, Granularität, Qualität und ihrer Verteiltheit zeigt. Zum Beispiel liegen numerische Faktendaten wie historische Aktienkurse in Datenbanken, während textuelle Informationen zu passenden historischen Ereignissen in der Wikipedia enthalten sind. Diese Informationsarten sind heterogen, können aber verbunden und explorierbar gemacht werden, so dass der Nutzer die Verbindung nutzen kann, um Erkenntnisse zu generieren (vgl. Anwendungsszenario Kapitel 8).

Abschnitt 2.1.1 zeigt Modelle auf verschiedenen Abstraktionsstufen, die für die Modellierung des Suchprozesses im Bereich der *Informationssuche* genutzt werden. Dabei werden die Modelle immer abstrakter und ihre Messbarkeit im Sinne einer quantitativen Analyse der Güte eines Suchergebnisses oder Suchsystems nimmt immer weiter ab.

Das klassische IR-Modell ist auch heute noch das Standardmodell für Suchsysteme wie Fachinformationssysteme wie Sowiport (vgl. Kapitel 7) oder Google als klassische Websuchmaschine. Die Güte dieser Suchsysteme wird mit IR-Evaluationen mit standardisierten Messgrößen wie Precision und Recall gemessen. Diese quantitative Evaluation einheitlicher Messgrößen erlaubt die Vergleichbarkeit der Güte verschiedener Suchsysteme im Sinne der Qualität des Suchergebnisses;

## 2. Grundlagen

andere Merkmale eines Suchprozesses wie zum Beispiel die Eigenschaften des Nutzerinteraktionsprozess, der Iterativität des Suchprozesses oder die Vagheit im Suchprozess werden mit anderen Evaluationsarten untersucht.

Für die Messung von IR-Modellen werden Testkollektionen wie TREC (Text Retrieval Conference), CLEF (Cross-Language Evaluation Forum) oder NTCIR (NII-NACSIS Test Collection for IR Systems) genutzt. Die TREC-Initiative (Voorhees, Harman, 2005) beispielsweise wurde Anfang der 1990er Jahre gegründet und ist ein jährliches Experiment, an dem mehrere Forschungsgruppen teilnehmen. Dabei werden von TREC Testkollektionen gebildet, die für die Evaluationen verschiedener Retrievalsysteme eingesetzt werden können. TREC-Testkollektionen bestehen aus (1) Dokumentenkollektionen, (2) einer Anzahl von Topics als Ausdruck von Informationsbedürfnissen und (3) Relevanz-Einschätzung, die eine Liste von Dokumenten beinhaltet, die für ein Topic gefunden werden sollten. Dabei werden mehrere simplifizierte Annahmen getätigt (vgl. Voorhees, 2002): (a) Relevanz wird approximiert durch thematische Ähnlichkeit zwischen Topic und Dokument. Laut Voorhees beinhaltet das die Annahmen, dass alle Dokumente gleich erstrebenswert sind, dass die Relevanz von Dokumenten untereinander unabhängig ist und dass das Informationsbedürfnis statisch ist, (b) dass ein einzelner Satz von Relevanz-Einschätzungen für ein Topic repräsentativ sei und (c) dass die Liste von relevanten Dokumenten für ein Topic komplett sei. Dabei werden in den meisten Testkollektionen Relevanz-Entscheidungen als binäre Entscheidungen getroffen. Für TREC werden 25 Topics als Minimum und 50 Topics als Norm angenommen. Als finale Kenngröße wird die Mean Average Precision (MAP) genutzt, die auf relativ stabile Weise Werte als Abbildung von Precision und Recall für Testkollektionen liefert. Dabei betont Voorhees (2002), dass nur die MAP für Systeme verglichen werden kann, die exakt dieselbe Testkollektion nutzen. Verändert sich beispielsweise die Auswahl der Topics, sind die Ergebnisse nicht mehr vergleichbar. Der Prozess des Poolings bildet ein Subset aus der sehr großen Kollektion von TREC (durchschnittlich 800.000 Dokumente), damit es überhaupt möglich, wird einen Pool in überschaubarer Größe durch Juroren beurteilen zu lassen. Voorhees (2002) zeigt, dass die Annahmen des Poolings und der Relevanzbeurteilungen aus statistischer Sicht stabil sind, bis auf Änderungen in den Relevanz-Beurteilungen. Werden verschiedene Retrieval-Systeme mit exakt derselben TREC-Kollektion getestet, lässt sich die Performance der Systeme damit direkt vergleichen.

Allerdings stellen Armstrong et al. (2009) fest, dass sich die Adhoc-Retrieval-Ergebnisse in den Jahren von 1998 bis 2008 nicht messbar verbessert haben. In einer Längsschnittanalyse verglichen sie die Ergebnisse, die mit TREC Adhoc-, Web-, Terabyte- und Robust-Kollektionen erreicht und in Konferenz-Papieren von SIGIR (1998-2008) und CIKM (2004-2008) veröffentlicht wurden. Die Autoren stellen fest, dass sich die MAP der Retrieval-Systeme in den Folgejahren nicht messbar zu den Original-TREC-Systemen von 1999 unterscheiden und dass es zudem keinen Aufwärtstrend der MAP gab. In den Forschungspapieren berichtete signifikante Verbesserungen der MAP beruhen dabei meist auf zu schwachen ausgewählten Baselines. Zudem ergibt sich eine Diskrepanz zwischen der Optimierung des Gesamtsystems zur Erhöhung der MAP und der Optimierung von Einzelkomponenten. Da die Retrievalsysteme von den Forschungsgruppen selbst entwickelt werden, auf verschiedenen Suchmodellen und -funktionen beruhen, lässt sich aus den Gesamtergebnissen nicht erkennen, inwiefern sie zum Gesamtergebnis beitragen. Die Einzelkomponenten können additiv, aber auch negativ in Verbindung mit anderen Einzelkomponenten agieren. Oft ist es eine Sammlung von Optimierungsmaßnahmen, die zum Gesamtergebnis führt. Da die Systeme und Komponenten nicht veröffentlicht werden, können die Komponenten nicht in Systemen anderer Gruppen weitergenutzt werden. Als einen Lösungsansatz schlagen die Autoren vor, Ergebnisse von Retrieval-Experimenten in einer öffentlichen Datenbank zu speichern und damit jederzeit einen nachvollziehbaren Stand der Forschung und nachvollziehbare Baselines zur Verfügung zu haben.

## 2. Grundlagen

Analog zu fehlender Innovation auf messbarer quantitativer Evaluations-Ebene zeigen Ingwersen und Järvelin (2007) die Grenzen des klassischen Cranfield-Paradigmas auf Modell-Ebene auf. Das klassische IR-Modell und die dazugehörigen Retrieval-Experimente im Labor sind möglichst kontextfrei, echte Nutzer und Aufgaben werden ausgeblendet. Das Modell wird nur genutzt, um Algorithmen für das Retrieval und die Relevanz von Dokumenten zu vergleichen. In ihrer Modellerweiterung wird das klassische Modell um mehrere Ebenen erweitert: (1) den Suchkontext, (2) den Arbeitskontext und (3) den sozio-organisatorischen und kulturellen Kontext. Für diese Ebenen gelten andere Evaluationsmaße als für den klassischen IR-Kontext. Im Suchkontext muss die Usability und die Qualität der Information/Prozesse gemessen werden. In den anderen Ebenen muss die Qualität der Arbeits- und Informationsprozesse, Resultate und die sozio-kognitive Relevanz gemessen werden. Hierfür werden natürlich ganz andere Evaluationsmethoden benötigt. Wie diese verschiedenen Aspekte evaluiert werden können, bleibt letztendlich offen. Doch auch ohne diese Präzisierung bleibt das Modell beschränkt auf die IR-Suche (vs. Browsing) und Matchingprozesse. Alternative Suchmethoden und Informationsarten werden ausgeblendet.

Eine Stufe abstrakter ist das Berrypicking-Modell, das versucht, sich vom klassischen IR-Modell abzusetzen und aufzuzeigen, dass über verschiedene heterogene Quellen iteriert wird, die Anfrage auf Basis der Informationen immer weiter angepasst wird und die Suchtechniken wechseln. Man kann es als Erweiterung des klassischen IR-Modells sehen. Aufgrund der Abstraktionsstufe des Modells greifen Standard-IR-Evaluationen hier nicht mehr. Suchsysteme oder Prozesse, die durch das System abgebildet werden, müssen für jeden Task und für jede Domäne einzeln evaluiert werden und können nur Hinweise geben, dass das Verfahren für diesen Task und für diese Domäne funktioniert. Die Vergleichbarkeit der Systeme ist damit nicht mehr gegeben.

Exploratory Search (ES) geht noch eine Stufe weiter und zeigt die starke Heterogenität von Informationen im Web und die Lern- und Untersuchungsschritte, die nötig sind, um diese Informationen zu verarbeiten. Der Suchprozess muss erweitert werden, um den Suchprozess realitätsnah abbilden zu können. Dabei besteht die Heterogenität nicht nur in den Informationen selbst, sondern setzt sich auch noch im Kognitionsprozess des Nutzers fort, der beispielsweise Text- und Bildinformationen in unterschiedlichen kognitiven Prozessen verarbeitet (siehe Abschnitt 2.3.3). Der Nutzer muss sehr aufwendige, kognitive Prozesse durchführen, um diese Informationen zu verarbeiten und in einem qualitativen mentalen Modell zu integrieren (siehe Abschnitt Informationsverarbeitung 2.3). Marchionini (2006) führt hier Prozesse auf wie „scannen/betrachten, vergleichen und qualitativ beurteilen“. Diese Prozesse sind zeitaufwendig, was explizit auch von Trafton u. a (2000) festgestellt wird. Auch wenn die Prozesse zeitaufwendig sind, so ergeben sich doch Mehrwerte für den Nutzer, nämlich dass laut Marchionini der, „des Erwerbs von Wissen, Verstehen von Konzepten oder Fähigkeiten, der Auslegung von Ideen und Vergleichen oder Zusammenfassungen von Daten und Konzepten“. Verschiedene, heterogene Informationen werden also in verschiedenen, kognitiven Prozessen untersucht und verglichen, um daraus einen Mehrwert wie einen Lernprozess oder Wissen zu generieren und ein Informationsbedürfnis zu stillen. Die Brücke zur Informationsvisualisierung wird durch Marchionini selbst geschlagen, indem er hochinteraktive Systeme als Lösung des Problems und Standard-IV-Techniken wie Dynamic Queries oder Brushing vorschlägt. Ein weiterer Vorschlag ist der Hyperlinking-Mechanismus, der als neuer glyphenbasierter Prozess für IV in dieser Arbeit eingeführt wird. Exploratory Search ist damit als IR-Modell auch im Modell aus Kapitel 3 integriert. Auf unterster Ebene stehen stark heterogene Informationen, welche als eine Möglichkeit in interaktiven (koordinierten) Visualisierungen abgebildet werden können. Auf Interaktionsebene stehen die geforderten Interaktionsmöglichkeiten, nicht nur auf individueller Ebene, sondern auch für mehrere Visualisierungen. Die Iterativität des Suchprozesses wird gegeben durch die Eingliederung in

## 2. Grundlagen

den Hyperlinking-Mechanismus über glyphenbasierte IR-Techniken oder Textlinks. Zudem besteht noch weiterhin die Möglichkeit, innerhalb des in der Visualisierung angezeigten Datensatzes zu suchen, zu filtern und zu browsen. Es existieren hier also immer zwei Wege: interaktive Methoden für die Suche/Filterung nach Daten innerhalb der Visualisierung und der Weg nach außen in das Web zu verwandten Informationen.

Ergänzend zeigt Mandl mit einem Qualitäts-Modell für Webinformation, dass für das Ranking und die Relevanzbewertung von Suchergebnissen im Web-Retrieval nicht nur Autoritätsmerkmale wie PageRank eine Rolle spielen, sondern auch weitere Komponenten wie zeitliche Aspekte, Gebrauchstauglichkeit, wirtschaftliche Aspekte, technische und Software-Qualität sowie interkulturelle Unterschiede. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Qualität von Informationen einen messbaren Einfluss auf die Relevanz für den Nutzer hat. Dabei stellt die Gebrauchstauglichkeit ein Qualitätskriterium dar, das sich auf die Inhalte als auch auf die Informationssysteme bezieht („Die Gebrauchstauglichkeit stellt ein entscheidendes Qualitätskriterium dar, das sich im Internet kaum von den Inhalten trennen lässt.“ (Mandl, 2006a: S. 15). Unterstützend zeigt Eibl, dass eine ästhetische und interaktive Gestaltung der Benutzungsoberfläche einen messbaren Einfluss auf Precision und Recall haben kann (vgl. Abschnitt 2.2.10.4).

Visualisierungen im Sinne dieser Arbeit sind Informationssysteme für die Darstellung und Präsentation von Informationen, aber auch für die hochinteraktive Suche nach Informationen mit verschiedenen Techniken wie Suche, Browsing oder Filterung. Mandl dagegen ordnet Visualisierungen noch als Mehrwertkomponenten für die Suche ein (Mandl, 2006a: S. 62). Visualisierungen können für die Darstellung des Suchergebnisses genutzt werden, um die Beziehungen zwischen Dokumenten zum Beispiel anhand thematischer/semantischer Nähe oder Ko-Autorenschaften darzustellen. Dabei geht Mandl davon aus, dass Mehrwertkomponenten wie Personalisierung oder geographische Einschränkung von Suchergebnissen im Web häufig angeboten werden, sich jedoch nicht etablieren (Mandl, 2006a: S. 65): „Der Benutzer widersetze sich allem, was über eine Eingabezeile und eine Ergebnisliste hinausgeht...“. In diesem Sinne sind Visualisierungen noch beschränkt auf die Darstellung von Information oder für die facetiierte Filterung. Mandl ordnet Visualisierungen folglich noch im Sinne einer entweder Ergebnisvisualisierung oder Anfragevisualisierung nach der Einordnung von Eibl ein (vgl. Abschnitt 2.2.10.4). Die Erweiterung ist der iterative Kreislauf von Wolff, der Visualisierungen sowohl für die Darstellung von Ergebnissen nutzt, als auch die Möglichkeit bietet, direkt in der Ergebnisdarstellung visuell und interaktiv erneut Anfragen zu stellen (vgl. Abschnitt 2.2.10.3). Dabei bleibt der Nutzer in der Modalität der grafischen Darstellung für Ergebnis und Anfrage und muss nicht zwischen grafischer Ergebnisdarstellung und formaler textueller Anfragesprache wechseln. Durch den fehlenden Modalitätswechsel verringert sich der kognitive Aufwand und die Komplexität von Folgeanfragen mit Ähnlichkeitsbezug wird in das System verlagert. Das ermöglicht es, Anfragen zu festzulegen, die vom Nutzer nur schwer definierbar wären. Auch bei Eibl (vgl. Abschnitt 2.2.10.4) wird gezeigt, dass die visuelle interaktive Gestaltung der Benutzungsoberfläche den Nutzer bei der komplexen Anfrageerstellung unterstützen kann. Dabei abstrahiert die Modellierung in dieser Arbeit Wolffs Modell um verschiedene heterogene Informationen, Informationsstrukturen, Visualisierungstechniken, Interaktionstechniken und die Einordnung in das Web- und IR-Retrieval.

Der Knowledge Crystallization-Prozess (KC) als Modell für die Informationssuche und Verarbeitung in der *Informationsvisualisierung* ist ähnlich angelegt wie der Exploratory Search-Ansatz (ES) im Bereich Informationssuche. Bei beiden Ansätzen handelt es sich um iterative Prozesse, beide Ansätze werden genutzt, um Lernprozesse, Wissen, Entscheidungen, Kommunikation oder Aktionen usw. zu generieren. Als Grundlage für beide Prozesse werden heterogene Informationen aus verschiedenen

## 2. Grundlagen

Datenquellen gesammelt („1. Information foreaging“ (KC) vs. „Lookup“ (ES)). Was im Exploratory Search-Ansatz als „Learn“ mit Prozessen wie „scannen/betrachten, vergleichen und qualitativ beurteilen“ kodiert ist, wird im Knowledge Crystallization-Prozess feiner durch den Prozess der Schema-Repräsentation als Konzept des „Sensemaking“ aufgelöst.

Im Original-Papier (Russell u. a., 1993) wird „Sensemaking“ als der „Prozess für das Enkodieren von gesammelten Informationen für die Beantwortung von aufgabenspezifischen Fragestellungen“ definiert. Dabei werden Schemata als externe Repräsentation von Information gesucht, erstellt und angepasst, um die Kostenstrukturen für Operationen im Informationsverarbeitungsprozess zu reduzieren. Als Beispiel werden Eigenschaften von Druckern analysiert und in einem sich entwickelnden Schema festgehalten. Anhand des Schemas können Drucker verglichen und Cluster von verwandten Elementen wie Subsystemen oder Funktionen manuell, aber auch computer-basiert ermittelt werden. Durch die Enkodierung der Information in Repräsentationen und die darauf basierende Möglichkeit, computerbasiert Cluster von Eigenschaften zu berechnen, kann Zeit eingespart werden, die durch die Informationsverarbeiter an anderen Stellen genutzt werden kann.

Der „Learning Loop Complex“ des „Sensemaking“ ist als zyklischer, 4-stufiger Prozess angelegt:

1. *Search for representations*: Suche nach passenden Repräsentationen, die wichtige Eigenschaften von Informationen repräsentieren.
2. *Instantiate representations*: Suche nach passenden Informationen und Enkodierung im Schema.
3. *Shift representations*: Ständige Anpassung der Repräsentationen, um auf die Informationen abgestimmt zu werden und um die Kosten für den späteren Vergleich zu reduzieren.
4. *Consume encodons*: Die Repräsentationen können dann genutzt werden, um aufgabenspezifisch einfacher bestimmte Eigenschaften von Informationen zu vergleichen.

In den von den Autoren untersuchten Anwendungsfällen nimmt der Prozessschritt der Suche nach Informationen, der Extraktion von wichtigen Eigenschaften dieser Informationen und der Enkodierung in der Repräsentation 75% der Zeit im Gesamtprozess ein (Schritt 2 im „Learning Loop Complex“).

Analog dazu werden im Knowledge Crystallization-Prozess die Prozesse „2. Search for schema“, „3. Instantiate schema with data“ und „4. Problem-solve to trade off features“ aufgeführt. Der Nutzer sucht also nach Eigenschaften in den Informationen, welche für die Entscheidungsfindung wichtig sind (Schritt 2), instanziiert dieses Schema in einer externen Repräsentation (zum Beispiel in einem IV-System) (Schritt 3) und kann dann dort gesuchte Eigenschaften der Daten leichter ablesen (Schritt 4) oder neu arrangieren, um das Ablesen zu erleichtern (Schritt 5: „Search for a new schema that reduces the problem to a simple trade-off“).

Untersucht man KC als Grundlage für die Informationsvisualisierung, zeigen sich einige Limitierungen des Modells. Diese werden dadurch verursacht, dass sich das Modell auf den Prozess des „Sensemaking“ und damit auf die Reduktion des Modells auf einen Eigenschaftsvergleich von Informationen gründet.

Im KC-Prozess können im ersten Schritt („forage for data“) als Informationsgrundlage große Mengen unterschiedlicher Daten („large amounts of heterogenous data“) genutzt werden (Card u. a., 1999a: S. 11). Diese heterogenen Daten müssen aber gemeinsame Attribute besitzen, damit sie überhaupt in einem externen Schema kodiert werden können. Heterogene Informationen im Sinne des Exploratory Search- und „Informationen im Web“-Ansatzes haben oft keine gemeinsamen Attribute, sondern sind vielleicht nur durch Verlinkungen oder einen Suchprozess miteinander verbunden. Folglich ist es schwer, diese in ein gemeinsames Schema und eine passende Repräsentation zu integrieren. Dies ist

## 2. Grundlagen

nur möglich, wenn die Informationen Attribute und außerdem auch noch weitere Eigenschaften wie zum Beispiel Modalität, Struktur oder Granularität teilen. Haben heterogene Informationen unterschiedliche Informationsstrukturen (tabellarisch, zeitlich/räumlich), können sie in koordinierten Ansichten repräsentiert werden, aber bei unterschiedlichen Modalitäten wird es ungleich schwieriger. Werden zum Beispiel heterogene Informationen aus verteilten Datenquellen wie Kurstrends und Finanznachrichten (Kapitel 8) mit Abwägungsprozessen mental verglichen und abgewogen, funktioniert das KC-Modell bereits nicht mehr. Das einzige Informationsattribut, das die Informationen a priori teilen, ist hier das Zeitattribut oder ein bestimmter Zeitraum, in dem beide Informationen liegen könnten (ein Kurstrend liegt bspw. im gleichen Zeitraum wie eine Finanznachricht). Erst nach dem Erkenntnisprozess haben die Informationen eine Verlinkung oder Relation. Somit kann kein Schema festgelegt werden, das alle Informationen inkludiert, sondern der Suchprozess funktioniert nur, weil Visualisierungen interaktive Verlinkungen nach außen bieten (Abschnitt Modellbildung 3.5.5). Dagegen ist das von Card et al. angeführte Beispiel für den KC-Prozess recht simpel gehalten (Card u. a., 1999a: S. 10): Hier werden einfache Eigenschaften von Laptop-Computern wie CPU-Geschwindigkeit, Gewicht, Dicke und Kosten in einer Tabelle verglichen, nicht komplexe heterogene Informationen. Auch die Schema-Repräsentation in einer einfachen Tabelle ist nicht passend für die Informationsvisualisierung, da eine Tabelle mehr ein visueller Formalismus (vgl. Nardi, Zamer, 1993) als eine echte interaktive Visualisierung ist (auch wenn der Übergang zu Systemen wie TableLens fließend ist). Natürlich wurde das Beispiel sehr einfach gewählt, damit man den Prozess nachvollziehen und verstehen kann, aber die geforderten Eigenschaften des Modells werden dadurch nicht wirklich abgebildet. Die innerhalb des ersten Prozessschritts „forage for data“ aufgeführten, möglichen Interaktionsschritte sind neben dem Information-Seeking-Mantra („Overview, Zoom, Filter, Details-on-demand“) auch noch die Suchtechniken „Browse“ und „Search query“. Das Information-Seeking-Mantra wird innerhalb einer Visualisierung genutzt, Browsing und Search werden außerhalb der Visualisierung angewandt, wenn Visualisierungen in den nächsten Stufen des KC-Prozesses genutzt werden. Die Studie von Trafton u. a. (2002) mit Wissenschaftlern zeigt, dass heterogene Informationen nicht nur aus verschiedenen Quellen einer Repräsentationsschicht (zum Beispiel dem Web oder einem IV-System) entnommen werden, sondern dass Informationen auch aus verschiedenen hochkomplexen Expertensystemen und Visualisierungen (multiplen heterogenen externen Repräsentationen) entnommen werden, die sich so nicht einfach in eine externe Repräsentation einfügen lassen, sondern nur im mentalen Modell des Nutzers verarbeitet sind.

Dabei stellt sich die Frage, wie ein externes Schema, das zentral im KC-Prozess angelegt ist und ein qualitatives mentales Modell des Nutzers aufeinander aufbauen (vgl. Abbildung 2-19). Der KC-Prozess beschränkt sich, wie oben bereits aufgeführt, auf den Vergleich von Eigenschaften verschiedener Informationen, die in einem externen Schema repräsentiert („...needed to organize and present the information...“, (Nardi, Zamer, 1993: S. 10)) werden können und dessen visuelle Anordnung sich durch Interaktionsprozesse manipulieren lassen. So können im Sinne des „Sensemaking“ im KC-Prozess nur Ableitungen gemacht werden, wie sie in Abschnitt 2.2.1 Ziele und Vorteile der Informationsvisualisierung genannt werden. Dazu gehören Ableseprozesse wie Clusterbildung, Minimum, Maximum etc. Auf dieser Ebene wäre auch Pinkers Modell der Graphenwahrnehmung anzusiedeln (vgl. Abschnitt 2.3.7). Hier werden gelernte Schemata von Graphendarstellungen aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen und angewandt. Externe Repräsentationen wurden als Schemata gelernt und sind als mentales Modell im Langzeitgedächtnis verfügbar. Sie können abgerufen und im Kurzzeitgedächtnis mit Daten instanziiert für die Ableitungen von konzeptuellen Fragen genutzt werden (einfache Ableseprozesse in der Grafik). Darüber hinaus ist aber auch in Pinkers Modell schon angelegt, dass durch Inferenzprozesse auch Informationen abgelesen werden, die nicht direkt in der Grafik abgebildet sind. Dies wird zum Beispiel in der Studie

## 2. Grundlagen

von Trafton u. a. (2001; 2002) gezeigt, in der Wissenschaftler Information nicht nur ablesen, sondern auch die mentale Vorstellungskraft und räumliche Transformation („spatial transformation“) nutzen, um Information, die nicht in der Visualisierung zu finden ist, zu extrapolieren. Diese Transformationen können sowohl mental als auch im IV-System durchgeführt werden. Auf dieser Ebene interagieren externe Repräsentation und das interne mentale Modell also sehr stark. Der Abgleich der beiden Instanzen geschieht durch Interaktion. Der Nutzer kann versuchen, Ableitungen aus dem mentalen Modell durch Interaktion wieder in der externen Repräsentation herzustellen oder aus der externen Repräsentation können sich Erkenntnisse bilden, die wieder im mentalen Modell repräsentiert werden. In diesem Sinne spielen die Interaktionsprozesse eine sehr wesentliche Rolle, wie auch durch Liu et al. (2008) mit Distributed Cognition als theoretisches Framework für die Informationsvisualisierung betont wird. Der andauernde Austausch zwischen externer und interner Repräsentation geschieht durch Interaktion und kann die Problemlösung fördern. Dabei lässt sich auch schon auf dieser Ebene die externe Repräsentation nicht mit dem mentalen Modell gleichsetzen, da auf das mentale Modell weitere Faktoren wie der allgemeine Kontext (ausgedrückt durch das Modell der User Experience (Abschnitt 2.2.1)) und Wissen aus dem Langzeitgedächtnis (Propositionen, Regeln, Schemata, mentale Modelle) einen Einfluss haben. Die Konsolidierung der Erkenntnisse im Langzeitgedächtnis unterliegt einem aktiven Lernprozess mit Lernbelastungen (vgl. Abschnitte 2.3.4 bis 2.3.6).

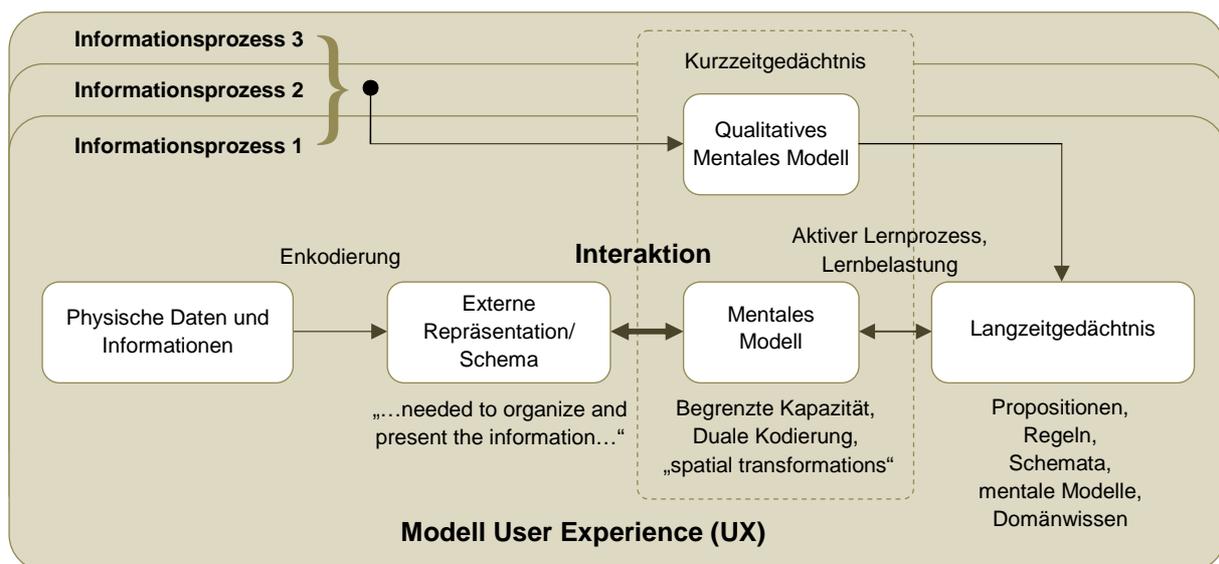


Abbildung 2-19: Zusammenhang zwischen physischen Informationen, externen Repräsentationen und dem mentalen Modell.

Auf einer höheren Stufe unterstützen die externen Repräsentationen aber auch die Bildung eines qualitativen mentalen Modells, aus denen sich Ableitungen mental bilden lassen, wie in der Studie von Trafton et al. (2000) gezeigt wird. Hier werden aus stark heterogenen Informationsquellen und Darstellungen Informationen und Ableitungen integriert und daraus weitere Ableitungen gezogen. Genau diese mentalen Ableitungen machen interaktive Visualisierungen so wertvoll, da sie die Bildung eines qualitativen mentalen Modells unterstützen, indem komplexe mentale Prozesse wie Ableitungen, Abwägungen, qualitative Beurteilungen und Lernprozesse zwischen heterogenen Informationen, wie im ES-Modell gefordert, ermöglicht werden über einfache Vergleiche von Informationsattributen homogener Informationen, die sich in ein Schema enkodieren lassen. Gerade in diesen höherwertigen Vergleichen und Abwägungen fließen somit auch Domänenwissen, Erfahrung, Weltwissen usw. ein. Dies zeigt sich auch ansatzweise in der Nutzerstudie aus Kapitel 8, in der die

## 2. Grundlagen

Studentengruppe für diese Abwägungsprozesse in jeder Aufgabe doppelt so lange wie die Wissenschaftlergruppe benötigte. Insofern muss beachtet werden, dass Visualisierungen nicht nur visuelle Repräsentationen abstrakter Daten darstellen, die isoliert in einer Visualisierung angezeigt werden, sondern auch Informationen repräsentieren, die zu anderen Informationen in Verbindung stehen.

Russel u. a. (1993) geben an, dass in den von ihnen untersuchten Anwendungsfällen die Aufgabe der Datenextraktion und -enkodierung 75% der Zeit im Gesamtprozess einnimmt. Das entspricht den Prozessschritten „forage for data“, „search for schema“ und „instantiate schema“ im KC-Prozess. Aber gerade hier unterstützen die meisten Visualisierungen nicht, sondern bei den meisten interaktiven Visualisierungen besteht das Schema bereits, wird abgebildet, und der Nutzer sucht innerhalb dieser Visualisierung nach Mustern. Ergänzend geben Trafton u. a. (2002) an, dass die Bildung eines qualitativen mentalen Modells beim Nutzer die meiste Zeit im Gesamtprozess der Informationsintegration benötigt. Damit zeigt sich, dass sowohl die Aufarbeitung verschiedener Informationen in eine externe Repräsentation ein zeitintensiver Prozess ist als auch die Extraktion heterogener Informationen aus diesen externen Repräsentationen in ein qualitatives mentales Modell.

Card et al. (1999a: S. 12) erklären, dass Visualisierungen auf den meisten Stufen des KC-Prozesses eingesetzt werden können und gibt Beispielsysteme für die einzelnen Prozessschritte. Moderne kommerzielle Visualisierungssysteme wie Tableau oder Spotfire sind in der Lage alle Prozessschritte des KC-Prozesses abzubilden. Aber der erste Schritt („forage for data“) wird nur insofern unterstützt, als dass Daten- und Informationsbestände in aufbereiteter tabellarischer Form geladen oder an Datenbanken angeschlossen werden können. Das steht diametral dem gegenüber, wie Informationen im Web durch Nutzer gesucht und gefunden werden. Die meisten Visualisierungssysteme beginnen bei Schritt 3 („instantiate schema“) im KC-Prozess: Informationen werden in einer Visualisierung dargestellt und der Nutzer kann durch die initiale Darstellung oder mit interaktiven Methoden Erkenntnisse aus der Darstellung generieren.

Verbindungen zwischen den einzelnen Schritten des Knowledge Crystallization-Prozesses bestehen damit bisher nur durch die Interaktion und Kognition des Nutzers. Der Nutzer ist das verbindende Glied der Prozesskette. Möchte der Nutzer neue Daten oder Informationen in der Visualisierung anzeigen, muss er sie erst im Web suchen, aufbereiten, ein passendes Schema kreieren und in ein passendes IV-System laden und anzeigen. Der Ansatz, Informationen auch auf Visualisierungsebene zu verbinden und mit Interaktionselementen browsbar zu machen (Abschnitt 3.5.5), verbindet in diesem Modell zumindest die verschiedenen Schritte wie „forage for data“ und die Prozesse „search for schema“ und „instantiate schema“. Verschiedene heterogene Informationen sind bereits optimal in passenden Visualisierungsformen angezeigt und über browsbare Links auf Interaktionsebene verbunden. Dies wird exemplarisch in dem Anwendungsszenario Explorative Suche „Börseninformatio“ in Kapitel 8 gezeigt. Hier sind die verschiedenen heterogene Informationen wie Kursdaten (numerisch) und Finanznachrichten und Artikel (textuell) über Links verbunden und der foraging-Prozess kann direkt auf Toolebene verfolgt werden, ohne dass der Nutzer diese Schritte mühsam einzeln durchführen müsste. Die kognitive Last beim Nutzer kann damit verringert werden.

## 2. Grundlagen

IV beschränkt sich in seiner Rolle oft auf die interaktive Visualisierung von *Daten* (Definition zu Beginn dieses Abschnitts) versus Informationen<sup>6</sup>. Dies stellt besonders den Anspruch der Informationsvisualisierung heraus *große Datenmengen* zu visualisieren (Card u. a., 1999a, S. 11), die sonst nicht mehr vom Nutzer kognitiv verarbeitbar wären. Da diese Daten aber entweder Eigenschaften von Informationen sind (wie es im KC-Prozess oder im Konzept des Sensemaking erklärt wird) oder bereits komplette Informationen abgebildet werden (wie zum Beispiel im Anwendungsszenario Börseninformation, wo potentiell Hunderttausende von Finanznachrichten abgebildet werden können), repräsentieren sie auch immer Informationen. Diese Informationen haben im Gegensatz zu abstrakten Daten oft auch Verbindungen zu anderen Informationen im Web. Erweitert man also die Definition von IV von der Visualisierung von Daten auch auf die von Informationen ist nicht nur die Verbindung und Verlinkung innerhalb der Visualisierung und damit innerhalb eines Datensatzes wichtig, sondern auch die Verbindung nach außen zu anderen Informationen im Web.

Das Information Retrieval nutzt verschiedene Methoden für die Informationssuche wie Suche, Browsing, Filterung oder Faceted Search. In der Informationsvisualisierung herrscht das Paradigma von Shneiderman vor: Informationen werden hauptsächlich gefiltert und nur auf Detailebene soll zu verwandten Daten innerhalb des Datensatzes (und innerhalb der Visualisierung) gebrowsed werden können. Dabei stellt sich die Frage, warum die Verlinkung von Informationen in Visualisierungen zu Informationen nach außen auf Detailebene, besonders im Kontext des Webs noch kein Standardkonzept ist, so dass die IR-Technik Browsing also auf allen Ebenen des Datensatzes genutzt wird. Gerade dadurch, dass der Nutzer im Web nur geringe Kenntnis über die angebotene Suchfunktionen und Recherchemöglichkeiten hat („Ill-formed queries“, (Lewandowski, 2005)), sollten die Informationen verlinkt und durch Browsing schnell erreichbar sein. Voraussetzung für ein Browsing zwischen Information in und außerhalb von Visualisierungen ist eine Verlinkung auf Datenebene. Diese kann bereits auf verschiedenen Ebenen bestehen. Zum Beispiel werden Informationen im Semantic Web-Ansatz in heterogenen Informationsräumen vernetzt, um eine „integrierte globale Datenbank“ zu erreichen. Innerhalb von Informationsräumen bestehen Ontologien, die die Zusammenhänge und Verlinkungen innerhalb einer Domäne beschreiben. Besteht noch keine Verlinkung zwischen Informationen, so können Visualisierungen auch dazu genutzt werden, um diese Verlinkung zu erstellen. Dabei werden die Vorteile von interaktiven Visualisierungen genutzt, anhand von optimierten Schemata Informationen mittels Eigenschaften zu identifizieren. Geschieht dies für verschiedene Informationen in verschiedenen Ansichten, können diese Ansichten direkt genutzt werden, um die Informationen auszuwählen und mit einer einfachen Interaktionsmetapher zu verbinden. Dabei muss der Nutzer die grafische Modalität nicht verlassen und kann die Informationen dort verbinden, wo er sie gefunden hat (vgl. Abschnitt 2.2.10.3). Diese Verlinkung kann dann wiederum genutzt werden, um zwischen diesen Informationen zu browsen. Kapitel 5 zeigt, dass Nutzer diese Verlinkungen zwischen Visualisierungen schnell und einfach erstellen können. In Kapitel 8 werden heterogene Informationen wie Finanznachrichten und Kurstrends direkt während des Suchprozesses verlinkt und das Ergebnis wird direkt im Suchprozess genutzt. Die Verlinkung ist auch eine wichtige Basis, um verschiedene Ansichten zu koordinieren. So können verlinkte Informationen oder verschiedene Eigenschaften von Information in verschiedenen Ansichten angezeigt werden. Die Ansichten können so verbunden werden, dass bei der Auswahl einer Information in einer Ansicht verlinkte Informationen in anderen Ansichten hervorgehoben werden. So werden zum Beispiel im

---

<sup>6</sup> Definition zur Unterscheidung Daten vs. Information: Daten sind „zum Zweck der Verarbeitung zusammengefasste Zeichen, die aufgrund bekannter oder unterstellter Abmachungen Informationen (d. h. Angaben über Sachverhalte und Vorgänge) darstellen“ ([Verlag \(Hrsg.\): Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Daten, online im Internet](#). Abgerufen am 21. Sept. 2012.)

## 2. Grundlagen

Anwendungsszenario „Statistische Daten“ (Kapitel 6) Statistiken mit passenden Events hervorgehoben oder im Anwendungsszenario „Suche in Digitalen Bibliotheken“ Konzepte wie Autoren, Schlagwörter, Orte und Zeit visuell in den Ansichten verbunden (Kapitel 7). In Kapitel 8 „Visualisierungen in explorativer Suche“ werden überdies Kurstrends und Finanznachrichten als visuell zusammengehörig gekennzeichnet.

Auch die zweite Methodik aus dem IR, die Suche, wird nur selten als Standardtechnik im IV eingesetzt (vgl. einige Systeme in Abschnitt 2.2.10). Auch hier lässt sich argumentieren, dass Glyphen als Repräsentationen für die Suche eingesetzt werden können. Im Anwendungsszenario „Suche in Digitalen Bibliotheken“ (Kapitel 7) werden Glyphen als Repräsentationen von Autoren, Schlagwörtern, verwandten Schlagwörtern und als Eingabe für die Suche und Filterung eines Dokumentenraums genutzt.

Filtering als dritte Technik kommt sowohl im IR als auch im IV zum Einsatz. Filtering im IR ist stark geprägt durch die Definition durch Belkin und Croft (1992), die auch von aktuellen Quellen wie Hanani u. a. (2001) als Basis genutzt wird. Dabei stellen sie folgende Punkte noch einmal heraus (Hanani u. a., 2001: S. 203f):

IF systems:

- are applicable for unstructured or semi-structured data (e.g. documents, e-mail, messages);
- handle large amounts of data;
- deal primarily with textual data;
- are based on user profiles; and
- their objective is to remove irrelevant data from incoming streams of data items.

Dabei wird Information Filtering in der Definition für IR stark auf Eigenschaften wie „semi-/ unstrukturierte Daten“, „textuelle Daten“ und „Datenströme“ begrenzt. Diese Eingrenzung steht analog zur klassischen Definition von IR (vgl. Abschnitt 2.1.1.1), in der IR auf die Modalität Text eingegrenzt ist: „...*the means for identifying, retrieving, and/or ranking texts (or text surrogates or portions of texts) in a collections of texts, that might be relevant to a given query...*“ (Belkin, Croft, 1987: S. 109). Auch wenn spätere IR-Modelle die Öffnung auf verschiedene Informationsarten (z.B. Fuhr, 1996 oder Exploratory Search, Marchionini, 2006) bereits vornehmen, wird hier *Information Filtering* als Konzept stark eingrenzt. Die Eigenschaften „are based on user profiles“ und „...to remove data from incoming streams of data items“ schränken die Technik weiter auf ganz bestimmte Anwendungsbereiche des Konzepts ein. In der Informationsvisualisierung wird Filtering genutzt, um den Datenraum anhand bestimmter Parameter einzuschränken. Das kann mit interaktiven Methoden wie „Dynamic Queries“ durch den Nutzer durchgeführt werden (vgl. Abschnitt 2.2.8.3). Fokussiert man sich auf das eigentliche Konzept, so wird mit Filtering der Informationsraum im einfachsten Sinn anhand bestimmter Informationsattribute eingeschränkt. Diese Definition gilt sowohl für IR als auch für IV. Im IR könnte man sich auf die Einschränkung von Textdokumenten anhand bestimmter Informationsattribute (Titel, Jahr, Autoren etc.) fokussieren, aber im Sinne erweiterter Definitionen muss das Filtering für alle Informationsarten gelten. Im IV werden bereits unterschiedliche Informationsstrukturen anhand beliebiger Informationsattribute gefiltert, die für jede Instanz ausgewählt werden können. Dabei kann das Konzept Filterung in der Modellbildung zweifach genutzt werden: (1) einmal ausgehend von Glyphen, die den Parameter für die Filterung bereitstellen (vgl. Abschnitt Modellbildung 3.5.5) oder (2) als globale Variante, die alle Ansichten gleichzeitig anhand extrahierter Parameter filtert (vgl. Abschnitt Modellbildung 3.5.2). Im Anwendungsszenario „Digitale Bibliotheken“ werden beispielsweise Autoren, Schlagwörter etc. ausgehend von Glyphen für die

## 2. Grundlagen

Filterung des Informationsraums genutzt. Im Anwendungsszenario „Statistische Daten“ können gleichzeitig mehrere Statistiken, Nutzervisualisierungen und passende historische Ereignisse gefiltert werden.

Letztlich verschwimmt in einem Teilbereich die Grenze zwischen Informationsvisualisierung und Trefferlistendarstellung im Sinne des IR immer mehr, insofern als dass Visualisierungen hochinteraktive Systeme für Informationsdarstellungen sind. Dabei unterscheiden nur noch wenige Konzepte IR und IV: (1) Unterscheidung von Daten vs. Information, (2) Suchmethodiken, (3) textuelle vs. grafische Darstellung, (4) Interaktionskomponenten und (5) Ranking. Auf der Seite des IR werden Websuchmaschinen immer interaktiver. Interaktionstechniken wie Faceted Browsing oder Instant Search werden genutzt, um die Trefferlistendarstellungen analog zum Information-Seeking-Mantra sehr schnell zu filtern. Dabei sind die Trefferdarstellungen noch teilweise auf textuelle Strukturen beschränkt, aber andere Informationsarten und -darstellungen werden bereits in die Trefferlistendarstellung integriert (Bilder, Karten, Echtzeitnachrichten usw.), die auch einen sehr visuellen Charakter haben. Analog hängt Informationsdarstellung in IV auch sehr von textuellen Artefakten ab, ohne die die Erläuterung von visuellen Elementen nicht möglich ist. So sind auch in der Informationsvisualisierung meist Text und visuelle Elemente kombiniert. Abstrahiert man das Konzept in der Informationsvisualisierung von Datendarstellung zu Informationsdarstellung und führt weitere Techniken wie Suche, Filterung und Browsing ein, so lassen sich Visualisierungen auch für den Suchprozess im Sinne des IR nutzen. Ein Beispiel ist das Anwendungsszenario „Visualisierungen in explorativer Suche“ (Kapitel 8). Hier werden Informationen in Visualisierungen mit Informationen im Web verbunden. Nutzer können diese Informationen verlinken und über Browsing entstandene Zusammenhänge interaktiv erkunden. Im Anwendungsszenario „Digitale Bibliotheken“ werden Glyphen direkt für die Suche und Filterung von sozialwissenschaftlichen Informationen genutzt.

Der Evaluation mit quantitativen Analysen mit statistischer Relevanz im IR (siehe weiter oben), stehen im IV empirische Evaluationen gegenüber (vgl. Abschnitt 2.2.2), die Teilaspekte in einem komplexen Gesamtsystem evaluieren. Dabei können die einzelnen empirischen Studien aufgrund der Komplexität und Verbundenheit zu einer bestimmten Domäne nur Hinweisscharakter auf eine größere Marschrichtung haben (vgl. Carpendale, 2008, S. 30: „...*that any given study will not present the bigger answer. It will contribute to a gradual building of a bigger understanding*“). Im Rahmen dieser Arbeit werden Forschungsfragen auch mit empirischen Evaluationen untersucht. Die Art der Evaluationen richtet sich dabei stark nach der Vorgehensweise von Usability-Tests (vgl. Hegner, 2003), die Nutzer mit geeigneten Aufgaben die Akzeptanz, Durchführbarkeit, Zufriedenheit, Einfachheit und Schnelligkeit von Teilaspekten und Interaktionsprozessen der im Modell gebildeten und in Forschungsfragen festgelegten Komponenten überprüfen. Die Aufgaben werden dabei immer im Kontext eines komplexen Online-Live-Systems durch den Nutzer bearbeitet, der theoretisch auch einen schwer erfassbaren Kontext wie er im Modell des kontext-sensitiven IR (weiter oben) oder im Modell der User Experience (vgl. Abschnitt 2.2.1) formuliert wird. Dabei werden in den Nutzertests sowohl quantitative als auch qualitative Messgrößen erfasst. Als quantitative Messgröße wird die Zeit pro Aufgabe gemessen. Die Einschätzung der Schwierigkeit oder des Vertrauens sind qualitative Messgrößen, da subjektive Einschätzungen durch den Nutzer mit Likert-Skalen gemessen werden (vgl. Hegner, 2003). Die Antworten zu den Aufgaben werden sowohl quantitativ als auch qualitativ erfasst: Einerseits werden sie quantitativ ausgezählt, andererseits auch qualitativ interpretiert und diskutiert. Am Ende steht in jedem Nutzertest immer die Beantwortung der Frage, ob ein bestimmter Teilaspekt der im Modell gebildeten und in den Forschungsfragen formulierten Aspekte durch den Nutzer unter Aspekten wie Schwierigkeit, Zeit und Vertrauen durchgeführt werden kann.

## 2. Grundlagen

Insgesamt lassen sich folgende Schlussfolgerungen für die Modellbildung ziehen:

1. Unterscheidet man nicht mehr explizit zwischen der Darstellung von Daten im IV und der Darstellung von Informationen im IR, werden Visualisierungen bereits für die interaktive Darstellung von Informationen genutzt.
2. Informationen haben Verbindungen zu anderen Informationen, die auch für den Suchprozess genutzt werden können.
3. Gerade dieser Prozess des Untersuchens, Vergleichens und Abwägens von heterogenen Informationen wird im Exploratory Search-Ansatz dargestellt.
4. Dagegen wird der Prozessschritt („forage for data“) im KC-Modell noch nicht wirklich durch interaktive Visualisierungen unterstützt. Der Schritt kann aber unterstützt werden, wenn das IV-Modell durch Interaktionstechniken wie Browsing, Filtering und Suche auf Informationsattribut-/Glyphen-Ebene in der Visualisierung erweitert wird.
5. Diese Suchtechniken basieren teilweise auf einer Verlinkung von heterogenen Informationen, die aufgrund der Vorteile von Visualisierungen direkt auf visueller Ebene durchgeführt werden können.
6. Durch diese Erweiterung lassen sich interaktive Visualisierungen in einen allgemeinen Suchprozess im Web einbinden. Visualisierungen stehen nicht mehr isoliert da, sondern sind in den Suchprozess eingebunden.
7. Durch die Möglichkeit von IV, sehr unterschiedliche Informationen und Informationsstrukturen vorteilhaft abbilden zu können (vs. vorrangig Text im IR), können somit mehr Informationsarten intuitiv und interaktiv in den Suchprozess eingebunden werden.

## **Teil 2: Modellbildung und Implementation**

### 3 Modellbildung

In diesem Kapitel wird ausgehend von Strukturmodellen der Informationsvisualisierung ein Modell entwickelt, das auf verschiedenen Ebenen Informationen, Visualisierungen und Interaktionstechniken einbindet und in einen übergreifenden Suchprozess einordnet. Es basiert dabei auf Grundlagen, die in Kapitel 2 erläutert wurden, wie zum Beispiel der Heterogenität von Informationen im Web, deren Abbildung auf koordinierte Ansichten, und verschiedenen Interaktionstechniken mit Fokus auf neue Prozesse wie Linking von Informationen in Visualisierungen und der Einordnung von Visualisierungen in den Suchprozess. In den darauf folgenden Kapiteln wird das Modell für die Anforderungsanalyse des Vizgr-Toolkits und für die Instanziierung in den verschiedenen Anwendungsszenarien genutzt.

#### 3.1 Strukturmodelle in der Informationsvisualisierung

Die bestehenden Modelle für die Strukturierung des Bereichs Informationsvisualisierung unterscheiden grob zwischen (1) Informationsstrukturen, (2) Visualisierungstechniken und (3) Interaktionstechniken. Tabelle 3-1 gibt einen Überblick über verschiedene Literaturquellen und die Einordnung der dort beschriebenen Strukturen in diese Kategorien.

Die Kategorien werden im Folgenden für die Modellbildung genutzt. Dabei wird im Besonderen auf heterogene Informationen im Web als Ausgangslage und die Ergänzung des Modells für (1) das Linking heterogener Informationen in Visualisierungen und (2) die Einbindung von Informationen in einen übergreifenden Suchprozess eingegangen.

#### 3.2 Informationen

Ergänzend zu der elementaren Einteilung von Informationen in verschiedene Datentypen haben Informationen im Web weitere, komplexe Merkmale (vgl. Abschnitt 2.1.1.4):

1. Sie stammen aus *verteilten Datenbeständen*: Webseiten, Web-Enzyklopädien (bspw. Wikipedia), Webdatenbanken, Web-APIs, Webarchiven usw.
2. *Verschiedene Modalitäten*: Text, Bild, Video, Ton/Klang aber auch verschiedene Medienformate wie HTML-Seiten, Worddokumente, PDF, JPG, GIF, WAV, MP3, FLASH, DIVX etc.
3. *Unterschiedliche Strukturiertheit*: Webseiten werden über ihren Textinhalt indiziert, Ton- und Bilddokumente werden mit Schlagwörtern ausgezeichnet. Inhalte in Webdatenbanken (z.B. Nachrichtenartikel) können mit mehreren Metadatenattributen ausgezeichnet sein.
4. *Unterschiedliche Granularität*: Die Granularität kann von Rohdaten bis zu komplexen Informationstypen oder Objekten reichen.
5. *Unterschiedliche Qualität*: Die Qualität der Ressource kann in mehreren Attributen variieren.

Im Web werden diese heterogenen Informationen (1) über ihre Attribute indiziert und stehen in Websuchmaschinen zur Verfügung oder (2) sind untereinander verlinkt (auch auf nächsthöherer Ebene ausgezeichnet und verlinkt im Sinne des Semantic Webs) und können durch Browsing verfolgt werden (vgl. Abschnitt 2.1.1.4).

### 3. Modellbildung

Tabelle 3-1: Einordnung von Strukturmodellen aus verschiedenen Literaturquellen in die Kategorien (1) Informationsstrukturen, (2) Visualisierungstechniken und (3) Interaktionstechniken

|   | <i>Informationsstrukturen</i>  | <i>Visualisierungstechniken</i>  | <i>Interaktionstechniken</i>   |
|---|--|--|--|
| <i>Shneiderman, 1996</i><br><i>(vgl. Abschnitt 2.2.10)</i>              | 1-dimensional<br>2-dimensional<br>3-dimensional<br>Temporal<br>Multi-dimensional<br>Tree<br>Network                        | Präsentation von<br>Forschungssystemen für<br>verschiedene<br>Informationsstrukturen   | <i>Information-Seeking-Mantra:</i><br>Overview<br>Zoom<br>Filter<br>Details-on-demand<br>Relate<br>History<br>Extract  |
| <i>Card u. a., 1999</i>   | Physical Data<br>1D,2D,3D<br>Multiple Dimension<br>Trees<br>Networks<br>Text   | Präsentation von<br>Forschungssystemen für<br>verschiedene<br>Informationsstrukturen   | Dynamic Queries<br>Direct walk<br>Details-on-demand<br>Attribute walk<br>Brushing<br>Direct manipulation<br>Data flow<br>Pivot tables<br>Direct selection<br>Camera movement<br>Magic selection<br>Overview + Detail<br>Zoom   |
| <i>Keim, 2002</i><br><i>(vgl. Abschnitt 2.2.10)</i>                     | One-dimensional<br>Two-dimensional<br>Multi-dimensional<br>Text/Web<br>Hierarchies/graphs<br>Algorithm/software            | Standard 2D/3D Display,<br>Geometrically-transformed<br>Display,<br>Iconic Display<br>Dense Pixel Display<br>Stacked Display | Standard<br>Projection<br>Filtering<br>Zoom<br>Distortion<br>Link & Brush  |
| <i>North, 2005</i><br><i>Vgl. Abschnitt (2.2.5 bis</i><br><i>2.2.8)</i> | Tabular<br>Spatial and temporal<br>Tree and network<br>Text and document<br>collection<br>Combining multiple<br>structures | Präsentation von<br>Forschungssystemen für<br>verschiedene<br>Informationsstrukturen   | <i>Overview Strategies:</i><br>Reducing data quantity<br>Miniaturizing visual glyphs<br><i>Navigation strategies:</i><br>Zoom + Pan<br>Overview + Detail<br>Focus + Context<br><i>Interaction Strategies:</i><br>Selecting<br>Linking<br>Filtering<br>Rearranging and<br>Remapping |

Abbildung 3-1 zeigt auf der ersten Ebene (beiger Hintergrund) heterogene Informationen, wie sie im Web vorzufinden sind. Da dort eine unbegrenzte Anzahl an möglichen Informationsarten vorliegt, wurden Informationen als Beispiele gewählt, die in den Anwendungsszenarien (Kapitel 5-8) genutzt werden. Die Informationsarten sind bereits in Gruppen angeordnet (weißer Hintergrund), die von links nach rechts vornehmlich eine tabellarische, textuelle, örtliche, zeitliche oder baum-/netzwerkförmige Informationsstruktur haben (vgl. den nächsten Abschnitt).

### 3. Modellbildung

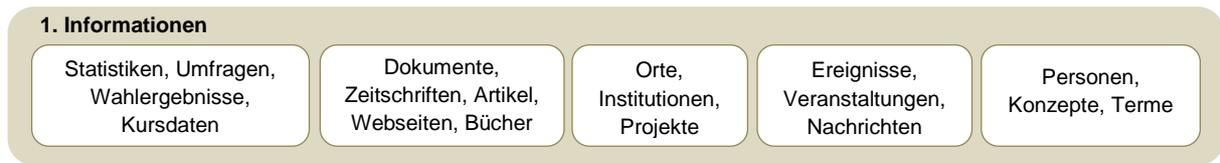


Abbildung 3-1: Ebene 1: Heterogene Informationen im Web.

### 3.3 Informationsstrukturen

Im Sinne der Informationsvisualisierung lassen sich diese komplexen Informationstypen dadurch abbilden, dass sie sich auf elementare Informationsstrukturen wie tabellarisch, räumlich/zeitlich, baum-/netzwerkförmig, textförmig oder kombinierte Informationsstrukturen abbilden lassen. North merkt an:

*„...but more advanced methods are needed as data complexity increases. Identifying underlying structures within the target information helps to further guide the design process.“* (North, 2005: S. 1226).

Abbildung 3-2 zeigt, wie Informationen auf elementare Informationsstrukturen im Sinne Norths (2005) (vgl. Abschnitt 2.2.5) abgebildet werden können. Die untere Ebene 1 bildet die Ebene der heterogenen Informationen ab, wie sie im Web vorzufinden sind. Ebene 2 ist die Ebene der Informationsstrukturen, die aus den möglichen Strukturen tabellarisch, textuell, räumlich, zeitlich oder baum-/netzwerkförmig besteht. Jede Informationsart aus Ebene 1 lässt sich auf eine oder mehrere Informationsstrukturen aus Ebene 2 aufteilen. Beispielsweise können Statistiken vornehmlich eine tabellarische Informationsstruktur haben, Webseiten eine textuelle Informationsstruktur und Veranstaltungen vornehmlich eine zeitliche Informationsstruktur beinhalten. Dies wird durch die direkten Pfeile nach oben von Informationen (Ebene 1) zu Informationsstrukturen (Ebene 2) in Abbildung 3-2 angezeigt.

Komplexere Informationsarten können aber auch gleichzeitig mehrere Informationsstrukturen beinhalten. Die Möglichkeit in Abbildung 3-2, anhand der Pfeile von Informationen zu allen Informationsstrukturen zu gelangen, zeigt an, dass sich komplexe Informationsarten auf mehrere Informationsstrukturen aufteilen lassen. Zum Beispiel enthalten Open Data-Statistiken („Statistiken“ als erster Eintrag auf Ebene 1) wie sie im Anwendungsszenario „Statistische Daten“ genutzt werden (vgl. Abschnitt 6.2.3) gleichzeitig tabellarische, räumliche und zeitliche Informationsstrukturen. Der komplette Datensatz ist eine Tabelle (vgl. Tabelle 4-1) mit Kombinationen von Land/Jahr/Indikatorwert. Der gesamte Datensatz ist also *tabellarisch* aufgebaut, die Verteilung der Länder lässt sich *räumlicher* Informationsstruktur zuordnen, die Verteilung der Jahre *zeitlicher* Informationsstruktur. Diese Informationsstrukturen werden im nächsten Schritt für die initiale Visualisierung der Information genutzt.

### 3. Modellbildung

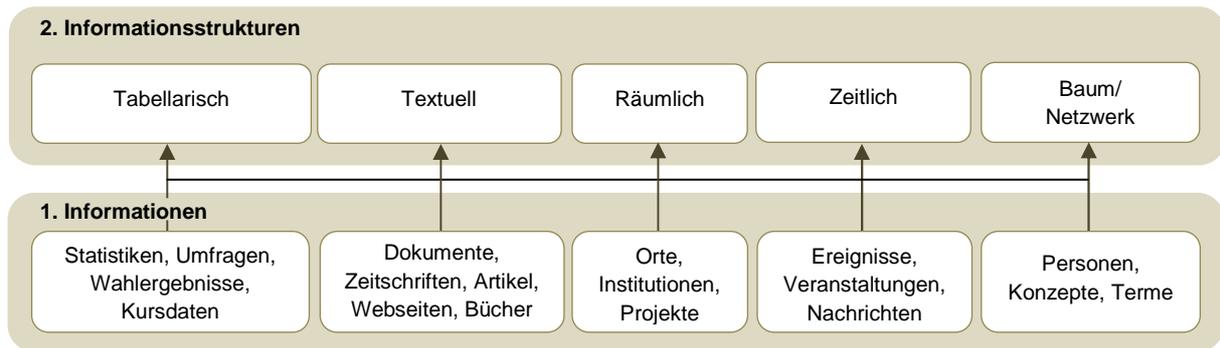


Abbildung 3-2: Abbildung von Informationen auf elementare Informationsstrukturen.

#### 3.4 Visualisierungen

Bei der Visualisierung der Informationen werden die Informationsstrukturen als Hilfestellung für die initiale Visualisierung genutzt. North schreibt dazu:

*„These structures provide guidance for the design of appropriate visualizations. Since these structures are likely to be very important to users’ mental models of the information,...”* (North, 2005: S. 1226).

Dabei kann grob unterschieden werden zwischen (1) Einzelansichten für die Anzeige einer Informationsstruktur von Informationen und (2) Mehrsichtensystemen für die Anzeige (a) mehrerer Informationsstrukturen einer Information in verschiedenen Ansichten oder (b) von jeweils einer Informationsstruktur verbundener Informationen in verschiedenen Ansichten.

Dabei wurde bisher der Schwerpunkt in Mehrsichtensystemen auf den Prozess (2a) gelegt. Verschiedene Informationsstrukturen einer Informationsart werden in verschiedenen Ansichten dargestellt, um die unterschiedlichen Aspekte einer Informationsart zu untersuchen. Hier besteht bereits eine Verbindung zwischen den einzelnen Informationsstrukturen durch die Information selber und muss nicht noch erstellt werden. Beispielsweise können die verschiedenen Informationsstrukturen von statistischen Daten wie tabellarisch, räumlich und zeitlich gleichzeitig in Visualisierungen wie Liste, Karte und Diagramm angezeigt werden. Der Prozess (2b), die verbundene Ansicht von heterogenen Informationen im Web, stellt eine neue Möglichkeit dar, Mehrsichtensysteme zu nutzen. Hier wird nicht nur eine Information visualisiert, sondern mehrere, die durch die gleichzeitige Ansicht in mehreren Visualisierungen neue Prozesse wie das Linking von Information in Visualisierungen ermöglicht.

Abbildung 3-3 zeigt zusätzlich zu Ebene 1 (Informationen) und Ebene 2 (Informationsstrukturen) die Ebene 3 (Visualisierungen) an. Diese enthält Beispiele für die initiale Visualisierungen (vgl. Tabelle 2-6) von tabellarischen, textuellen, räumlichen, zeitlichen oder baum-/netzwerkförmigen Informationsstrukturen (direkte Pfeile von Informationsstrukturen zu Visualisierungsbeispielen).

### 3. Modellbildung

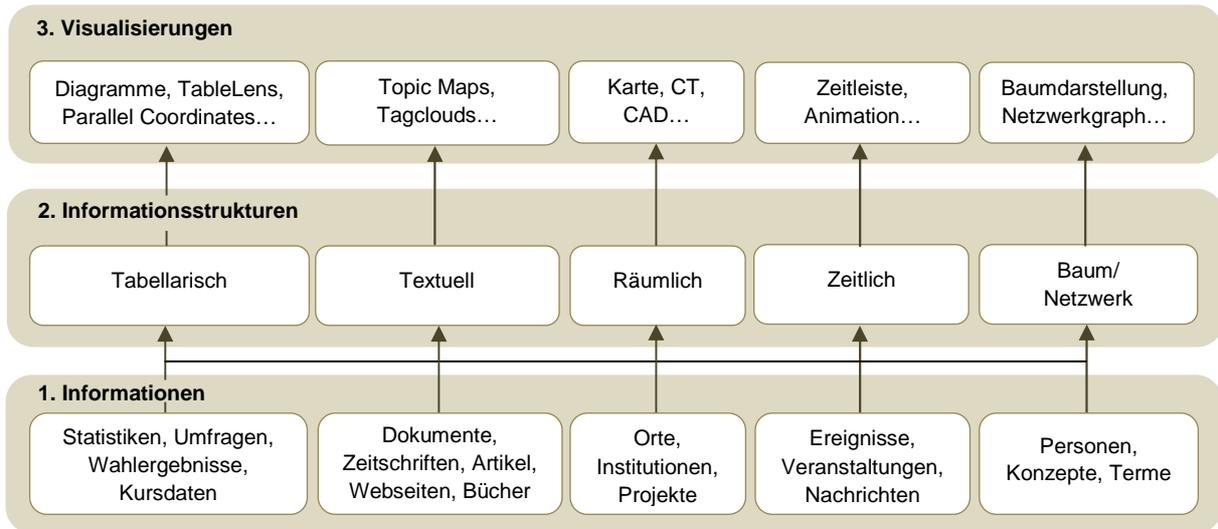


Abbildung 3-3: Abbildung von Informationen auf Informationsstrukturen und initiale Visualisierungen.

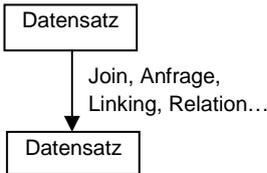
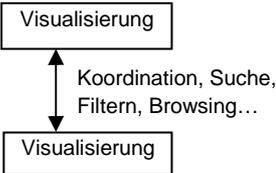
Durch die Kombination der drei Ebenen ergeben sich komplexe Möglichkeiten beliebige Informationen anhand ihrer Informationsstrukturen zu visualisieren.

Mehrsichtensysteme sind das Standardvorgehen für die Anzeige von kombinierten Informationsstrukturen in der Informationsvisualisierung (vgl. Abschnitt 2.2.5.5). Dabei werden einzelne Informationsstrukturen oder -attribute in eigenen Ansichten mit der jeweilig passenden Visualisierung angezeigt und gleichzeitig dargestellt. Das Linking zwischen Informationen und Informationsattributen kann genutzt werden, um die verschiedenen Ansichten visuell miteinander zu verbinden. Eine viel genutzte Technik dafür ist Brushing-and-Linking, wo durch die Selektion von Daten in einer Ansicht, gleiche oder verbundene Daten in allen anderen Ansichten hervorgehoben werden.

Das Snap-Visualization-Modell (vgl. Abschnitt 2.2.5.5.1) ist ein grundlegendes Modell für die Koordination von mehreren Ansichten basierend auf dem relationalen Datenmodell. Das Modell kann abstrahiert werden, um die Erfordernisse von heterogenen Informationen im Web zu unterstützen. Grundlegend für das Snap-Visualization-Modell ist die Basis des relationalen Datenmodells, auf die sich auch die Bildung der weiteren Analogien stützt. Mit der Möglichkeit, koordinierte Visualisierungen im Web zu erstellen und auf dynamische heterogene Datenbasen zurückzugreifen, ändern sich auch Informationstypen und Datenmodell. Online kann auf Datenquellen wie Suchschnittstellen, Web-APIs, semantische Datenbanken, Webseiten, Text etc. zugegriffen werden, die keine relationalen Operationen erlauben. Auch das grundlegende Datenmodell kann sich von Tupeln zu Tripeln oder freiem Text verändern. Durch die Verwendung von verschiedenen Informationsstrukturen, wie tabellarisch, textuell, zeitlich, örtlich, baum-/netzwerkförmig ergeben sich komplexere Zusammenhänge. Wesentlich ist auch die Verbindung zwischen den Daten, die im relationalen Datenmodell über IDs erreicht wird, in Wissens-Repräsentationssprachen wie RDF beispielsweise über semantische Relationen definiert sind. Kernpunkt des Snap-Visualization-Modells ist, dass koordinierte Visualisierungen einem Join von Relationen entsprechen. Das bestehende Snap-Visualization-Modell kann durch die Abstrahierung der Datenbasis, der Datenrelationen und der Einführung neuer Suchtechniken wie Suche, Browsing und Filtern zwischen Visualisierungen auf allen Ebenen erweitert werden. Tabelle 3-2 fasst die Erweiterungen zusammen.

### 3. Modellbildung

Tabelle 3-2: Abstrahierung des Snap-Visualisierung-Modells für Informationen im Web (basierend auf Tabelle 2-7)

|                           | <i>Informationen im Web</i>   | <i>Verbundene Visualisierungen im Web</i>  |
|---------------------------|---|--|
| <i>Theorie</i>            | Datensatz: Relation, Triple-Menge, Suchergebnis, Anfrage-Ergebnis...              | Visualisierungskomponente  |
|                           | Informationsobjekte: Tupel, Triple, Informationstypen                             | Visuelles Element  |
|                           | Informationsattribut  | Visuelle Eigenschaft   |
|                           | Aktionen: Selektion, Suche, Browsing, Filtern, Koordination, Loading              | Nutzerinteraktion  |
|                           | Datenverbindung: Join, Anfrage, Linking, Relation...                              | Koordination, Suche, Browsing, Filtern   |
| <i>Benutzeroberfläche</i> |  |  |

### 3.5 Interaktionstechniken

Auf Ebene der Interaktionstechniken kann unterschieden werden zwischen Übersichts-, Navigations- und Interaktionstechniken nach der Einteilung Norths (vgl. Abschnitte 2.2.6, 2.2.7, 2.2.8), die (a) für eine einzelne Ansicht optimiert sind und zwischen (b) Techniken, die für mehrere Ansichten gleichzeitig gelten und (c) auf Coordinated Views, die auf der visuellen Verbindung von mehreren Ansichten beruhen. Darauf aufbauend werden die Techniken (d) für das Linking von Informationen in Visualisierungen sowie (e) für das Glyphenbasierte Filtern, Suchen und Browsing neu eingeführt.

Abbildung 3-4 zeigt das Modell ergänzt um die Ebene der Interaktionstechniken und der darin enthaltenen neu eingeführten Prozesse Linking von Information und Glyphenbasiertes Filtern, Suche, Browsing. Gepunktete Pfeile zeigen Interaktionsprozesse, die auf mehrere Visualisierungen gleichzeitig angewandt werden können (außer Interaktionsprozess 4a).

### 3. Modellbildung

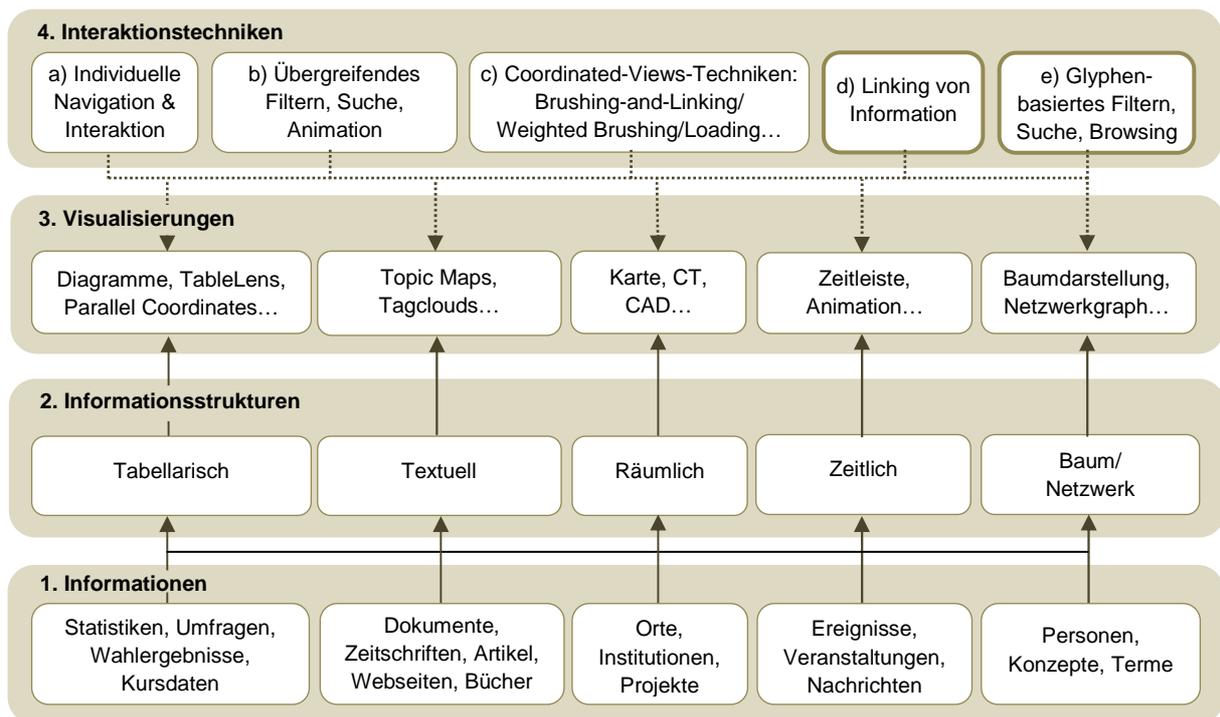


Abbildung 3-4: Das Modell ergänzt um Interaktionstechniken und die neu eingeführten Prozesse *Linking von Information* und *Glyphenbasiertes Filtern, Suche, Browsing*.

#### 3.5.1 Individuelle Navigation und Interaktionstechniken

Die individuelle Ansicht stellt je nach Visualisierungstyp, dargestellter Information und Anwendungsfall unterschiedliche Interaktionstechniken zur Verfügung. Eine Aufstellung möglicher Techniken zeigen die Abschnitte 2.2.6, 2.2.7 und 2.2.8. Weitere mögliche Einteilungen von Interaktionstechniken (z.B. in das übergreifende Information-Seeking-Mantra) zeigen die Abschnitte 2.2.10 und die Tabelle 3-1. Individuelle Navigationstechniken sind direkt mit der Visualisierung verbunden. Der Nutzer nutzt diese Techniken direkt in der einzelnen Visualisierung (gepunkteter Pfeil von Prozess (4a) zu den einzelnen Visualisierungen in Abbildung 3-4).

#### 3.5.2 Übergreifendes Filtern, Suche und Animation

In koordinierten Ansichten können mit Interaktionskomponenten alle Ansichten *gleichzeitig* gefiltert, durchsucht oder animiert werden. Ein gängiges Konzept, für die Filterung der einzelnen Ansichten, das aber auch für koordinierte Ansichten genutzt werden kann, sind Dynamic Filters (vgl. Abschnitt 2.2.8.3). Alle Ansichten können aber auch gleichzeitig animiert werden, so dass unterschiedliche Attribute in verschiedenen Ansichten über die Zeit verfolgt werden können (gepunkteter Pfeil von Prozess (4b) zu allen Visualisierungen in Abbildung 3-4).

#### 3.5.3 Coordinated-Views-Techniken

Coordinated-Views-Techniken werden genutzt, um verschiedene Ansichten mit einem interaktiven Linking zu verbinden. Abschnitt 2.2.5.5 gibt einen Überblick über Modelle und Techniken für koordinierte Ansichten. Beispielsweise können verbundene Attribute in verschiedenen Ansichten mit der Brushing-and-Linking-Technik verbunden werden (gepunkteter Pfeil von Prozess (4c) zu allen Visualisierungen in Abbildung 3-4).

### 3. Modellbildung

#### 3.5.4 Linking von Information

Verbindungen und Verlinkungen zwischen Informationen können auf verschiedenen Ebenen bestehen: (1) Auf Einzelinformationsebene bestehen Verbindungen zwischen Informationsattributen aufgrund der Information selbst, die auch in verschiedenen Ansichten angezeigt werden können (vgl. Abschnitt 2.2.5); (2) zwischen Informationen können Verbindungen wie Joins, Anfragen, Linkings, oder Semantiken bestehen (vgl. vorheriger Abschnitt 3.4 → Erweiterung des Snap-Visualization-Modells) und (3) zwischen Informationsbeständen im Web können Webseiten miteinander verlinkt sein oder semantisch ausgezeichnete Informationen können Verbindungen auf semantischer Ebene zu verwandten Informationen enthalten (vgl. Abschnitt Semantic Web 2.1.1.5).

Besteht noch keine Verbindung zwischen verschiedenen (heterogenen) Informationen, können Visualisierungen genutzt werden, um dieses Linking zu erstellen. Dabei werden die Vorteile von Visualisierungen (vgl. Abschnitt 2.2.1) im Allgemeinen und Vorteile von verschiedenen Visualisierungstypen genutzt, um die Information optimal darzustellen und durchsuchbar zu machen. Zum Beispiel können große Datenmengen besser navigierbar auf kleinem Raum dargestellt werden oder signifikante Punkte wie der Beginn eines Trends können direkt erkannt werden. Außerdem können sehr heterogene Informationstypen optimal für sich in passenden Visualisierungen dargestellt werden. Damit erhält jeder Informationstyp eine optimierte Darstellung inklusive Navigations- und Interaktionsmöglichkeit. In Abbildung 3-4 wird gezeigt, dass der Interaktionsprozess auf verschiedene Visualisierungen und damit auch auf darunterliegende Informationen angewandt werden kann (gepunkteter Pfeil von Prozess (4d) zu allen Visualisierungen über Informationsstrukturen zu darunterliegenden Informationen).

Sind zwei potentiell zu verbindende Informationseinheiten optimal für sich visualisiert, können sie nebeneinander dargestellt werden, um mit einer einfachen Interaktionsmetapher technisch miteinander verbunden zu werden. Nutzer können gängige Interaktionstechniken wie Filtering, Zooming & Panning etc. nutzen, um zur gewünschten Information nach dem Information-Seeking-Mantra zu navigieren. Dann können ein oder mehrere Elemente in jeder Visualisierung mit der Maus selektiert werden und sind damit bereits verbunden. Rein visuell kann die Verbindung durch eine Verbindungslinie angezeigt werden. In der Listenansicht kann die Verbindung dann mit beliebigen Attributen annotiert werden, z.B. mit einem Prädikat im Sinne des Semantic Webs oder mit einem Vertrauenswert für die Stärke der Verbindung.

Auf Ebene der kognitiven Prozesse wurde gezeigt (vgl. Abschnitt 2.3.7), dass Nutzer heterogene Informationen aus verschiedensten Quellen in einem qualitativen mentalen Modell integrieren können. Dabei nimmt der Integrationsprozess die meiste Zeit in Anspruch. Ziel muss es sein, (1) die mentale Assoziation, die zwischen Informationseinheiten erstellt wurde, auch technisch im System auszudrücken (auch, um darauf aufbauend Techniken wie Multiple Coordinated Views oder Browsing zu nutzen), (2) durch Angleichung der Visualisierungssysteme, Interaktion und Verlinkungsmetaphern, die Zeitspanne für die mentale Integration der Informationen zu verringern.

Das Vizgr-Toolkit implementiert die Anforderung, heterogene Informationen zu verlinken (vgl. Kapitel 4). Kapitel 5 evaluiert in einem Nutzertest die prinzipielle Funktionsweise unter den Aspekten Zeitaufwand und wahrgenommener Schwierigkeit. Kapitel 6 nutzt automatisch erstellte Linkings für die Verbindung von verschiedenen statistischen Indikatoren und nutzererstellte Linkings für Verbindungen zwischen offiziellen Statistiken und Nutzervisualisierungen. Kapitel 8 nutzt den Mechanismus für die Verlinkung von sehr komplexen Finanzinformationen wie Börsenkursen und

### 3. Modellbildung

Finanznachrichten. Im Nutzertest wird gemessen, wie erfolgreich, wie schnell und als wie schwierig es empfunden wurde, heterogene Informationen zu verknüpfen.

Ein bestehendes Linking zwischen Informationen, das entweder automatisch oder durch den Nutzer erstellt wurde, ist die Voraussetzung für Interaktionstechniken wie Multiple Coordinated Views (vgl. Abschnitt 2.2.5.5) oder Browsing (siehe folgender Abschnitt).

#### 3.5.5 Glyphenbasiertes Filtern, Suche und Browsing

Verschiedene Systeme nutzen bereits Glyphen in Visualisierungen für die Filterung oder Suche von Informationen (Abschnitt 2.2.10 stellt einige Systeme vor).

Das Konzept lässt sich abstrahieren, indem Glyphen von verschiedenen Visualisierungstypen mit einem Interaktions-Icon versehen werden, das verschiedene Aktionen wie Browsing-, Such- oder Filterungsprozesse auslösen kann. Abbildung 3-5 zeigt die abstrakte Sichtweise: Informationsattribute werden abgebildet auf Glyphen von Visualisierungen. Diese können in der Datenbasis mit einem Interaktions-Icon und einer Interaktionstechnik verbunden werden. Ein Mausklick auf das Icon löst dann einen Browsing-, Such- oder Filterprozess aus.

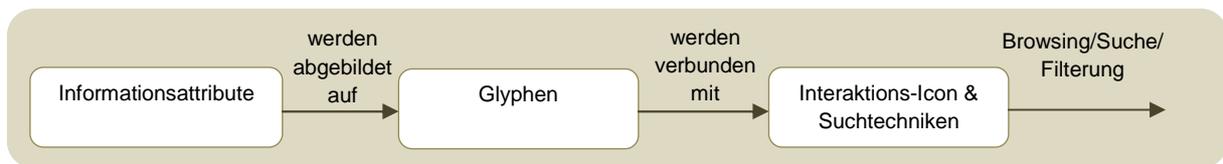


Abbildung 3-5: Abbildung von Informationsattributen auf Glyphen, die mit einem Interaktions-Icon verbunden werden können. Das Interaktions-Icon kann IR-Techniken wie Browsing, Suche oder Filterung auslösen.

Auf Ebene des Suchprozesses kann das Interaktions-Icon verschiedene Prozesse auslösen: (1) Browsing zwischen verschiedenen Informationen sowie (2) Suche und Filterung in Suchsystemen.

Abschnitt 2.1.2 zeigt die Methoden, die im IR für die Informationssuche eingesetzt werden: Suche, Filterung, Browsing und facetierte Suche. Abschnitt 2.2.10 zeigt, dass in der Informationsvisualisierung nach Shneidermans Mantra Filterung als Technik vorherrscht. Ausgehend von einem Überblick wird zu interessanten Informationen gefiltert und navigiert. Für die Verbindung von mehreren Ansichten werden Multiple Coordinated Views eingesetzt. Eine weitere angewandte Technik in der IV ist Faceted Filtering (vgl. dazu Abschnitt 2.2.10.1) für die Filterung von Informationen im Web mit einer oder mehreren Visualisierungen. Browsing wird als Technik innerhalb der Visualisierung und innerhalb eines Informationsraumes eingesetzt (vgl. Abschnitt 2.2.10.2), um zu verwandten Informationselementen zu springen. Ein Browsing nach außen zu anderen Informationsräumen wird nur selten genutzt. Auch Suche als IR-Technik wird nur selten glyphenbasiert genutzt (vgl. Abschnitt 2.2.10). Hinzu kommen glyphenbasierte Techniken aus der Informationsvisualisierung wie Multiple Coordinated Views (2.2.5.5).

Das Vizgr-Toolkit implementiert die Anforderung, Glyphen mit verschiedenen Suchtechniken zu verbinden. Damit kann zwischen verschiedenen Visualisierungen und zu Ressourcen im Web *gebrowst* werden (vgl. Kapitel 4). Im Anwendungsszenario wird überprüft, ob das generelle Konzept des Browsers ausgehend von Glyphen vom Nutzer verstanden wird und welche Icons/Symbole als allgemeine Linking-Metaphern für beliebige Visualisierungen in Frage kommen (vgl. Kapitel 5). Im Anwendungsszenario Digitale Bibliotheken werden Glyphen genutzt, um Suchergebnisse zu filtern

### 3. Modellbildung

und neue Suchen zu initiieren (Kapitel 7). In Kapitel 8 werden Glyphen genutzt, um zeitspezifisch Finanznachrichten in einer Zeitleiste zu laden und auf Online-Artikel im Web zu verweisen (Browsing). Hier werden in der Evaluation in einem komplexen explorativen Suchprozess Zusammenhänge zwischen Informationen vom Nutzer gesucht, bewertet, verlinkt und angewandt und es wird im Speziellen die Interaktions-Icon-Technik bewertet.

#### 3.6 Einbindung in den Suchprozess

Basierend auf einem Linking zwischen Informationen (Abschnitt 3.5.4) und verschiedenen Suchtechniken (Abschnitt 3.5.5) können Visualisierungen nun auch als Zwischenstufe im Suchprozess oder einer explorativen Suche über heterogene Inhalte eingesetzt werden. Bisher waren Visualisierungen im Web isoliert, da keine Verbindung zu Inhalten außerhalb der Visualisierung bestand. Mit der Einführung von Interaktionstechniken wie Browsing können Visualisierungen nun in einen iterativen Suchprozess eingegliedert werden. In Abbildung 3-6 wird gezeigt, wie durch den Interaktionsprozess Glyphenbasiertes Filtern, Suche und Browsing Visualisierungen mit dem Web oder einem IR-System verbunden werden können (gestrichelter Pfeil von Interaktionsprozess 4e zu Ebene 5 Web und Ebene 6 IR-System in Abbildung 3-6).

Kapitel 7 zeigt, wie Visualisierungen in den Suchprozess einer Digitalen Bibliothek eingebunden werden können, die auf dem klassischen IR-Modell basieren (vgl. Abschnitt 2.1.1.1). Hier werden in Visualisierungen Mehrwertinformationen und Verknüpfungen angezeigt, die in normalen Trefferlisten nur schwer abgebildet werden können. Nutzer können ausgehend von beliebigen Attributen in Visualisierungen die aktuelle Suche filtern oder eine neue Suche initiieren. In einer Nutzerstudie wird gezeigt, wie schnell Nutzer diese Informationen finden können und als wie schwer sie diese Interaktionsmöglichkeiten bewerten.

Kapitel 8 zeigt die Einbindung von interaktiven Visualisierungen in den explorativen Suchprozess von heterogenen Informationen im IV-System und im Web. In der Nutzerstudie wird aufgabenbasiert gezeigt, wie Nutzer Finanznachrichten passend zu Trends im Kursdiagramm laden und versuchen, konkrete Verbindungen zwischen diesen Informationen zu finden. Sie können dann diese Verbindung explizit im System angeben und darauf basierend Interaktionstechniken für eine schnellere Suche anwenden. Gemessen wird die Anzahl der erfolgreichen Lösungen, der zeitliche Aufwand, empfundener Schwierigkeitsgrad, aber auch, als wie vertrauenswürdig und sicher die Verknüpfung der Informationen empfunden wird.

#### 3.7 Integriertes Modell

Das integrierte Modell besteht damit aus sechs Ebenen (vgl. Abbildung 3-6):

1. *Informationen*: Auf unterster Ebene stehen Informationen als menschliche oder technische Zusammenfassung von Daten. Sie können auf eine oder mehrere Informationsstrukturen abgebildet werden.
2. *Informationsstrukturen*: Im Sinne der Informationsvisualisierung sind dies: tabellarisch, textuell, räumlich, zeitlich, baum-/netzwerkförmig.
3. *Visualisierungen*: Informationsstrukturen können initial auf bestimmte Visualisierungstypen abgebildet werden. Komplexere Informationen können in koordinierten Ansichten dargestellt werden oder verschiedene, auch heterogene Informationen können in koordinierten Ansichten dargestellt werden.
4. *Interaktionstechniken*: Auf Ebene der Interaktionstechniken ergeben sich durch die koordinierte Ansicht von Informationen verschiedene Möglichkeiten:

### 3. Modellbildung

- a. die individuelle Navigation und Interaktion in Einzelansichten,
  - b. das übergreifende Filtern, Suche und Animation in koordinierten Ansichten,
  - c. die koordinierte Ansicht von Visualisierungen mit Techniken wie Brushing-and-Linking, die Verbindungen zwischen Informationen oder Attributen direkt in den Visualisierungen anzeigt,
  - d. das *Linking von Informationen* durch den Nutzer,
  - e. das *Glyphenbasierte Filtern, Suche und Browsing*.
5. *Web* und 6. *IR-System*: Auf oberster Ebene stehen Systeme außerhalb der Visualisierung, wie das Web oder IR-Systeme, die durch das Glyphenbasierte Filtern, Suche oder Browsing miteinander verbunden sind.

Damit können in diesem Modell alle Arten von *Informationen* (Ebene 1) abgebildet werden. Anhand ihrer *Informationsstrukturen* (Ebene 2) werden sie in unterschiedlichen, je nach Komplexität auch in koordinierten *Visualisierungen* (Ebene 3) abgebildet. Die in den Visualisierungen abgebildeten Informationen profitieren damit von Vorteilen der Visualisierungen wie vorteilhafte Abbildung, Interaktion und der Zugänglichkeit anhand der Informationseigenschaften. Auf *Interaktionsebene* (Ebene 4) haben Visualisierungen positive Eigenschaften und dienen der Erweiterung des kognitiven Prozesses durch ihre Interaktivität (4a). Verschiedene Informationen können durch verschiedene Interaktionstechniken verbunden werden: Entweder durch übergreifende Interaktionstechniken (4b), Coordinated-Views-Techniken (4c) oder dadurch, dass sie in Visualisierungen verbunden werden können (4d). Der Ausgang zu Außensystemen wie *Web* (Ebene 5) und *IR-Systemen* (Ebene 6) geschieht durch glyphenbasierte Interaktionstechniken (4e).

### 3. Modellbildung

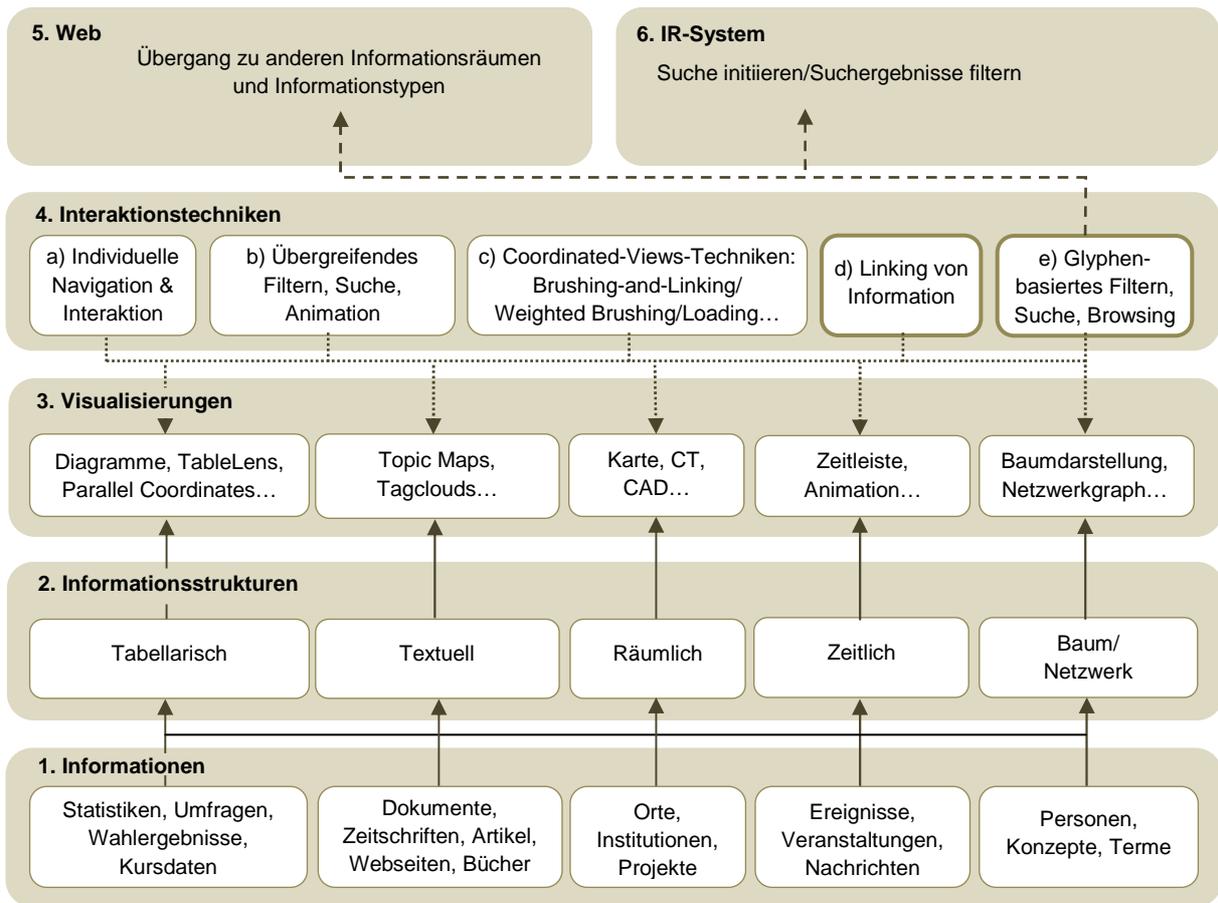


Abbildung 3-6: Das integrierte Modell.

#### Legende:

| Ebene | Gruppe | Abbildung von Information auf Informationsstruktur und auf Visualisierung | Abbildungen von Information auf mehrere Informationsstrukturen | Interaktionstechniken, die auf mehrere Visualisierungen gleichzeitig angewandt werden (außer 4a) | Übergang zu Web oder IR-System |
|-------|--------|---|--|--|--------------------------------|
|       |        |   |  |  |                                |

### 3.8 Das Modell in den Anwendungsszenarien

In den Kapiteln 5, 6, 7 und 8 werden die verschiedenen Teilaspekte des Modells in unterschiedlichen Anwendungsszenarien instanziiert und entweder evaluiert oder an Beispielen untersucht. Die folgende Aufstellung zeigt die Aspekte des Modells, die in den einzelnen Anwendungsszenarien behandelt werden. Die Abbildung des Modells wird dazu genutzt, die einzelnen Aspekte auf den verschiedenen Ebenen anzuzeigen. Da in allen Anwendungsszenarien unterschiedliche Informationen in koordinierten Visualisierungen dargestellt werden, wird in der Abbildung eine Informationsart mit blau markiert und die zweite Informationsart mit der Farbe Rot. Interaktionstechniken und Ausgänge zu Web oder IR-System, die von beiden gleichzeitig genutzt werden, sind rot/blau markiert.

### 3. Modellbildung

Kapitel 5 fokussiert sich auf eine Evaluation der neu eingeführten Interaktionstechnik *Linking von Information in Visualisierungen* (Proof-of-concept) mit Aspekten, die in Forschungsfrage 4 formuliert sind. In der Nutzerstudie werden beispielhaft auf den verschiedenen Ebenen des Modells auf Informationsebene *Orte* (blau) mit *Wikipedia-Artikeln* oder *Webseiten* (rot) verlinkt. Orte sind als Informationsstruktur *räumlich* und werden auf *Karten* abgebildet, Wikipedia-Artikel sind *textuell* und werden in *Tagclouds* abgebildet. Auf Interaktionsebene unterstützen die Visualisierungen *individuelle Navigation und Interaktion*, die Informationen in den verschiedenen Ansichten werden *verlinkt* und verweisen zu anderen Visualisierungen oder Informationen im Web (vgl. Abbildung 3-7).

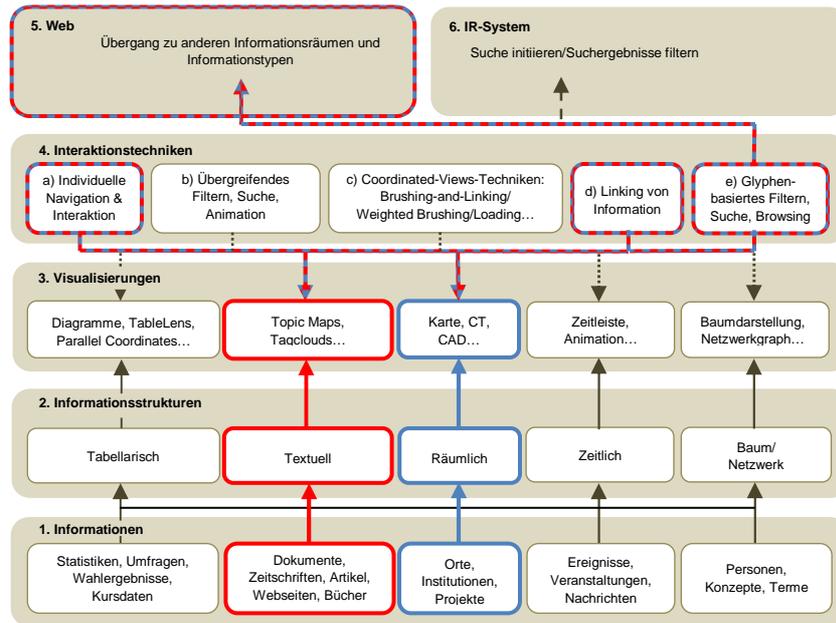


Abbildung 3-7: Modell im Nutzertest des Anwendungsszenarios „Nutzergenerierte Visualisierungen und Verlinkungen“.

Kapitel 6 konzentriert sich auf die Abbildung von statistischen Daten, verwandten Informationen und Aspekten, die in Forschungsfrage 5 formuliert wurden. Auf Informationsebene finden sich verschiedene Informationstypen wie *statistische Daten* (rot), *Nutzerdaten* (nicht markiert), oder *Zeitereignisse* (blau). Diese können auf die verschiedenen Informationsstrukturen aufgeteilt werden: statistische Daten (*tabellarisch*, *räumlich*, *zeitlich*), Nutzerdaten (auf alle) und Zeitereignisse (*zeitlich*). Darauf aufbauend können statistische Daten in verschiedenen *Diagrammen* und *Karten* angezeigt werden, Nutzerdaten in allen möglichen Visualisierungen und Zeitereignisse in einer *Zeitleiste*. Auf Interaktionsebene unterstützen alle Visualisierungen *individuelle Navigation und Interaktion*, alle Ansichten können *übergreifend durchsucht, gefiltert und animiert* werden und die verschiedenen Ansichten sind über *Coordinated View-Techniken* wie *Brushing-and-Linking* oder *Loading* verbunden, nachdem sie manuell oder automatisch *verlinkt* wurden (vgl. Abbildung 3-8).

### 3. Modellbildung

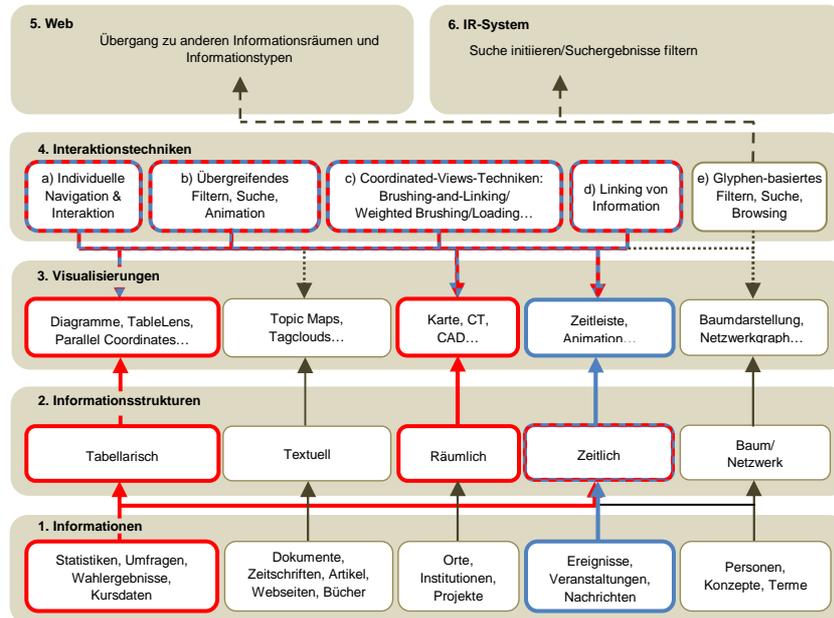


Abbildung 3-8: Modell im Anwendungsszenario „Statistische Daten“ (nur die Abbildung der Informationstypen statistische Daten (rot) und Zeitereignisse (blau) - ohne Nutzerdaten).

Kapitel 7 zeigt, wie interaktive Visualisierungen für die Unterstützung der Informationssuche in einem IR-System genutzt werden können. Die einzelnen Aspekte sind in Forschungsfrage 6 formuliert. Auf Informationsebene finden sich in einer Digitalen Bibliothek verschiedene Informationen wie *Dokumente* (rot), *Autoren/Ko-Autoren*, *Schlagwörter* oder *Suchtermvorschläge* (alle blau). Diese werden auf Informationsstrukturen wie *zeitlich*, *räumlich* (Dokumente), *tabellarisch* (Schlagwörter, Autoren) und *baum-/netzwerkförmig* (Ko-Autoren, Suchtermvorschläge) abgebildet. Auf Interaktionsebene unterstützen die einzelnen Visualisierungen *individuelle Navigation und Interaktion*, die Ansichten sind mit der *Coordinated View-Technik Brushing-and-Linking* verbunden und *in einem IR-System kann glyphenbasiert gesucht und gefiltert* werden (vgl. Abbildung 3-9).

### 3. Modellbildung

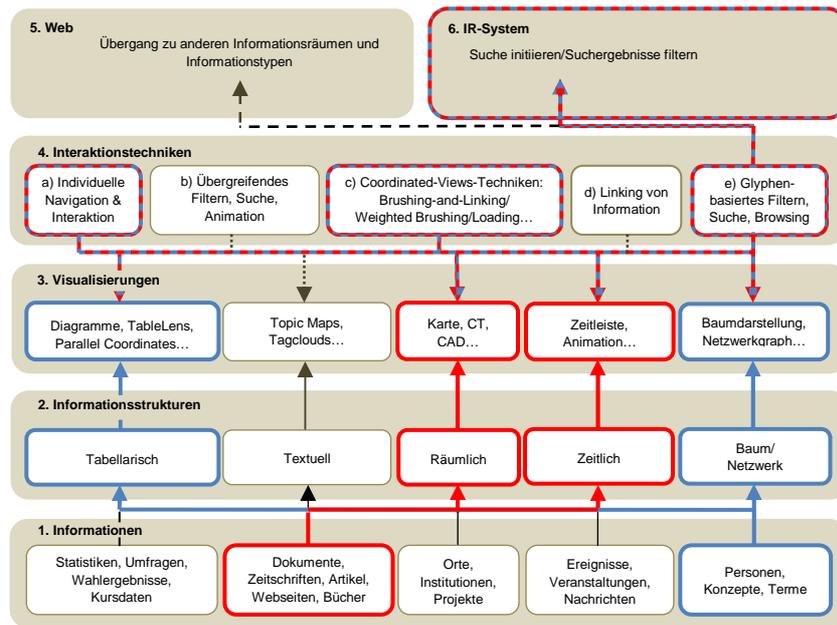


Abbildung 3-9: Modell im Anwendungsszenario „Suche in Digitalen Bibliotheken“.

Kapitel 8 zeigt, wie interaktive Visualisierungen in einen explorativen Suchprozess integriert werden können. Die einzelnen Aspekte sind in Forschungsfrage 8 erläutert. Auf Informationsebene finden sich Informationstypen wie *Kursdaten* (rot) und *Finanznachrichten* (blau). Diese können auf *tabellarische* (Kursdaten) und *zeitliche* (Finanznachrichten) Informationsstrukturen abgebildet werden. Auf Visualisierungsebene finden sich *Diagramme* und *Zeitleisten*. Auf Interaktionsebene unterstützen die Visualisierungen *individuelle Navigation und Interaktion*; Informationen aus beiden Ansichten können *verlinkt werden* und auf dieser Basis bilden sich *Coordinated View-Techniken* wie *Brushing-and-Linking* oder *glyphenbasiertes Browsing* für den Übergang zu Informationen im Web (vgl. Abbildung 3-10).

### 3. Modellbildung

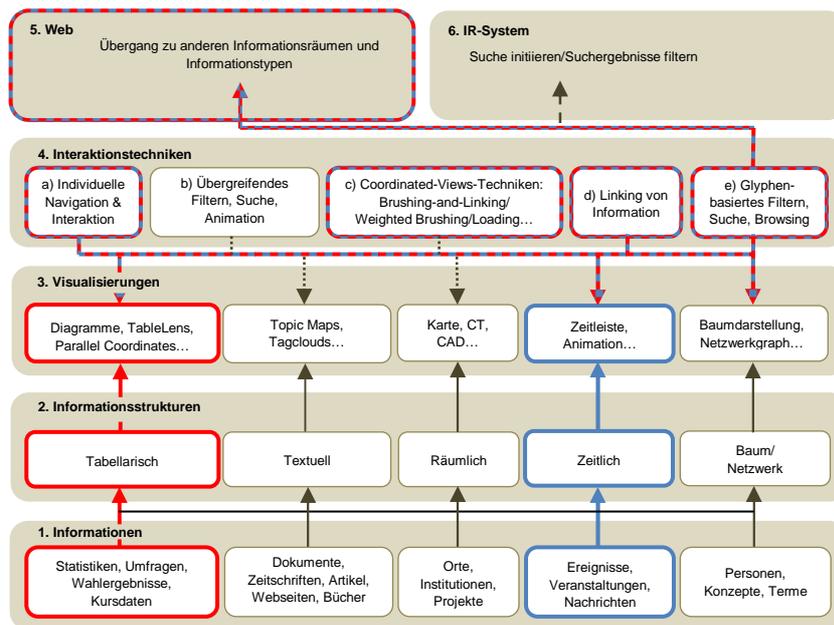


Abbildung 3-10: Modell im Anwendungsszenario „Visualisierungen in explorativer Suche“.

### 3.9 Fazit

In diesem Kapitel wurde ein Modell entwickelt, das heterogene Informationen auf Informationsstrukturen im Sinne der Informationsvisualisierung abbildet. Daraus ergeben sich initiale Visualisierungstypen, die als koordinierte Ansichten auch komplexe Informationstypen und Informationsräume abbilden können. Durch die koordinierte Ansicht ergeben sich aber auch vielfältige Interaktionsmöglichkeiten, die von der Verlinkung von Information zu koordinierten Ansichten, der Suche und Filterung in IR-Systemen und Übergängen zu anderen Informationstypen im Web reichen.

Im folgenden Kapitel wird das Vizgr-Toolkit vorgestellt, welches das Modell in eine Softwarelösung integriert. In den darauf folgenden Kapiteln werden verschiedene Anwendungsszenarien anhand des Modells gebildet und Teilaspekte mit Fokus auf die Interaktionsprozesse (4d) *Linking von Information in Visualisierungen* und (4e) *Glyphenbasiertes Filtern, Suchen, Browsen* evaluiert.

## 4 Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

Ausgehend von den Anforderungen aus dem gebildeten Modell (vgl. Kapitel 3) wird in diesem Kapitel das Vizgr-Toolkit<sup>7</sup> (Hienert u. a., 2011b, 2012c) vorgestellt. Diese Softwarelösung soll dabei alle Aspekte des entwickelten Modells unterstützen: Unterstützung heterogener Informationen und verschiedener Informationsstrukturen, koordinierte Visualisierungen, alle Interaktionstechniken wie den neu eingeführten Prozessen Linking von Informationen in Visualisierungen oder der Unterstützung von glyphenbasierten IR-Techniken. Dabei werden ausgehend vom Modell und der Architektur die verschiedenen Komponenten und Workflows der Software vorgestellt.

### 4.1 Anforderungen

Durch das theoretische Modell aus Kapitel 3 ergeben sich verschiedene allgemeine Anforderungen an das Toolkit, basierend auf den verschiedenen Ebenen des Modells:

(1) Auf Ebene 1 der *Informationen*:

Das Toolkit soll die interaktive Visualisierung verschiedener Informationen wie Statistiken, Kursdaten, Dokumente, Artikel, Institutionen, Projekte, Nachrichten, Personen, Konzepte etc. unterstützen.

(2) Auf Ebene 2 der *Informationsstrukturen*:

Für die Unterstützung verschiedenen Informationen werden auf Ebene der Informationsstrukturen verschiedene Architekturkomponenten benötigt:

- Die Unterstützung der Dateneingabe für tabellarische, textuelle, räumliche, zeitliche oder Netzwerkdaten mit optimierten Formularen für jeden Informationstyp und aus externen Datenquellen wie Wikipedia oder DBpedia (A1).
- Die Abbildung dieser Informationsstrukturen in einer internen Datenbasis, welche die verschiedenen Strukturen unterstützt (A2).
- Einzelne Datenpunkte und Glyphen müssen syntaktisch adressierbar sein (A3).

(3) Auf Ebene 3 der *Visualisierungen*:

- Die Abbildung dieser Datenbasis in verschiedenen Visualisierungen wie Diagrammen, Tagclouds, Karten, Zeitleisten und Netzwerkgraphen (A4).

Visualisierungen sollen nicht nur als Einzelansichten, sondern auch als koordinierte Ansichten unterstützt werden. Dafür müssen mehrere Visualisierungen auf einer Seite angezeigt werden können. Es ist nötig, dass

- Nutzer selbst verschiedene Visualisierungen auf einer Seite zusammenstellen können (A5).

(4) Auf Ebene 4 der *Interaktionstechniken*:

Auf dieser Ebene sollen die verschiedenen Interaktionstechniken unterstützt werden.

- *4a) Individuelle Navigation und Interaktion*

Die individuelle Visualisierung muss je nach Typ verschiedene standardisierte Navigations- und Interaktionstechniken erlauben (A6).

- *4b) Übergreifendes Filtern, Suche und Animation*

Es wird eine Komponente benötigt, die ein übergreifendes Filtern, die Suche und Animation von koordinierten Ansichten erlaubt (A7).

---

<sup>7</sup> Online unter <http://www.vizgr.org>

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

- *4c) Coordinated-Views-Techniken: Brushing-and-Linking, Weighted Brushing, Loading*

Verschiedene Techniken für koordinierte Ansichten sollen unterstützt werden. Dafür müssen Glyphen adressierbar sein, die mit verschiedenen Techniken formell in der Datenbasis verbunden werden (A8).

- *4d) Linking von Information (A9)*

Verschiedene Informationstypen sollen in Visualisierungen verlinkt oder mit Webressourcen verbunden werden können. Es wird ein Editor benötigt, der den Nutzer (A9a) Verbindungen zwischen Informationstypen und (A9b) zu Webressourcen erstellen und bearbeiten lässt.

- *4e) Glyphenbasiertes Filtern, Suche und Browsing (A10)*

Um Visualisierungen in den Suchprozess zu integrieren, sollen (A10a) Glyphen in Visualisierungen mit verschiedenen IR-Techniken verbunden werden können. Dafür muss auf Datenebene eine Adressierung der Glyphen erfolgen und eine Verbindung mit IR-Techniken in der Datenbasis möglich sein.

(5) Auf Ebene 5/6 der Drittsysteme wie *Web/IR-System*:

*Einsatz als Standalone-System oder als Komponente für die Integration in Drittsysteme*

- Das System soll als Standalone-System fungieren, das die nutzergenerierte Erstellung und Verbindung und Zusammenstellung von Visualisierungen erlaubt (A11).
- Zusätzlich soll die Integration in Drittsysteme wie *Web/IR-Systeme* leichtgewichtig möglich sein. Dafür muss das Gesamtsystem modular gestaltet werden und die Datenbasis durch Drittsysteme erstellbar sein (A12).

Weiterhin soll das Toolkit die folgenden technischen Kriterien unterstützen:

- Das Toolkit soll auf allen Ebenen webbasiert sein und browserunabhängig funktionieren (A13).
- Alle erstellten Visualisierungen, Verbindungen und Zusammenstellungen sollen persistent gespeichert werden können (A14).
- Die Anzeigekomponente muss verschiedene technische Aspekte unterstützen, um koordinierte Ansichten und die geforderten Interaktions- und Navigationstechniken zu unterstützen (A15). Dazu zählen zum Beispiel die Unterstützung von:
  - *Vektorgrafiken* für die Skalierung der Grafiken für große Einzelansichten und kleinere koordinierte Ansichten
  - *Szenegraph* für die Adressierung von Glyphen und Gruppierung als Basis für die Animation
  - *Event-Handling* als Basis für Interaktionstechniken und Synchronisation von Visualisierungsinstanzen untereinander und mit übergreifender Suche, Filterung, Animation
  - *Transformation* für die Animation von Grafiken
  - *Effekte* wie Shading, Gradienten, Blur etc. für ansprechende Grafiken
  - *3D-Inhalte* für komplexe Visualisierungstypen

### 4.2 Architektur

Abbildung 4-1 gibt einen Überblick über die modulare Architektur des Toolkits (analog zu A12), die in drei Komponenten aufgeteilt ist: (1) Die Webanwendung enthält alle Module, um den Nutzer bei der Erstellung von Visualisierungen, der Verlinkung von Informationen und der Zusammenstellung von Visualisierungen zu unterstützen und diese permanent zu speichern. (2) Auf Basis der Datenbank oder Daten, die von Drittsystemen zur Verfügung gestellt werden, wird eine *Datenbasis* erstellt, die

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

alle Informationen für die Erstellung und Verlinkung der Visualisierungen enthält. (3) Die *Anzeige- und Interaktionskomponente* enthalten die Module für die tatsächliche Erstellung der Visualisierung, mit welcher der Nutzer interagieren kann. Jede Instanz einer Visualisierung greift auf eine Instanz der Datenbasis zu. Durch Interaktion in der Visualisierung kann zu anderen Informationstypen im Web übergegangen werden oder beispielsweise Suchergebnisse gefiltert werden. Für die übergreifende Filterung, Suche und Animation über alle Instanzen von Visualisierungen steht ein weiteres Modul bereit. Dieses greift auf die Instanzen der Datenbasis zu, um Basisdaten für Filterung und Animation zu ermitteln.

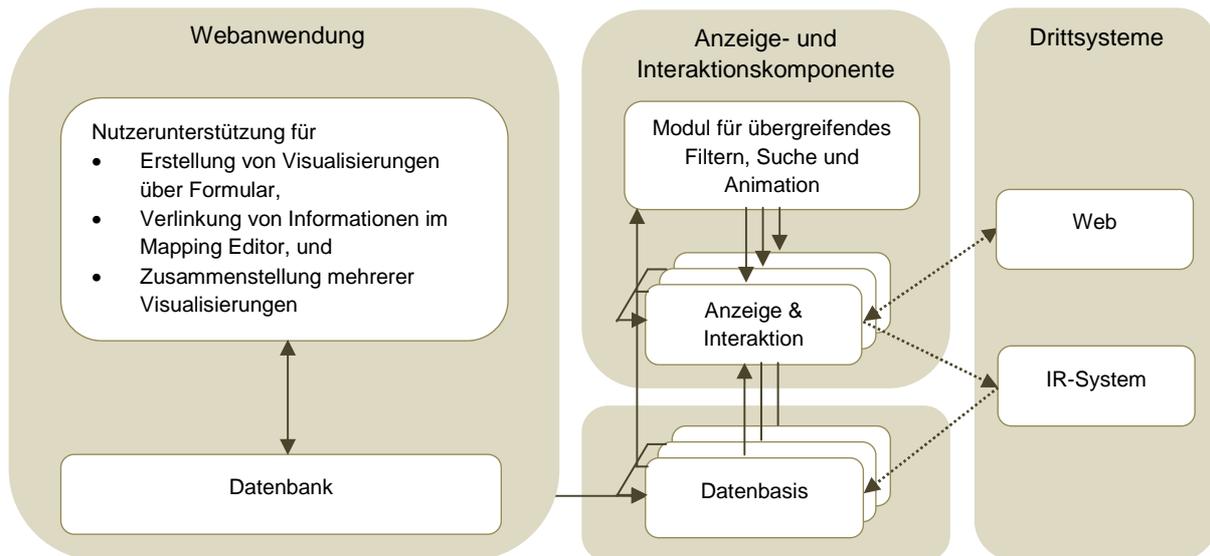


Abbildung 4-1: Modulare Architektur des Toolkits.

Auf Basis der Anforderungsanalyse ergibt sich folgende Aufteilung der geforderten Funktionalitäten auf die einzelnen Architekturkomponenten:

### (1) Webanwendung (Abschnitt 4.3)

- (W1) *Visualisierung erstellen*: Die Unterstützung der *Dateneingabe* für tabellarische, textuelle, räumliche, zeitliche oder Netzwerkdaten mit optimierten Formularen für jeden Informationstyp und der Unterstützung mit externen Datenquellen wie Wikipedia oder DBpedia (A1). → Abschnitt 4.3.1
- (W2) *Informationen verlinken*: Die Bereitstellung eines *Mapping Editors*, welcher die Nutzer (A9) → Abschnitt 4.3.2
  - Verlinkungen zwischen Informationen erstellen und bearbeiten lässt (A9a).
  - Verbindungen zu Webressourcen erstellen und bearbeiten lässt (A9b).
- (W3) *Visualisierungen zusammenstellen*: Nutzer sollen selbst verschiedene Visualisierungen auf einer Seite zusammenstellen können (A5). → Abschnitt 4.3.3
- (W4) Die *persistente Speicherung* aller erstellten Visualisierungen, Verbindungen und Zusammenstellungen (A14).

### (2) Datenbasis (Abschnitt 4.4)

- (D1) Die Abbildung von Informationsstrukturen wie tabellarisch, textuell, räumlich, zeitlich und Netzwerkdaten in einer internen Datenbasis, welche die verschiedenen Strukturen unterstützt (A2). → Abschnitt 4.4.1

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

- (D2) Einzelne Datenpunkte und Glyphen müssen syntaktisch adressierbar sein (A3). → Abschnitt 4.4.2
- (D3) Auf Basis der Adressierung von Glyphen können sie in verschiedenen Visualisierungen verbunden werden (A9a/A9b). → Abschnitt 4.4.4
- (D4) Auf Basis der Adressierung von Glyphen können sie mit Interaktionstechniken verbunden werden (A10a). → Abschnitt 4.4.4

### (3) Anzeige- und Interaktionskomponente (Abschnitt 4.5)

- (AI1) Die Erstellung von verschiedenen Visualisierungstypen wie Diagrammen, Tagclouds, Karten, Zeitleisten und Netzwerkgraphen auf Grundlage der Datenbasis (A4). → Abschnitt 4.5.1
- (AI2) *Individuelle Navigation & Interaktion*  
Die individuelle Visualisierung muss je nach Typ verschiedene standardisierte Navigations- und Interaktionstechniken erlauben (A6). → Abschnitt 4.5.2
- (AI3) *Übergreifendes Filtern, Suche und Animation*  
Es wird ein Modul benötigt, das ein übergreifendes Filtern, die Suche und Animation von koordinierten Ansichten erlaubt (A7). → Abschnitt 4.5.3
- (AI3) *Coordinated-Views-Techniken: Brushing-and-Linking, Weighted Brushing, Loading*  
Auf Grundlage der Datenbasis sollen verschiedene Techniken für koordinierte Ansichten unterstützt werden (A8). → Abschnitt 4.5.4
- (AI4) *Glyphenbasiertes Filtern, Suche und Browsing*  
Auf Grundlage der Datenbasis sollen beliebige Glyphen in Visualisierungen mit IR-Techniken verbunden werden können (A10). → Abschnitt 4.5.5

## 4.3 Webanwendung

Abbildung 4-2 zeigt die Unterstützung des Nutzers durch die Webanwendung auf den verschiedenen Ebenen des Modells. Auf Ebene der Informationsstrukturen werden tabellarische, textuelle, Orts-, Zeit- und Netzwerkdaten unterstützt, die mit verschiedenen Visualisierungstypen angezeigt werden können. Auf Ebene der Workflows und Interaktion unterstützt die Webanwendung den Nutzer bei der Erstellung von Visualisierungen basierend auf heterogenen Informationsstrukturen (W1), bei der Verbindung von Informationen in Visualisierungen untereinander und zu Webressourcen (W2) und der Zusammenstellung von Visualisierungen (W3).

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

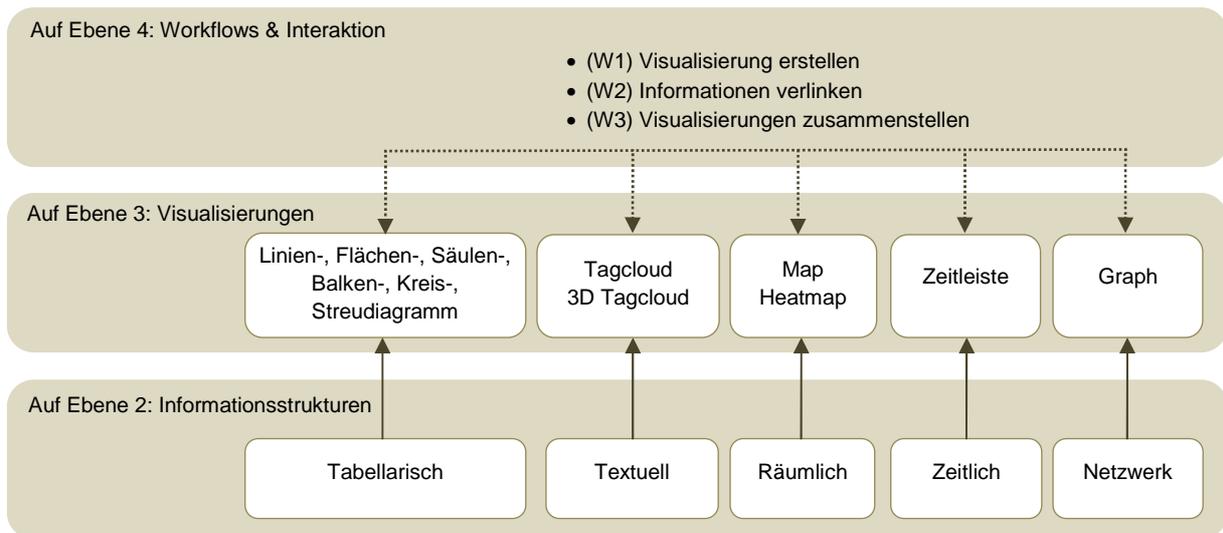


Abbildung 4-2: Unterstützung des Nutzers durch die Webanwendung auf den verschiedenen Ebenen des Modells.

### 4.3.1 Visualisierungen erstellen

Verschiedene Visualisierungen können mithilfe eines HTML-Formulars erstellt werden. Dafür müssen durch den Nutzer vier Schritte durchgeführt werden: (1) Die Eingabe eines Titels, (2) die Eingabe einer Beschreibung, (3) die Eingabe von Daten und (4) die Auswahl eines Visualisierungstyps. Als Resultat wird eine Vorschau der Visualisierung angezeigt. Alle Schritte werden in einem einzigen HTML-Formular durchgeführt. Dadurch können schnell Änderungen in den Eingabedaten durchgeführt werden und direkt in der Vorschau angezeigt werden. Titel und Beschreibung sind Metadatenfelder, welche die Visualisierung identifizieren und beschreiben. Der Titel wird für die Erstellung einer eindeutigen URL genutzt. Daten können auf drei verschiedene Arten eingegeben werden: (a) mit verschiedenen Eingabefeldern passend zum jeweiligen Informationstyp, (b) durch Copy & Paste aus Tabellenkalkulationen und (c) durch Auswahl und Import aus Datenbasen wie Wikipedia oder DBpedia.

Für kleine Datensätze können die Informationen manuell eingegeben werden. Die Webanwendung bietet verschiedene Formulare für (1) tabellarische Daten, (2) Text, (3) Orte, (4) Zeitereignisse und (5) Netzwerkdaten an. Das Formular für tabellarische Daten ist dabei aufgebaut wie die Ansicht einer Tabellenkalkulation. Es können verschiedene Attribute und Daten eingegeben werden. Text kann einfach durch Kopieren in ein Textfeld übergeben werden. Das Formular für Orte bietet Felder für Titel, Beschreibung und Adressinformationen wie Straße, Hausnummer, Postleitzahl, Stadt und Land. Die Webanwendung enthält einen eingebauten Geocoder basierend auf einem Google-Service, um die Adressen aufzulösen, Längen- und Breitengrad zu ermitteln und dem Datensatz hinzuzufügen. Zeitereignisse können mit den Attributen Titel, Beschreibung, Start- und Endzeitpunkt eingegeben werden. Das Formular für die Eingabe von Netzwerkdaten ist eine vereinfachte Tabelle mit drei Spalten. Verwandte Knoten können in die erste und zweite Spalte eingegeben werden, die dritte Spalte bietet ein optionales Feld für die Relation zwischen Netzwerknoden.

Kopieren und Einfügen aus Tabellenkalkulationen ist die geeignete Methode für die Eingabe von größeren Datensätzen, die bereits in Formaten wie Excel oder CSV vorliegen. Viele Datensätze im

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

Web wie zum Beispiel Finanzdaten von Yahoo, werden in diesen Formaten angeboten. Für die Informationstypen Orte, Zeitereignisse und Netzwerkdaten müssen die Spalten in einer vorgeschriebenen Ordnung formatiert werden. Dann können Daten in der Tabellenkalkulation markiert, in die Zwischenablage und anschließend in das Formular kopiert werden.

Für die Informationstypen Text, Orte und Zeitereignisse besteht die Möglichkeit, Daten direkt aus Wikipedia oder DBpedia zu importieren. DBpedia bietet strukturierte Informationen aus Wikipedia-Artikeln an (vgl. Abschnitt 2.1.1.4). Um einen Wikipedia-Artikel zu laden, kann ein Schlagwort in ein Suchfeld eingegeben werden. Durch eine Autocomplete-Liste können existierende Themen identifiziert und ausgewählt werden. Mit einem Mausklick wird der Artikeltext geladen und kann für Tagclouds genutzt werden. Vorteil ist, dass Verlinkungen zu anderen Wikipedia-Artikeln automatisch aus dem Quelltext extrahiert und in der Visualisierung wieder durch Interaktions-Icons repräsentiert werden. Für die Suche von Orten können Ortsnamen in ein Suchfeld eingegeben werden. Existierende Orte in DBpedia werden angezeigt und durch einen Mausklick können Koordinaten, Beschreibungen und Links geladen und auf einer Karte angezeigt werden. Zeitereignisse einer bestimmten Periode können durch Start- und Enddatum eingegrenzt, aus DBpedia geladen und auf einer Zeitleiste angezeigt werden.

Passend zum Informationstyp können verschiedene Visualisierungstypen gewählt werden. Für tabellarische Daten Linien-, Flächen-, Säulen-, Kreis-, Streu- oder Balkendiagramm als Liste; für Texte eine Tagcloud oder eine 3D-Tagcloud; für Orte eine Google-Karte mit Ortsmarkern oder Wertekreisen; für Zeitereignisse eine Zeitleiste und für Netzwerkdaten ein Netzwerkgraph. Nach Erstellung der Visualisierung wird eine Vorschau angezeigt.

### 4.3.2 Informationen verlinken

Für verschiedene IR-Techniken wie Browsing werden Relationen in der Datenbasis benötigt. Diese können automatisch in einer relationalen Datenbank, durch Semantiken in einem RDF-Store oder durch die Übereinstimmung von Attribut/Wert-Paaren in einer Tabelle vorhanden sein. Für manuelle Verlinkungen und das Editieren von Verlinkungen wird im Vizgr-Toolkit ein *Mapping Editor* angeboten. Dieser basiert direkt auf den erstellten Visualisierungen und integriert sich dadurch nahtlos in den Workflow für die Erstellung von Visualisierungen. Der Mapping Editor unterstützt die Verbindung aller Informations- und Visualisierungstypen.

#### 4.3.2.1 Informationen in Visualisierungen verbinden

Glyphen (vgl. Abschnitt 2.2.2) von zwei verschiedenen Visualisierungen (und damit Attribute von Informationen) können manuell mithilfe des Mapping Editors verbunden werden. Das System unterstützt den Nutzer durch Vorschläge für mögliche Verbindungen.

Glyphen der verschiedenen Visualisierungstypen sind zum Beispiel ein Ortsmarker auf einer Karte oder eine Säule in einem Säulendiagramm. Eine Glyphe repräsentiert ein oder mehrere Informationsattribute in einer einfachen grafischen Repräsentation. Der Mapping Editor nutzt diese Eigenschaft, um den Mapping-Prozess zu vereinfachen. Der Nutzer muss sich nicht mit komplexen Informationsstrukturen auf Datenebene auseinandersetzen, sondern kann grafische Objekte direkt in der Visualisierung auswählen. Für die einfache Identifikation von grafischen Objekten erhält der Nutzer Informationen durch ein Pop-up-Fenster. Die Benutzungsoberfläche ist wie folgt aufgebaut: Im oberen Bereich werden die zwei ausgewählten Visualisierungen nebeneinander angezeigt. Die Visualisierungen haben die gleiche interaktive Funktionalität wie bei der normalen Ansicht. Eine Liste der verbundenen grafischen Objekte wird unter den Visualisierungen angezeigt. Jeder Eintrag zeigt auf

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

der linken Seite den Titel des grafischen Objekts der Quell-Visualisierung und auf der rechten Seite den Titel des grafischen Objekts der Ziel-Visualisierung. Jeder Eintrag kann einzeln gelöscht werden. Im unteren Bereich des Mapping Editors befinden sich Buttons für Speichern, Abbrechen und Mapping vorschlagen.

Als erster und zweiter Schritt im Mapping-Workflow müssen zwei Visualisierungen ausgewählt werden. Um eine Verbindung anzulegen, kann ein grafisches Objekt in der linken oder rechten Visualisierung mit der Maus ausgewählt werden. Objekte, die ausgewählt werden können, werden mit einem roten Rahmen markiert, sobald die Maus darüberfährt. Mit einem Klick wird das Objekt selektiert und optisch hervorgehoben. Mit einem zweiten Klick wird das Ziel-Objekt selektiert. Sobald eine Verbindung erstellt wurde, erscheint sie in der Liste. Ein Klick auf Speichern schließt den Mapping-Prozess ab. Die beiden Visualisierungen sind nun verbunden und der Mapping-Prozess kann mit anderen Visualisierungen fortgesetzt werden. Alle erstellten Verbindungen können wieder in den Mapping Editor geladen und bearbeitet werden. Abbildung 4-3 zeigt einen Ausschnitt des Mapping Editors, in dem das Kursminimum im Indexchart von S&P 500 zu einem passenden Ereignis in der Zeitleiste verbunden wird.

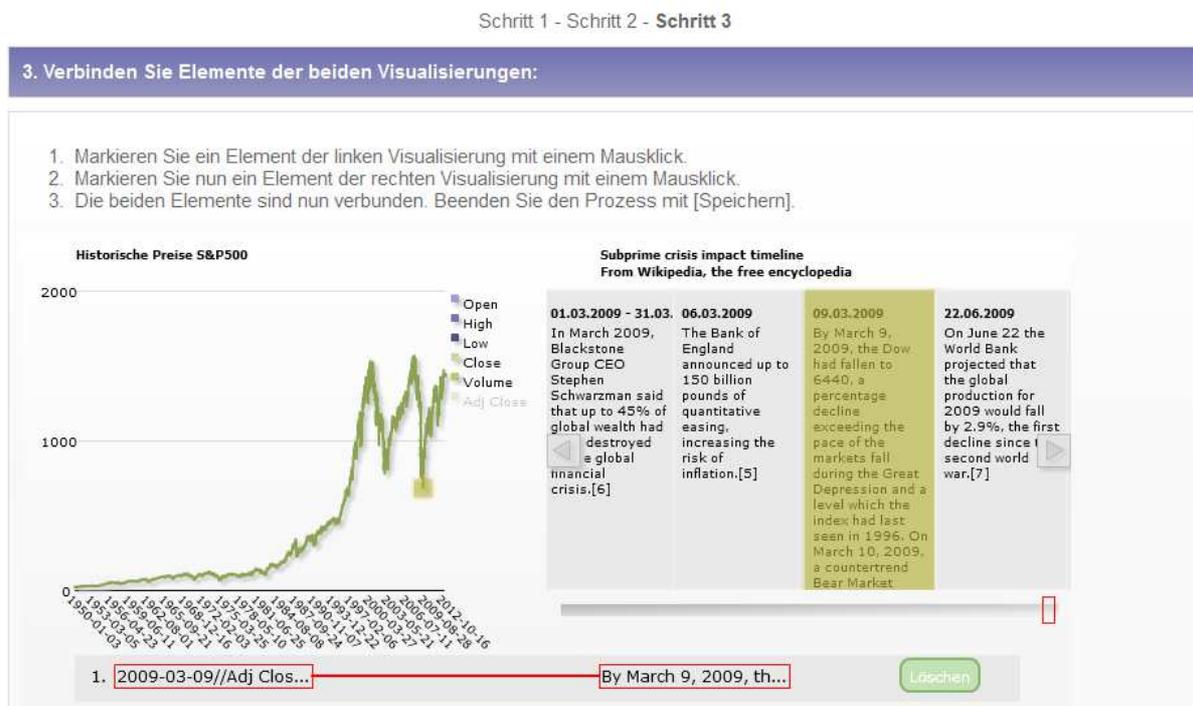


Abbildung 4-3: Mapping vom Kursminimum im Indexchart zu einem Ereignis in der Zeitleiste.

### 4.3.2.2 Semiautomatisches Mapping

Das System kann den manuellen Mapping-Prozess durch Vorschläge für Verbindungen zwischen Informationselementen unterstützen. Durch einen Klick auf den Button *Mapping vorschlagen* analysiert das System die zugrundeliegende Datenbasis und zeigt mögliche Verlinkungen in den Visualisierungen und in der Mapping-Tabelle an. Der Nutzer kann diese Vorschläge überprüfen und ungewünschte Verbindungen löschen.

Der Algorithmus für die automatische Suche nach Verbindungen bereitet zuerst in einem Vorverarbeitungsschritt die Datenbasen der beiden Visualisierungen auf. Für Grafiken mit tabellarischen Daten wird ein Array mit Attribut/Wert-Paaren gebildet. Das Mapping wird auf

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

grafischer Ebene gebildet, aber visuelle Elemente benötigen eine unterschiedliche Anzahl an Attribut-/Wert-Paaren, um in verschiedenen Visualisierungen erstellbar und identifizierbar zu sein. Für Tagclouds wird der komplette Text genutzt, für Karten, Titel und Beschreibungen der Orte usw. Der Algorithmus überprüft dann für jedes Array-Element, ob ein gleiches oder ähnliches Element in dem Array der Ziel-Visualisierung existiert. Soll zum Beispiel ein Netzwerkgraph mit Autoren mit einer Zeitleiste von Publikationen verbunden werden, wird für jeden Netzwerkknoten der Name in Titel und Beschreibung der Publikationen gesucht. Alle Autorennamen werden mit allen Publikationen verglichen und eine Verbindung angelegt, sobald eine Übereinstimmung gefunden wurde.

### 4.3.2.3 Visualisierungen mit Webressourcen verbinden

Das Verbinden von Elementen einer Visualisierung zu URLs eröffnet die Möglichkeit, ein Linking von Glyphen zu beliebigen Ressourcen im Web zu erstellen. Das können Webseiten, beliebige Text-/Multimedia-Dokumente, Visualisierungen, RDF-Dokumente, aber auch Suchanfragen, Anfragen an Web-APIs oder SPARQL-Anfragen sein. Die Möglichkeiten werden nur dadurch beschränkt, was im Web durch eine URL adressierbar ist. IBM Many Eyes unterstützt zum Beispiel auch die Adressierung von verschiedenen Versionen einer Visualisierung via URL. Der Vorteil ist, dass Visualisierungen und ihre visuellen Elemente in den Hyperlinking-Prozess des Webs eingebunden werden und dadurch nicht nur nicht-interaktive Illustrationen bleiben.

Das Verbinden von Elementen in einer Visualisierung zu URLs funktioniert analog zu dem Workflow zur Verlinkung von Informationen (vgl. Abbildung 4-4). Der Nutzer sucht eine Visualisierung für den Mapping-Prozess aus. Dann kann ein beliebiges grafisches Objekt in der Visualisierung mit einem Mausklick ausgewählt werden. Das Objekt wird dann hervorgehoben. Für jedes markierte Objekt erscheint ein Listenelement mit dem Namen des grafischen Objekts auf der linken Seite und der Möglichkeit auf der rechten Seite, einen Titel und eine URL zu einer Webressource einzugeben. Der Nutzer kann den Prozess fortsetzen, bis er mit einem Klick auf den Speichern-Button beendet wird. Dann kann direkt zu der bearbeiteten Visualisierung gesprungen werden, um das Linking zu überprüfen. Angelegte Verbindungen werden gespeichert und können später bearbeitet werden.

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

Schritt 1 - Schritt 2

2. Verbinden Sie Elemente der Visualisierung mit Webseiten:

1. Markieren Sie ein Element der Visualisierung mit einem Mausklick.
2. Geben Sie in der Liste den Titel und die URL der Webseite ein.
3. Beenden Sie den Prozess mit [Speichern].

The screenshot shows a line chart titled "Historische Preise S&P500" with a y-axis from 0 to 2000 and an x-axis from 1950 to 2012. A yellow box highlights a local minimum in the price line around 2009. Below the chart, a list of items contains the entry "1. 2009-03-09//Adj Clos...". To the right, a form has "Titel der Webseite:" filled with "Erläuterung des Kursminimums in Wikiped" and "URL der Webseite:" filled with "http://de.wikipedia.org/wiki/S%26P\_500#2". A green "Löschen" button is also visible.

Abbildung 4-4: Mapping von einem Kursminimum im Indexchart zur Beschreibung des Kursminimums im passenden Wikipedia-Artikel.

### 4.3.3 Visualisierungen zusammenstellen

Vom Nutzer erstellte Visualisierungen oder vom System automatisch erstellte Visualisierungen können auf einer Seite zu koordinierten Ansichten zusammengestellt werden. Die Webanwendung unterstützt den Nutzer durch einen einfachen Workflow. Der Nutzer wählt im Hauptmenü *Visualisierungen zusammenstellen* und kann dann durch einen Mausklick auf den Button *Visualisierung hinzufügen* verschiedene Visualisierungen auf einer Seite zusammenstellen. Die Auswahl erfolgt in einer Auswahlmaske, in der Nutzer aus verschiedenen Kategorien wählen, nach Titeln suchen und in den Ergebnissen blättern können. Mit einem Klick auf den Button *Hinzufügen* wird die Visualisierung zur Seite hinzugefügt. Die Zusammenstellung kann vom Nutzer abgespeichert und später wieder geladen werden. Die Funktionalität wird zum Beispiel im Anwendungsszenario *Statistische Daten* (vgl. Kapitel 6.2.2) genutzt.

## 4.4 Datenbasis

Als Datenbasis für die Erstellung und Verlinkung von Visualisierungen werden XML-Dokumente (Bray u. a., 2008) in einem vordefinierten Format genutzt. Dabei wird der Grundsatz verfolgt, Datenhaltung und die Erstellung der Visualisierung zu trennen. Die grundlegende XML-Datei enthält alle Informationen, um die Visualisierung zu erstellen und Verlinkungen zwischen Visualisierungen oder zu Webressourcen zu ermöglichen. Die Nutzung einer eigenständigen XML-Datei ermöglicht es, unabhängig von der tatsächlichen Datenquelle Visualisierungen in verschiedenen Systemen anzuzeigen. Die XML-Datei kann mit unterschiedlichen Programmiersprachen (manuell, PHP, Python etc.) erstellt und aus unterschiedlichen Datenquellen (Excel-Tabellen, Datenbanken, RDF-Stores) mit Daten gefüllt werden (vgl. Abbildung 4-5). Die Erstellung der Datendatei ist damit unabhängig von der Anzeige in der HTML-Datei. Daten müssen im Gegensatz zu anderen Visualisierung-Toolkits nicht als JavaScript oder ähnliches direkt in der HTML-Datei eingebunden werden. Dies ermöglicht

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

es, auch Standard-Formate wie CSV direkt in die XML-Datenbasis zu schreiben. In die HTML-Datei wird nur mit wenigen Code-Zeilen die Anzeigenkomponente integriert und eine ID als Parameter übergeben, welche dann auf die XML-Datei verweist. Werden mehrere Visualisierungen auf einer Seite angezeigt, hat jede Visualisierungsinstanz Zugriff auf eine eigene XML-Instanz, die per ID unterschieden wird. Das Control-Panel, das Filterung, Suche etc. über alle Visualisierungskomponenten anbietet, kann damit über alle XML-Instanzen iterieren und die notwendigen Daten integrieren und verarbeiten.

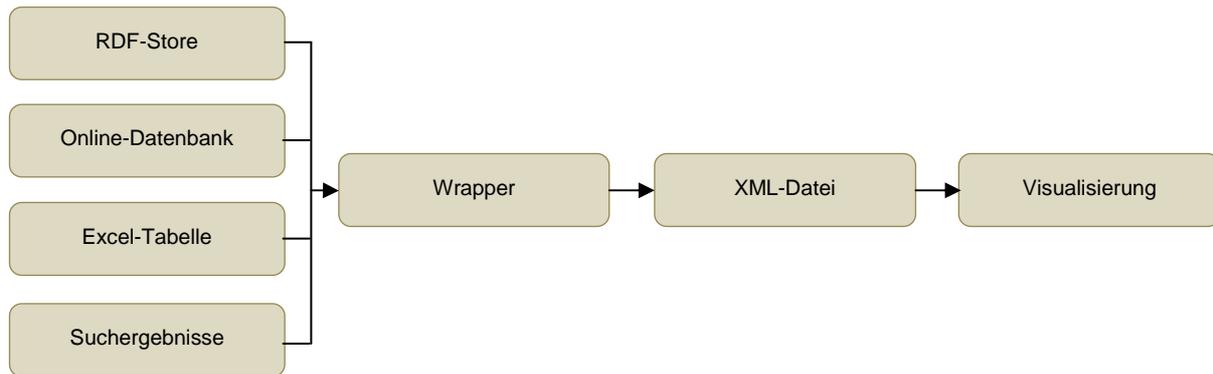


Abbildung 4-5: Beispiel für das Erstellen der XML-Datei aus unterschiedlichen Datenquellen über eine Wrapperklasse.

### 4.4.1 XML-Struktur für die Erstellung von Visualisierungen

Für die Erstellung von Visualisierungen wird die folgende, abstrakte XML-Struktur verwendet. Dies erlaubt die strukturierte Auszeichnung von Metadatenelementen und Verlinkungen von Visualisierungen, die von der Anzeige- und Interaktionskomponente verarbeitet werden kann. Mit Sternchen markierte Elemente werden dabei für Personalisierungs- und andere Funktionalitäten genutzt, sind optional und werden für die reine Anzeige von Visualisierungen nicht benötigt. Die Struktur enthält dabei hauptsächlich Metadaten für die Visualisierung wie Titel, Beschreibung, Visualisierungstyp und die Daten.

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

```
<result>
  <language*>de|en</language>
  <modus*>mapping|mapping-url|edit-mapping|edit-mapping-url</modus>
  <visualization>
    <title>Titel</title>
    <description>Beschreibung</description>
    <type>linechart|areachart|barchart|horizontal_barchart|piechart|scatterplot|
    tagcloud|tagcloud_3d|google_map|intensity_map|timeline|network</type>
    <key*>key</key>
    <category*>user|eurostat|worldbank|eusi|gapminder</category>
    • An dieser Stelle unterschiedliche Schema für Daten, je nach Informationstyp
    • An dieser 0..n Linking-Knoten für Anzeige der Verlinkungen in der Visualisierung und
      Bearbeitung im Modus edit-mapping und edit-mapping-url
  </visualization>
  • An dieser Stelle ein weiterer visualization-Knoten im Modus mapping und edit-mapping
  <geocoordinates*>
    Geo-Koordinaten für den Visualisierungstyp intensity_map
  </geocoordinates>
</result>
```

Listing 4-1: Allgemeines XML-Schema für die Erstellung von Visualisierungen

Für die verschiedenen Informationstypen werden noch folgende Schemata für die expliziten Daten eingefügt:

### 1. *Tabellarische Daten:*

```
<table_x_width>Anzahl der Spalten</table_x_width>
<table_y_width>Anzahl der Reihen</table_y_width>
<table_attribut>
  <item>Attribut 1</item>
  <item>Attribut 2</item>
  <item>Attribut ...</item>
</table_attribut>
<table_data>
  Daten im csv-Format mit Semikolon als Seperator.
</table_data>
```

Listing 4-2: XML-Fragment für die Informationsstruktur *Tabellarische Daten*

### 2. *Text:*

```
<text>Text</text>
```

Listing 4-3: XML-Fragment für die Informationsstruktur *Text*

### 3. *Orte:*

```
<address_data>Breitengrad;Längengrad;Titel;Beschreibung</address_data>
```

Listing 4-4: XML-Fragment für die Informationsstruktur *Orte*

### 4. Ereignisse:

```
<time_event_data>
  Starttag;Startmonat;Startjahr;Startstunde;Startminute; ↵
  Endtag;Endmonat;Endjahr;Endstunde;Endminute;Titel;Beschreibung
</time_event_data>
```

Listing 4-5: XML-Fragment für die Informationsstruktur *Ereignisse*

### 5. Netzwerkdaten:

Netzwerkdaten werden analog zu tabellarischen Daten mit drei Spalten formatiert, ohne explizite Nennung der Attribute.

```
<table_x_width>3</table_x_width>
<table_y_width>Anzahl der Reihen</table_y_width>
<table_attribut></table_attribut>
<table_data>
  Knoten A;Knoten B;Relation
  Knoten B;Knoten C;Relation
</table_data>
```

Listing 4-6: XML-Fragment für die Informationsstruktur *Netzwerkdaten*

#### 4.4.2 Adressierbarkeit von Glyphen

Abhängig vom Visualisierungstyp und der zugrundeliegenden Informationsstruktur wird eine unterschiedliche Anzahl an Informationen benötigt, um visuelle Elemente innerhalb der Visualisierung eindeutig zu identifizieren. Einzelne Glyphen werden innerhalb des Szenegraphs mit einem Label versehen, um sie für die Verlinkung eindeutig identifizierbar zu machen. Für die Identifikation von Glyphen in Diagrammen werden Attribut-Wert-Paare als Label genutzt, für Tagclouds einzelne Wörter, für Orte und Ereignisse deren Titel und für Netzwerkdaten Knotennamen.

Für die Identifikation von Glyphen aus tabellarischen Daten ergeben sich je nach Visualisierungstyp unterschiedliche Anforderungen. Es existieren verschiedene Möglichkeiten, Glyphen eindeutig zu identifizieren. Einzelne Tabellenzellen können über einen Index identifiziert werden, der die Reihe und die Spalte angibt. Dies hat den Nachteil, dass bei Einfügen oder Löschen von Werten in der Tabelle der Index-Wert nicht mehr stimmt und damit die Verlinkung einem anderen Wert zugeordnet wird. Eine weitere Möglichkeit ist die Identifikation über den Wert selbst (z.B. 4,72). Werte können in Tabellen aber mehrfach vorhanden sein und durch verschiedene grafische Elemente repräsentiert werden. Die Zuordnung ist damit nicht eindeutig.

In eindimensionalen Visualisierungen wie Linien- oder Säulendiagrammen etc. können grafische Objekte eindeutig durch zwei Attribut-/Wert-Paare identifiziert werden, in mehrdimensionalen Visualisierungen wie einem Streudiagramm werden drei bzw. vier Attribute benötigt. Tabelle 4-1 zeigt ein Beispiel:

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

Tabelle 4-1: Ausschnitt aus dem Indikator *Children per woman* von Gapminder.

| <i>Land</i> | <i>2008</i> | <i>2009</i> | <i>2010</i> |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Niger       | 7,17        | 7,12        | 7,06        |
| Somalia     | 6,39        | 6,36        | 6,34        |
| Afghanistan | 6,56        | 6,42        | 6,29        |
| Mali        | 6,43        | 6,36        | 6,29        |

Ein Liniendiagramm nutzt beispielsweise *Land:Niger* für den Auftrag auf der X-Achse und *2008:7,17* für den Auftrag auf der Y-Achse. Abgekürzt kann ein Punkt im Liniendiagramm dann eindeutig mit dem Label *Niger//2008:7,17* identifiziert werden. Für mehrdimensionale Diagramme können weitere Werte angehängt werden, wie z.B. *Niger//2008:7,17//2009:7,12*. Damit folgt die einfachste Identifikation einzelner visueller Elemente in Diagrammen folgender Syntax:

`Wert1//Attribut2:Wert2`

Für die Identifikation ganzer Reihen, Spalten oder Kombinationen werden nur die entsprechenden Attribute angegeben, so dass zum Beispiel auch folgende Syntax gültig ist:

`Attribut1//Attribut2`

### 4.4.3 Regeln

In vielen Fällen kann die Anzahl der Verlinkungen durch große Tabellen und beliebige Permutationen sehr groß werden. Sollen zum Beispiel in zwei Ansichten Attribute von Indikatoren verbunden werden (siehe Kapitel 6), so muss für jede Land-Zeit-Kombination eine eigene Regel erstellt werden. Bei Tabellen mit über 200 Ländern und über 200 Jahren kommen über 40.000 Regeln nach folgendem Muster zusammen:

`Niger//2008;Niger//2008  
Somalia//2008;Somalia//2008`

Um dies zu umgehen, wurden Regeln und Operatoren eingeführt, welche die Verlinkung vereinfachen. Die Regel `same//same//*` verbindet das aktuelle Element mit allen Elementen, die denselben Wert<sub>1</sub> und Attribut<sub>2</sub> mit beliebigen Werte haben. So können zum Beispiel immer das gleiche Land und das gleiche Jahr in verschiedenen Sichten verbunden werden. Die Regel `same//**/*` erlaubt die Verbindung nur über Wert<sub>1</sub> und beliebige Attribut<sub>2</sub> und Werte<sub>2</sub>, wenn zum Beispiel Elemente nur über das gleiche Land verbunden werden sollen.

### 4.4.4 XML-Basis für die Verlinkung von Visualisierungen

Daten für die Verlinkung werden in einem eigenen Knoten in der XML-Struktur abgelegt. Der Modus unterscheidet zwischen *internal*, *external*, *highlight* und *load*. Tabelle 4-2 zeigt die Modi und ihre Bedeutungen.

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

Tabelle 4-2: Mögliche Modi für die Verlinkung von Visualisierungen

| <i>Modus</i> | <i>Bedeutung</i>  |
|--------------|---|
| internal     | Verbindung zwischen zwei Visualisierungen   |
| external     | Verbindung zwischen Visualisierung und Webressourcen                                |
| highlight    | Hervorheben von verbundenen Elementen (Brushing-and-Linking und Weighted Brushing). |
| load         | Laden von neuen Elementen in der Zielvisualisierung anhand von Parametern           |

Das folgende XML-Schema zeigt den prinzipiellen Aufbau der Linking-Struktur:

```
<linking>
  <modus>internal|external|highlight|load</modus>
  Falls (modus==internal){
    <visualization_key>Key der Ziel-Visualisierung</visualization_key>
    <visualization_title>Titel der Ziel-Visualisierung</visualization_title>
    <visualization_type>Typ der Ziel-Visualisierung</visualization_type>
    <visualization_category>Kategorie der Ziel-Visualisierung</visualization_category>
  }
  <data>Hier Daten für die Verlinkung</data>
</linking>
```

Listing 4-7: Prinzipieller Aufbau der XML-Linking-Struktur

Zwei verbundene Elemente werden grundsätzlich durch ein Semikolon getrennt, so dass folgende Syntax für alle Informationstypen im Modus *internal* oder *highlight* gilt:

```
Element_in_Visualisierung_1;Element_in_Visualisierung_2
```

Ein einfaches Linking zwischen einem Netzwerkknoten mit dem Titel *Person A* und einem Ort mit dem Titel *London* sieht damit wie folgt aus:

```
Person A;London
```

Für die Technik *Weighted Brushing* kann zusätzlich die Intensität mit einem Wert von 1 bis 5 angegeben werden, die eine unterschiedliche Schattierung des Elements in der Zielvisualisierung bewirkt:

```
Person A;Person B|5
```

Für den Modus *external* gilt folgende Syntax:

```
Element_in_Visualisierung;Link_Titel|URL
```

Wobei der Parameter *URL*:

- für die URL einer Webseite oder Webressource stehen kann.
- JavaScript-Funktionen in der Syntax `javascript:Funktion(Parameter)` enthalten kann.
- beliebige andere Webschnittstellen oder Web-APIs steuern kann.

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

Für den Modus *load* gilt folgende Syntax:

```
Element_in_Visualisierung;Parameter
```

### 4.5 Anzeige- und Interaktionskomponente

#### 4.5.1 Erstellung verschiedener Visualisierungstypen

Die Anzeigekomponente unterstützt die Erstellung verschiedener Visualisierungstypen wie Linien-, Flächen-, Säulen-, Kreis-, Streu-, Balkendiagramm als Liste; Tagcloud, 3D-Tagcloud, Google-Karte mit Ortsmarkern oder mit Wertekreisen; Zeitleiste und Netzwerkgraph. Die Auswahl der Visualisierungsmöglichkeiten erfolgte dabei exemplarisch basierend auf den Informationsstrukturen, die im Modell definiert sind (tabellarisch, textuell, räumlich, zeitlich, Baum/Netzwerk) und durch die Webanwendung bei der Dateneingabe unterstützt werden. Abbildung 4-6 zeigt die verschiedenen Typen, die erstellt werden können.



Abbildung 4-6: Überblick über die Visualisierungstypen, die mit dem Vizgr-Toolkit erstellt werden können: für tabellarische Daten: Linien-, Flächen-, Säulen-, Kreis-, Streu- oder Balkendiagramm als Liste; für Text eine Tagcloud oder eine Tagcloud 3D; für Orte eine Google-Karte mit Ortsmarkern oder Wertekreisen; für Zeitereignisse eine Zeitleiste und für Netzwerkdaten ein Netzwerkgraph.

Für die initiale technische Implementation der Anzeigekomponente wurde Adobe Flash gewählt, das zum Zeitpunkt der Erstellung einige Vorteile gegenüber anderen Techniken hatte. Flash unterstützt Vektorgrafiken und Skalierung, Animation, Effekte wie Shading, 3D-Inhalte, Szenegraph, Events, hat eine browserübergreifend gleiche Darstellung und eine hohe Verbreitung. Erstellt wurde die Applikation in der Programmiersprache ActionScript 3. Bei der Implementation wurde darauf geachtet, möglichst wenige Fremdbibliotheken zu integrieren, um den Code kompakt und

#### 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

speicherschonend zu implementieren und die Ladezeit im Browser zu minimieren. Neben der AS3CoreLibrary mit den grundlegenden Funktionalitäten der Actionscript-Sprache wurde nur noch die Bibliothek Google Maps API for Flash<sup>8</sup> für die verschiedenen Kartenansichten inkludiert. Der gesamte restliche Actionscript-Code inklusive der verschiedenen Klassen für die Erstellung der Grafiken und der Adressierung und Verlinkung von Glyphen wurde von Grund auf neu implementiert. Die kompilierte Datei für die Erstellung und Vernetzung der Grafiken konnte damit auf eine Größe von 120KB reduziert werden und garantiert ein schnelles Laden der Visualisierung im Browser des Nutzers. Das Control-Panel wird in einer separaten Datei geladen und hat eine kompilierte Größe von ungefähr 7KB. Der Programmcode für die Erstellung des Netzwerkgraphen basiert auf einem Algorithmus von Fruchtermann und Reingold (1991).

Als alternative Implementierung wird in der Refaktorisierung teilweise das *Canvas*-Element der HTML5-Spezifikation für die Anzeige genutzt. Hier werden allerdings weitere darauf aufbauende Bibliotheken von Drittanbietern für Aspekte wie Szenegraph, Ebenen, Event-Handling usw. benötigt, da das Canvas-Element nur sehr elementare Techniken wie Grafikerstellung und Transformation unterstützt.

Initial versucht jede Flash-Instanz sich mit anderen Instanzen als Sender und Empfänger zu verbinden, um zum Beispiel Coordinated View-Techniken zu unterstützen. Darauf erfolgt das Laden der Datenbasis für die Erstellung und Verbindung von Visualisierungen aus der XML-Datei (vgl. Abschnitt 4.4). Je nach gewähltem Informationstyp in der Datenbasis werden dann die entsprechenden Klassen zur Erstellung des Visualisierungstyps aufgerufen. Die verschiedenen Elemente einer Visualisierung sind modular auf Ebenen aufgeteilt und im Szenegraph gruppiert. Die Aufteilung erlaubt das einfache Neuzeichnen der Glyphen-Ebene bei der Animation und die schnelle Ermittlung von Glyphen im Szenegraph für Coordinated View-Techniken oder die übergreifende Suche, Filterung und Animation.

Abbildung 4-7 zeigt am Beispiel des Visualisierungstyps Liniendiagramm den Aufbau in Ebenen und analog im Szenegraph. Auf der Background-Ebene werden Hintergrund, Titel und Beschreibung eingezeichnet. Auf der Legend-Ebene wird die interaktive Legende abgebildet, die *Axis*-Ebene enthält das Koordinatensystem. Auf der Glyphs-Ebene werden nur die Glyphen, wie Punkte, Säulen etc. eingezeichnet. Auf der darüberliegenden Ebene GlyphsEffects werden alle glyphenabhängigen Elemente wie Pop-Up-Window, Interaktions-Icon oder Hervorhebungen für Coordinated-Views-Techniken angezeigt.

---

<sup>8</sup> <https://developers.google.com/maps/documentation/flash/?hl=de>

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

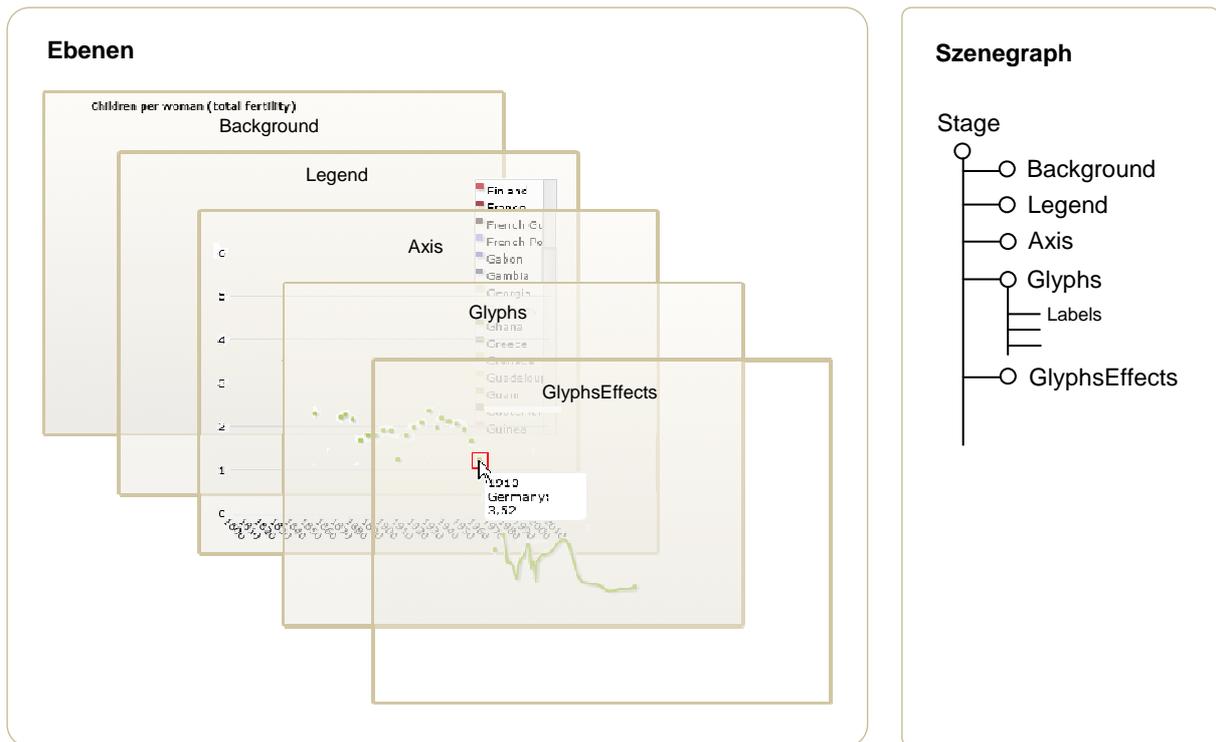


Abbildung 4-7: Gruppierung von Elementen einer Visualisierung auf verschiedenen Ebenen und analog im Szenegraph.

### 4.5.2 Individuelle Navigation und Interaktion

Basierend auf den in den Kapiteln 2.2.7 und 2.2.8 vorgestellten Basis-Techniken werden die folgenden individuellen Navigation- und Interaktionstechniken der einzelnen Visualisierungstypen in Tabelle 4-3 aufgelistet. Alle Visualisierungstypen unterstützen die Mouse-Over-Anzeige der aktuellen Glyphs mit der Anzeige der ausgewählten Attribut-Wert-Paare.

Tabelle 4-3: Einige ergänzende Navigations- und Interaktionstechniken von verschiedenen Visualisierungstypen.

| <i>Visualisierungstyp</i>         | <i>Interaktions- und Navigationstechniken</i>   |
|-----------------------------------|---|
| Linien-, Flächen-, Säulendiagramm | Scrollende Legende, wenn die Anzahl der Attribute sehr groß ist; Auswahl von einzelnen Attributen in der Legende und Neuzeichnung des Graphen |
| Kreisdiagramm                     | Auswahl des darzustellenden Attributs aus einer Liste   |
| Streudiagramm                     | Zuweisung der Attribute zu den verschiedenen Achsen   |
| Balkendiagramm                    | Scrolling der gesamten Liste  |
| Tagcloud                          | Anzeige von Kontextinformation aus dem Originaltext   |
| 3D-Tagcloud                       | Interaktive Drehung der Kugel in alle Richtungen  |
| Google-Karte mit Ortsmarkern      | Zoom & Pan  |
| Google-Karte mit Wertekreisen     | Zoom & Pan, Animation   |
| Zeitleiste                        | Scrolling der Zeitleiste, Suche von Zeitereignissen, Blättern in Zeitereignissen  |
| Netzwerkgraph                     | Verschieben des Netzwerkgraphen und automatische Neuausrichtung   |

### 4.5.3 Übergreifendes Filtern, Suche und Animation

Die individuellen Navigations- und Interaktionstechniken werden ergänzt durch das übergreifende Filtern, die Suche und die Animation für mehrere Ansichten mit dem Control-Panel. Auf diese Weise

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

können mehrere Visualisierungen gleichzeitig gefiltert, durchsucht oder animiert werden, obwohl der Nutzer nur einen Interaktionsschritt durchführt. Das Control-Panel enthält Interaktionselemente für die Filterung von Attributen und Werten, der Suche nach Werten und für die Animation von Visualisierungen. Als Interaktionselemente stehen Auswahllisten, dynamische Schieberegler, ein Suchfeld und die Möglichkeit Animationen zu starten und Zeitpunkte explizit auszuwählen, zur Verfügung. Abbildung 4-8 zeigt das Control-Panel für das Anwendungsszenario Statistische Daten (vgl. Kapitel 6.2.2).



Abbildung 4-8: Das Control-Panel.

Mit der Auswahlliste können einzelne oder mehrere Attribute mit der Maus selektiert werden und werden entsprechend markiert. Basierend auf der Technik Dynamic Sliders (vgl. Kapitel 2.2.8.2) können Slider für numerische Werte wie die erste Spalte oder den kompletten Datenraum angelegt werden. Das Suchfeld erlaubt die Filterung von Daten anhand der Eingabe von Suchparametern wie Attributen oder Werten. In den Zielvisualisierungen wird die Datengrundlage für tabellarische Daten für jeden Parameter zuerst nach Spalten gefiltert, dann nach Reihen und dann für alle Werte. So erlaubt die Eingabe von „germany italy 1980“ die Filterung der Visualisierungen auf die Spalten „Deutschland“ und „Italien“ und die Reihe „1980“. Für nicht tabellarische Daten werden die entsprechenden Glyphen anhand ihres Labels im Szenegraph gesucht. Mit der Animationsleiste kann die Animation in allen Visualisierungen gestartet oder ein expliziter Zeitpunkt mit dem Slider ausgewählt werden.

Die Auswahl der Interaktionselemente und die Belegung mit Daten ist frei und wird über eine XML-Datei definiert. Dabei können einzelne Komponenten explizit ein- oder ausgeschaltet werden, um zum Beispiel nur einen Slider für die Filterung nach Zeit zu aktivieren. Listing 4-1 zeigt den typischen Aufbau der Datei. Die Daten für die einzelnen Komponenten in den `<values>`-Knoten werden auf Basis der Datenbasen für die Visualisierungen erstellt. Ein Skript iteriert über die Datenbasen, erstellt für jede Komponente ein Array und füllt es mit Werten der einzelnen Visualisierungen. Doppelte Werte werden dabei herausgefiltert. Das resultierende Array wird dann dynamisch in die XML-Datei geschrieben.

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

```
<result>
  <language>de</language>
  <show_attributes>yes</show_attributes>
  <show_column_1>yes</show_column_1>
  <show_values>yes</show_values>
  <show_animation>yes</show_animation>
  <show_search>yes</show_search>
  <attributes>
    <label>Länder</label>
    <values>
      Afghanistan Albania Algeria Angola Argentina Armenia Aruba Australia Austria
      Azerbaijan Bahamas Bahrain Bangladesh Barbados Belarus Belgium Belize Benin Bhutan
      Bolivia Bosnia and Herzegovina Botswana Brazil Brunei Bulgaria Burkina Faso ...
    </values>
  </attributes>
  <column_1>
    <label>Zeit</label>
    <values>
      1800 1801 1802 1803 1804 1805 1806 1807 1808 1809 1810 1811 1812 1813 1814 1815 1816
      1817 1818 1819 1820 1821 1822 1823 1824 1825 1826 1827 1828 1829 1830 1831 1832 1833
      1834 1835 1836 1837 1838 1839 1840 1841 1842 1843 1844 1845 1846 1847 1848 ...
    </values>
  </column_1>
  <values>
    <label>Werte</label>
    <max>9.22</max>
    <min>0.85</min>
  </values>
</result>
```

Listing 4-8: Typischer Aufbau einer XML-Datei als Datengrundlage für das Control-Panel

Auf Basis der XML-Definition werden die einzelnen Komponenten im Control-Panel angelegt und mit den Daten gefüllt. Initial wird eine Verbindung des Control-Panels mit allen Visualisierungs-Instanzen erstellt (vgl. Abbildung 4-9). Bei Interaktion des Nutzers mit einer der Komponenten des Control-Panels werden der aktuelle Typ und die Parameter der Komponente an die Methode *sendEvents(type:String, data:String)* übergeben. Es wird zwischen den Typen (1) *animation*, (2) *filter\_attributes*, (3) *filter\_column\_1*, (4) *filter\_values* und (5) *search* unterschieden. Die Methode sendet die aktuellen Parameter an die Methode *PanelReceiver(type:String, data:String)* aller verbundenen Visualisierungs-Instanzen. Diese wendet die Filterung der Daten, die Suche nach Elementen oder die Animation der Glyphen mit entsprechenden Methoden auf die interne Datenbasis an und zeichnet die Visualisierung neu.

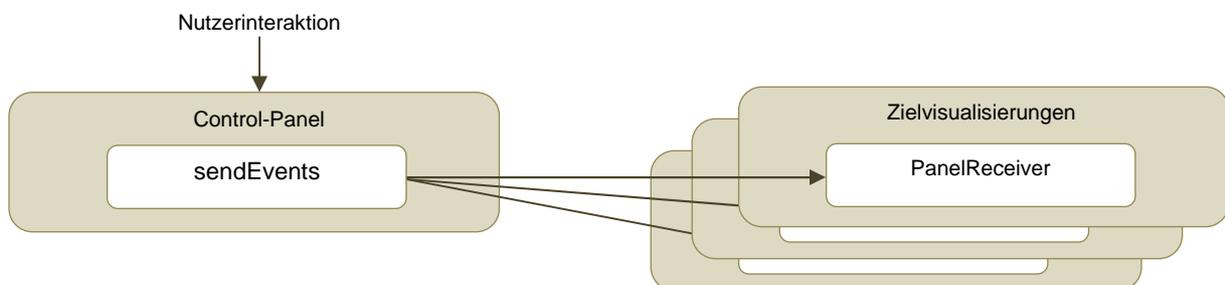


Abbildung 4-9: Senden von Aktionen des Control-Panels an Visualisierungs-Instanzen.

### 4.5.4 Coordinated-Views-Techniken

Voraussetzung für die Anwendung von Coordinated-Views-Techniken ist die Verbindung von visuellen Elementen mit der Interaktionstechnik in der Datenbasis (vgl. Abschnitt 4.4.4). Datenbereiche und damit Glyphen sind in der Datenbasis mit Einzelauszeichnungen oder Regeln adressiert und mit der Interaktionstechnik *highlight* oder *load* gekennzeichnet. Für die Synchronisierung ist eine lokale Verbindung zwischen den einzelnen Visualisierungs-Instanzen eingerichtet. Jede Instanz ist als Sender und Empfänger ausgelegt. Abbildung 4-10 zeigt die Instanzen der Sende- und Empfangsmethode in Ausgangs- und Zielvisualisierung.

Führt der Nutzer mit der Maus über ein visuelles Element, wird ein *MouseOver*-Event ausgelöst. In der entsprechenden *Handler*-Methode wird überprüft, ob diese Glyphe in der Datenbasis adressiert und mit der *highlight*-Technik verbunden ist. Ist das der Fall, werden an alle synchronisierten Visualisierungs-Instanzen Events mit den hervorzuhebenden Elementen und Parametern verschickt. In der Empfangsmethode der Zielvisualisierung wird der Event verarbeitet, das zu hervorhebende Element im Szenegraph gesucht und entsprechend visuell hervorgehoben.

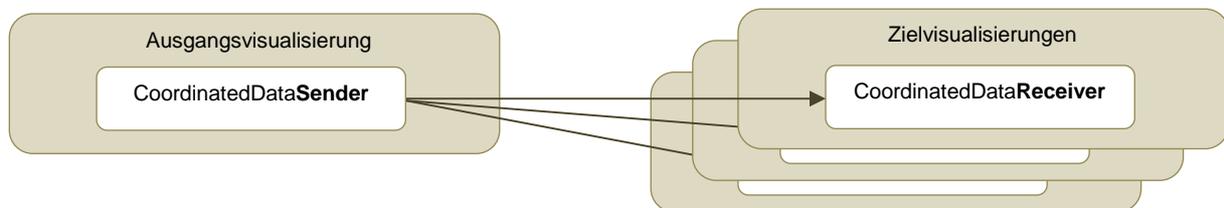


Abbildung 4-10: Synchronisierung zwischen Instanzen von Visualisierungen für Coordinated Views.

Auf Ebene der Benutzungsoberfläche können nun mehrere Visualisierungen nebeneinander angezeigt werden. Mit der Brushing-and-Linking-Technik werden verlinkte Elemente in verschiedenen Visualisierungen hervorgehoben, wenn der Nutzer Glyphen in einer Visualisierungsansicht auswählt. Bei der Weighted Brushing-Technik (vgl. Abschnitt 7.4.2 im Anwendungsszenario Digitale Bibliotheken) werden zusätzlich, je nach Verlinkungsgrad, unterschiedliche Farben für die Anzahl der Verlinkungen genutzt. So kann der Nutzer erkennen, welche Verlinkungen stärker oder schwächer sind. Durch einen Mausklick auf eine Glyphe können mit der *Loading*-Technik neue Inhalte geladen werden (vgl. dazu Abschnitt 8.3 im Anwendungsszenario Börseninformation).

### 4.5.5 Glyphenbasiertes Filtern, Suche und Browsing

Voraussetzung für die Anwendung von glyphenbasierten IR-Techniken wie Browsing, Suche oder Filtern ist die Verbindung von Glyphen mit einer Interaktionstechnik in der Datenbasis (vgl. Abschnitt 3.5.5). Datenbereiche und damit Glyphen sind wieder in der Datenbasis adressiert und mit den Interaktionstechniken *internal* für ein Linking zu anderen Visualisierungen oder *external* für eine Verbindung zu einer Webressource oder eines JavaScript-Aufrufs etc. gekennzeichnet. Bei der Erstellung der Visualisierung wird für jede Glyphe überprüft, ob sie der Adressierung in der Datenbasis entspricht. Ist dies der Fall, wird ein Interaktions-Icon (für die Auswahl des Icons vgl. Abschnitt 5.8) an der Position der Glyphe gezeichnet. Im Fall *internal* wird das Icon mit der URL der Zielvisualisierung verbunden, im Fall *external* mit der gewählten URL aus der Datenbasis. Durch die Verbindung von Glyphen mit Interaktionstechniken ergeben sich verschiedene Retrieval-Techniken auf der Anwendungsschicht, die im Folgenden gezeigt werden.

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

### 4.5.5.1 Browsing

Wurde in der Datenbasis einer Visualisierung eine Verlinkung zu einer anderen Visualisierung oder zu einer Webressource festgelegt, so ist die entsprechende Glyphe sichtbar für den Nutzer mit dem Interaktions-Icon markiert. Fährt man mit der Maus über das Icon, wird ein Pop-Up-Fenster mit dem Hinweis geöffnet, dass das Element mit einer anderen Visualisierung oder Webressource verbunden ist und ein weiterer Mausklick auf das Icon dorthin weiterleiten kann. Das Pop-Up-Fenster listet verlinkte Visualisierungen mit Titel, Visualisierungstyp und Vorschaubild sowie Webressourcen mit Titel und URL auf. Falls das Element nur eine Verbindung enthält, wird durch einen Mausklick auf das Icon direkt weitergeleitet, enthält das Element mehrere Verbindungen zu Visualisierungen oder Webressourcen, so wird ein Auswahlfenster angezeigt, aus dem der Nutzer einen Link auswählen kann. Das verbundene Element in der Zielvisualisierung wird durch einen roten Rahmen markiert und hervorgehoben. Das Zielelement ist auch mit dem Interaktions-Icon markiert, das zurück zur Ausgangsvisualisierung oder anderen Zielen führt. Abbildung 4-11 zeigt das Interaktions-Icon in einem Indexchart als Link zu (a) einer Zeitleiste mit passendem Zeitereignis und (b) zu einem Wikipedia-Artikel mit Erläuterung zum Trend. Die Technik Browsing wird zum Beispiel im Anwendungsszenario Börseninformation (vgl. Abschnitt 8.3.4) für den Wechsel zwischen Trends in Kurscharts und passenden Finanznachrichten im Web genutzt.

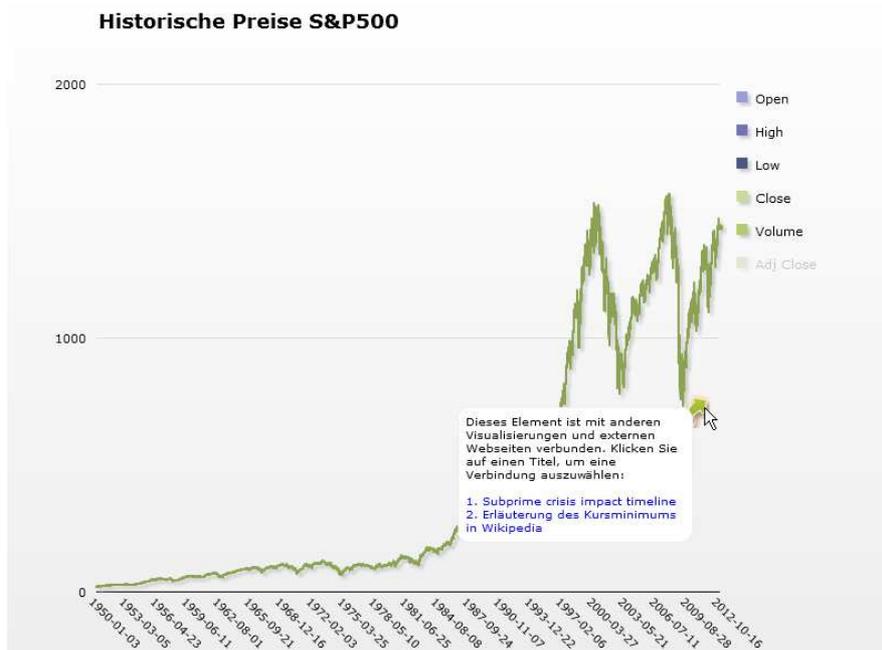


Abbildung 4-11: Links vom Kursminimum im Indexchart zur Erläuterung des Kursminimums in Wikipedia oder zur Darstellung einer Zeitleisten-Visualisierung.

### 4.5.5.2 Suchen und Filtern

Durch den Ansatz Glyphen mit beliebigen URLs zu verbinden, wird es ermöglicht, Retrieval-Techniken wie Suche und Filtern für beliebige Systeme zu unterstützen (vgl. dazu das Anwendungsszenario Suche in Digitalen Bibliotheken in Kapitel 7). Visuelle Elemente können mit Anfragen für Suchmaschinen, Web-APIs oder RDF-Stores verbunden werden. Durch die modulare

## 4. Implementierung: Das Vizgr-Toolkit

Architektur wird für die Anzeige und Verlinkung von Visualisierungen nur die passende XML- und Flash-Datei benötigt, die in das Zielsystem integriert werden kann. Sollen Glyphen der Visualisierung Such- oder Filteranfragen enthalten, können diese durch eine Software-Zwischenschicht in die XML-Datei geschrieben und nach einem Retrieval-Zyklus immer wieder angepasst werden. Damit ist es möglich, Visualisierungen als zusätzliche Interaktionselemente für Systeme zu nutzen, die sich über URL-Parameter steuern lassen.

### 4.6 Fazit

In diesem Kapitel wurde das Vizgr-Toolkit vorgestellt, welches das Modell aus Kapitel 3 in eine Softwarelösung integriert. Nutzer können verschiedene Visualisierungen basierend auf diversen Informationsstrukturen erstellen. Die erstellten Visualisierungen können dann im Mapping Editor angezeigt werden und Nutzer können mit einer einfachen Interaktionsmetapher die darin enthaltenen Informationen untereinander verlinken oder mit Webressourcen verknüpfen. Auf der Basis der Informationsverlinkung und Verknüpfung mit IR-Techniken in der Datenbasis können Glyphen genutzt werden, um Such-, Filter- oder Browsingprozesse anzustoßen.

In den folgenden Kapiteln wird das Modell und das Vizgr-Toolkit für die Anwendung und Evaluation in verschiedenen Szenarien und Domänen genutzt. Kapitel 5 zeigt die Anwendung für nutzergenerierte Visualisierungen und Verlinkungen. In der Evaluation wird gezeigt, dass Nutzer Visualisierungen sowohl sehr schnell erstellen als auch Informationen in Visualisierungen miteinander verlinken können. In Kapitel 6 wird das Vizgr-Toolkit für die Präsentation von statistischen Informationen genutzt. Nutzer können zum Beispiel auch statistische Informationen und Nutzervisualisierungen verbinden. Kapitel 7 zeigt die Anwendung des Toolkits in einer Digitalen Bibliothek. In der Nutzerstudie wird gezeigt, dass Nutzer Mehrwertinformationen in Visualisierungen finden können und glyphenbasiert Suchergebnisse filtern oder eine neue Suche initiieren können. Kapitel 8 zeigt die Nutzung des Toolkits für die Domäne von Börseninformation. In der Evaluation suchen Nutzer Verbindungen zwischen heterogenen Informationselementen in einem explorativen Suchprozess. Nutzer können Verbindungen zwischen Informationen in verschiedenen Visualisierungen und im Web suchen, Informationselemente verbinden und IR-Techniken basierend auf diesen Verlinkungen nutzen. Eine Übersicht der folgenden Anwendungsszenarien auf der Basis Modellbildung findet sich auch in Abschnitt 3.8.

### **Teil 3: Anwendungsszenarien**

## **5 Anwendungsszenario: Nutzergenerierte Visualisierungen und Verlinkungen**

Für die Überprüfung der Forschungsfrage, ob Nutzer auf Basis des Vizgr-Toolkits verschiedene Visualisierungen erstellen, die darin enthaltenen Informationen zu anderen Visualisierungen oder Webseiten verlinken können und ob sie das dahinterliegende Konzept verstanden haben, wurde eine Nutzerstudie durchgeführt (Hienert u. a., 2011b). Die Studie überprüft, ob Nutzer prinzipiell in der Lage sind, Visualisierungen zu erstellen und darin enthaltene Informationen zu verlinken (Proof-of-concept). Die Aufgaben umfassten die Erstellung zweier Visualisierungen, die Verlinkung untereinander und zu Webressourcen. Die Workflows und das grundlegende Konzept wurden dann in einem Fragebogen durch die Teilnehmer beurteilt. In 94% aller Fälle konnten Nutzer Visualisierungen erstellen. Über 87% der Nutzer konnten Informationen in Visualisierungen mit dem Mapping Editor verbinden. Mindestens 74% der Nutzer konnten die Aufgaben in unter 5 Minuten lösen und über 76% empfanden die Lösung der Aufgaben als einfach oder normal schwer. Kleinere Schwierigkeiten bereiteten Probleme in der Nutzeroberfläche, hauptsächlich die Nutzung eines grünen Buttons als generelle grafische Metapher für Links in Visualisierungen, die Problematik wurde in einem zweiten Nutzertest analysiert und evaluiert (Hienert u. a., 2012c). Folgende Forschungsfragen sollten beantwortet werden:

*Frage 4 (F4):* Wie können Nutzer Visualisierungen erstellen und darin enthaltene Informationen verlinken?

*(F4a)* Können Nutzer Visualisierungen basierend auf heterogenen Informationen einfach und schnell erstellen?

*(F4b)* Können Nutzer enthaltene Informationen einfach und schnell untereinander und mit Webressourcen verbinden?

*(F4c)* Verstehen Nutzer das Konzept der Verlinkung von Informationen in Visualisierungen untereinander oder zu Webressourcen?

Damit soll überprüft werden, ob die neu eingeführten Prozesse (4d) „Linking von Information in Visualisierungen“ und (4e) „Glyphenbasiertes Filtern, Suchen, Browsing“ prinzipiell von Nutzern durchgeführt und verstanden werden können (vgl. Abbildung 5-1).

## 5. Anwendungsszenario: Nutzergenerierte Visualisierungen und Verlinkungen

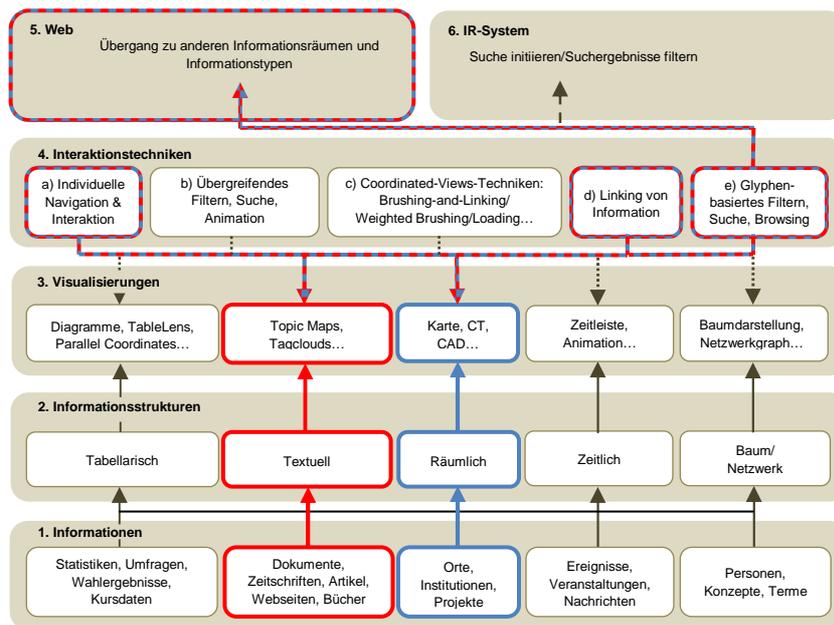


Abbildung 5-1: Instanziiertes Modell für das Anwendungsszenario „Nutzergenerierte Visualisierungen und Verlinkungen“.

### 5.1 Nutzer-Interaktionsprozess

Der folgende Interaktionsprozess beschreibt das Basis-Szenario des Nutzertests. Er besteht aus der Erstellung zweier Visualisierungen, dem Verbindungsprozess von enthaltenen Informationen untereinander und zu einer Webseite.

Die erste zu erstellende Visualisierung ist eine Tagcloud des Wikipedia-Artikels *London School of Economics*. Der Nutzer wählt *Visualisierung erstellen* im Hauptmenü und gibt einen Titel und eine Beschreibung für die Visualisierung ein. Im Dateneingabe-Menü wählt er *Wikipedia*. Mit der Eingabe der ersten Buchstaben von *London School of Economics* werden passende Artikel aus der Wikipedia in einer Drop-Down-Liste vorgeschlagen. Der Nutzer selektiert mit einem Mausklick den passenden Artikel und klickt auf den Button *Text aus Wikipedia laden*. Im nächsten Schritt wählt er *Tagcloud* als Visualisierungstyp und klickt auf den Button *Erstellen*, um die Vorschau zu sehen. Die Visualisierung wurde erstellt und kann nun gespeichert werden. Die zweite zu erstellende Visualisierung ist eine Karte mit Wikipedia-Daten von London. Der Workflow ist ähnlich: die Eingabe eines Titels und einer Beschreibung für die Visualisierung, die Auswahl von *Wikipedia* im Dateneingabemenü, dann *Orte* als Informationsstruktur. Der Nutzer kann die ersten Buchstaben von London eingeben und wählt den passenden Artikel aus der Drop-Down-Liste. Dann klickt er auf den Button *Orte aus Wikipedia laden*. Der Visualisierungstyp *Karte* ist bereits voreingestellt. Der Nutzer klickt auf *Erstellen*, kann die Visualisierung ansehen und dann speichern.

Nun können Informationen aus beiden Visualisierungen im *Mapping Editor* verbunden werden. Der Nutzer wählt *Visualisierung verbinden* aus dem Hauptmenü. Beide erstellte Visualisierungen können nun ausgewählt und dann skaliert nebeneinander angezeigt werden. Der Nutzer klickt nun zuerst auf das Wort *London* in der Tagcloud und dann auf den *Ortsmarker London* in der Karte. Die Informationen sind nun bereits verlinkt, werden in der Liste angezeigt und können gespeichert werden (vgl. Abbildung 5-2). Zusätzlich kann das Wort *London* in der Tagcloud zu einer *Webseite* verbunden werden. Dazu wählt der Nutzer den Menüeintrag *Visualisierung mit Webseite verbinden*, um den Mapping Editor zu erreichen. Zuerst wird die passende Visualisierung ausgewählt und das Wort

## 5. Anwendungsszenario: Nutzergenerierte Visualisierungen und Verlinkungen

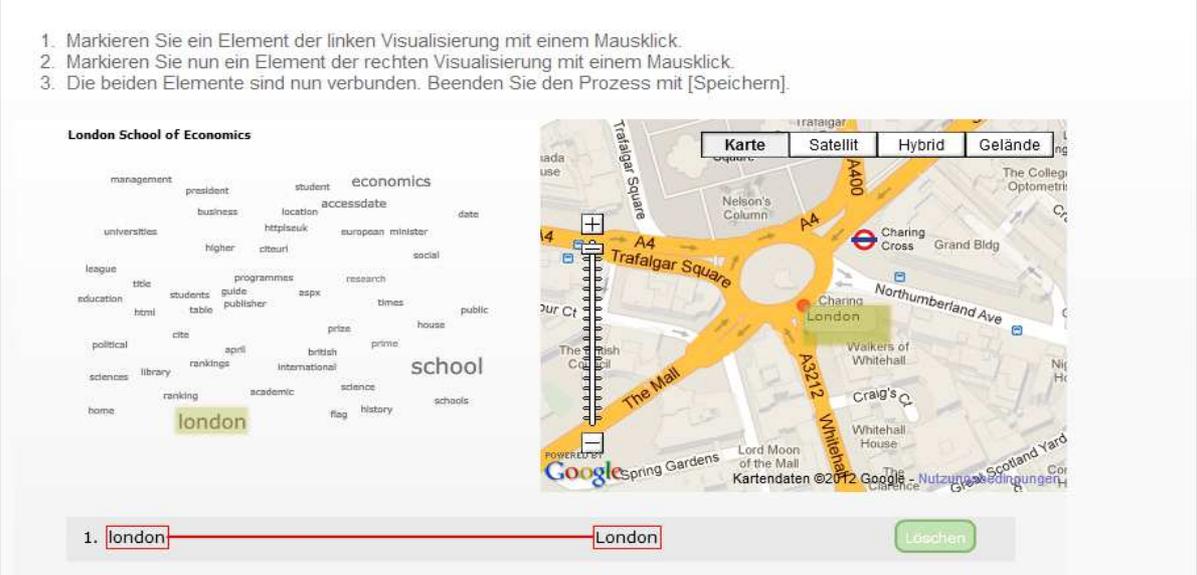
London mit einem Mausklick selektiert. Nun kann in der Mappingliste der Titel und die URL einer Webseite eingegeben und die Verbindung abgespeichert werden.

Die Visualisierungen enthalten nun mehrere Verlinkungen zu anderen Ressourcen, von denen manche automatisch erstellt wurden. Die Tagcloud enthält Links zu Wikipedia-Artikeln für jedes Wort, das einen Artikel repräsentiert. Der Ortsmarker London in der Karte verlinkt auf passende Webseiten basierend auf Wikipedia-Daten. Die Visualisierungen sind untereinander verlinkt. Weiterhin wurde ein Link von London zu einer passenden Webseite angelegt.

Schritt 1 - Schritt 2 - **Schritt 3**

**3. Verbinden Sie Elemente der beiden Visualisierungen:**

1. Markieren Sie ein Element der linken Visualisierung mit einem Mausklick.
2. Markieren Sie nun ein Element der rechten Visualisierung mit einem Mausklick.
3. Die beiden Elemente sind nun verbunden. Beenden Sie den Prozess mit [Speichern].



London School of Economics

management president student economics  
business location accessdate date  
universities higher http://seuk european minister  
league title students guide publisher asp research times house public  
education html cite april british international science schools  
home ranking academic science flag history schools

london

Karte Satellit Hybrid Gelände

Trafalgar Square Nelson's Column Charing Cross Grand Bldg Northumberland Ave Walkers of Whitehall Craig's Ct Whitehall House The College of Optometrists  
The Mall A4 A400 A401 A402 A403 A404 A405 A406 A407 A408 A409 A410 A411 A412 A413 A414 A415 A416 A417 A418 A419 A420 A421 A422 A423 A424 A425 A426 A427 A428 A429 A430 A431 A432 A433 A434 A435 A436 A437 A438 A439 A440 A441 A442 A443 A444 A445 A446 A447 A448 A449 A450 A451 A452 A453 A454 A455 A456 A457 A458 A459 A460 A461 A462 A463 A464 A465 A466 A467 A468 A469 A470 A471 A472 A473 A474 A475 A476 A477 A478 A479 A480 A481 A482 A483 A484 A485 A486 A487 A488 A489 A490 A491 A492 A493 A494 A495 A496 A497 A498 A499 A500

1. london London Löschen

Abbildung 5-2: Mapping des Wortes *London* in der Tagcloud zu dem Ort auf der Karte.

### 5.2 Methode

Zur generellen Methodeneinordnung der Evaluationsart von aufgabenorientierten Nutzertest vgl. Abschnitt 3.8 und Abschnitt 2.4.

Auf der Online-Arbeitsplattform Mechanical Turk von amazon.com wurden Teilnehmer zu einer Nutzerstudie eingeladen und erhielten dafür jeweils eine Aufwandsentschädigung von 4 US\$. Die Teilnehmer wurden gebeten, vier verschiedene Aufgaben auf der Vizgr-Webseite durchzuführen und dann einen Online-Fragebogen auf surveymonkey.com auszufüllen. Alle Fragebögen, welche die Basisinformation zur Person nicht enthielten, wurden gelöscht. Drei der Fragebögen wurden nur zur Hälfte ausgefüllt. Da die verbundenen Accounts keine technischen Schwierigkeiten offenbarten und alle Aufgaben prinzipiell durchgeführt wurden, wurden die nicht beantworteten Fragen von der Auswertung ausgeschlossen.

### 5.3 Teilnehmer

Insgesamt haben 110 Personen am Nutzertest teilgenommen (10 in einem Pretest, 100 am Haupttest). Im Fragebogen wurden zuerst persönliche Angaben zu Geschlecht, Alter, Bildungsgrad und durchschnittlicher Internet-Nutzung festgestellt. Die Teilnehmer der validen Fragebögen waren zu 53,6% männlich und zu 46,4% weiblich. Die größte Gruppe der Teilnehmer mit 59,1% war in der

## 5. Anwendungsszenario: Nutzergenerierte Visualisierungen und Verlinkungen

Altersklasse von 18 bis 29 Jahren, gefolgt von der Altersklasse der 30 bis 39-jährigen mit 23,7%. Alle Teilnehmer hatten einen sekundären Schulabschluss, die Hälfte (52,7%) einen Hochschulabschluss. Die durchschnittliche Internetnutzung pro Woche war 29,4 Stunden, mit einer Spanne von 4 bis zu 105 Stunden. Eine Auswertung der Log-Dateien ergab, dass die große Mehrheit (über 90%) aus den USA stammt, mit kleineren Prozentanteilen aus einer Vielzahl anderen Länder wie Deutschland oder Singapur.

### 5.4 Aufgaben und Fragen

Die Teilnehmer wurden gebeten, die folgenden vier Aufgaben auf der Vizgr-Webseite durchzuführen:

1. Erstellen einer Tagcloud aus dem Wikipedia-Artikel *London School of Economics*.
2. Erstellen einer Karte mit Wikipedia-Daten von *London*.
3. Verlinken von Informationen aus den beiden Visualisierungen.
4. Verlinken des Wortes *London* in der Tagcloud zu einer Webseite.

Für jede der Aufgaben sollten die Teilnehmer im Fragebogen angeben, ob die Aufgabe gelöst wurde, wie lange sie für die Aufgabe gebraucht haben (5 Klassen: „unter einer Minute“, „unter 2 Minuten“, „2-5 Minuten“, „5-10 Minuten“, „länger als 10 Minuten“), welchen Schwierigkeitsgrad die Aufgabe für sie hatte (5-Punkte Skala: sehr schwer – schwer – normal – einfach – sehr einfach), und sie sollten die dahinterliegenden Konzepte erläutern, die Nützlichkeit bewerten und konnten Kommentare abgeben.

### 5.5 Ergebnisse

#### 1. Erstellen einer Tagcloud aus dem Wikipedia-Artikel *London School of Economics*:

97,3% der Teilnehmer konnten die erste Aufgabe erfolgreich lösen. Drei Teilnehmer konnten die Aufgabe aufgrund von kleineren Schwierigkeiten in der Nutzungsoberfläche nicht lösen. Beispielsweise wurde der Button zur Speicherung der Visualisierung von einem Teilnehmer nicht gefunden. Fehler in dieser Aufgabe führten dazu, dass die folgenden Aufgaben auch nicht gelöst werden konnten, waren also fortlaufend. Die meisten Kommentare erfolgten zu Schwierigkeiten in der Nutzungsoberfläche wie der Anordnung von Interaktionselementen, wie den Tabs zur Dateneingabe oder dem Speicher-Button. 74,6% konnten die Aufgabe in unter 5 Minuten lösen. 82,8% empfanden die Lösung der Aufgabe als sehr leicht bis normal schwer, 17,2% empfanden die Aufgabe als schwer oder sehr schwer.

#### 2. Erstellen einer Karte mit Wikipedia-Daten von *London*:

94,5% der Teilnehmer konnten auch die zweite Aufgabe erfolgreich lösen. Schwierigkeiten ergaben sich dadurch, dass Teilnehmer bereits erstellte Karten von anderen Teilnehmern fanden und sie weaternutzen wollten. 75,5% konnten die Aufgabe in weniger als fünf Minuten lösen, 76,3% empfanden die Aufgabe als sehr leicht bis normal schwer. Die Ergebnisse sind damit ungefähr vergleichbar mit denen der ersten Aufgabe.

#### 3. Verlinken von Informationen aus den beiden Visualisierungen:

87,7% der Teilnehmer konnten die dritte Aufgabe erfolgreich lösen. Neben Folgefehlern aus Aufgabe 1 und 2 und weiteren technischen Problemen ergaben sich vor allem Probleme dadurch, dass die Nutzer nicht wussten, wie eine erfolgreiche Verlinkung konzeptuell und visuell auszusehen habe und was sie bewirkt. Dadurch kam es zu Schwierigkeiten bei der Interpretation der Anweisungen/Hilfetexte und der Umsetzung der Aufgabe. 81,1% konnten die Aufgabe in weniger als fünf Minuten lösen, 78,3% empfanden die Aufgabe als sehr leicht bis normal schwer. 69,8% konnten

## 5. Anwendungsszenario: Nutzergenerierte Visualisierungen und Verlinkungen

visuell und/oder konzeptuell die Frage beantworten, was das Verbinden von Elementen aus zwei Visualisierungen für einen Effekt bewirkt. 11,9% antworteten entweder sehr generell („es verbindet“) oder umgingen die Antwort („nutzerfreundlich“), der Rest (18,8%) hat die Aufgabe entweder nicht beendet oder das Konzept nicht verstanden.

### 4. Verlinken des Wortes London in der Tagcloud zu einer Webseite:

87,6% der Teilnehmer konnten die letzte Aufgabe erfolgreich lösen. Fehler in dieser Aufgabe beruhten wieder meistens auf Folgefehlern, technischen Fehlern oder Problemen in der Nutzungsoberfläche. Keiner der Teilnehmer war verwundert über die Idee Elemente in Visualisierungen zu Webressourcen zu verlinken. Ein häufiger Kommentar war, dass die vorherigen Aufgaben zum Verständnis und bei der Ausführung dieser Aufgabe beitrugen. 83,8% der Teilnehmer konnten diese Aufgabe in unter fünf Minuten lösen, 80% empfanden die Aufgabe als sehr leicht bis normal schwer. Tabelle 5-1 fasst die wichtigsten Ergebnisse der Nutzerstudie zusammen.

Tabelle 5-1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Nutzerstudie zur Erstellung und Verbindung von Visualisierungen.

| <i>Aufgabe</i>  | <i>Aufgabe erfolgreich gelöst (in %)</i> | <i>Gelöst innerhalb von 5min (in %)</i> | <i>Die Lösung der Aufgabe wurde als sehr einfach bis normal schwer empfunden (in %)</i> |
|---|--|---|---|
| 1. Erstellen einer Tagcloud                                   | 97,3                                     | 74,6                                    | 82,8  |
| 2. Erstellen einer Karte                                      | 94,5                                     | 75,5                                    | 76,3  |
| 3. Informationen aus Visualisierungen untereinander verlinken | 87,7                                     | 81,15                                   | 78,3  |
| 4. Element aus Visualisierung mit Webseite verlinken          | 87,6                                     | 83,3                                    | 80  |

## 5.6 Szenarien

In den letzten beiden Aufgaben wurden die Teilnehmer befragt, ob sie sich persönliche oder generelle Szenarien für das Verlinken von Visualisierungen vorstellen können. 58,8% der Teilnehmer gaben an, sie könnten das Werkzeug für persönliche Einsatzzwecke verwenden, 35,6% konnten ein neues Beispiel angeben, 10% gaben mehrere Beispiele an. 82% sahen eine Verwendung für generelle Einsatzzwecke, 47,2% konnten ein oder mehrere Beispiele für Einsatzzwecke angeben. Die Teilnehmer nannten Szenarien in Verbindung zu den letzten Aufgaben, wie der Visualisierung von Texten und Artikeln in Tagclouds und der Verlinkung mit anderen Tagclouds und Webseiten oder die Verlinkung von Orten auf Karten mit Zusatzinformationen wie Fotos, Zeitplänen oder Ticketservices. Neue Szenarien wurden angegeben aus den Bereichen Mindmapping, sozialer Vernetzung, E-Learning, Tourismus, Marketing, der Wissensorganisation mit der Verknüpfung von Medien, Wörtern, Konzepten, Fotos, Orten oder dem Einsatz zur Verbrechensbekämpfung.

## 5.7 Zusammenfassung

Die große Mehrheit der Teilnehmer hatte nur wenige Probleme bei der Bearbeitung der Aufgaben. Die Erstellung der Visualisierungen Tagcloud und Karte konnten von den Teilnehmern problemlos, schnell und einfach durchgeführt werden. Die Verlinkung von Elementen in Visualisierungen untereinander und mit Webseiten stellte ein neues Konzept dar, welches erst erlernt werden musste. Durchführung und Ergebnis des Workflows waren den Teilnehmern noch nicht bekannt. Dadurch erhöhte sich die Fehlerquote, allerdings konnte immer noch ein Großteil der Teilnehmer die Aufgaben schnell durchführen und empfand sie als normal schwer. Dass die Teilnehmer das Konzept verstanden hatten, zeigte sich auch in den zahlreichen Vorschlägen zu persönlichen und generellen Szenarien.

## 5.8 Evaluation von Symbolen für Links in Visualisierungen

Ein Problem in der Evaluation schien das Symbol für die Verlinkung in den Visualisierungen zu sein. In der ersten Nutzerstudie wurde ein einfacher grüner Punkt als Interaktions-Icon genutzt. Über 10% der Nutzer hatten nicht verstanden, was der grüne Punkt in den Visualisierungen symbolisierte, auch wenn sie das Linking selbst erstellt hatten. Verglichen mit standardisierten Metaphern wie unterstrichenen Textstellen in Webseiten ist das eine vergleichsweise hohe Rate. Es wurde eine Folgestudie durchgeführt, um verschiedene Symbole und ihre Akzeptanz als Interaktions-Icon zu testen. Dafür wurden verschiedene Kategorien von Linking-Symbolen im Web identifiziert und ein Set von Icons entworfen, die dann in verschiedenen Visualisierungen evaluiert werden konnten (vgl. Abbildung 5-3).



Abbildung 5-3: Verschiedene Linking-Icons: Pfeil, Kette, Pin, Flagge, Schild, Link-Logo, Globus und Grüner Punkt.

Für Links in normalen Webseiten existieren standardisierte Eigenschaften, die den Text als Link auszeichnen. Das umfasst zum Beispiel eine andere Textfarbe, unterstrichener Text oder eine Veränderung des Mauscursors sobald mit der Maus über das entsprechende Textelement gefahren wird. Als Baseline für die Studie wurde ein Icon mit dem unterstrichenen Wort LINK und zusätzlich der grüne Punkt aus der vorherigen Evaluation integriert. Teilnehmer der Studie wurden erneut über Mechanical Turk eingeladen. Für 0,30US\$ wurden 100 Teilnehmer gebeten sich verschiedene Visualisierungen mit verschiedenen Icons anzuschauen und dann einen Online-Fragebogen auszufüllen. Es wurden fünf verschiedene Screenshots von bestehenden Visualisierungen in Vizgr erstellt und mit den erstellten Icons ausgestattet. Für tabellarische Daten wurde ein Liniendiagramm verwendet, für Orte eine Google-Karte, für Text eine Tagcloud, für Zeitereignisse eine Zeitleiste und für Netzwerkdaten ein Netzwerkgraph. Es wurden sechs Fragen gestellt, um diejenigen Icons zu identifizieren, die sich am besten für Links in Visualisierungen eignen und die von einer Mehrheit der Nutzer akzeptiert wird. Die Fragen waren die folgenden:

1. Welche Icons in den Grafiken repräsentieren einen Link (zum Beispiel zu einer Webseite)?
2. Welche Icons repräsentieren am ehesten einen Link? (Geben Sie eine Reihenfolge an)
3. Welches Icon würden Sie am ehesten anklicken?
4. Welches Symbol gefällt Ihnen am besten?

## 5. Anwendungsszenario: Nutzergenerierte Visualisierungen und Verlinkungen

5. Kennen Sie ein besseres Symbol für Links in Visualisierungen?
6. Welches Symbol würden Sie für Links in Visualisierungen nehmen?

Die Fragen 1, 3 und 4 konnten mit Checkboxes für die Symbole Flagge, Pin, Pfeil, Globus, Link Logo, Schild, Grüner Punkt und Keines beantwortet werden. In Frage 2 konnten die Nutzer eine Reihenfolge der Icons angeben, die ihrer Meinung nach am ehesten einen Link repräsentieren. Frage 5 und 6 wurden mit Freitext beantwortet. Tabelle 5-2 zeigt die zusammengefassten Ergebnisse. Am meisten akzeptiert wurde das Link-Logo gefolgt von dem Pfeil-Symbol. In Frage 5 hatte die Mehrheit der Nutzer keine Vorschläge. Manche Nutzer erwähnten die vorgeschlagenen Icons, manche schlugen neue Symbole wie einen Stern, einen nach unten gerichteten Pfeil, eine Computer-Maus oder das Internet Explorer-Logo vor. Auch wenn das Pfeil-Icon im Gegensatz zum Link-Logo nur den zweiten Platz in der Evaluation erreichte, wurde es für die weitere Verwendung im Vizgr-Toolkit ausgewählt. Dafür spricht, dass die rein grafische Gestaltung und geschlossene Form sich besser in beliebige Visualisierungstypen wie Tagclouds oder Diagramme integriert und zugleich abhebt ohne die Visualisierung an sich zu stören. So könnte die Kombination von Text und Grafik beim Link-Logo in textbasierten Visualisierungen wie Tagclouds von der eigentlichen Visualisierung ablenken oder diese grafisch stören.

Tabelle 5-2: Zusammengefasste Ergebnisse der Evaluation von Linking-Symbolen.

| Frage           | Link-<br>Logo | Pfeil        | Grüner<br>Punkt | Globus       | Kette | Flagge | Pin  | Schild |
|-----------------|---------------|--------------|-----------------|--------------|-------|--------|------|--------|
| 1 (in %)        | <b>30.33</b>  | <b>15.57</b> | 11.48           | 9.43         | 8.20  | 7.79   | 6.97 | 6.97   |
| 2 (Reihenfolge) | <b>2.22</b>   | <b>3.22</b>  | 4.86            | 4.61         | 5.49  | 5.08   | 4.90 | 5.27   |
| 3 (in %)        | <b>45.24</b>  | <b>15.87</b> | 5.56            | 11.9         | 7.94  | 5.56   | 4.76 | 3.17   |
| 4 (in %)        | 17.92         | <b>28.30</b> | 9.43            | <b>22.64</b> | 6.60  | 7.55   | 4.72 | 2.83   |
| 6 (in %)        | <b>26.74</b>  | <b>24.42</b> | 9.30            | 15.12        | 12.79 | 3.49   | 4.65 | 3.49   |

### 5.9 Fazit

Zusammenfassend können die Forschungsfragen folgendermaßen beantwortet werden:

*Frage 4 (F4):* Wie können Nutzer Visualisierungen erstellen und darin enthaltene Informationen verlinken?

*(F4a)* Die Nutzer konnten Visualisierungen basierend auf verschiedenen Informationstypen *erstellen*. Die Mehrheit (97,3%, 94,5%) hat die beiden Aufgaben erfolgreich gelöst. Ein Großteil der Nutzer konnte die Aufgabe schnell innerhalb von 5min lösen (74,6%, 75,5%) und eine Mehrheit empfand die Aufgabe als einfach oder normal schwer (82,2%, 76,3%).

*(F4b)* Die Nutzer konnten Informationen untereinander und mit Webressourcen im Mapping Editor *verlinken*. Ein Großteil der Nutzer konnte Informationen in Visualisierungen untereinander verlinken (87,7%) und jeweils eine Mehrheit hat die Aufgabe schnell innerhalb von 5min (81,15%) gelöst und die Aufgabe als einfach oder normal schwer empfunden (78,3%). Die Werte für die Verlinkung von Elementen von Visualisierungen zu Webseiten waren ähnlich mit einer Erfolgsquote von 87,6%, ein Großteil hat die Aufgabe innerhalb von 5min gelöst (83,3%) und die Lösung wurde von einer Mehrheit als einfach oder normal schwer empfunden (80%).

*(F4c)* Die Nutzer haben das Konzept der Verlinkung von Informationen in Visualisierungen verstanden. Ein Großteil der Teilnehmer (69,8%) konnte visuell und/oder konzeptuell die Frage beantworten, was das Verbinden von Informationen aus zwei Visualisierungen für einen Effekt bewirkt.

## 5. Anwendungsszenario: Nutzergenerierte Visualisierungen und Verlinkungen

Es konnte gezeigt werden, dass die neu eingeführten Prozesse (4d) „Linking von Information in Visualisierungen“ und (4e) „Glyphenbasiertes Filtern, Suche, Browsing“ prinzipiell von Nutzern durchgeführt und verstanden werden konnten.

## 6 Anwendungsszenario: Statistische Daten

Dieses Kapitel zeigt auf der Basis des Modells aus Kapitel 3, des Vizgr-Toolkits aus Kapitel 4 und nutzergenerierten Visualisierungen und Verlinkungen aus Kapitel 5 die Anwendung von interaktiven Visualisierungen für die Domäne von statistischen Daten und verwandten Informationen wie Nutzervisualisierungen (Hienert u. a., 2011c) oder Zeitereignissen. Auf Datenebene ergeben sich Chancen und Herausforderungen. Viele Datenpakete können als Open Data frei genutzt werden, aber durch die Eigenschaften von Informationen im Web (vgl. Abschnitt 2.1.1.4) wie Komplexität, Heterogenität, Verteiltheit etc. ergeben sich Herausforderungen, diese nutzerfreundlich in einer Anwendung aufzubereiten. Interaktive Visualisierungen bieten die Möglichkeit, einen oder mehrere Indikatoren leicht verständlich darzustellen und vergleichbar zu machen. Durch verschiedene Interaktionstechniken wie dem Linking zwischen verschiedenen Ansichten oder der übergreifenden Suche, Filterung und Animation können Nutzer verschiedene Aspekte von verteilten Datenbeständen durchsuchen und vergleichen.

Folgende Forschungsfragen sollen in diesem Kapitel behandelt werden:

*Frage 5 (F5):* Wie können komplexe, heterogene statistische Daten und verwandte Informationen in interaktiven Visualisierungen für die Informationssuche abgebildet werden?

*(F5a) Informationsebene:* Können heterogene, komplexe und verteilte Datenbestände für statistische Daten, Nutzerdaten und Zeitereignisse in einer Anwendung integriert werden?

*(F5b) Visualisierungsebene:* Können individuelle Indikatoren und kombinierte Indikatoren mit Nutzervisualisierungen und Zeitereignissen in koordinierten Ansichten angezeigt werden?

*(F5c) Interaktionsebene:* Können Interaktionstechniken wie Brushing-and-Linking oder übergreifende Suche, Filterung und Animation und Loading für Kombinationen von statistischen Indikatoren, Nutzervisualisierungen und Zeitereignissen angewandt werden?

Auf Ebene des Modells soll überprüft werden, ob heterogene Information wie statistische Daten, Nutzervisualisierungen und Zeitereignisse verlinkt werden können (4d) und in koordinierten Ansichten mit Interaktionstechniken wie „Übergreifendes Filtern, Suche und Animation“ (4b) und Coordinated-Views-Techniken (4c) verbunden werden können (vgl. Abbildung 6-2).

## 6. Anwendungsszenario: Statistische Daten

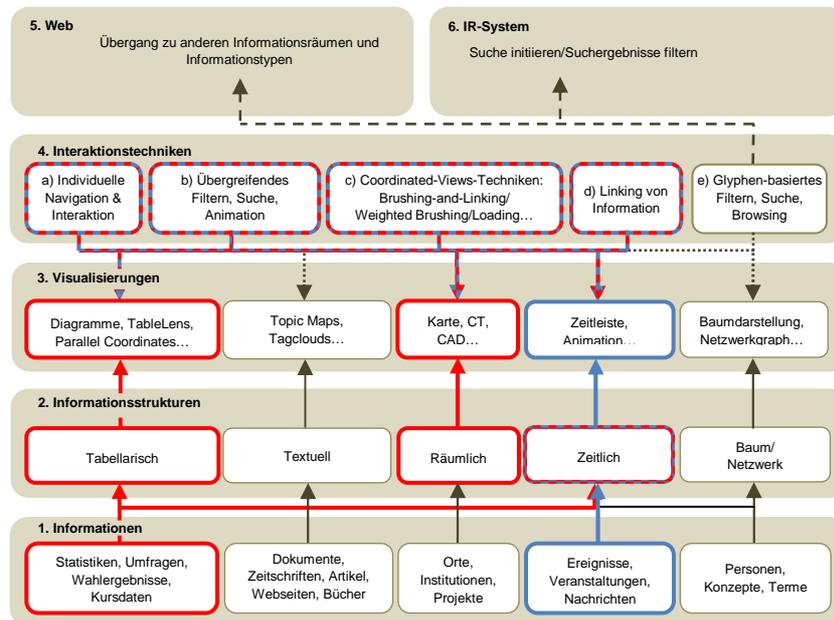


Abbildung 6-1: Instanziiertes Modell im Anwendungsszenario „Statistische Daten“ (nur Abbildung der Informationstypen statistische Daten (rot) und Zeitereignisse (blau) - ohne Nutzerdaten).

### 6.1 Visualisierung von Statistiken

Mehr und mehr Regierungen, statistische Ämter und andere Organisationen bieten ihre statistischen Daten als Open Data oder Linked Open Data an. Die Bandbreite dieser Daten deckt viele Thematiken ab, wie z.B. der Ölverbrauch in verschiedenen Ländern der Welt oder die Fischereiproduktion in Mittelmeerländern. Statistische Daten und im besonderen Zeitreihen können sehr komplex in Aspekten wie Dimensionen, Struktur, Größe und Format sein. Zur vereinfachten Identifikation und Analyse dieser Indikatoren, können sie visualisiert werden, um Trends, Verläufe, Minima und Maxima zu erkennen.

Erste Systeme zur Visualisierung dieser Daten wurden von den Datenanbietern selber entworfen. Eurostat bietet zum Beispiel ein Onlinesystem an, das einfache Grafiken wie Säulendiagramme oder Karten auf Basis räumlicher und zeitlicher Verteilung anzeigt. Daten-Aggregatoren wie datamarket.com gehen einen Schritt weiter. Sie sammeln Daten von verschiedenen Open-Data-Repositories und machen sie vergleichbar durch die Möglichkeit, Datensätze verschiedener Anbieter auszuwählen und in demselben Liniendiagramm anzuzeigen. Auf diese Weise können verschiedene Indikatoren mit ähnlicher zeitlicher und räumlicher Verteilung in einer integrierten Visualisierung verglichen werden. In einer anderen Lösung namens Gapminder können zwei verschiedene Indikatoren in einem Streudiagramm angezeigt werden.

Die bestehenden Lösungen haben mehrere Nachteile: Die Nutzung einer Visualisierung bietet eine integrierte Ansicht, aber erschwert es, die einzelnen Indikatoren zu unterscheiden. Sie sind oft nur farblich kodiert, so dass die Zuordnung mit der Hilfe von Legende oder Mouse-Over erfolgen muss. Falls zu viele Indikatoren gewählt wurden, kann die Visualisierung schnell visuell überladen wirken und es kann nicht mehr zwischen den Zeitreihen unterschieden werden. Verschiedene Visualisierungstypen bieten mehr Möglichkeiten, eine adäquate Visualisierung für den einzelnen Indikator zu wählen, was es einfacher macht, Eigenschaften von Visualisierungstypen zu nutzen, um

individuelle Elemente zu entdecken. Außerdem können Datensätze verschiedene Einheiten und Skalierungen haben, die den Vergleich der Indikatoren zusätzlich erschweren.

Der hier vorgestellte Ansatz verbindet (1) die Integration von Live-Daten, (2) die Anzeige der Datensätze in koordinierten Ansichten und (3) den Ansatz Nutzervisualisierungen oder Zeitereignisse hinzuzufügen, um offizielle Statistiken mit persönlichen Daten zu ergänzen. Jeder Indikator erhält seine eigene Visualisierung, die am besten zu diesem Indikator in Bezug auf Visualisierungstyp und Skalierung passt. Für jeden Indikator kann der Visualisierungstyp und Daten verschiedener Länder ausgewählt werden. Die verschiedenen Visualisierungen sind durch ein Linking verbunden, so dass die Auswahl eines Elements verwandte Elemente in allen Visualisierungen hervorhebt und ihre Werte anzeigt.

### 6.1.1 Visualisierung durch Datenanbieter

Datenanbieter bieten eigene Tools für die Visualisierung ihrer statistischen Daten an. Gebräuchliche Visualisierungstypen sind Säulen-, Linien-, Flächen-, Kreis-, Streudiagramme und Welt-, Länderkarten. Im Folgenden wird die Visualisierung von Statistiken durch die Anbieter an Beispielen von Eurostat<sup>9</sup> und Weltbank<sup>10</sup> gezeigt, deren Datensätze im System integriert sind.

Im Eurostat Table, Graph and Maps Interface (TGM) können Nutzer zwischen einer Tabelle, mehreren Diagrammen und einer Kartenansicht wählen. Die Tabelle zeigt die Werte aufgelöst nach Land und Zeit an. In der Diagrammansicht können Nutzer zwischen verschiedenen Typen wie Säulen-, Linien-, Kreis- und Streudiagramm wählen und/oder zeitliche und räumliche Filter für den Datensatz festlegen. Zum Beispiel kann ein Säulendiagramm für wirtschaftliche Aktivität in allen europäischen Staaten in 2009 erstellt werden. Die dritte Ansicht zeigt eine Karte von Europa, in der farblich schattierte Länder verschiedene Wertebereiche symbolisieren. Auch diese Ansicht kann vom Nutzer angepasst werden.

Dieselben Ansichten werden von der Weltbank genutzt: eine Tabellenansicht, eine Karte und ein Liniendiagramm. Um ein besseres Navigieren zu ermöglichen, bieten sie eine Zeitleiste ober- und unterhalb der Datentabelle an, welche die Auswahl verschiedener Zeitklassen erlaubt. Dies erlaubt die Anzeige aggregierter Daten von 2005-2009 in der Karte. Alle Ansichten sind kaum anpassbar durch den Nutzer, ermöglichen aber einen schnellen Überblick.

Die meisten Datenanbieter bieten einfache Möglichkeiten an, um ihre Daten zu visualisieren. Der Hauptnachteil ist, dass nur ihre eigenen Daten angezeigt werden und keine anderen Datenquellen zum Vergleich in die Visualisierung integriert werden können.

### 6.1.2 Verschiedene Statistiken vergleichen

Datamarket.com integriert mehrere wichtige Datenanbieter mit Daten der UN, der Weltbank oder Gapminder Foundation mit insgesamt 100 Millionen Zeitreihen. Nutzer können Zeitreihen aus einem großen Katalog auswählen, der nach Anbietern gegliedert ist. Da die meisten Datensätze eine große Anzahl von Dimensionen beinhalten, müssen Nutzer zu visualisierende Dimensionen aus Kategorien wie Land/Gebiet, Zeit und verschiedenen Indikatoren auswählen. Daten werden in einem Liniendiagramm angezeigt. Weitere Datensätze können integriert werden, dafür müssen Nutzer einen weiteren Datensatz auswählen und zur Liste hinzufügen. Wieder müssen mehrere Dimensionen des

---

<sup>9</sup> <http://ec.europa.eu>.

<sup>10</sup> <http://www.worldbank.org/>

Datensatzes ausgewählt werden und können dann als eine zweite Linie im Liniendiagramm angezeigt werden.

Eine Alternative zu den Standardvisualisierungen für statistische Daten ist Gapminder (Rosling, 2007). Google akquirierte Gapminder im Jahr 2007 und integrierte die Trendalyzer Software in ihre Charts API. Basierend darauf bietet Google mittlerweile ein eigenes Angebot<sup>11</sup> an, das öffentliche Daten visualisiert. Die Gapminder Software hat eine Diagramm- und eine Kartenansicht. Die Diagrammansicht zeigt drei verschiedene Indikatoren in einem Streudiagramm an. Zwei werden auf der X- und Y-Achse angezeigt und ein dritter wird durch die Größe der Datenpunkte symbolisiert. Die zeitliche Information wird genutzt um eine Animation zu ermöglichen, räumliche Information wird in einer kleinen Karte angezeigt. Verschiedene Indikatoren können durch einen Mausklick auf die Achsenbeschriftung in einem hierarchischen Menü ausgewählt werden. Gapminder bietet zurzeit 500 verschiedene Indikatoren an. Da beide Achsen für ihre jeweiligen Indikatoren genutzt werden, ermöglicht die Zeitinformation eine Animation. Durch das Starten der Animation wird der Graph von Start- bis Endzeit animiert, so dass die Entwicklung von einem oder mehreren Ländern oder Gebieten basierend auf den Indikatoren verfolgt werden kann. Räumliche Information wird dreimal repräsentiert: (1) durch die Farbe der Datenpunkte, (2) in einer kleinen Weltkarte, welche die Region anzeigt und (3) in der Legende. Diagramm, Karte und Legende sind verknüpft, um das ausgewählte Land in allen Sichten gleichzeitig hervorzuheben. Die Kartenansicht bietet die gleiche Funktionalität an, allerdings kann hier nur ein Indikator dargestellt werden, dessen Werte durch die Größe der Datenpunkte visualisiert wird.

### 6.1.3 Eigenschaften

Die Verwendung von heterogenen Open Data-Quellen und die Integration von verschiedenen Statistiken für Visualisierungen haben bestimmte Eigenschaften: (1) verschiedene Datenquellen und Datenformate, (2) Aktualität, (3) Dimensionalität, (4) Größe, (5) die individuelle Ansicht und (6) die integrierte Ansicht.

Daten können aus einer Vielzahl von Quellen stammen und in einer Vielzahl von Formaten vorliegen, die in das Format des Zielsystems konvertiert werden müssen. Zum Beispiel können Daten von Eurostat als Tab Separated Values (TSV) oder mit Semantic Web Technologien wie RDF (Lassila, Swick, 1999) und SPARQL (Prud'hommeaux, Seaborne, 2008) abgefragt werden. Daten der Weltbank werden als Excel-Dateien oder Comma Separated Values (CSV) angeboten. Zudem kann das interne Format sehr stark abweichen: Alle Indikatoren können in einer Tabelle aufgelistet oder auf mehrere Tabellen verteilt sein. Zeilen und Spalten können vertauscht und einzelne Werte können unterschiedlich formatiert sein, wie zum Beispiel Nullwerte oder fehlende Werte. Mit statischen Daten kann ein komplettes Datenupdate sehr zeitintensiv sein. Eine SPARQL-Anfrage ist komplexer, garantiert aber, dass nur Daten angefragt werden, die für die aktuelle Ansicht benötigt werden. Die Daten sind immer up-to-date, da sie meist aus der Original-Datenquelle abgefragt werden. Falls das Ausgabeformat auf TXT oder CSV eingestellt werden kann ist die Verarbeitung einfach, ansonsten müssen komplexe RDF/XML Dokumente geparsed und verarbeitet werden. Dateigröße und Übertragungszeit von RDF-Dokumenten können sehr viel größer sein.

Eine einzelne Statistik kann mehrere Dimensionen wie verschiedene Indikatoren, saisonale Anpassungen, Einheiten, Altersklassen etc. beinhalten. Das kann die Datenverarbeitung sehr komplex machen und resultiert in großen Dateigrößen. Auch wenn nur ein Element für jede Dimensionsklasse ausgewählt wurde, können die abgefragten Daten sehr groß werden. Die statistischen Datensätze, die

---

<sup>11</sup> <http://www.google.com/publicdata>

integriert wurden, enthalten bis zu 240 Gebiete/Länder mit einer zeitlichen Abdeckung von 1800 bis heute, teilweise auf monatlicher oder vierteljährlicher Basis. Da ein Datensatz mehrere Dimensionen enthalten kann, müssen diese im Voraus durch den Nutzer ausgewählt werden, ansonsten würde die Visualisierung visuell überladen wirken. Um eine angemessene Auswahl an Ländern und Zeitperiode auszuwählen, müssen diese in der Benutzeroberfläche einfach auszuwählen sein.

Mit der integrierten Ansicht von mehreren Indikatoren in einem Diagramm kommen einige Schwierigkeiten hinzu: (1) Indikatoren haben oft unterschiedliche Einheiten, (2) sowie eine unterschiedliche Skalierung, (3) ein integriertes Liniendiagramm kann sehr schnell überladen wirken und die einzelnen Indikatoren können nicht mehr unterschieden werden und (4) der Visualisierungstyp ist nicht immer angemessen für jede Statistik oder die Repräsentation könnte durch einen anderen Visualisierungstyp verbessert werden.

### 6.2 Statistiken mit dem Vizgr-Toolkit

#### 6.2.1 Statistische Datensätze

Das Vizgr-Toolkit kann auch für die interaktive Anzeige von statistischen Datensätzen eingesetzt werden. Als Beispieldatensätze wurden Daten von Eurostat, der Weltbank und Gapminder genutzt, die als offene Daten zur Verfügung stehen. Zudem wurde das Indikatorsystem „Europäisches System sozialer Indikatoren“ in das System integriert. Weitere statistische Datensätze können mit wenig Aufwand hinzugefügt werden.

##### 6.2.1.1 Eurostat

Eurostat ist das statistische Amt der Europäischen Union. Sie bieten über 5.000 Zeitreihen mit detaillierten Statistiken aus allen europäischen Ländern an. Die Daten werden durch die nationalen Statistikämter zur Verfügung gestellt und durch Eurostat in Bezug auf statistische Definitionen und Methoden harmonisiert. Alle Daten sind öffentlich in verschiedenen Formaten wie TSV, DFT und SDMX zugänglich und werden zweimal täglich aktualisiert. Die Datensätze beinhalten eine Vielfalt an Thematiken, die von Konvergenzkriterien der EU bis zu Gesundheitsthemen reichen. Für die Integration der Daten in das System wird der *Eurostat Wrapper*<sup>12</sup> genutzt. Der Wrapper bietet alle Daten in RDF-Notation an und Daten können live mithilfe eines SPARQL-Endpoints abgefragt werden. Einzelne Eurostat-Datensätze können bis zu mehreren Megabyte groß sein. Dies kann die Echtzeit-Verarbeitung über das Internet verlangsamen und die direkte Visualisierung der Daten verkomplizieren. Die Nutzung des SPARQL-Endpoints ermöglicht es, nur einen Teil der Dimensionen, Länder und Zeitspannen abzufragen um die Transfergröße klein zu halten. Auf die Weise können die Daten live abgefragt werden und sind immer auf dem aktuellsten Stand.

##### 6.2.1.2 Weltbank

Die Weltbank bietet Zugang zu über 2.000 Zeitreihen. Der Datenkatalog beinhaltet Datensätze zu den World Development Indicators, Global Development Finance, Africa Development Indicators, Education Statistics, Gender Statistics, Health Nutrition and Population Statistics und Millenium Development Goals. Die Datensätze werden in Standardformaten wie CSV und Excel angeboten, können aber auch über eine API abgefragt werden. Da Datenupdates nur in längeren Zeitintervallen erfolgen, wurden alle Datensätze in das System integriert, um eine schnellere Erstellung der Visualisierungen zu ermöglichen.

---

<sup>12</sup> <http://estatwrap.ontologycentral.com/>

### 6.2.1.3 *Gapminder*

Die Gapminder Foundation bietet über 500 Indikatoren von verschiedenen Datenanbietern an. Einige Indikatoren werden von Gapminder aus verschiedenen Datenquellen eigenständig zusammengestellt. Falls möglich, decken die Datensätze alle Länder und Gebiete der Welt ab. Die Datensätze sind in die Kategorien Wirtschaft, Gesellschaft, Bildung, Energie, Umwelt, Gesundheit, Infrastruktur, Bevölkerung und Arbeit eingeteilt. Die Rohdaten werden online in Google Spreadsheets gespeichert und können live in verschiedenen Formaten wie Excel oder CSV abgefragt werden.

### 6.2.1.4 *Europäisches System sozialer Indikatoren*

GESIS – Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften bietet ein Indikatorsystem für die Dauerbeobachtung von individueller Lebensqualität und der Qualität von Gesellschaften in Europa an. Informationen über die soziale Situation und Entwicklung in Gesellschaften wie zum Beispiel demographische Entwicklungen, die Entwicklung von Vermögen und Lebensqualität, die Verteilung von Reichtum und Armut oder die Realisierung von Geschlechtergleichstellung und Bildung sind wichtige Entscheidungsgrundlagen für Politik und Diskussionen in der Gesellschaft. Das Europäische System sozialer Indikatoren (EUSI) beinhaltet über 600 Indikatoren von 1980 bis heute und deckt 27 EU-Mitgliedsstaaten ab, zusätzlich Norwegen, die Schweiz, Japan und die USA als wichtige Referenzländer. Die Zeitreihen decken die folgenden Lebensbereiche ab: Bevölkerung, Haushalte und Familien, Arbeitsmarkt und Arbeitsbedingungen, Wohnen, Bildung und Ausbildung, Einkommen, Lebensstandard und Konsumstrukturen, Gesundheit, Umwelt, Kriminalität und öffentliche Sicherheit und Allgemeine Lebenssituation. In das System wurden CSV-Abzüge der Datenbank integriert. Tabelle 6-1 fasst die wichtigsten Eigenschaften der Datensätze zusammen.

## 6. Anwendungsszenario: Statistische Daten

Tabelle 6-1. Eigenschaften der statistischen Datensätze.

| <i>Datenquelle</i>  | <i>Anzahl<br/>Zeitreihen</i> | <i>Räumliche<br/>Abdeckung</i>                 | <i>Zeitliche<br/>Abdeckung</i> | <i>Themen</i>  | <i>Datenformat</i>             |
|---|------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|
| Eurostat <sup>13</sup>  | 5.000                        | Europa   | Letzte<br>Dekaden              | Alle Themen  | RDF via<br>Eurostat<br>Wrapper |
| Weltbank <sup>14</sup>  | 2.000                        | Welt   | 1960 bis<br>heute              | World Development<br>Indicators, Global<br>Development Finance, Africa<br>Development Indicators,<br>Education Statistics, Gender<br>Statistics,<br>Health Nutrition and<br>Population Statistics und<br>Millennium Development<br>Goals   | CSV, Excel,<br>API             |
| Gapminder <sup>15</sup>   | 500                          | Welt   | 1800 bis<br>heute              | Wirtschaft, Gesellschaft,<br>Bildung, Energie, Umwelt,<br>Gesundheit, Infrastruktur,<br>Bevölkerung und Arbeit   | Google<br>Spreadsheets         |
| Europäisches<br>System<br>sozialer<br>Indikatoren <sup>16</sup> | 600                          | Europa,<br>Norwegen,<br>Schweiz,<br>USA, Japan | 1980 bis<br>heute              | Bevölkerung, Haushalte und<br>Familien, Arbeitsmarkt und<br>Arbeitsbedingungen,<br>Wohnen, Bildung und<br>Ausbildung, Einkommen,<br>Lebensstandard und<br>Konsumstrukturen,<br>Gesundheit, Umwelt,<br>Kriminalität und öffentliche<br>Sicherheit und Allgemeine<br>Lebenssituation | CSV-Export<br>aus<br>Datenbank |

### 6.2.2 Auswahl und Suche von Indikatoren

Ein kritischer Punkt im Nutzer-Workflow ist die Auswahl eines Datensatzes aus einem großen Datenpool. Zusammengefasst stehen im Prototyp über 8.000 Zeitreihen und Nutzervisualisierungen zur Auswahl. Tools wie Gapminder bieten einen hierarchischen Zugang zu ihren Datensätzen an. Durch das Angebot von Datensätzen aus verschiedenen Quellen in dieser Größenordnung ist eine Hierarchisierung kaum möglich. Für den Prototyp wurde eine Lösung entwickelt, die eine Auswahl nach Datenanbietern mit einer Suche und der Möglichkeit zu blättern kombiniert (vgl. Abbildung 6-2). In der Auswahlmaske können Nutzer Datensätze aus den Kategorien Eurostat, Weltbank, Gapminder oder EUSI auswählen. Vorhandene Datensätze werden angezeigt, können durchgeblättert werden und durch einen Mausklick zur Seite hinzugefügt werden. Mit der Suche können Nutzer nach Schlagwörtern im Titel suchen und es werden ihnen entsprechende Datensätze angezeigt.

<sup>13</sup> [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/bulk\\_download](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/bulk_download)

<sup>14</sup> <http://data.worldbank.org/data-catalog>

<sup>15</sup> <http://www.gapminder.org/data/>

<sup>16</sup> <http://www.gesis.org/unser-angebot/daten-analysieren/soziale-indikatoren/eusi/>

## 6. Anwendungsszenario: Statistische Daten

Wählen Sie eine Visualisierung aus:

|                         |   |            |
|-------------------------|---|------------|
| Alle                    | Suchen: <input type="text" value="children"/>   | Suchen     |
| Nutzer-Visualisierungen |   |            |
| Eurostat                | Overweight children in OECD and non-OECD countries<br>Nutzer-Visualisierungen   | Hinzufügen |
| Weltbank                | Private households by type and age group of children<br>Eurostat  | Hinzufügen |
| Gapminder               | Family nuclei by type, number of resident children in the family, current economic activity of parents and presence of other persons in the household<br>Eurostat | Hinzufügen |
|                         | Number of persons by household type and number of children<br>Eurostat  | Hinzufügen |
|                         | Family nuclei by type and number of children<br>Eurostat  | Hinzufügen |
|                         | Family nuclei with children aged under 6, by type and total number of children<br>Eurostat  | Hinzufügen |
|                         | Number of adults by sex, age groups, number of children, age of youngest child and working status (1000)<br>Eurostat  | Hinzufügen |
|                         | Number of adults by sex, age groups, number of children, age of youngest child and highest level of education attained (1000)<br>Eurostat                         | Hinzufügen |
|                         | Number of adults by sex, age groups, number of children, age of youngest child and household composition (1000)<br>Eurostat                                       | Hinzufügen |
|                         | Employment rate of adults by sex, age groups, highest level of education attained, number of children and age of youngest child (%)<br>Eurostat                   | Hinzufügen |

< Zurück Vorwärts > 1 - 10 / 112

Abbildung 6-2: Statistische Datensätze suchen und auswählen.

### 6.2.3 Anzeige individueller Indikatoren

Datensätze von Eurostat, der Weltbank, Gapminder oder EUSI können in der Auswahlmaske ausgewählt werden und werden dann auf einer Seite mit individueller URL angezeigt. Abhängig vom Datenanbieter und der Komplexität des Datensatzes können verschiedene Dimensionen mit Auswahllisten gewählt werden. Häufige Dimensionen sind zum Beispiel verschiedene Indikatoren, Saisonbereinigung, Einheiten, Altersklassen etc. Datensätze von Eurostat können zum Beispiel fünf oder mehr Dimensionen mit jeweils mehreren Elementen enthalten. HTML-Auswahllisten erlauben die einfache Auswahl. Durch die Vorauswahl des ersten Eintrags für jede Dimension wird der Nutzer nicht darauf festgelegt, zuerst mehrere Dimensionen auszuwählen und dann erst die Visualisierung erstellen zu können. Stattdessen erstellt das System eine initiale Visualisierung und der Nutzer hat die Möglichkeit, mit verschiedenen Einstellungen zu experimentieren.

Einzelne Indikatoren werden gleichzeitig in drei verschiedenen Ansichten angezeigt: (1) als Heatmap, (2) als Verteilung über die Zeit in einem Linien- oder Säulendiagramm und (3) als geordnete Liste als Balkendiagramm mit farblicher Kodierung. Abbildung 6-3 zeigt als Beispiel den Datensatz *Children per woman (total fertility) | Kinder pro Frau (zusammengefasste Geburtenziffer)* von Gapminder in den drei koordinierten Ansichten.

## 6. Anwendungsszenario: Statistische Daten

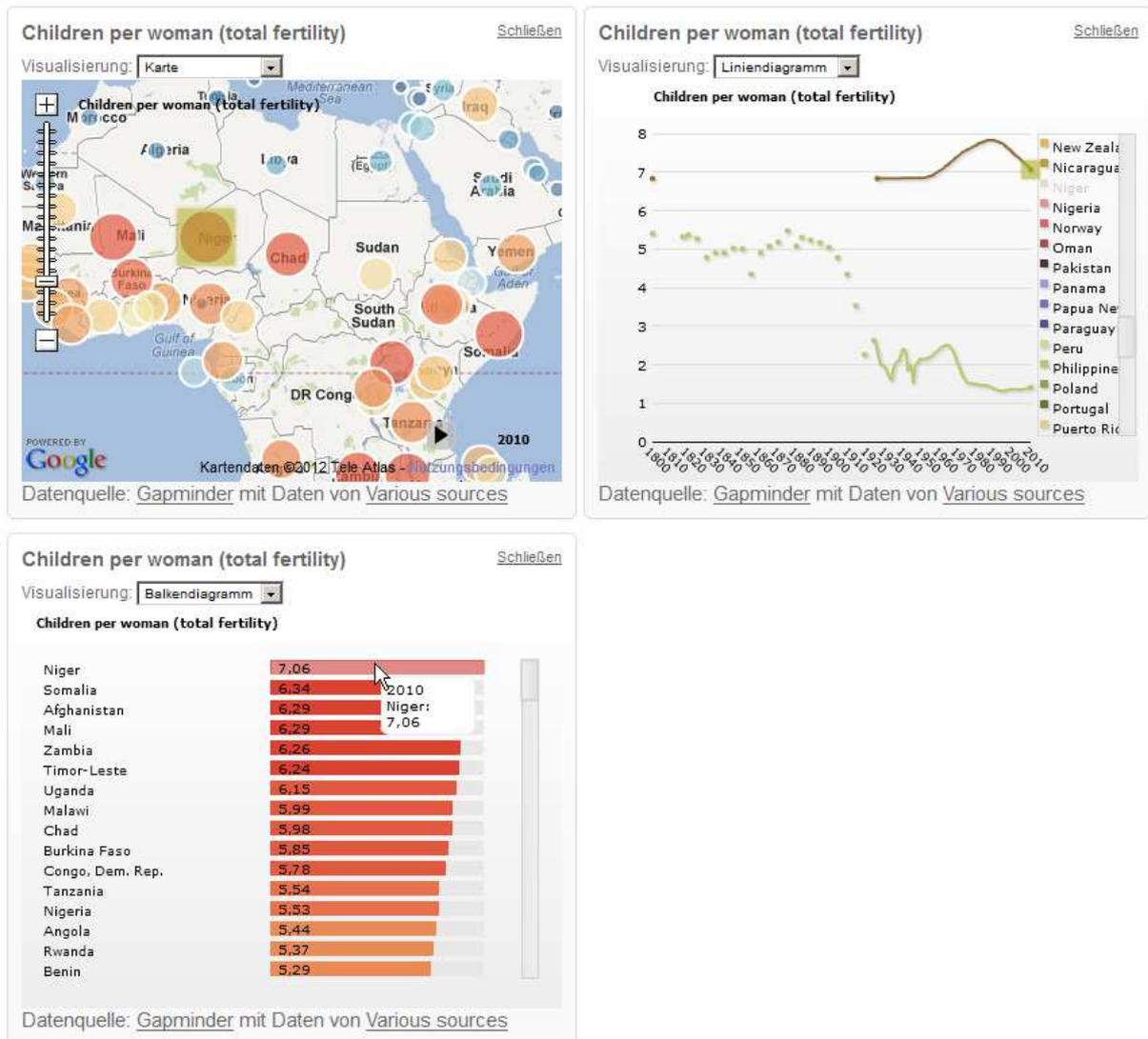


Abbildung 6-3: Anzeige des Datensatzes *Children per woman (total fertility)* | *Kinder pro Frau* (zusammengefasste Geburtenziffer) von Gapminder in drei koordinierten Ansichten.

Die Heatmap zeigt den Datensatz als farbige Wertekreise auf einer Google-Karte an. Der Nutzer hat die Möglichkeit zu bestimmten Regionen zu zoomen und die Karte in verschiedene Richtungen zu verschieben. Der einzelne Indikatorwert pro Land wird dabei zweifach kodiert. Einerseits als Durchmesser des Kreises und andererseits mit verschiedenen Farbwerten. Für die Berechnung des Durchmessers wird zuerst der Minimal- und Maximalwert der aktuellen Datenreihe ermittelt. Dann wird der Durchmesser des aktuellen Indikatorwerts durch eine Normierung auf einen Durchmesser von 5px bis 20px skaliert. Damit wird der kleinste Wert der Reihe als Kreis mit einem Durchmesser von 5px angezeigt, der größte mit einem Durchmesser von 20px und andere Werte dazwischen. Zusätzlich wird ein Indexwert errechnet, der einen Farbwert aus einem Array auswählt. Das Array enthält Farbwerte mit verschiedenen Farbtemperaturen von dunkel- über hellblau, orange zu dunkelrot. Hohe Werte werden in Rottönen dargestellt, niedrige Werte in Blautönen. Die Karte zeigt auf einen Blick, wo für den aktuellen Indikator sehr hohe oder sehr niedrige Werte vorliegen. Die Kartenansicht kann nur eine Zeiteinheit (zum Beispiel Jahr) des Datensatzes anzeigen. Initial wird das aktuellste Jahr des Datensatzes visualisiert und in der rechten unteren Ecke der Karte angezeigt. Zur Anzeige aller Jahre wird eine Animation angeboten. Der Nutzer kann den Play-Button klicken und die Kreise

## 6. Anwendungsszenario: Statistische Daten

werden animiert auf der Karte angezeigt. Für die explizite Auswahl eines Jahres kann im Control-Panel (Abschnitt 6.2.6) ein Jahr auf der Zeitleiste ausgewählt werden.

Für die Verteilung des Indikators über die Zeit wird ein Linien- oder Säulendiagramm verwendet. Zeitinformation wird auf der X-Achse, Indikatorwerte auf der Y-Achse abgebildet. Länder erscheinen in der Legende und sind analog zu Linien/Säulen farblich kodiert. Initial werden Werte aller Länder angezeigt. Der Nutzer kann verschiedene Länder direkt in der Legende auswählen. Zum Beispiel können durch die Auswahl von Deutschland und Frankreich der zeitliche Verlauf von Fertilität in diesen beiden Ländern verglichen werden. Datensätze können über zweihundert verschiedene Länder und Regionen enthalten. Die Legende ist scrollbar, so dass auf eine große Anzahl von Ländern zugegriffen werden kann und einzelne Länder einfach innerhalb der Visualisierung selektiert werden können. In vielen Tools, wie von Eurostat oder Datamarket, müssen Zeit- und Länderinformation im Vorhinein gewählt werden, um dann die Visualisierung erneut zu erstellen.

Als dritte Visualisierung wird ein Balkendiagramm mit farblicher Kodierung verwendet. Diese Ansicht ordnet die Werte einer Datenreihe und zeigt sie von oben nach unten in einer Liste mit farblich kodierten Balken an. Analog zur Heatmap werden hohe Werte mit Rottönen und niedrige Werte mit Blautönen kodiert. Die Liste ist scrollbar, so dass durch eine große Anzahl von bis zu hunderten Ländern einfach iteriert werden kann. Die Ansicht zeigt damit auf einen Blick die Reihenfolge der Länder für einen Indikatorwert. Auch für diese Ansicht kann nur ein Zeitpunkt angezeigt werden, initial wird das aktuellste Jahr angezeigt. Mithilfe des Control-Panels können andere Zeitpunkte ausgewählt werden.

Abbildung 6-4 zeigt die Anwendung des Modells aus Kapitel 3 für die individuelle Anzeige von Indikatoren. Auf Informationsebene stehen Attribut-Kombinationen eines Einzelindikators wie Geo/Wert, Zeit/Geo/Wert und Geo/Wert. Diese können abgebildet werden auf die Informationsstrukturen räumlich, zeitlich und tabellarisch und die Visualisierungstypen Heatmap, Zeitdiagramm und Liste. Auf Interaktionsebene werden die verschiedenen Ansichten durch die Coordinated View-Technik Brushing-and-Linking (4c) visuell verbunden. Mithilfe des Control-Panels als Hilfsmittel für Übergreifendes Filtern, Suche und Animation (4b) können alle Ansichten gleichzeitig gefiltert, durchsucht oder animiert werden.

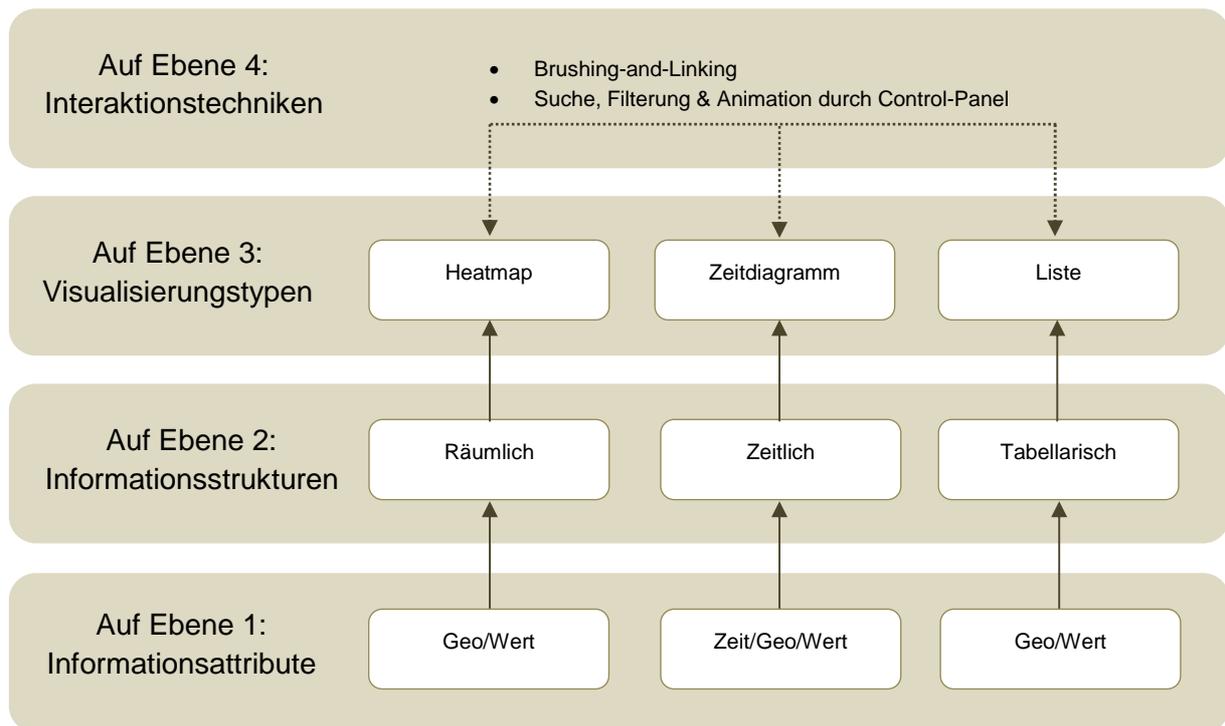


Abbildung 6-4: Anwendung des Modells auf Einzelindikatoren.

#### 6.2.4 Kombination von Indikatoren

Im Prototyp können auch verschiedene Indikatoren auf einer Seite zusammengestellt werden. Visualisierungen können durch einen Klick auf den Button *Visualisierung hinzufügen* zur der Seite hinzugefügt werden. In der Suchmaske können Nutzer dann verschiedene Indikatoren auswählen und auf einer Seite zusammenstellen. Bis zu 4 Indikatoren können sinnvoll auf einer Seite dargestellt werden. Für jeden Indikator können wiederum Dimensionen, Visualisierungstyp und Länder ausgewählt werden.

Abbildung 6-4 zeigt die Anwendung des Modells für eine Kombination von Indikatoren und Nutzervisualisierungen. Die einzelnen Indikatoren und Nutzerdaten bilden die Informationstypen ab, die anhand des Modells für Einzelindikatoren in Informationsattribute und Informationsstrukturen aufgespalten und mit passenden Visualisierungstypen angezeigt werden können. Der Visualisierungstyp kann dabei dynamisch gewechselt werden, um verschiedene Informationsattribute des Indikators anzuzeigen. Auf Interaktionsebene können Daten in Indikatoren manuell oder durch Regeln verbunden werden (Linking von Information (4d)). Alle Ansichten sind auch hier durch die Coordinated View-Technik Brushing-and-Linking (4c) visuell verbunden. Mit dem Control-Panel als Hilfsmittel für Übergreifendes Filtern, Suche und Animation (4b) können alle Ansichten gefiltert, durchsucht oder animiert werden.

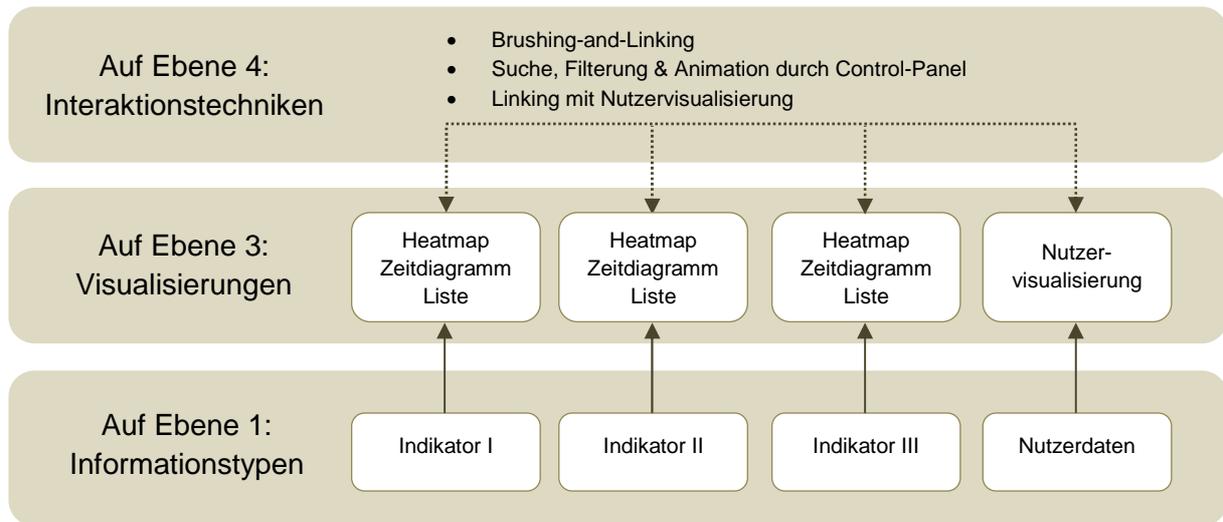


Abbildung 6-5: Anwendung des Modells auf eine Kombination von Indikatoren und Nutzervisualisierungen.

### 6.2.5 Kombination von Indikatoren mit Zeitereignissen

Neben der Kombination verschiedener Einzelindikatoren oder der Kombination mit Nutzervisualisierungen können statistische Open Data-Indikatoren auch mit Zeitereignissen aus verschiedenen Datenquellen kombiniert werden. Datengrundlage für Zeitereignisse können dabei Datenquellen wie extrahierte Zeitereignisse aus Wikipedia (Hienert, Luciano, 2012; Hienert u. a., 2012b) oder Events von Web-APIs wie der Guardian Open Plattform<sup>17</sup> sein, die in einer Zeitleiste angezeigt werden. Liniendiagramm und Zeitleiste sind über das Informationsattribut Zeit verbunden. Fährt der Nutzer mit der Maus über einen Datenpunkt im Liniendiagramm, so wird zum passenden Jahr in der Zeitleiste gescrollt. Auf diese Weise können passende Ereignisse aus den APIs geladen werden, die als Hintergrundwissen und Links für die Interpretation von statistischen Daten helfen können.

Abbildung 6-6 zeigt die Anwendung des Modells für eine Kombination von Indikatoren und Zeitereignissen. Einzelne Indikatoren werden wieder mit verschiedenen Attributen in einer Heatmap, einem Zeitdiagramm und einer Liste angezeigt. Zeitereignisse werden in einer Zeitleiste angezeigt. Mit dem Control-Panel können die statistischen Ansichten zeitlich und räumlich gefiltert werden.

Abbildung 6-7 zeigt einen Screenshot für die Kombination von statistischen Daten und Zeitereignissen für den Indikator „Erdbeben – Anzahl jährlicher Toter“ von Gapminder. Fährt der Nutzer über einen Datenpunkt im Liniendiagramm, so werden passende Zeitereignisse in der Zeitleiste angezeigt. Beispielsweise wurde in der Abbildung die Statistik von Gapminder zuerst mit dem Control-Panel auf das Jahr 1970 gefiltert. Die statistischen Visualisierungen zeigen ein großes Erdbeben auf der Karte in Peru, in der Liste und im Diagramm. In dem Liniendiagramm sieht man, dass es für Peru eines der größten Erdbeben mit fast 70.000 Opfern war. Das passende Zeitereignis findet sich in der Zeitleiste mit einem Link zu dem passenden Wikipedia-Artikel.

<sup>17</sup> <http://www.guardian.co.uk/open-platform>

## 6. Anwendungsszenario: Statistische Daten

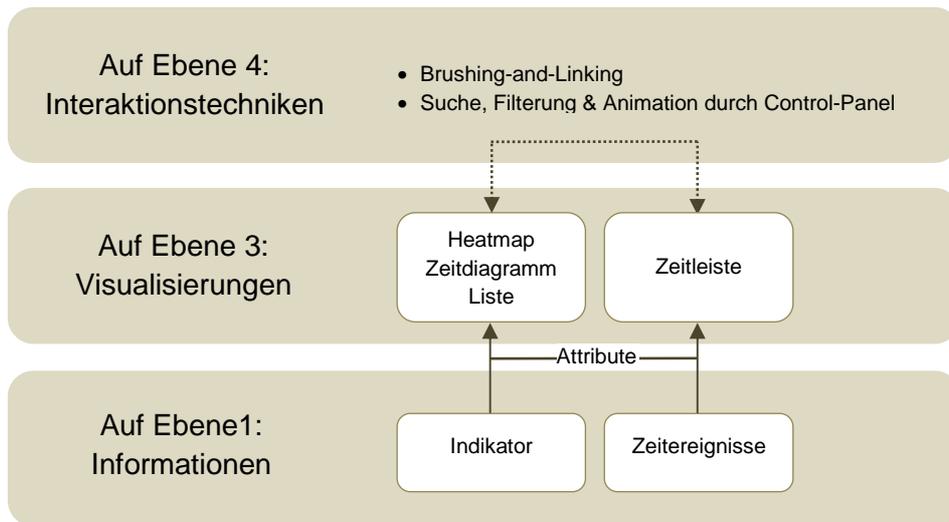


Abbildung 6-6: Anwendung des Modells auf eine Kombination von Indikatoren und Zeitereignissen.

## 6. Anwendungsszenario: Statistische Daten

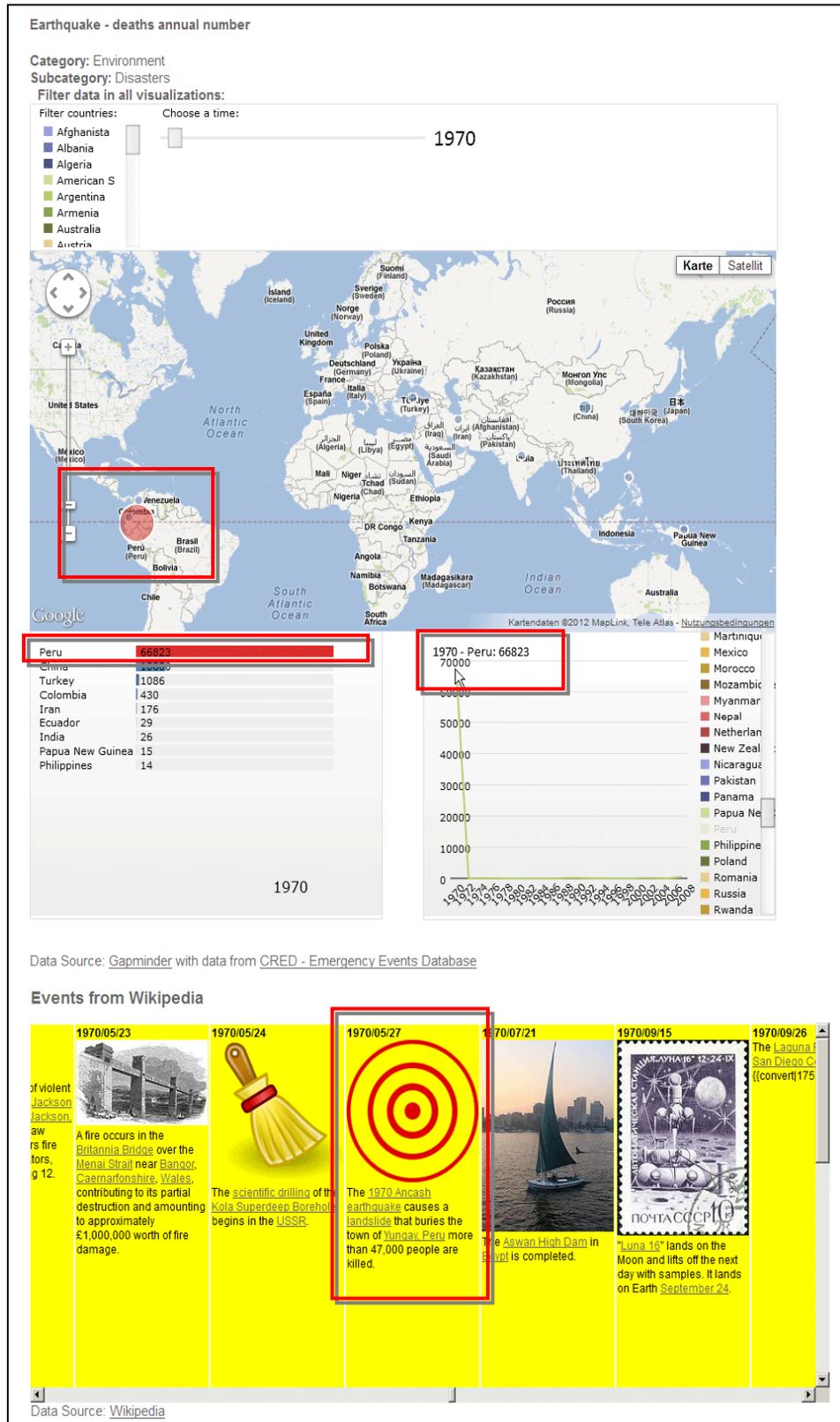


Abbildung 6-7: Kombination von Indikatoren und Zeitereignissen.

### 6.2.6 Control-Panel

Das Control-Panel bietet die Möglichkeit für Einzelindikatoren oder zusammengestellte Indikatoren verschiedene Attribute zu filtern, Werte zu suchen, die Animation zu starten oder auf einen Zeitraum einzugrenzen (vgl. Abbildung 6-8). Im Fall von zusammengestellten Indikatoren werden Attribute und Werte über alle Visualisierungen ermittelt und an das Control-Panel übergeben. Über die Auswahl von bestimmten Interaktionselementen im Control-Panel werden Events an alle Visualisierungen geschickt, die diese dann verarbeiten und die Visualisierung entsprechend filtern. Damit können bei zusammengestellten Indikatoren mit einer Interaktion alle Visualisierungen gleichzeitig gefiltert werden. Zum Beispiel können mit der Auswahl von Land und Zeitspanne alle Visualisierungen gleichzeitig auf diese Werte gefiltert werden.

In diesem Anwendungsfall können/kann

- Länder/Regionen in einer Auswahlliste einzeln selektiert und ausgewählt werden.
- die Zeitspanne mit einem Slider eingrenzt werden.
- die Werte mit einem Slider eingegrenzt werden.
- der oder die Datensätze mit Suchbegriffen auf Länder und Zeitspannen eingrenzt werden. Zum Beispiel schränkt die Eingabe von „*germany italy 1980*“ alle Datensätze auf die Länder Deutschland und Italien und auf die Zeitspanne von 1980 bis heute ein. Filter können damit mit einfachen Suchbegriffen gesetzt werden.
- Animationen in allen Visualisierungen vom frühesten angegebenen Zeitpunkt bis zum Endzeitpunkt gestartet werden. Damit werden die Heatmap und die geordnete Liste animiert angezeigt. Über einen Slider kann auch explizit ein Jahr ausgewählt werden.



Abbildung 6-8: Das Control-Panel in dem Anwendungsszenario „Statistiken“.

### 6.2.7 Koordination zwischen Statistiken und Nutzervisualisierungen

Koordinierte Ansichten in Statistiken sind möglich, da die Datensätze gleiche zeitliche und räumliche Informationen enthalten. Es wird eine Kombination aus Zeit- und Rauminformation genutzt um das Linking zu erstellen. Einzelne Glyphen (Marker auf der Karte, Punkte im Liniendiagramm, Einträge in der Liste) sind intern definiert und adressierbar mit einer Kombination aus [Jahr//Land//Indikatorwert], wie zum Beispiel [2010//Zambia//6,26].

In der XML-Definition jeder Visualisierung wird der Linking-Modus definiert (Listing 6-1). Durch die Anwendung der Regel [same//same//\*] werden dasselbe Jahr, dasselbe Land mit beliebigen Werten in allen Visualisierungen hervorgehoben.

```
<linking>
  <modus>highlight</modus>
  <data>same//same//*; </data>
</linking>
```

Listing 6-1: Linking-Knoten für die Hervorhebung von Glyphen mit demselben Jahr, demselben Land und beliebigen Indikatorwerten.

Dies hat in der Einzelansicht der Statistiken den Effekt, dass Attribute der Indikatorwerte bei der Selektion mit der Maus in allen Ansichten hervorgehoben werden. Wird zum Beispiel der erste Wert in der Liste des Balkendiagramms ausgewählt, wird gleichzeitig das Land auf der Karte und Punkte im Liniendiagramm hervorgehoben. Auf diese Weise können auch im Vergleich von mehreren Statistiken verschiedene Indikatoren für dasselbe Jahr und Land verglichen werden. Hier werden zusätzlich die Werte der einzelnen Indikatoren angezeigt.

Koordination zwischen nutzergenerierten Visualisierungen und Statistiken wird durch zwei Ansätze erreicht. Enthalten nutzergenerierte Visualisierungen ähnlich strukturierte Daten oder Schlagwörter, die bereits in den Statistiken genutzt werden, so kann das Mapping automatisch geschehen. Sind zum Beispiel, Länder auf einer Karte analog zu den Ländern in einer Statistik bezeichnet, so wird mit der Selektion eines Punktes im Liniendiagramm auch der Marker in der Karte hervorgehoben. Enthält die Nutzer-Visualisierung keine gleichen Schlagwörter mit den Labels von Statistiken, so kann ein Linking mit dem Mapping Editor erstellt werden.

### 6.3 Analyse von Statistiken mit koordinierten Ansichten

Im folgenden Beispiel wird gezeigt, wie Statistiken aus verschiedenen Quellen zu einer Seite hinzugefügt und automatisch verbunden werden. Weiterhin wird eine Nutzervisualisierung hinzugefügt und gezeigt, wie koordinierte Visualisierungen zur Analyse von mehreren Indikatoren genutzt werden können.

Als erster Datensatz wird *GDP per Capita (current US\$)* aus der Kategorie Weltbank ausgewählt. Das Gross Domestic Product (GDP) oder deutsch Bruttoinlandsprodukt (BIP) zeigt den Marktwert von allen Gütern und Dienstleistungen in einem Land innerhalb eines Jahres, geteilt durch Bevölkerungsanzahl zur Mitte des Jahres. Der Datensatz wird oft als Wohlstandsindikator genutzt und enthält das GDP für 237 Länder und Regionen in US\$ von 1960 bis 2009. Die Visualisierung wird als erste auf der Seite angezeigt (Abbildung 6-9). Nutzer können verschiedene Visualisierungstypen wie Linien-, Säulen-, Balkendiagramm oder Karte wählen. Da der Datensatz eine große Anzahl von Attributen enthält, können Nutzer die Länder von Interesse auswählen. Durch die Auswahl von verschiedenen Ländern in der Legende können individuelle Werte und Trends über die Zeit für denselben Indikator in demselben Diagramm analog zu existierenden Tools verglichen werden. Zum Beispiel kann man das GDP für die Vereinigten Staaten und Großbritannien durch die Auswahl der Länder in der Legende vergleichen. Man kann eine stetig ansteigende Kurve für die Vereinigten Staaten von 1960 bis 2008 mit einem kleinen Verlust in 2009 resultierend durch die Finanzkrise erkennen. Die Kurve von Großbritannien enthält mehrere lokale Minima.

Um das GDP mit einem zweiten Indikator zu ergänzen, klickt man auf den Button *Visualisierung hinzufügen* und sucht nach dem Schlagwort *life expectancy*. Eurostat, Weltbank und EUSI bieten hierfür Datensätze an. Der Datensatz *Life expectancy at birth, total (years)* der Weltbank wird für diese Beispiel ausgewählt. Der Indikator beschreibt die Lebenserwartung von Neugeborenen, falls die

## 6. Anwendungsszenario: Statistische Daten

vorherrschenden Muster zur Zeit seiner Geburt sein Leben lang gleich blieben. Damit beschreibt er die Lebenserwartung zur Zeit seiner Geburt in Jahren für beide Geschlechter von 1960 bis 2009. Die neue Visualisierung erscheint neben der Visualisierung des GDP-Indikators, um den Vergleich der Indikatoren zu vereinfachen. Man kann nun das GDP und die Lebenserwartung in Europa und Afrika vergleichen, indem man beide Regionen im Control-Panel auswählt, die Regionen in das Suchformular eingibt oder in den Legenden beider Visualisierungen auswählt. Man kann eine große Differenz zwischen dem GDP in Afrika und Europa erkennen. Afrika beginnt mit einem Wert von 151\$ in 1960 und endet mit 1.593\$ in 2008, mit einem relativ stabilen Level zwischen 1980 und 2002 mit Werten zwischen 650\$ und 800\$. Im starken Kontrast dazu startet die EU mit 904\$ in 1960 und endet mit 32.838\$ in 2009. Die Lebenserwartung steigt für beide Regionen, allerdings auf verschiedenen Niveaus: für Afrika von 42 Jahre auf 54 Jahre, für Europa von 69 Jahre auf 79 Jahre. Beide Visualisierungen sind koordiniert, d.h. fährt man mit der Maus über ein Element in einer Visualisierung, werden Elemente mit derselben Zeit/Land-Kombination in allen anderen Ansichten hervorgehoben. Fährt man beispielsweise mit der Maus über den Punkt 1993 in Europa im GDP-Diagramm, wird ein Wert von 15.749\$ angezeigt und gleichzeitig wird der entsprechende Datenpunkt im Lebenserwartungs-Diagramm hervorgehoben und ein Wert von 75 Jahren angezeigt. Im Jahr 2008 hat sich das GDP auf 36.834\$ verdoppelt und die Lebenserwartung hat sich auf 79 Jahre erhöht. Im Gegensatz dazu hat Afrika im Jahr 1992 ein GDP von 720\$ und eine Lebenserwartung von 53 Jahren, und in 2008 ein GDP von 1.350\$ und eine Lebenserwartung von 55 Jahren.

Man kann einen dritten Datensatz *General Fear of Crime* aus der Kategorie Europäisches System für Soziale Indikatoren als Indikator für subjektive Wahrnehmung und Einschätzung von öffentlicher Sicherheit zur Seite hinzufügen. Er beschreibt den „Prozentsatz an der Bevölkerung, die sich wenig oder sehr davor fürchten alleine in der Gegend in der sie leben zu Fuß unterwegs zu sein“<sup>18</sup>. Daten kommen vom Eurobarometer Survey für Europa und von der Gallup Organisation für die Vereinigten Staaten. Dieser Indikator ist im Gegensatz zu den vorherigen ein subjektiver Wohlfühl-Indikator, dessen Daten auf Umfragen in der Bevölkerung basieren. Da hier das Datenmaterial nicht kontinuierlich vorliegt, kann ein Säulendiagramm die Daten besser visualisieren. Man kann zum Beispiel die Beobachtung machen, dass die wahrgenommene Angst vor Verbrechen von 2001 auf 2002 in den Vereinigten Staaten von 30% auf 35% gestiegen ist, obwohl das GDP von 35.898\$ auf 36.796\$ und die Lebenserwartung von 77,0341 Jahre auf 77,2366 Jahre gestiegen sind. Dieser Anstieg der subjektiv wahrgenommenen Angst vor Verbrechen könnte auf den Terroranschlag vom 11. September 2001 beruhen. Im Gegensatz dazu ist die subjektive Angst in Deutschland vor Verbrechen von 1996 bis 2000 von 39,4% auf 35,1% gefallen, obwohl das GDP stark von 29.769\$ auf 23.114\$ und die Lebenserwartung leicht von 76,6732 Jahre auf 77,9268 Jahre gefallen ist.

Als vierter Indikator kann zusätzlich die Bevölkerungsgröße angezeigt werden. Der Datensatz *Population size on 1. January by age and sex* von Eurostat enthält zum Beispiel diese Daten. Als Visualisierungstyp kann entweder ein Liniendiagramm oder eine Karte gewählt werden. Das Liniendiagramm kann den zeitlichen Verlauf der Bevölkerungsentwicklung verdeutlichen, die Karte kann auf einen Blick zeigen, wo für einen definierten Zeitpunkt die Bevölkerungsgröße wie groß war, indem sie durch verschieden große Kreise angezeigt wird.

---

<sup>18</sup> [http://www.gesis.org/fileadmin/upload/dienstleistung/daten/soz\\_indikatoren/eusi/M2111.pdf](http://www.gesis.org/fileadmin/upload/dienstleistung/daten/soz_indikatoren/eusi/M2111.pdf)

## 6. Anwendungsszenario: Statistische Daten

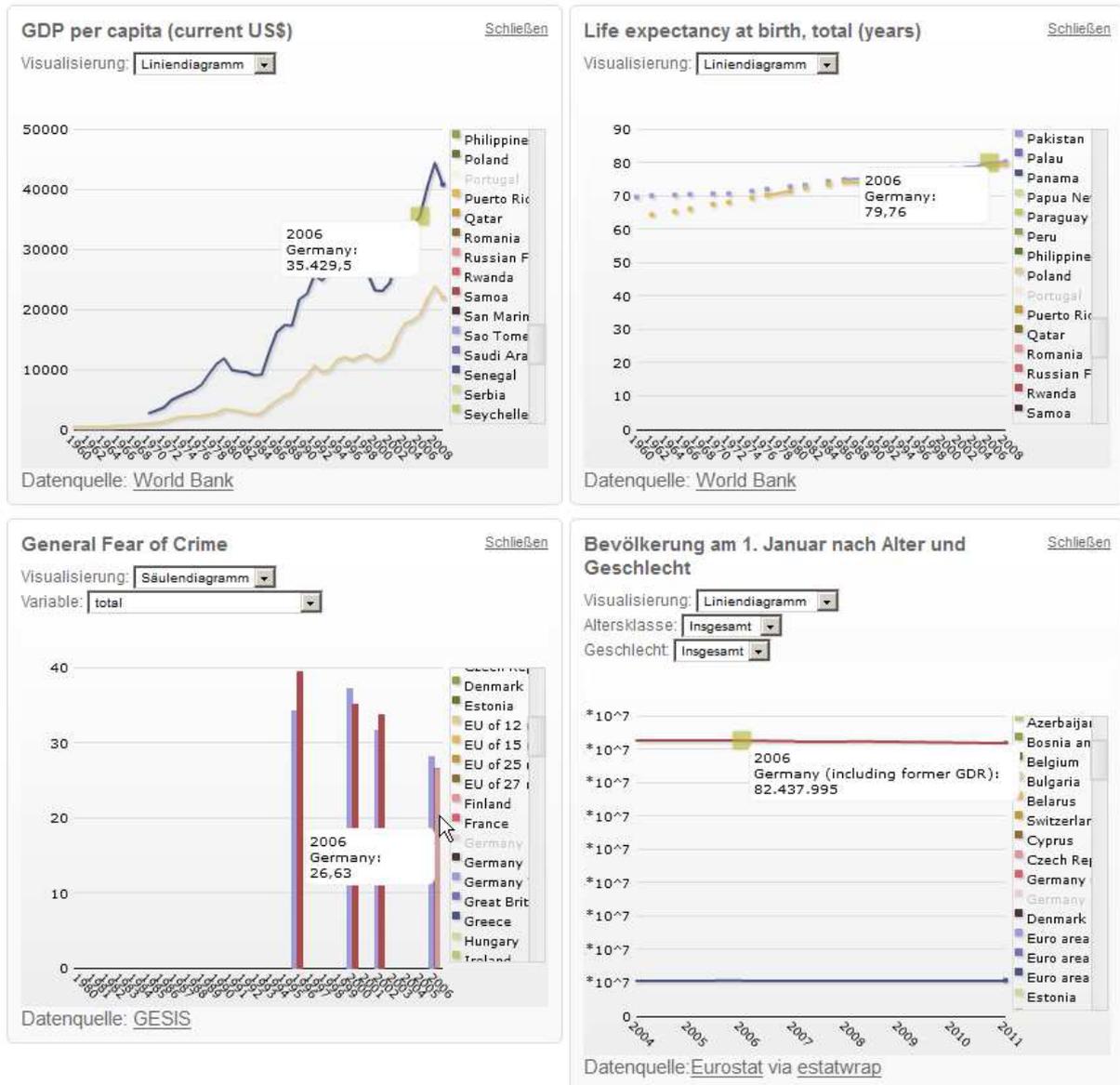


Abbildung 6-9: Analyse von vier verschiedenen Indikatoren: (1) *GDP per capita*, (2) *Life expectancy*, (3) *General Fear of Crime* und (4) *Population on 1 January* im Vergleich von Großbritannien und Portugal.

Eine weitere Möglichkeit ist es nutzergenerierte Visualisierungen zu offiziellen Statistiken hinzuzufügen, beispielsweise Diagramme mit aggregierten Daten oder anderen Visualisierungstypen wie Karten oder Zeitleisten (Abbildung 6-10). Zum Beispiel kann eine Karte mit europäischen Ländern hinzugefügt werden. Nutzer können diese Art von Karten einfach mit dem Prototyp erstellen, indem sie entweder manuell Titel, Details und Adressen von Orten eingeben oder Informationen zu Ländern automatisch aus Wikipedia laden. Automatische Koordinierung kann am einfachsten erreicht werden, indem Orte analog zu den Bezeichnungen in statistischen Daten benannt werden. Auf diese Weise werden Daten gleichzeitig im Diagramm und in der Karte hervorgehoben, wenn der Nutzer über das Land in der Karte mit der Maus fährt. Auf diese Weise kann eine nutzergenerierte Karte als Filter für alle statistischen Diagramme genutzt werden. Umgekehrt, wenn man mit der Maus über einen Wert im Diagramm fährt, wird das Land in der Karte hervorgehoben. Dies ist ein ähnlicher Ansatz zu anderen Systemen, in denen Karten-Diagramm-Kombinationen genutzt werden. In diesem Ansatz kann die Karte an spezielle Bedürfnisse angepasst werden und dafür genutzt werden um Werte in mehreren Ansichten hervorzuheben. Zum Beispiel haben manche Eurostat-Indikatoren einen Fokus

## 6. Anwendungsszenario: Statistische Daten

auf Mittelmeerländer. Es kann sehr einfach eine Karte erstellt werden, die einen besseren Fokus auf diese Länder hat und Interaktionsmöglichkeiten wie Zoom & Pan zur Verfügung stellt.

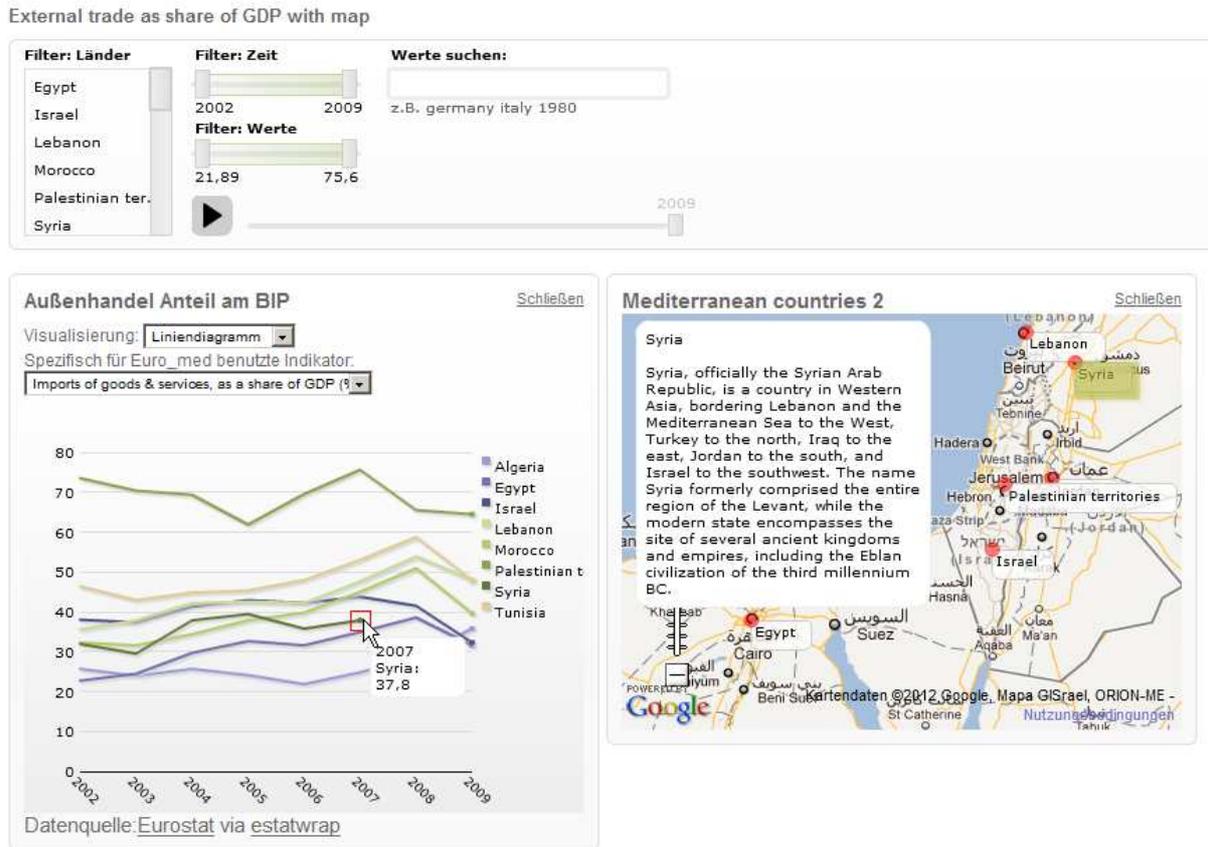


Abbildung 6-10: Hinzufügen einer nutzergenerierten Karte von Mittelmeerländern zu einer Eurostat-Statistik *External Trade as a share of GDP* für diese Länder.

Alternativ könnte zum Beispiel eine nutzergenerierte Zeitleiste mit historischen Events im Kontext von Rezessionen in Großbritannien zu statistischen Daten hinzugefügt werden. Nutzer können Zeitleisten entweder manuell durch die Eingabe von Titel, Details, Startdatum und Enddatum von historischen Ereignissen erstellen oder Web-APIs mit Zeitereignisse können automatisiert angebunden werden. Zum Beispiel können historische Zeitereignisse rund um Rezessionen der frühen 1980er Jahre, der frühen 1990er Jahre und den späten 2000er Jahren zu einer Zeitleiste hinzugefügt werden. Da hier keine direkten Verbindungen zwischen Zeitereignissen und Diagrammwerten bestehen, können Informationen im Mapping Editor verbunden werden. Zeitereignisse können zu Datenpunkten wie Minima oder Maxima im GDP-Diagramm verbunden werden, indem auf das Zeitereignis in der Zeitleiste und auf den Datenpunkt im Diagramm geklickt wird. Als Resultat wurde ein Linking als Basis für koordinierte Ansichten kreiert. Fährt der Nutzer mit der Maus über einen Wert im Diagramm, wird das passende Zeitereignis hervorgerufen. Umgekehrt werden Regionen im Diagramm hervorgehoben, wenn der Nutzer mit der Maus über ein Zeitereignis fährt.

### 6.4 Diskussion

In diesem Abschnitt werden die Vor- und Nachteile (1) der integrierten Ansicht von Statistiken in Diagrammen, (2) des Vergleichs in Streudiagrammen, (3) der Anzeige in Karten und (4) des Coordinated-View-Ansatzes diskutiert.

## 6. Anwendungsszenario: Statistische Daten

Tools von Eurostat und DataMarket bieten die Möglichkeit, Zeitreihen aus verschiedenen Datensätzen zu wählen und in einem integrierten Diagramm, z.B. einem Liniendiagramm, anzuzeigen. Das hat den großen Vorteil, dass beide Zeitreihen direkt in einer Visualisierung mit denselben Einheiten und Skalierungen für die X- und Y-Achse verglichen werden können. Haben zum Beispiel zwei Zeitreihen dieselbe Einheit und eine mehr oder weniger gleiche Skalierung, kann man sie direkt vergleichen. Entweder sieht man die Distanz zwischen zwei Datenpunkten im Diagramm im Kontrast zu anderen Distanzen oder man vergleicht die Werte im Detail, indem man mit der Maus darüber fährt. Für diesen Fall ist eine integrierte Anzeige die ideale Lösung, da sie ermöglicht zwei oder mehr Indikatoren sehr schnell in einem Diagramm zu vergleichen.

Dieser Ansatz hat aber mehrere Nachteile, die in realen Szenarien auftauchen können: (1) Statistiken haben oft unterschiedliche Einheiten, (2) Statistiken haben oft eine unterschiedliche Skalierung, (3) eine integrierte Visualisierung kann sehr schnell visuell überladen wirken und verschiedene Indikatoren können kaum unterschieden werden und (4) derselbe Visualisierungstyp ist nicht immer passend für alle Indikatoren oder die Darstellung könnte mit der Wahl eines anderen Visualisierungstyps optimiert werden.

Statistiken haben selten die gleichen Einheiten für zu vergleichende Indikatoren. Die Bandbreite reicht von absoluten Zahlen, Prozenten, Zahlen in Tausenden oder Millionen, Indexwerten (2005=100%) etc. Das wird ergänzt durch verschiedene Skalierungen von Zahlen zwischen null und eins für Prozentwerte, zu Zahlen um 100 für Indexwerte und Zahlen in Tausenden oder Millionen für absolute Zahlen. Dies resultiert in Schwierigkeiten für den Vergleich von zwei Indikatoren mit verschiedenen Einheiten oder Skalierungen. Zum Beispiel ist der Vergleich von zwei Indikatoren, einem in Prozent und dem anderen in absoluten Zahlen in Tausendern in einem Diagramm schwierig. Die Skalierung der Y-Achse wird automatisch auf Tausender angepasst. Das bedeutet, dass die Zeitreihen in Prozent sehr nahe an oder auf der X-Achse entlang läuft und visuell kaum mit dem zweiten Indikator verglichen werden kann. Ein Lösungsansatz ist der Y-Achse eine zweite Skalierung zuzuweisen. Mit einem bestimmten Umwandlungs-Faktor von beispielsweise 1:1000 wird eine zweite Einheit zugewiesen. Auf diese Weise sind beide Indikatoren in einem ähnlichen Bereich und können einfacher verglichen werden. Diese Lösung ist aber beschränkt auf zwei Einheiten oder Skalierungen in einem Diagramm und die Darstellung kann komplexer werden und nicht intuitiv verstehbar sein.

Diagramme können durch zu viele Indikatoren sehr schnell visuell überladen wirken und Nutzer können nicht mehr zwischen den einzelnen Indikatoren unterscheiden. Zum Beispiel können Wahlergebnisse für fünf Parteien der letzten 20 Jahre mit fünf Linien in einem Liniendiagramm dargestellt werden. Zum Vergleich könnten Indikatoren für die persönliche und gesellschaftliche Zufriedenheit mit den Lebensbedingungen hinzugefügt werden, um zu vergleichen, ob sie Einfluss auf die Wahlergebnisse bestimmter Parteien haben. Das Liniendiagramm enthält nun sieben Linien, die analog zur Legende farbig kodiert sind. Um zwischen den Indikatoren zu unterscheiden, müssen Nutzer nun entweder die Farbe der Linie und der Legende vergleichen oder Mouse-Over-Effekte nutzen, um herauszufinden, welche Linie welchen Indikator repräsentiert. Vermischt mit verschiedenen Skalierungen und Einheiten ist es schwer, verschiedene Indikatoren zu vergleichen oder Einflüsse von einem Indikator auf einen anderen zu analysieren.

Systeme nutzen oft Linien- oder andere Diagramme, um Indikatoren zu vergleichen. Der Visualisierungstyp der für einen Indikator genutzt wird, muss nicht für einen anderen passend sein. Zum Beispiel können hoch aufgelöste Daten gut in einem Liniendiagramm dargestellt werden, niedrig aufgelöste Daten besser in einem Säulendiagramm, anteilige Daten gut in einem Kreisdiagramm und

einspaltige oder akkumulierte Daten besser in einer Karte. Mit der Integration und dem Vergleich in einem Diagramm kann nur ein Visualisierungstyp genutzt werden, auch wenn ein anderer Visualisierungstyp besser die Darstellung mit seinen spezifischen Eigenschaften unterstützen würde.

Gapminder und statistische Werkzeuge wie SPSS, STATA oder R nutzen Streudiagramme für den Vergleich von zwei Indikatoren. Je ein Indikator wird auf eine Achse aufgetragen, ein dritter kann durch den Durchmesser und/oder Farbe der Datenpunkte dargestellt werden. Diese Darstellung macht es sehr einfach, zwei Indikatoren miteinander zu vergleichen. Korrelationen zwischen zwei Indikatoren können schnell auf der X- und Y-Achse abgelesen werden. Hohe Werte für beide Indikatoren können in der rechten oberen Ecke, niedrige Werte für beide Indikatoren in der linken unteren Ecke abgelesen werden. Die Problematik von unterschiedlichen Einheiten und Skalierungen wird hier abgeschwächt, da unterschiedliche Achsen genutzt werden. Zusätzlich kann in Gapminder für beide Achsen eine logarithmische oder lineare Skalierung gewählt werden. In der integrierten Ansicht steht der Werteverlauf über die Zeit für verschiedene Länder im Vordergrund. Im Streudiagramm werden die aktuellen Werte für eine Zeiteinheit für alle Länder angezeigt. Eine Animation kann genutzt werden, um Zeitinformation hinzuzufügen, so dass Nutzer den Werteverlauf über die Zeit einfach nachverfolgen können. Räumliche Information im Diagramm ist farbig kodiert oder kann durch ein Mouse-Over, in der kleinen Übersichtskarte oder in der Legende verfolgt werden. Das Streudiagramm bietet eine sehr gute Lösung für den Vergleich von zwei Indikatoren für eine bestimmte Zeiteinheit und mit Hilfe von mehreren interaktiven Werkzeugen für eine bestimmte räumliche Einheit. Der Vergleich von zwei Indikatoren für eine bestimmte Zeitperiode ist nur mit der Animation möglich, so dass der Überblick über den gesamten Werteverlauf über die Zeit nicht möglich ist.

Karten können genutzt werden, um einen Indikator für eine Zeiteinheit anzuzeigen. Verschiedene Farbschattierungen symbolisieren verschiedene Wertebereiche für verschiedene Länder. Die Art der Darstellung hat verschiedene Nachteile: Daten werden nur für eine Zeiteinheit angezeigt (Gapminder nutzt wieder Animation, um diesen Nachteil zu umgehen) und die Darstellung in verschiedenen Farbschattierungen ist nicht intuitiv. Der genaue Wertebereich für jede Farbschattierung muss in der Legende abgelesen werden. Karten können kaum für den Vergleich von zwei Indikatoren genutzt werden, außer man nutzt mehrere Kartenabbildungen nebeneinander.

Die koordinierte Ansicht von verschiedenen Indikatoren in mehreren Diagrammansichten kann manche der erwähnten Nachteile verhindern. Da in einem Diagramm nur ein Indikator angezeigt wird, wird nur eine Einheit und die optimale Skalierung genutzt. Es wird keine Vermischung von mehreren Einheiten und Skalierungen benötigt, was das Diagramm einfach und intuitiv verstehbar macht. Visuelle Überladung wird verhindert und kann weiterhin durch die explizite Auswahl weniger Länder optimiert werden. Die Zeitinformation bleibt intakt und erlaubt den Vergleich von Werten über die Zeit. Für jedes Diagramm kann ein eigener Visualisierungstyp ausgewählt werden, zum Beispiel für Visualisierung A eine Liniendiagramm und für Visualisierung B eine Kartenansicht. Die Koordination von mehreren Ansichten hilft Werte für dieselbe Zeit/Ort-Kombination in allen Ansichten für verschiedene Indikatoren zu identifizieren. Dadurch, dass visuelle Elemente nicht nur hervorgehoben werden, sondern dass die aktuellen Werte in einem Pop-Up-Fenster angezeigt werden, wird es erleichtert, die verschiedenen Indikatorwerte zu identifizieren.

Der größte Vorteil ist gleichzeitig der größte Nachteil: Die nicht komplett integrierte Darstellung, die es ermöglichen würde, Unterschiede zwischen Zeitreihen auf einen Blick zu erkennen. Mit der koordinierten Ansicht muss der Verlauf über die Zeit oder bestimmte Werte in verschiedenen Diagrammen verglichen werden. Man muss zwischen den verschiedenen Diagrammen hin- und

herwechseln. Koordinierte Ansichten verbrauchen viel Platz auf dem Bildschirm. Für den einfachen Vergleich müssen die Visualisierungen über- und nebeneinander platziert werden. Es kann nötig sein, die Größe der einzelnen Visualisierung zu beschränken, was in einer schlechteren Darstellung und schwierigeren Ergonomie resultieren kann.

Durch die Möglichkeit, Nutzervisualisierungen hinzuzufügen ist es möglich, die Visualisierungs-Dashboards noch weiter zu anzupassen. Nutzer können anderen Diagramme, Karten, Zeitleisten etc. hinzufügen, um offizielle Statistiken mit persönlich aufbereiteten Daten und Visualisierungen anzureichern. Auf diese Weise können sie Dashboards erstellen, in denen Visualisierungen als Filter funktionieren oder, um einen Überblick über verschiedene Informationstypen wie tabellarische Daten, Zeitereignisse oder Orte zu bekommen.

### 6.5 Fazit

In diesem Kapitel wurde die Anwendung des Vizgr-Toolkits für statistische Daten gezeigt. Offizielle Statistiken, Wohlfühl-Indikatoren, Nutzer-Visualisierungen und Zeitereignisse können in koordinierten Ansichten angezeigt werden. Die Daten stammen aus heterogenen Datenquellen und liegen in verschiedenen Formaten vor, wie zum Beispiel als Triple aus RDF-Stores oder CSV-Daten aus lokalen Datenbanken. Alle Daten wurden in ein Tool integriert, was es ermöglicht, verschiedene Indikatoren in koordinierten Ansichten zu vergleichen. Nutzer können Elemente in einer Visualisierung selektieren und passende Daten in allen anderen Ansichten werden basierend auf Zeit/Ort hervorgehoben und die Indikatorwerte werden angezeigt. Um offizielle Statistiken mit persönlich aufbereiteten Daten anzureichern, können Nutzer ihre eigenen Visualisierungen hinzufügen. Dies können nicht nur auf tabellarischen Daten basieren, sondern auch auf zeitlichen, räumlichen oder netzwerkförmigen Daten. Koordination zwischen offiziellen Statistiken und Nutzervisualisierungen wird entweder automatisch ermöglicht oder kann vom Nutzer angelegt werden. Ergebnis ist ein Dashboard mit einer Kombination von offiziellen Statistiken, Wohlfühl-Indikatoren, Nutzervisualisierungen und Zeitereignissen, in denen Korrelationen zwischen verschiedenen Indikatoren einfacher untersucht werden können.

Die gestellten Forschungsfragen lassen sich damit wie folgt beantworten:

*Frage 5 (F5):* Wie können komplexe, heterogene statistische Daten und verwandte Informationen in interaktiven Visualisierungen für die Informationssuche abgebildet werden?

*(F5a)* Auf Datenebene konnten die heterogenen, komplexen und verteilten Daten durch die Anbindung an das Vizgr-Toolkit und die Transformation in das interne Datenschema integriert werden. Verschiedene Informationstypen wie unterschiedliche Statistiken, Nutzervisualisierungen oder Zeitereignisse konnten über Informationsattribute wie Zeit und Raum automatisiert oder manuell verbunden werden.

*(F5b)* Auf Visualisierungsebene konnten einzelne Indikatoren, Kombinationen von Indikatoren, Indikatoren mit Nutzervisualisierungen und Indikatoren mit Zeitereignissen in koordinierten Ansichten angezeigt werden.

*(F5c)* Nutzer konnten verschiedene Interaktionstechniken für die Informationssuche verwenden. Mit den individuellen Techniken können Daten in den Einzelansichten gefiltert werden, mit dem Control-Panel können Daten gleichzeitig in allen Ansichten durchsucht, gefiltert oder animiert werden. Basierend auf manuellen oder automatischen erstellten Linkings konnten verwandte Informationen in verschiedenen Ansichten hervorgehoben oder passende Zeitereignisse geladen werden.

Damit konnte gezeigt werden, dass heterogene Informationen wie statistische Daten, Nutzervisualisierungen und Zeitereignisse auf Datenebene oder manuell verlinkt werden können (4d)

## 6. Anwendungsszenario: Statistische Daten

und in koordinierten Ansichten mit Interaktionstechniken wie „Übergreifendes Filtern, Suche und Animation“ (4b) und Coordinated-View-Techniken (4c) verbunden werden können.

## 7 Anwendungsszenario: Suche in Digitalen Bibliotheken

Der modulare Aufbau des Vizgr-Toolkits (vgl. Abschnitt 4.2) erlaubt auch die Einbettung in Drittsysteme wie dem Informationsportal Sowiport und der Verbindung mit der darunterliegenden Suchlogik (Hienert u. a., 2012a). In diesem Kapitel soll gezeigt werden, wie interaktive Visualisierungen in den Suchprozess integriert und für das einfache und schnelle Finden von Mehrwertinformationen und Verknüpfungen zwischen heterogenen Informationseinheiten genutzt werden können. Nutzer können ausgehend von jedem Informationselement in den Visualisierungen das aktuelle Suchergebnis glyphenbasiert filtern oder eine neue Suche starten. In einem Nutzertest werden die verschiedenen Aspekte untersucht.

Folgende Forschungsfragen sollen in diesem Kapitel beantwortet werden:

*Frage 6 (F6):* Wie können interaktive Visualisierungen zur Unterstützung des Suchprozesses genutzt werden?

*(F6a)* Können Nutzer Mehrwertinformationen und Verknüpfungen zwischen Informationen durch die Einbindung von Visualisierungen in den Suchprozess von Digitalen Bibliotheken schnell und einfach finden, die in normalen Trefferlisten nur schwer abgebildet werden können?

*(F6b)* Können Nutzer Suchergebnisse schnell, einfach und intuitiv mit dem Interaktions-Icon filtern und finden sie diese Technik hilfreich?

*(F6c)* Finden Nutzer in den Suchprozess integrierte Visualisierungen nützlich, um den Suchprozess zu unterstützen?

Auf Ebene des Modells soll überprüft werden, ob interaktive koordinierte Visualisierungen für die Unterstützung des Suchprozesses in einem IR-System (Ebene 6) genutzt werden können, auf der Basis von Interaktionstechniken wie Coordinated-Views-Techniken (4c) und „Glyphenbasiertes Filtern, Suche, Browsing“ (4e) (vgl. Abbildung 7-1).

## 7. Anwendungsszenario: Suche in Digitalen Bibliotheken

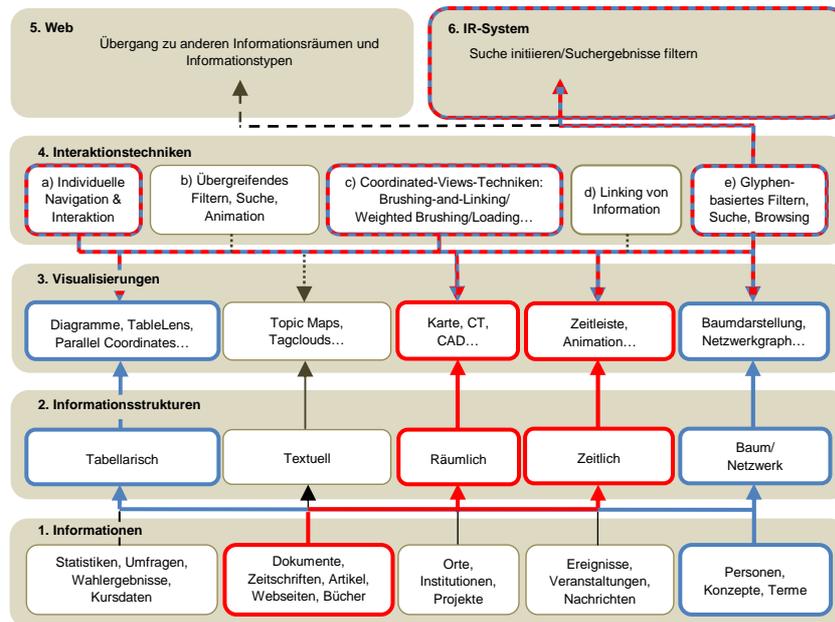


Abbildung 7-1: Instanziiertes Modell im Anwendungsszenario „Suche in Digitalen Bibliotheken“.

### 7.1 Informationsvisualisierung in DL und IR

Grafiken wurden bereits für verschiedene Aspekte von Digitalen Bibliotheken wie der Visualisierung von Metadaten, Anfragen, Suchergebnisse, Dokumente, Ko-Autoren und Zitationen genutzt. Visualisierungstypen beinhalten Tabellen (Keim u. a., 2004; Lee, 2005), Zeitleisten (Kumar u. a., 1998), Graphen (Marks u. a., 2005), Netzwerkgraphen (Ke u. a., 2004) und Topic Maps (Wong u. a., 2004). Die derzeit bekanntesten Systeme sind BiblioViz (Shen u. a., 2006), PaperLens (Lee, 2005), PaperCube (Bergstrom, Atkinson, 2009) und INVISQUE (Wong u. a., 2011). Interaktive Visualisierungen können in diesem Bereich Relationen zwischen Informationsaspekten von Digitalen Bibliotheken und IR-Systemen wie Dokumenten, Autoren, Zitationen, Thematiken etc. interaktiv explorierbar machen. So lassen sich Zusammenhänge zwischen diesen Entitäten entdecken und damit komplexere Forschungsfragen beantworten, als dies mit einer klassischen Trefferlistendarstellung möglich wäre. So können in verschiedenen Ansichten verschiedene Aspekte und Trends des Informationsraumes angezeigt (zum Beispiel zeitliche und örtliche Verteilung der Dokumente, thematische Verteilung der Dokumente, Autoren, Zitationen) und bei Auswahl durch den Nutzer interaktiv gefiltert und angepasst werden (zum Beispiel auch durch Brushing-and-Linking-Techniken, vgl. Abschnitt 2.2.8.2). Eine Auswahl in einer Ansicht kann die Auswahl in anderen Ansichten anpassen, so dass beispielsweise die Auswahl einem thematischen Cluster in einer Ansicht automatisch die passenden Dokumente, Autoren, Ko-Autorennetzwerke, Zitationen in den anderen Ansichten anpasst. Das erlaubt die Beantwortung von fortgeschrittenen Fragestellungen, zum Beispiel wann, von wem, mit wie vielen Zitationen zu einem bestimmten Thema publiziert wurde. Die meisten dieser Forschungssysteme haben gemeinsam, dass sie Standalone-Systeme darstellen, in denen die Visualisierung den kompletten Platz der Nutzungsoberfläche einnimmt und die Visualisierung nicht in das Standard-Paradigma von Suchfeld und Trefferliste einer Digitalen Bibliothek eingebunden ist.

Ein alternativer Ansatz wurde bereits in der semantik-basierten Suchmaschine für medizinische Publikationen Gopubmed (Alexopoulou u. a., 2007) verfolgt. Hier werden statistische Visualisierungen für die aktuelle Suchanfrage direkt in die Trefferliste integriert. Gopubmed zeigt Facetten-Informationen wie Top-Autoren, Terme, Zeitschriften, Jahr, Städte und Länder in Listen mit integrierten Säulendiagrammen. Publikationszahlen über Jahre werden in einem Säulendiagramm angezeigt, um die Verteilung über die Zeit zu erkennen. Eine Weltkarte zeigt Ortsfacetten und ein Netzwerkgraph Kollaboration unter Top-Autoren. Nutzer-Interaktivität ist limitiert auf Listenelemente; diese können angeklickt werden, um die aktuelle Suche auf diese Facette zu filtern.

Das in diesem Anwendungsszenario vorgestellte System kombiniert die beiden vorgestellten Ansätze: (1) Interaktive Visualisierungen werden direkt in die Trefferliste integriert. Dies erlaubt die Kombination von komplexen Suchanfragen in einem Suchformular, in dem Suchbegriffe mit Booleschen Operatoren über verschiedene Metadatenfelder, verschiedene Informationstypen und verschiedene Datenbanken kombiniert werden können. Ergebnisse werden in einer Trefferliste und gleichzeitig in interaktiven Visualisierungen dargestellt. (2) Analog zu interaktiven Ansätzen sind die verschiedenen Visualisierungsansichten mit Interaktionstechniken verbunden und erlauben das explorative Finden von Relationen zwischen Informationsentitäten wie Autoren, Schlagwörtern usw. Zudem können ausgehend von visuellen Elementen Suchergebnisse gefiltert oder neue Suchanfragen initiiert werden.

### 7.2 Integration von Visualisierungen in die Digitale Bibliothek Sowiport

Das sozialwissenschaftliche Informationsportal Sowiport<sup>19</sup> wurde als reale Umgebung für die Einbettung von interaktiven Visualisierungen genutzt. Sowiport integriert Literaturangaben, Personen, Institutionen, Forschungsprojekte, Veranstaltungen und Studien aus allen Bereichen der Sozialwissenschaften. Es enthält derzeit rund 7 Millionen Informationseinheiten aus 18 Datenbanken, darunter sechs Datenbanken von ProQuest/CSA<sup>20</sup>. Sowiport wird in deutscher und englischer Sprache angeboten. Die technische Basis für die Suchfunktion ist ein SOLR-System, ein Open-Source-Suchserver basierend auf der Lucene-Bibliothek. Sowiport bietet die Filterung über Facetten wie Informationstyp, Datenbank, Person, Schlagwort und Veröffentlichungszeitpunkt. Technische Grundlage für die Erstellung der Visualisierungen und Interaktionstechniken ist das Vizgr-Toolkit (vgl. Kapitel 4). Als Datengrundlage werden Facetten der aktuellen Suchanfrage und weitere Web-Services verwendet. Die Visualisierungen werden direkt in die Suchergebnisseite integriert. Nach dem Abschicken einer Suchanfrage zeigt die Trefferliste eine Repräsentation der Suchanfrage, sowie die Ergebnisse und Facetten für die Filterung der Ergebnisse an. Die Visualisierungen werden direkt oberhalb der Suchergebnisse in einem ausklappbaren Formular angezeigt. Die Datengrundlage für die Visualisierungen wird direkt durch die Suchanfrage und ihre Filter gesteuert. Eingegebene Suchbegriffe, Filter aus dem Suchformular und gewählte Facetten steuern direkt Suchergebnisse und Visualisierungen. Benutzer können sehr breit gefasste Anfragen stellen, die Ergebnisse zu einer bestimmten Zeitspanne, Thematik oder zu einem einzelnen Autor filtern. Suchergebnisse und Visualisierungen werden immer aktualisiert und repräsentieren das aktuelle Suchresultat.

### 7.3 Visualisierungen

#### 7.3.1 Zeitliche und räumliche Verteilung

Die zeitliche und räumliche Verteilung der Suchergebnisse ist ein interessanter Aspekt, zum Beispiel um zu analysieren, wo und wann zu einem bestimmten Thema veröffentlicht wurde oder welche

---

<sup>19</sup> <http://www.gesis.org/sowiport>

<sup>20</sup> <http://www.csa.com>

## 7. Anwendungsszenario: Suche in Digitalen Bibliotheken

Datenbanken welche Länder und Sprachen abdecken. Ein Linien-/Balkendiagramm für die zeitliche Verteilung und eine Karte für die räumliche Verteilung sind Visualisierungsarten, um diese Informationen schnell zu vermitteln.

Die Zeitgrafik zeigt die Verteilung von Informationseinheiten im Index zu dieser Suchanfrage für die letzten 50 Jahre. Wenn die Suchergebnisse weniger als 15 Jahre umfassen, wird ein Balkendiagramm verwendet, ansonsten ein Liniendiagramm. Durch die Verwendung der Facette „Informationstyp“ können Ergebnisse und die Diagrammdarstellung zum Beispiel auf Dokumente, Zeitschriften oder Forschungsprojekte gefiltert werden. Die Facette „Ort“ kann genutzt werden, um die Verteilung in verschiedenen Ländern zu sehen. Das Diagramm ist interaktiv: Fährt man mit der Maus über einen Datenpunkt, wird die Häufigkeit für das aktuelle Jahr angezeigt (Abbildung 7-3).

Die räumliche Verteilung der Ergebnisse wird auf einer Google-Karte angezeigt. Die Karte unterstützt volle Interaktivität mit der Möglichkeit für Zoomen und Schwenken. Ortsinformationen werden durch verschiedene Metadatenfelder wie „Publikationsort“ für Dokumente oder „Adresse des Instituts“ für Forschungsprojekte aggregiert. Ortsangaben können durch verschiedene Datenbanken, verschiedene Sprachen, Syntax und Abkürzungen stark variieren. Zur Angleichung wurde eine Mapping-Tabelle genutzt. Ein Geocoder löst die Ortsinformation in Geokoordinaten auf, die auf der Karte angezeigt werden können. Der Kartenmittelpunkt und die Zoom-Stufe werden automatisch an das jeweilige Suchergebnis angepasst.

### 7.3.2 Informationsfacetten

Für jede Facette des Suchergebnisses kann eine Visualisierung angezeigt werden, welche die Häufigkeitsverteilung der Facetten in einem Säulendiagramm als Liste anzeigt. Das Säulendiagramm für die Facette „Schlagwort“ zeigt beispielsweise 50 Thesaurusterme sortiert nach Häufigkeit. Das Diagramm erlaubt den Vergleich von Häufigkeiten und die Wichtigkeit bestimmter Terme auf einfache Art und Weise.

### 7.3.3 Ko-Autoren und Suchterm-Recommendender

Zwei weitere Visualisierungen basieren auf der Analyse von Ko-Autorenschaften für Top-Autoren und auf mehreren kontrollierten Vokabularen inklusive einem Recommender-Service für Suchterme. Mehrwertdienste in der Suche, zum Beispiel basierend auf Ko-Autorenschaften (Mutschke, 2001) oder Suchtermvorschlägen (White, Marchionini, 2007) können den Suchprozess positiv unterstützen.

In der ersten Visualisierung wird ein Ko-Autorennetzwerk für die Top-50 Autoren einer Suchanfrage in einem Netzwerkgraphen angezeigt. Der Graph zeigt einen Knoten für jeden Autor und Kanten, die mit der Anzahl an Ko-Autorenschaften beschriftet sind. Verwandte Suchterme werden in einem Netzwerkgraphen angezeigt, um Suchterm-Empfehlungen (Hienert u. a., 2011a) anzubieten. Datenbasis können verschiedene Vokabularbasen sein, aus denen der Nutzer auswählen kann: (1) ein sozialwissenschaftlicher Thesaurus (Zapilko, Sure, 2009), (2) ein Heterogenitätsservice (Mayr, Petras, 2008), (3) ein wirtschaftswissenschaftlicher Thesaurus (Borst u. a., 2009) und (4) Terme aus einem Recommender-Service basierend auf einer Ko-Wort-Analyse (Petras, 2005). Basierend auf der Suchanfrage und dem ausgewählten Vokabular zeigt der Graph verwandte Terme und ihre Beziehungen. Zum Beispiel werden Ober- und Unterbegriffe, verwandte Begriffe, Übersetzungen und Synonyme für den aktuellen Suchterm angezeigt.

Abbildung 7-2 zeigt zusammengefasst die Integration von koordinierten Visualisierungen in den Suchprozess von Sowiport anhand des Modells aus Kapitel 3. Die Suchergebnisse einer Suchanfrage

## 7. Anwendungsszenario: Suche in Digitalen Bibliotheken

bilden die Datenbasis für die Repräsentation in koordinierten Visualisierungen. Für die Visualisierung werden Zeit- und Ortsfacetten, Top-Schlagwörter und Top-Autoren, Ko-Autoren und verwandte Suchterme angezeigt. Sie können wieder abgebildet werden auf zeitliche, räumliche, tabellarische und Netzwerkstrukturen, die in passenden Visualisierungstypen angezeigt werden. Verbunden sind die Ansichten visuell durch die Technik *Weighted Brushing*. Durch Interaktion mit Informationsfacetten und Informationstypen können Suchergebnisse gefiltert oder es kann eine neue Suche initiiert werden und der Retrievalprozess startet von neuem.

Abbildung 7-3 zeigt die Visualisierungen in Sowiport für die Suchanfrage nach dem Schlagwort *society*. Die zeitliche und örtliche Verteilung wird in den ersten beiden Grafiken angezeigt, dann folgen Top-Schlagwörter/Top-Personen, Ko-Autorenschaften und verwandte Schlagwörter. Das grüne Pfeil-Icon (A) kann genutzt werden, um neue Suchanfragen zu stellen oder Resultate zu filtern. Fährt man mit der Maus über die Person *Luhmann, Niklas* werden Metadaten ihrer Informationseinheiten mit Zeit, Orten und Schlagwörtern gewichtet nach Häufigkeit angezeigt. Die Intensität wird durch verschiedene Gelb- bis Brauntöne angezeigt.

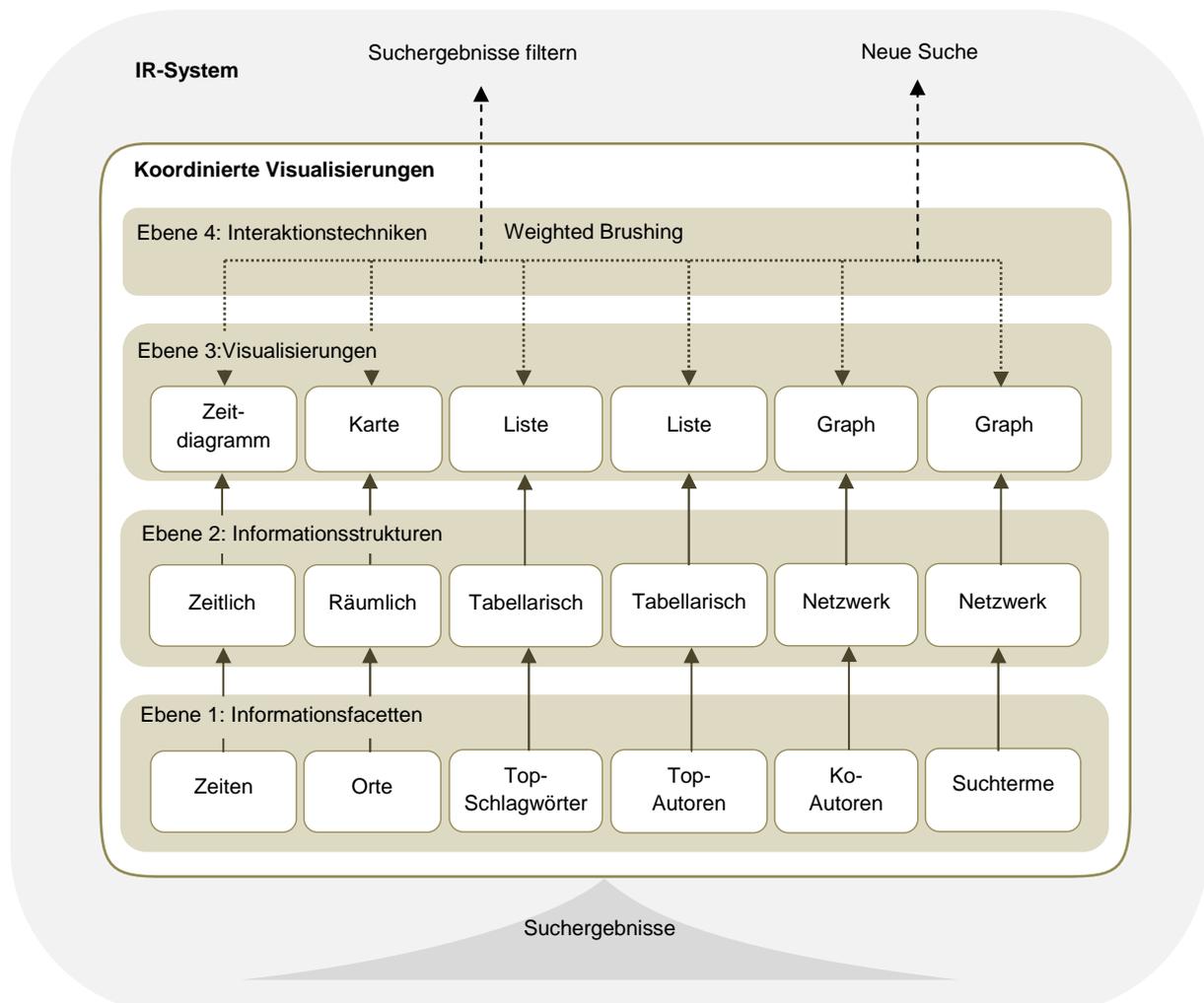


Abbildung 7-2: Integration von koordinierten Visualisierungen in den Suchprozess von Sowiport.

## 7. Anwendungsszenario: Suche in Digitalen Bibliotheken



Abbildung 7-3: Visualisierungen in Sowiport für eine Suchanfrage nach dem Schlagwort *society*.

### 7.4 Interaktionstechniken

#### 7.4.1 Suchen und Filtern mithilfe von grafischen Elementen

Jedes grafische Element in den Visualisierungen kann mit einem Such-Icon versehen werden, das eine neue Suche auslöst oder die aktuellen Resultate filtert. Zum Beispiel können Facetten in den Toplisten wie Personen oder Schlagwörter das Suchergebnis auf eine Person oder ein Schlagwort eingrenzen. Klickt man das Icon im Ko-Autoren-Graph wird eine neue Suche nach dem Autor ausgeführt. Im Graphen für verwandte Schlagwörter führt ein Mausklick auf das Icon zu einer Suchanfrage für verwandte oder vorgeschlagene Suchterme. Abbildung 7-3 zeigt das Icon in verschiedenen Visualisierungen.

#### 7.4.2 Weighted Brushing

Brushing-and-Linking wird als Basistechnik genutzt, um verwandte Informationen in verschiedenen Visualisierungen hervorzuheben. Fährt man mit der Maus über ein Element in einer Grafik, so werden alle verbundenen Elemente in allen anderen Grafiken hervorgehoben. Für die Erstellung der Linkings werden Metadaten der Informationseinheiten genutzt, die auch das Element enthalten, welches aktuell mit der Maus markiert wird. Wird zum Beispiel ein Autor selektiert, so werden assoziierte Schlagwörter, Zeiten und Orte aus seinen Informationseinheiten des Suchergebnisses hervorgehoben (vgl. Abbildung 7-3).

Im implementierten Prototyp wird auch der Ansatz von Weighted Brushing genutzt, wie er im System VisGets (Dörk u. a., 2008) eingeführt wurde. In diesem Ansatz werden verbundene Informationseinheiten entsprechend der Anzahl ihrer gemeinsamen Assoziationen hervorgehoben. Wird ein visuelles Element A in einer Grafik selektiert, werden Informationseinheiten (z.B. RSS-Feed-Elemente) identifiziert, die dieses Attribut enthalten. Wenn ein anderes visuelles Element B drei Informationseinheiten mit Element A teilt, wird es mit einer stärkeren Opazität hervorgehoben als Element C, das nur eine Informationseinheit mit A teilt. Im Prototyp wird derselbe Ansatz genutzt, um verbundene visuelle Elemente entsprechend ihrer Verbundstärke hervorzuheben. Im Gegensatz zu VisGets nutzt unser Ansatz keine Datenbanken, sondern hoch-skalierbare Suchmaschinentechnologie, um Suchergebnisse abzurufen und das Linking zu berechnen.

Ergebnismengen in einem IR-System können sehr groß werden. Stellt der Nutzer eine sehr breite Anfrage, können Ergebnismengen mehrere Millionen Treffer enthalten. Die Berechnung aller möglichen Verbindungen zwischen Informationseinheiten für die Visualisierung kann ein sehr zeitintensiver Prozess für ein Echtzeitsystem sein. Deshalb muss der erste Schritt darin bestehen, das aktuelle Suchergebnis auf eine Teilmenge zu filtern, deren Elemente in den Grafiken angezeigt werden. In unserem Fall wird das aktuelle Ergebnis auf Dokumente reduziert, welche die Top-10 Personen und Top-10 Schlagwörter enthalten. Die SOLR-Anfrage, um die Teilmenge an Informationseinheiten als Basis für das Linking zu erhalten, ist die Folgende:

```
solr_query = actual_user_query AND person_query AND keyword_query,
```

wobei

```
person_query = (person_1 OR person_2 OR ... OR person_10)  
keyword_query = (keyword_1 OR keyword_2 OR ... OR keyword_10)
```

## 7. Anwendungsszenario: Suche in Digitalen Bibliotheken

Aus dem Ergebnis wird für jedes Dokument das 4-Tupel  $\{Person, Schlagwort, Ort, Zeit\}$  extrahiert und alle Permutationen wie  $\{Person, Schlagwort\}$ ,  $\{Person, Ort\}$  etc. gebildet. In einem zweiten Schritt wird für jedes Tupel die Häufigkeit ermittelt. Die Tupel werden dann genutzt, um das Linking zu bilden und die Häufigkeit für die Intensität. Ein resultierendes Linking für ein visuelles Element Person zu Schlagwort sieht wie folgt aus:

```
{person, keyword|intensity:123}
```

Dies bedeutet, dass 123 Informationseinheiten aus der Ergebnismenge den gleichen Autor und das gleiche Schlagwort enthalten. Als finaler Schritt wird die Intensität noch auf einen Wert zwischen null und fünf normalisiert, so dass verwandte visuelle Elemente analog zu ihrer relativen Häufigkeit hervorgehoben werden. Die Intensität einer Verbindung in der Grafik wird mit verschiedenen Farbschattierungen von Gelb- bis Brauntönen angezeigt. Gelb hervorgehobene Elemente teilen weniger Informationseinheiten als braun hervorgehobene Elemente.

### 7.5 Anwendungsfälle in Digitalen Bibliotheken

Die Kombination einer Digitalen Bibliothek mit einem integrierten IR-System, verschiedenen Informationstypen und interaktiven Grafiken kann helfen Forschungsfragen zu beantworten und Informationen schneller als zuvor zu vermitteln. Visualisierungen enkodieren Informationen auf verschiedene Art und Weise und vermitteln Einsichten, die nicht aus einer traditionellen Trefferliste gewonnen werden können. Die Möglichkeit, komplexe Anfragen über verschiedene Metadatenfelder zu bilden, fügt weitere Möglichkeiten hinzu, um neuartige Information zu erhalten. In diesem Abschnitt werden Forschungsfragen anhand der zeitlichen und räumlichen Verteilung besprochen, die aus der Kombination von traditionellem IR-System, verschiedenen Informationstypen und interaktiven Grafiken gewonnen werden können.

Analog zu anderen Digitalen Bibliotheken können Nutzer in Sowiport komplexe Anfragen mit Booleschen Operatoren über verschiedene Metadatenfelder wie zum Beispiel, Schlagwort, Titel, Person, Quelle, Institution, Jahr oder Ort stellen. Es kann auch zwischen verschiedenen Informationstypen wie Literatur, Institutionen, Zeitschriften, Veranstaltungen, Forschungsprojekte und Studien aus 18 verschiedenen Datenbanken gewählt werden. Suchergebnisse können weiterhin mit Facetten wie Informationstyp, Datenbank, Person, Schlagwort und Zeit aus der Trefferliste oder aus den Grafiken gefiltert werden. Der Nutzer kann damit Suchergebnisse auf bestimmte Themen, Informationstypen, Personen, Orte, Zeiten oder komplexe Kombinationen dieser Attribute filtern.

Die zeitliche Verteilung von Informationseinheiten wird in einem Liniendiagramm angezeigt. In Kombination mit verschiedenen Anfragen kann es als Indikator für Forschungsaktivität genutzt werden. Zum Beispiel können Nutzer sehr breite Anfragen wie nach *soziologischer Theorie* stellen und in der Grafik feststellen, ob ein Aufwärts- oder Abwärtstrend, bestimmte Maxima oder Minima über die Jahre existieren. Nutzer haben weiterhin die Möglichkeit, das Suchergebnis auf einen bestimmten Autor, eine Datenbank, ein Land oder Zeitabschnitt zu filtern, um zu beobachten, ob ein analoger Trend besteht. Das kann auch für Datenbanken untersucht werden, die bestimmte Bereiche wie zum Beispiel Deutsch oder Englisch abdecken. Die Analyse ist nicht nur möglich für Dokumente, sondern auch für Forschungsprojekte oder andere Informationstypen wie Veranstaltungen oder Zeitschriften.

Fragen, die mit der Kombination aus Anfrageerstellung und der Nutzung interaktiver Grafiken beantwortet werden können, sind zum Beispiel:

## 7. Anwendungsszenario: Suche in Digitalen Bibliotheken

- Wann taucht das Thema X erstmals auf? Gibt es einen Aufwärtstrend? Wann war der maximale Output von Publikationen?
- War der Trendverlauf gleich in deutsch- und englischsprachigem Raum?
- Wann haben Forschungsprojekte für dieses Thema begonnen? Was ist der Zeitunterschied zwischen Forschungsprojekten und dem Forschungsoutput dieser Projekte?
- Ist der Trend ähnlich für bestimmte Top-Autoren oder für eine Unterkategorie des Themas?

Dasselbe gilt für die räumliche Verteilung in der Karte. Das Metadatenfeld *Ort* enthält verschiedene Daten für verschiedene Informationstypen. Für Dokumente bedeutet es zum Beispiel den Ort des Verlegers, für Veranstaltungen den Veranstaltungsort und für Forschungsprojekte die Adresse der Universität. Auf diese Weise können Nutzer Orte mit einer hohen Konzentration für Veranstaltungen, Forschungsprojekte etc. zu einem bestimmten Thema lokalisieren. Somit können die folgenden Fragen mit der Kartenansicht beantwortet werden:

- Welche Länder oder Universitäten fokussieren ihre Forschung auf Thema X? Gibt es mehr Forschung zu diesem Thema in Europa, den Vereinigten Staaten oder Asien?
- Wo finden die meisten Konferenzen zu einem bestimmten Thema über die Zeit oder in einer bestimmten Zeitperiode statt?

### 7.6 Nutzerstudie

Es wurde eine Nutzerstudie durchgeführt, um die folgenden Forschungsfragen zu beantworten:

(F6a) Können Nutzer Mehrwertinformationen und Verknüpfungen zwischen Informationen durch die Einbindung von Visualisierungen in den Suchprozess von Digitalen Bibliotheken schnell und einfach finden, die in normalen Trefferlisten nur schwer abgebildet werden können?

(F6b) Können Nutzer Suchergebnisse schnell, einfach und intuitiv mit dem Interaktions-Icon filtern und finden sie diese Technik hilfreich?

(F6c) Finden Nutzer in den Suchprozess integrierte Visualisierungen nützlich, um den Suchprozess zu unterstützen?

#### 7.6.1 Methode

Studenten eines Universitätskurses für Informationswissenschaft wurden gebeten, verschiedene Aufgaben im System durchzuführen und nach jeder Aufgabe einen Fragebogen mit der gefundenen Antwort, benötigten Zeit, Schwierigkeitsgrad und Kommentaren auszufüllen. In einem ersten Schritt konnten die Studenten sich mit der Suchoberfläche von Sowiport für zwei Minuten vertraut machen. Sie konnten eine Suche ausführen, die Resultate anschauen und den Statistik-Tab öffnen, um sich die statistischen Visualisierungen anzusehen. In der folgenden Studie sollten sie eine Anfrage nach *Informationsgesellschaft* stellen und acht Fragen nur mit Hilfe von Visualisierungen und Interaktionstechniken bearbeiten und im Fragebogen beantworten. Nach der Durchführung der Aufgaben konnten die Nutzer die Nützlichkeit von Visualisierungen im Suchprozess sowie die Interaktionstechniken bewerten, Kommentare und Kritik abgeben.

#### 7.6.2 Teilnehmer

Teilgenommen haben 19 Studierende eines Universitätskurses, die Informationswissenschaft oder Information Science & Engineering studieren. 6 waren männlich, 13 weiblich mit einem Durchschnittsalter von 25 Jahren und einer Verteilung von 22 bis 30 Jahren. Teilnehmer sollten ihre Erfahrung mit wissenschaftlichen Informationsportalen mit Noten von 1 bis 6 (von sehr gut bis sehr

## 7. Anwendungsszenario: Suche in Digitalen Bibliotheken

schlecht) bewerten. Die durchschnittliche Bewertung war *gut* (2,47) mit einer Standardabweichung von 0,61.

### 7.6.3 Aufgaben und Fragen

Die Teilnehmer sollten eine Anfrage nach *Informationsgesellschaft* durchführen und dann die folgenden Fragen und Aufgaben nur mit Hilfe der Visualisierungen beantworten:

- a. Wann wurden die meisten Dokumente zu diesem Thema publiziert und wie lange dauerte der Aufwärtstrend basierend auf der Anzahl von Publikationen?
- b. Wie viele Dokumente wurden in Spanien veröffentlicht?
- c. Was sind die drei häufigsten gefundenen Schlagwörter und Personen für diese Suche?
- d. Mit wem hat der Autor Ullrich Bauer gemeinsam veröffentlicht und wie viele Veröffentlichungen wurden gemeinsam publiziert?
- e. Was ist der Oberbegriff des Suchterms „Informationsgesellschaft“?
- f. Welche Schlagwörter werden mit der Person Rudi Schmiede assoziiert?
- g. Welche Personen verwenden das Schlagwort „Internet“?
- h. Grenzen Sie mithilfe von Interaktionselementen in den Visualisierungen die Suche auf die Person Rainer Kuhlen ein.

Aufgaben (a)-(e) konnten mit Hilfe einer einzigen Visualisierung (z.B. nur der Karte) beantwortet werden, für die Aufgaben (f) und (g) musste die Interaktionstechnik *Weighted Brushing* genutzt werden und für Aufgabe (h) das Such-Icon genutzt werden. Instruktionen, wie die neuen Interaktionstechniken genutzt werden können, konnten nur aus der Legende, die die Icons kurz erklären und aus einem Pop-up-Fenster des Such-Icons entnommen werden.

Für jede Frage sollten die Nutzer die Antwort in ein freies Textfeld schreiben und beantworten wie lange die Bearbeitung der Aufgabe gedauert hat, sowie auf einer 5-Punkte-Skala (2=sehr leicht, 1=leicht, 0=normal, -1=schwer, -2=sehr schwer) bewerten, als wie schwer die Aufgabe empfunden wurde und Kommentare und Anregungen geben.

Zum Abschluss konnten die Teilnehmer eine abschließende Beurteilung durch die Beantwortung der folgenden Fragen geben:

- Fanden Sie die Visualisierungen nützlich zur Unterstützung des Suchprozesses?
- Könnten Visualisierungen wie diese Sie in ihren persönlichen Recherchen und Suchtools unterstützen?
- Beurteilen Sie bitte die Interaktionstechnik, um Suchergebnisse mit dem grünen Pfeil zu filtern oder eine neue Suchanfrage zu stellen (5-Punkte-Skala: 2=sehr hilfreich, 1=hilfreich, 0=normal, -1=nicht hilfreich, -2 überhaupt nicht hilfreich).
- Beurteilen Sie bitte die Interaktionstechnik, um Metadaten aus gemeinsamen Dokumenten mit farbiger Markierung hervorzuheben (5-Punkte-Skala: 2=sehr hilfreich, 1=hilfreich, 0=normal, -1=nicht hilfreich, -2 überhaupt nicht hilfreich).
- Haben Sie allgemeine Verbesserungsvorschläge/Kommentare/Kritik?

### 7.6.4 Ergebnisse

- a. Wann wurden die meisten Dokumente zu diesem Thema publiziert und wie lange dauerte der Aufwärtstrend basierend auf der Anzahl von Publikationen?

## 7. Anwendungsszenario: Suche in Digitalen Bibliotheken

Die Nutzer konnten die zeitliche Verteilung für Dokumente der aktuellen Suchanfrage im Liniendiagramm erkennen und mit einem Mouse-Over den Wert des Maximums und die Länge des Aufwärtstrends davor überprüfen. Alle Nutzer konnten die Frage nach dem Maximalwert beantworten. 13 von 19 Teilnehmern konnten die korrekte Antwort für die Länge des Trends beantworten. 6 Teilnehmer gaben überhaupt keine Antwort zum Trend. Kommentare zur Frage lassen den Schluss zu, dass die Frage nicht spezifisch genug gestellt wurde. Die durchschnittliche Zeit zur Lösung der Aufgabe betrug 43 Sekunden mit einer Standardabweichung von 19 Sekunden. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe wurde als leicht (1) eingestuft.

b. Wie viele Dokumente wurden in Spanien veröffentlicht?

Die räumliche Verteilung der Dokumente kann in der Karte abgelesen werden. Die Nutzer mussten zu Spanien schwenken und zoomen und dann mit der Maus über den Ortsmarker fahren und die Anzahl der Dokumente im Pop-Up ablesen. Zwei Teilnehmer haben falsche Werte angegeben, ggf. haben sie eine leicht unterschiedliche Suche ausgeführt (z.B. Suche nach dem Schlagwort *Informationsgesellschaft* aus dem Schlagwortfeld und nicht aus dem Überallfeld der Suchmaske). 17 Teilnehmer schlossen die Aufgabe erfolgreich mit einer durchschnittlichen Zeit von 21 Sekunden und einer Bewertung von leicht (1,33) ab.

c. Was sind die drei häufigsten genutzten Schlagwörter und Personen für diese Suche?

Die häufigsten Schlagwörter und Personen werden in einem Säulendiagramm angezeigt. Nutzer mussten die 3 Top-Einträge ablesen und in den Fragebogen eintragen. Alle Teilnehmer konnten diese Aufgabe mit einer Durchschnittszeit von 15 Sekunden und einer Bewertung von leicht (1,53) lösen.

d. Mit wem hat der Autor Ullrich Bauer gemeinsam veröffentlicht und wie viele Veröffentlichungen wurden gemeinsam publiziert?

Ko-Autorenschaften werden in einem Netzwerkgraphen angezeigt, die Knoten sind mit den Ko-Autoren beschriftet und die Kanten zeigen die Anzahl der Ko-Autorenschaften. Alle Teilnehmer konnten diese Aufgabe erfolgreich mit einer durchschnittlichen Zeit von 16 Sekunden und einer Bewertung von leicht (1,17) lösen.

e. Was ist der Oberbegriff des Suchterms „Informationsgesellschaft“?

Verwandte Terme werden in einem Netzwerkgraphen angezeigt. Nutzer mussten die Kantenbeschriftung *Oberbegriff* suchen und die Terme aus den Knoten ablesen. Alle Nutzer konnten diese Aufgabe lösen mit einer durchschnittlichen Zeit von 23 Sekunden und einer Bewertung von leicht (1,05).

f. Welche Schlagwörter werden mit der Person Rudi Schmiede assoziiert?

Für diese Aufgabe mussten die Nutzer die Interaktionstechnik *Weighted Brushing* nutzen. Die Nutzer mussten den Mauszeiger über die Person in der Liste für Top-Personen bewegen. Assoziierte Schlagwörter wurden dann in der Top-Schlagwörter-Liste farbig hervorgehoben. 17 von 19 Teilnehmern haben diese Aufgabe erfolgreich mit einer durchschnittlichen Zeit von 53 Sekunden und einer Bewertung von leicht (0,41) abgeschlossen. Zwei Teilnehmer haben eine neue Suche gestartet, um diese Information zu erhalten.

g. Welche Personen verwenden das Schlagwort „Internet“?

## 7. Anwendungsszenario: Suche in Digitalen Bibliotheken

In dieser Aufgabe mussten die Nutzer mit dem Mauszeiger über das Schlagwort *Internet* fahren und verwandte Personen wurden in der Top-Personen Liste hervorgehoben. Die zwei Teilnehmer, die in der vorherigen Aufgabe eine neue Suche gestartet hatten, taten es auch hier. 17 von 19 Teilnehmern lösten diese Aufgabe erfolgreich mit einer durchschnittlichen Zeit von 19 Sekunden und einer Bewertung von leicht (0,84).

h. Grenzen Sie mithilfe von Interaktionselementen in den Visualisierungen die Suche auf die Person Rainer Kuhlen ein.

Nutzer mussten den Namen in der Top-Personen Liste finden und eine Filterung der Suche mit einem Mausklick auf das Such-Icon starten. Zwei Teilnehmer konnten die Aufgabe nicht lösen, 17 von 19 Teilnehmern lösten die Aufgabe in durchschnittlich 54 Sekunden und einer Schwierigkeitsbewertung von normal (0,5). Tabelle 7-1 fasst die Ergebnisse der Aufgaben zusammen.

Tabelle 7-1. Zusammengefasste Ergebnisse der Aufgaben.

| <i>Frage</i>                          | <i>Korrekte Antworten (in %)</i> | <i>Durchschnittlich benötigte Zeit (in Sekunden)</i> | <i>Schwierigkeitsgrad (2=sehr leicht, 1=leicht, 0=normal, -1=schwer, -2=sehr schwer)</i> |
|---------------------------------------|----------------------------------|--|--|
| a. Zeitliche Verteilung               | 68                               | 43   | 1  |
| b. Örtliche Verteilung                | 89                               | 21   | 1,33   |
| c. Häufigsten Schlagwörter & Personen | 100                              | 15   | 1,53   |
| d. Ko-Autorenschaften                 | 100                              | 16   | 1,17   |
| e. Obergriff                          | 100                              | 23   | 1,05   |
| f. Person->Schlagwörter               | 89                               | 53   | 0,41   |
| g. Schlagwort->Personen               | 89                               | 19   | 0,84   |
| h. Filtern                            | 89                               | 54   | 0,50   |

Nach der Durchführung der Aufgaben konnten die Nutzer ihren Gesamteindruck über die Nutzung von statistischen Visualisierungen zur Unterstützung des Suchprozesses bewerten. 18 von 19 Nutzern empfanden Visualisierungen als nützlich, um den Suchprozess zu unterstützen. Auch 18 von 19 Nutzern fanden, dass Visualisierungen sie in ihrer persönlichen Suche unterstützen könnten. Nutzer bewerteten die Interaktionstechnik, um mithilfe des Such-Icons Suchergebnisse zu filtern oder eine Suche zu starten, als hilfreich (1,05) und die Interaktionstechnik, um Metadaten gemeinsamer Dokumente mit *Weighted Brushing* hervorzuheben, als ebenso hilfreich (1,00).

Die Teilnehmer konnten auch generelle Vorschläge, Kommentare und Kritik abgeben. Die meisten Nutzer gaben Kommentare zu Design und Farbgebung der Grafiken ab: Im Diagramm für die zeitliche Verteilung könnten die Überschrift und die Legende verbessert werden. In der Karte überlappten sich zu viele Orte, die Karte wurde als zu klein empfunden und die Einführung eines Suchfeldes für Länder oder die separate Auflistung der Länder könnte das Finden eines spezifischen Landes unterstützen. Nutzlose Einträge wie *keine Angabe* sollten aus der Top-Personen Liste gefiltert werden. Beschriftungen im Netzwerkgraphen könnten durch eine andere Schriftfarbe besser lesbar gemacht werden und die Interaktionstechnik *Pan and Zoom* sollte im Ko-Autoren-Netzwerk integriert werden. Außerdem kritisierten die Nutzer, dass keine detaillierte Hilfe zu den neuen Interaktionstechniken

gegeben wurde und dass die Verwendung von Konventionen helfen würde. Es wurde auch die Kritik geäußert, dass die Hervorhebung nicht bestehen bliebe, wenn man mit der Maus das Element wieder verlässt, und dass das Such-Icon zu klein ist.

### 7.6.5 Zusammenfassung

Die meisten Teilnehmer konnten die Grafiken ohne Instruktionen intuitiv nutzen, um Fragen nach Maxima, Trends, räumlicher Verteilung, Top-Schlagwörtern und Personen und Ko-Autorenschaften für die aktuelle Suchanfrage zu beantworten. Auch neue Interaktionstechniken für das Feld der Digitalen Bibliotheken wie Weighted Brushing und Filtern des Suchergebnisses ausgehend von Grafiken konnten nur durch die Erklärung in der Legende genutzt und verstanden werden. Der empfundene Schwierigkeitsgrad war relativ stabil für Aufgaben, die nur mithilfe einer Visualisierung gelöst werden konnten ( $\geq 1$ ) und auf einem niedrigeren Niveau für Interaktionstechniken ( $\geq 0,4$  und  $\leq 0,84$ ), dadurch begründet, dass sie neu eingeführt wurden. Die Nutzer empfanden Visualisierungen als nützlich für die Suche im Allgemeinen und für ihre persönliche Suche und bewerteten beide Interaktionstechniken als hilfreich.

## 7.7 Fazit

In diesem Anwendungsszenario wurde das Vizgr-Toolkit direkt in die Standardsuche einer Digitalen Bibliothek integriert. Die Visualisierungen unterstützen den Nutzer in der Filterung von Suchergebnissen, der Interpretation von zeitlicher und räumlicher Verteilung und dem Finden von Vorschlägen für verwandte Schlagwörter und Autoren. Weighted Brushing unterstützt den Nutzer bei dem schnellen Überblick über verwandte Autoren, Schlagwörter, Zeiten und Orte. Die Nutzer können den Grad der Verbundenheit über verschiedene Farbschattierungen erkennen.

Ein IR-System erlaubt dem Nutzer die Erstellung von fortgeschrittenen und komplexen Anfragen, die den Informationskorpus auf bestimmte Themen, Personen und verschiedene Informationstypen wie Literatur, Forschungsprojekte oder Veranstaltungen einschränken. In Kombination mit interaktiven Grafiken erlaubt es dem Nutzer einen Überblick über Forschungsaktivität, zentrale Akteure, Veröffentlichungsaktivität etc. für dieses Teilergebnis als Mehrwert zu einem Suchergebnis.

Die Informationsaufnahme von grafischen Informationen ist schnell und adaptiv und benötigt keine vorherigen Instruktionen. Nutzer im Test hatten sehr gute Resultate in allen Aufgaben und haben außerdem die Aufgaben sehr schnell gelöst. Jede Aufgabe wurde in unter einer Minute durchgeführt und das, obwohl die Teilnehmer Visualisierungen in diesem Kontext noch nie benutzt hatten. Der wahrgenommene Schwierigkeitsgrad wurde für Fragen mit individuellen Visualisierungen als *leicht* bewertet und als *normal* für neu eingeführte Techniken. Im Allgemeinen konnten Nutzer die Aufgaben gut, schnell und einfach lösen, was die Anforderungen von HCIR für interaktive und nutzerfreundliche Umgebungen erfüllt.

Die gestellten Forschungsfragen können damit wie folgt beantwortet werden:

*Frage 6 (F6): Wie können interaktive Visualisierungen zur Unterstützung des Suchprozesses genutzt werden?*

*(F6a)* Ein Großteil der Nutzer konnte Mehrwertinformationen und Verknüpfungen zwischen Informationen durch die Einbindung von Visualisierungen in den Suchprozess von Digitalen Bibliotheken sehr schnell (unterhalb einer Minute für alle Aufgaben) und einfach (empfundener Schwierigkeitsgrad *leicht* für Aufgaben (a)-(e) und *normal* für (f)-(h)) finden.

## 7. Anwendungsszenario: Suche in Digitalen Bibliotheken

(F6b) Nutzer konnten Suchergebnisse schnell (Ø54 Sekunden), einfach (~0,50) und intuitiv (nur mit Erklärung durch die Legende) mit dem Interaktions-Icon filtern und empfanden diese Technik als hilfreich.

(F6c) 18 von 19 Nutzern empfanden die Nutzung von Visualisierungen zur Unterstützung des Suchprozesses als nützlich, auch als Unterstützung für die persönliche Suche.

Interaktive koordinierte Visualisierungen konnten für die Unterstützung des Suchprozesses in einem IR-System (Ebene 6) genutzt werden, auf der Basis von Interaktionstechniken wie Coordinated-Views-Techniken (4c) und „Glyphenbasiertes Filtern, Suche, Browsing“ (4e).

## **8 Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen**

Anhand des Modells aus Kapitel 3 und mithilfe des Vizgr-Toolkits aus Kapitel 4 wird in diesem Kapitel untersucht, ob Visualisierungen in einen explorativen Suchprozess integriert werden können (Hienert, Mayr, 2012). Dabei basiert dieser fortgeschrittene Nutzertest auf den Ergebnissen der Nutzerstudie aus Kapitel 5, dass Nutzer Informationen in Visualisierungen schnell und einfach verlinken und die angebotene Browsing-Möglichkeit intuitiv nutzen können. Im Modell aus Kapitel 3 wird vorausgesagt, dass Visualisierungen als Zwischenschritte in eine explorative Suche integriert werden können. In diesem Modell funktionieren Visualisierungen als Knotenpunkte, in denen große Informationsmengen in einfachen Benutzeroberflächen zugänglich gemacht werden. Durch Interaktionstechniken können die enthaltenen Informationen mit verwandten Ressourcen im Web kombiniert werden. Das abstrakte Suchkonzept wird in diesem Kapitel auf die Domäne Börseninformation angewandt und in einem Nutzertest evaluiert. Teilnehmer der Studie konnten die Suchoberfläche ohne Instruktionen nutzen und verwandte Informationen identifizieren. Überdies konnten sie diese heterogenen Informationen verknüpfen und verschiedene Interaktionstechniken nutzen, um auf diese verwandten Information einfacher zugreifen zu können. Auf diese Weise konnten die Teilnehmer schnell neues Wissen in einer unbekanntem Domäne sammeln. Dabei sollen folgende Forschungsfragen in diesem Kapitel untersucht werden:

*Frage 7 (F7):* Wie können interaktive Visualisierungen in den explorativen Suchprozess integriert werden?

*(F7a)* Können Nutzer heterogene Informationen in Visualisierungen und verwandten Informationen im Web in einem explorativen Suchprozess nutzen? Im konkreten Anwendungsfall: Können Relationen zwischen Kursverläufen und Finanznachrichten intuitiv gefunden werden unter Aspekten wie Zeit, Schwierigkeit und Vertrauen?

*(F7b)* Funktioniert der Übergang zwischen verschiedenen Informationstypen und deren Informationsdarstellung in Kursdiagramm, Zeitleiste und Artikeln auf Webseiten schnell und problemlos?

*(F7c)* Können Nutzer verschiedene heterogene Informationstypen schnell und einfach verbinden und basierend auf diesem Mapping Interaktionstechniken intuitiv bedienen?

*(F7d)* Empfinden Nutzer diese Interaktionstechniken als Mehrwert?

Auf Ebene des Modells soll überprüft werden, ob Nutzer verschiedene Informationen wie Kursdaten und Finanznachrichten in Visualisierungen verlinken können (4d), darauf basierend Coordinated View-Techniken anwenden und vergleichen können (4c) und ausgehend von Trends in Kursdiagrammen mit „Glyphenbasiertem Filtern, Suche, Browsing“ (4e) zu Webartikeln browsen (Ebene 5) und diese Informationen verwerten können (vgl. Abbildung 8-1).

## 8. Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen

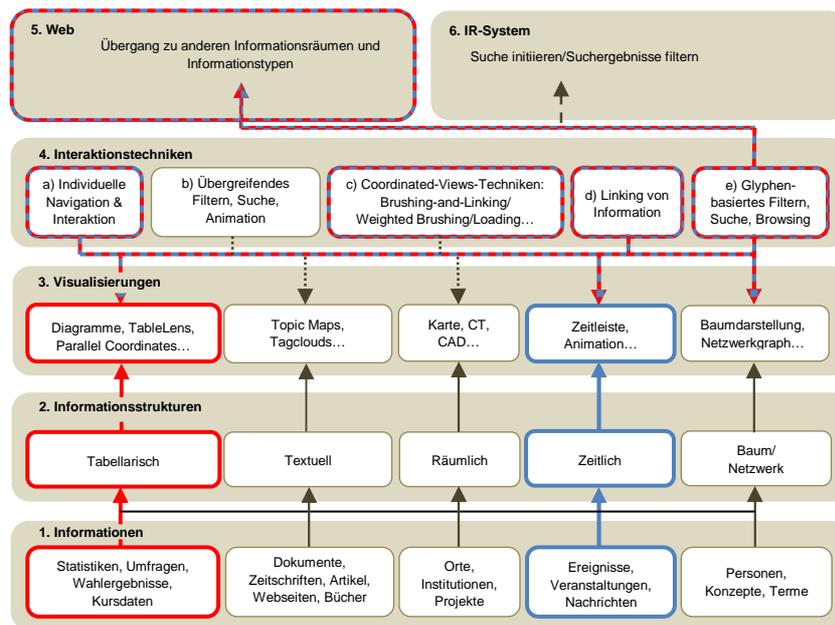


Abbildung 8-1: Instanziiertes Modell im Anwendungsszenario „Visualisierungen in explorativer Suche“.

### 8.1 Einleitung

Das explorative Suchmodell ist eine gute Abstraktion für die Suche nach Informationen im Web. Benutzer navigieren zwischen verschiedenen Informationstypen wie Webseiten, Bildern, Fotos, Videos und Visualisierungen, um ein Informationsbedürfnis mit Hilfe von verschiedenen Suchtechniken zu befriedigen. Im Suchprozess lernen Nutzer aus den verarbeiteten Informationen und erwerben Wissen für einen folgenden Schritt im Suchprozess. Visualisierungen von einfachen Infografiken bis zu komplexen, interaktiven Visualisierungen können ein Zwischenschritt im Suchprozess sein, wobei die Visualisierung von Information viele Vorteile haben kann. Große Kollektionen an Daten und Informationen können in Grafiken angezeigt und mit Interaktionstechniken erkundet werden. Basierend auf dem Visualisierungstyp können unterschiedliche Facetten von Informationen leichter entdeckt und Muster und Trends analysiert werden.

Jedoch werden interaktive Visualisierungen im Internet kaum in einer umfassenden, explorativen Suche genutzt. Entweder repräsentieren sie Informationen aus einer oder mehreren Quellen, wobei Interaktionstechniken genutzt werden können, um diese Informationen innerhalb der (koordinierten) Visualisierung(en) zu erkunden, oder sie werden als Widgets genutzt, um die Information, die sie repräsentieren, zu filtern. Allerdings haben die zugrunde liegenden Informationen oft starke oder schwache Verbindungen zu anderen Informationen im Web und diese Beziehungen können in einem umfassenden Suchprozess für das Lernen und den Wissenserwerb genutzt werden.

Basierend auf diesem Ansatz wurde ein System entwickelt, welches Kursdaten und Finanznachrichten in koordinierten Visualisierungen mit Links zu Online-Artikeln anzeigt. Nutzer können diese Daten erforschen und Verbindungen zwischen Informationen entdecken, diese im System manuell verlinken, um auf dieser Basis Interaktionstechniken nutzen zu können. Es wurde eine Nutzerstudie durchgeführt, um diesen Ansatz zu evaluieren und um herauszufinden, ob Nutzer neues Wissen in einer fremden Domäne erwerben können.

## 8.2 Visualisierungen in explorativer Suche

Bates (1989) argumentiert für ein Suchmodell, das näher am realen Suchverhalten des Informationssuchenden ist. Mit verschiedenen Suchtechniken navigieren Nutzer zwischen verschiedenen Informationen und Dokumenten, um aus diesen zu lernen. Damit wird das Informationsbedürfnis bis zum erfolgreichen Abschluss der Suche angepasst. Marchionini (2006) fokussiert sich mehr auf den Lern- und Untersuchungs-Schritt. Mehrere Iterationen und die kognitive Verarbeitung und Interpretation von Objekten in verschiedenen Medien wie Grafiken, Karten, Texten und Videos werden benötigt. Der Nutzer verbringt Zeit mit dem „scannen/betrachten, vergleichen und qualitativ beurteilen“ mit dem Ergebnis des "Erwerbs von Wissen, Verstehen von Konzepten oder Fähigkeiten, der Auslegung von Ideen und Vergleiche oder Zusammenfassungen von Daten und Konzepten". Sehr ähnlich will der Bereich Informationsvisualisierung die Präsentation großer Mengen an komplexen Informationen unterstützen und Erkenntnisgewinn durch die Entdeckung von Mustern, Beziehungen etc. in interaktiven Visualisierungen erreichen (North, 2005). Der Knowledge Crystallization-Prozess (Card u. a., 1999a) ist ein Zyklus aus den Konzepten Information Foraging, Schemaerstellung, Problem Solving und Lernen/Handeln, wobei in jedem Schritt Visualisierungen genutzt werden können.

Interaktionstechniken ermöglichen die Integration von Visualisierungen in die explorative Suche, nicht nur als separate, geschlossene Systeme, sondern mit Verlinkungen zwischen Informationseinheiten. Die Verbindung erlaubt das Browsen der Verlinkungen zwischen Informationen auf der Benutzungsoberfläche. Abbildung 8-2 zeigt die Idee von interaktiven Visualisierungen im explorativen Suchprozess: (1) Visualisierungen können als Zugang zu verschiedenen Informationstypen wie zum Beispiel Kursdaten oder Finanznachrichten genutzt werden. Informationen werden in einer Übersicht angezeigt und können einfach exploriert werden. (2) Verlinkungen auf der Datenebene und Interaktionstechniken auf der Nutzeroberfläche erlauben dem Nutzer, zwischen den heterogenen Informationstypen zu navigieren. (3) Verlinkungen zwischen Informationstypen in Visualisierungen und im Web können in einem explorativen Suchprozess genutzt werden. Basierend auf einem Informationsbedürfnis können Nutzer mehrere Iterationen über verwandte Informationen mit Interaktionstechniken durchführen, sowie von kognitiv verarbeiteten Dokumenten, Mustern oder Beziehungen lernen und Wissen erschließen.

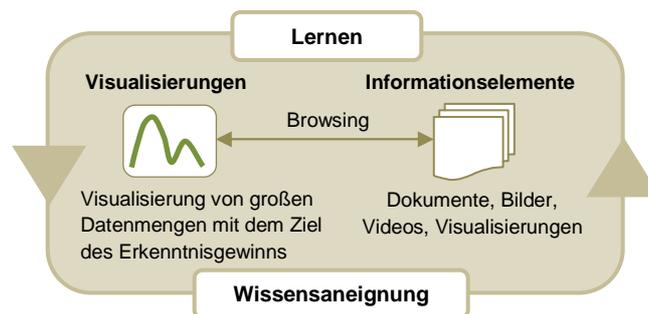


Abbildung 8-2: Integration von interaktiven Visualisierungen in den explorativen Suchprozess durch die Verknüpfung mit verlinkten Informationstypen.

Im folgenden Abschnitt wird die Evaluationsumgebung beschrieben, die für die Anwendung und Evaluation des Konzepts im Bereich Finanzinformation entworfen wurde.

### 8.3 Evaluationsumgebung

Basierend auf dem Vizgr-Toolkit wurde eine webbasierte Evaluationsumgebung entwickelt, die aus folgenden Komponenten besteht: (1) einem FTSE 100-Kursdiagramm, (2) einer Zeitleiste mit Finanznachrichten und (3) einem Formular für das Mapping von Informationen. Aufbauend auf die Architekturkomponenten aus Abschnitt 4.2 wurde dafür die Datenbasis einmal mit Kursdaten und einmal mit einer Live-Verbindung zur Guardian Open Platform instanziiert. Darauf basierend zeigt die Anzeige- und Interaktionskomponente ein Liniendiagramm für Kursdaten und eine Zeitleiste für Finanznachrichten. In der Datenbasis können mit dem Mapping-Formular durch den Nutzer Verlinkungen von Glyphen zu Online-Artikeln oder zwischen den Visualisierungen festgelegt werden. Abbildung 8-3 zeigt einen Ausschnitt der Evaluationsumgebung.

FTSE 100 & Financial News

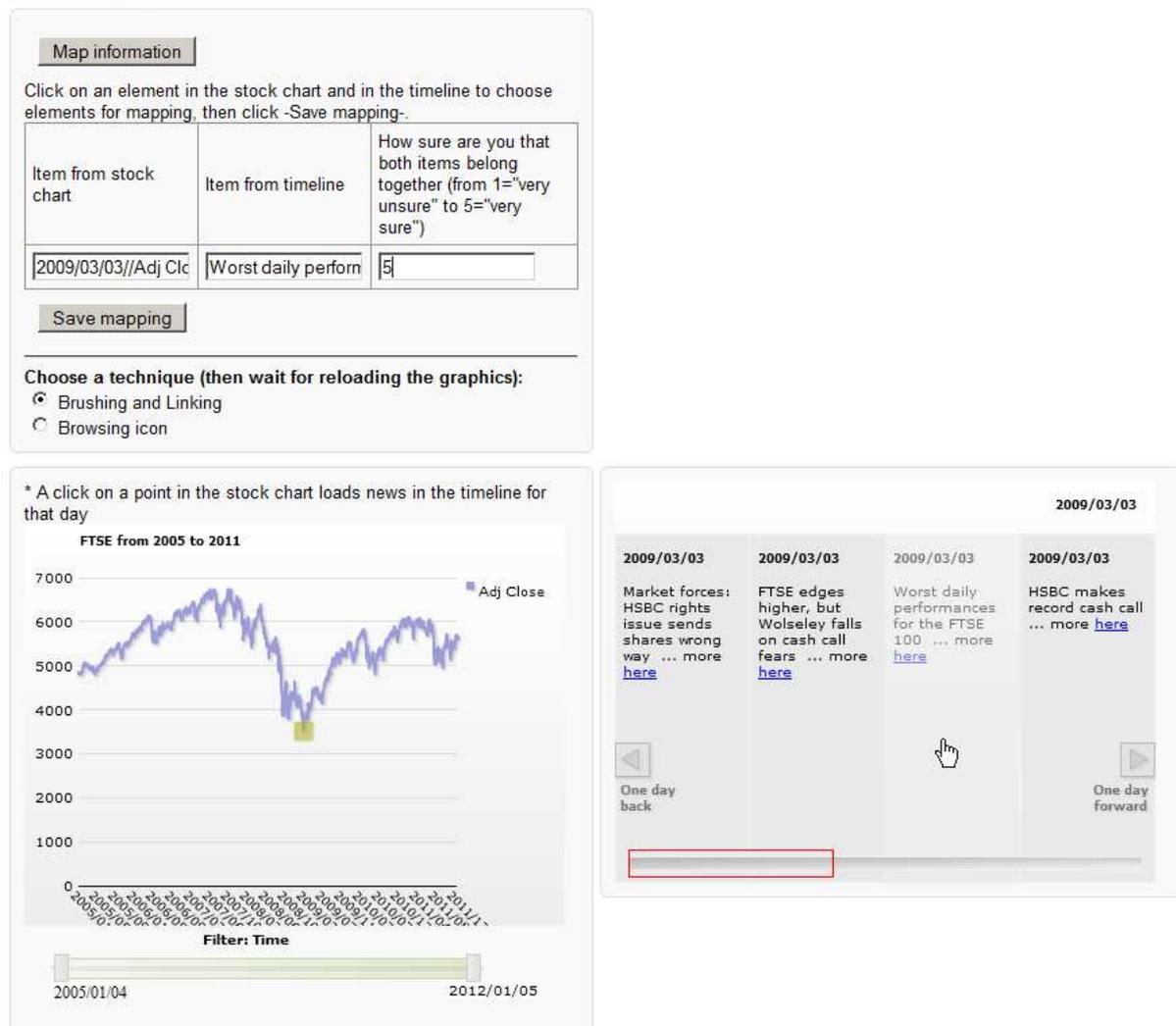


Abbildung 8-3: Screenshot der Evaluationsumgebung mit Kursdiagramm, Zeitleiste mit Finanznachrichten, Mapping-Formular und der Auswahl zwischen den Interaktionstechniken.

#### 8.3.1 FTSE 100-Kursdiagramm

Der FTSE 100 Index ist der wichtigste britische Aktienindex mit den 100 größten und umsatzstärksten britischen Unternehmen an der Londoner Aktienbörse. Daten für das Kursdiagramm wurden von

## 8. Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen

Yahoo Finanzen<sup>21</sup> importiert, die historische Kurse für viele Index- und Kurswerte bereitstellen. Der Original-Datensatz für den FTSE 100 enthält 7.025 Werte mit täglichen Kursen von 1984 bis 2012 mit verschiedenen Attributen wie *date*, *open*, *high*, *low*, *close*, *volume* und *adjusted close*. Das letzte Feld ist bereinigt von Dividenden und Splits. Für das Kursdiagramm wurden nur das Attribut *adjusted close* und Daten von 2005 bis 2012 mit 1.770 Werten genutzt, um die Visualisierung möglichst einfach zu halten. Das Liniendiagramm zeigt tägliche Schlusskurse in britischen Pfund von 2005 bis heute. Das Diagramm ist interaktiv: (1) Der Nutzer kann mit der Maus über Datenpunkte fahren und bekommt Datum und Kurs angezeigt, (2) das Diagramm kann mit einem dynamischen Slider auf eine spezifische Zeitspanne gefiltert werden und (3) ein Klick auf einen Datenpunkt lädt Finanznachrichten für diesen Tag in der Zeitleiste.

### 8.3.2 Zeitleiste mit Finanznachrichten

Die Zeitleiste zeigt Finanznachrichten aus der Online-Ausgabe der britischen Tageszeitung *The Guardian* an. Daten werden von der Guardian Open Platform<sup>22</sup> zur Verfügung gestellt, die es erlaubt, Artikel aus dem Gesamtbestand nach Stichworten zu suchen. Um die API mit dem Vizgr-Toolkit zu nutzen, wurde ein Wrapper erstellt, der nach Artikeln eines bestimmten Datums sucht, beschränkt auf die Kategorie Wirtschaft und gefiltert nach dem Schlagwort „ftse“ und der diese in das passende XML-Schema transformiert. Die API liefert Metadaten zu passenden Artikeln im JSON-Format zurück, die diese Bedingungen erfüllen. Zurückgeliefert werden die Felder Titel, Publikationsdatum, URL, Zusammenfassung und Vorschaubild. Die daraus erstellte Zeitleiste zeigt den Titel mit einem Link zum Online-Artikel und dem Vorschaubild an. Nutzer können die Zeitleiste per Drag & Drop oder Slider innerhalb der Ereignisse eines Tages verschieben. Mit Buttons auf der rechten und linken Seite kann einen Tag vor- oder zurückgeblättert werden.

### 8.3.3 Mapping-Formular

Nutzer können Informationselemente aus dem Index-Diagramm und der Zeitleiste im Mapping-Formular verbinden. Das ist die grundlegende Voraussetzung für die zwei Interaktionstechniken *Brushing-and-Linking* und *Interaktions-Icon* (Abbildung 8-4). Mit einem Klick auf den Button „*Map information*“ kann das Mapping-Formular ausgeklappt werden. Das Formular hat drei Eingabefelder für (1) den Bezeichner eines Datenpunkts im Index-Diagramm, (2) den Bezeichner einer Finanznachricht in der Zeitleiste und (3) für einen Vertrauenswert. Nutzer können die Felder (1) und (2) mit einem Mausklick in den Visualisierungen ausfüllen. Ein Klick in das Index-Diagramm trägt den Bezeichner des Datenpunktes in das linke Feld ein. Ein Klick auf eine Finanznachricht in der Zeitleiste trägt den Bezeichner in das mittlere Feld ein. Der Nutzer kann zusätzlich einen Vertrauenswert in das dritte Feld von eins bis fünf eintragen, um festzulegen, als wie vertrauenswürdig er die Verknüpfung einschätzt. Das Feld hat folgende Beschriftung: „Wie sicher sind Sie, dass beide Elemente zusammengehören (von 1=„sehr unsicher“ bis 5=„sehr sicher“)“. Mit einem Mausklick auf den Button „*Save mapping*“ wird das Mapping angewandt und die Grafiken neu geladen. Die Nutzer können dann mit Radio-Buttons zwischen den Interaktionstechniken *Brushing-and-Linking* oder *Interaktions-Icon* wählen.

---

<sup>21</sup> <http://de.finance.yahoo.com/q?s=^FTSE>

<sup>22</sup> <http://www.guardian.co.uk/open-platform>

## 8. Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen

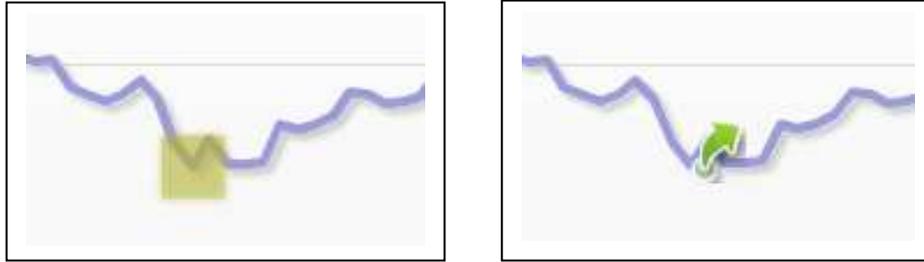


Abbildung 8-4: Hervorhebung des Datenpunkts im Diagramm mit Brushing-and-Linking oder Verlinkung mit dem Interaktions-Icon.

### 8.3.4 Nutzer-Interaktionsprozess

Der Chart zeigt Schlusskurse des FTSE 100-Indexes von 2005 bis 2012. Mit Hilfe des Diagramms kann der Nutzer Indexverläufe, Trends, Maxima oder Minima erkennen, die Daten auf bestimmte Zeitperioden filtern und im Detailbereich Daten weiter analysieren. Fährt der Nutzer mit der Maus über einen Datenpunkt, werden das Datum und der Kurs für diesen Tag angezeigt. Mit einem Mausklick auf den Datenpunkt werden in der Zeitleiste Finanznachrichten für diesen Tag geladen. Der Nutzer kann die Zusammenfassungen der Nachrichten scannen, um zu erkennen, ob Nachrichten mit Hinweisen zum Kursverlauf existieren. Mit einem Mausklick auf Buttons in der Zeitleiste können auch Nachrichten des Vor- oder Folgetages untersucht werden. Hat der Nutzer eine für ihn passende Nachricht entdeckt, kann er mit einem Mausklick auf den Link zum Artikel weiter navigieren und dort Details lesen.

Haben Kursverlauf und Finanznachricht einen signifikanten Zusammenhang, können diese Informationselemente verbunden werden. Das Mapping ist dabei die Basis für die Interaktionstechniken Brushing-and-Linking und Interaktions-Icon, welche die spätere Interaktion in den Visualisierungen erleichtern können. Das Mapping wird durch einen Mausklick auf die Informationselemente definiert und mit einem Vertrauenswert beschrieben.

Bei der Coordinated-View-Technik (4c) Brushing-and-Linking werden die verbundenen Informationselemente in beiden Ansichten hervorgehoben. Fährt der Nutzer mit der Maus über den Datenpunkt im Diagramm wird das Zeitereignis hervorgehoben, fährt er über das Zeitereignis, wird der Datenpunkt im Diagramm hervorgehoben. So kann intuitiv erkannt werden, dass ein Zusammenhang zwischen den Elementen besteht. Auf diese Weise würden Endbenutzer in einem System direkt erkennen können, dass diese Finanznachricht im Zusammenhang mit dem Kursverlauf steht und könnten aus der Zeitleiste den Artikel aufrufen. In einem Endsystem mit vielen Verknüpfungen kann zusätzlich der Vertrauenswert beispielsweise durch verschieden starke Farbschattierungen oder Farbtemperaturen visualisiert werden.

Bei der Technik Interaktions-Icon (als Teil von (4e) „Glyphenbasiertes Suche, Filtern, Browsing“) wird (je nachdem zusätzlich zur Brushing-and-Linking-Technik) ein Pfeil-Icon direkt im Kursdiagramm auf dem Datenpunkt angezeigt. Mit einem Mausklick auf das Icon kann direkt zum Artikel im Web (Ebene 5) gesprungen werden. Damit wird der Weg über die Zeitleiste, und damit ein kognitiver Schritt, gespart. Allerdings fehlen die Kontextinformationen, die durch die anderen Finanznachrichten, auch am Vortag oder am Folgetag, gegeben sind. Abbildung 8-5 zeigt die möglichen Übergänge zwischen Kursdiagramm, Zeitleiste und Online-Artikel.

## 8. Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen

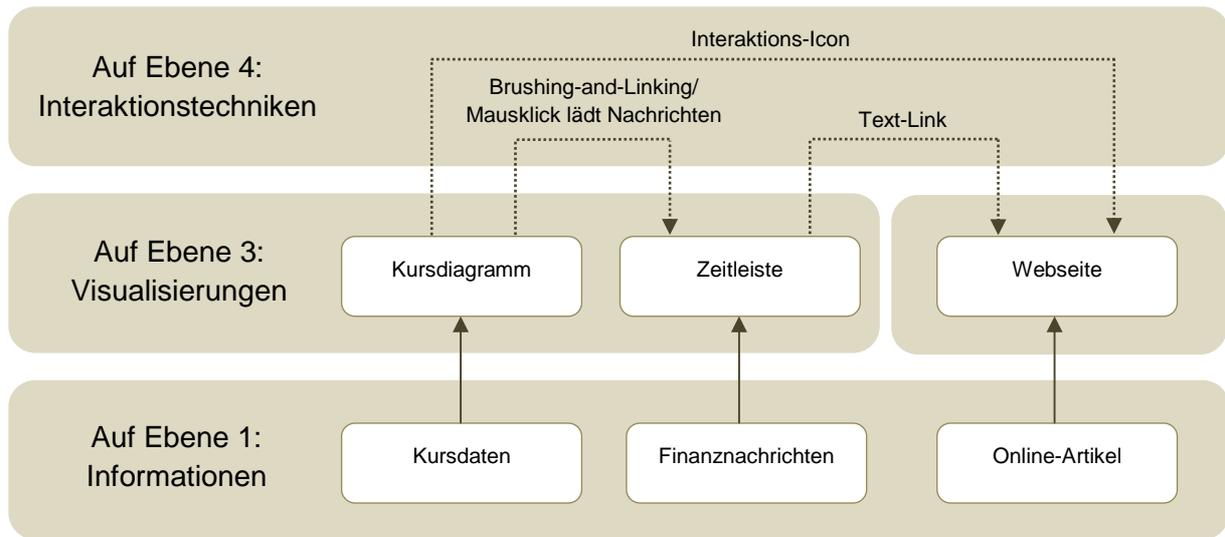


Abbildung 8-5: Nutzerinteraktionsprozess: Mögliche Übergänge zwischen Informationstypen und ihren Abbildungen im Kursdiagramm, auf Zeitleiste oder Webseite.

### 8.4 Nutzerstudie

Es wurde eine Nutzerstudie durchgeführt, um die folgenden Forschungsfragen zu beantworten:

(F7a) Können Nutzer heterogene Informationen in Visualisierungen und verwandten Informationen im Web in einem explorativen Suchprozess nutzen? Konkret: Können Relationen zwischen Kursverläufen und Finanznachrichten intuitiv gefunden werden unter Aspekten wie Zeit, Schwierigkeit und Vertrauen?

(F7b) Funktioniert der Übergang zwischen verschiedenen Informationstypen und deren Informationsdarstellung in Kursdiagramm, Zeitleiste und Artikeln auf Webseiten schnell und problemlos?

(F7c) Können Nutzer verschiedene heterogene Informationstypen schnell und einfach verbinden und basierend auf diesem Mapping Interaktionstechniken intuitiv bedienen?

(F7d) Empfinden Nutzer diese Interaktionstechniken als Mehrwert?

#### 8.4.1 Methode

Studienteilnehmer wurden gebeten verschiedene Aufgaben in der Evaluationsumgebung durchzuführen und nach jeder Aufgabe einen Fragebogen mit der gefundenen Antwort, benötigter Zeit, Schwierigkeitsgrad und mit Kommentaren auszufüllen. In einem ersten Schritt konnten die Teilnehmer sich mit der Evaluationsumgebung und den Interaktionselementen in den Grafiken für zwei Minuten vertraut machen. In der folgenden Studie sollten sie vier Fragen innerhalb der Evaluationsumgebung bearbeiten und im Fragebogen beantworten. Nach der Durchführung der Aufgaben konnten die Nutzer die Vor- und Nachteile von Interaktionstechniken bewerten und das Gesamtszenario beurteilen.

#### 8.4.2 Teilnehmer

In Gruppe 1 haben insgesamt elf männliche Personen im Alter von 27 bis 50 Jahren (Durchschnitt: 35 Jahre) teilgenommen. Davon hatten neun Teilnehmer einen Diplomabschluss in Informatik, ein Teilnehmer einen Masterabschluss in Computer Science und ein weiterer einen Magister Artium in

## 8. Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen

Geschichte. Die Teilnehmer sollten ihre Erfahrung im Umgang mit Informationsportalen und Infografiken im Internet auf einer 5-Punkte-Skala (von sehr gut bis sehr schlecht) bewerten. Die durchschnittliche Bewertung war *gut* (1,00) mit einer Standardabweichung von 0,82.

Teilnehmer der Gruppe 2 waren elf Studenten der Wirtschaftsinformatik im Alter von 22 bis 32 Jahren (Durchschnitt: 26 Jahre). Jedem Student wurden 15 Euro für die Durchführung der Aufgaben in der Evaluationsumgebung und der Beantwortung von Fragen im Online-Fragebogen als Aufwandsentschädigung bezahlt. Insgesamt nahmen drei weibliche und acht männliche Studenten vom vierten bis zum zehnten Fachsemester teil. Die Selbsteinschätzung der Erfahrung mit Informationsportalen und Infografiken im Internet war *normal* (0,45) mit einer Standardabweichung von 0,69.

### 8.4.3 Aufgaben und Fragen

Teilnehmer sollten die folgenden Aufgaben und Fragen innerhalb der Evaluationsumgebung beantworten:

#### 1. Finanznachrichten zu Kursen laden

Welche Finanznachrichten wurden zum Kursminimum des FTSE 100 am 03.03.2009 veröffentlicht? Welche am Folgetag? Notieren Sie die ersten 3 Worte der ersten Nachricht des jeweiligen Tages.

#### 2. Gründe für Kursanstieg finden

- Finden Sie zwei Finanznachrichten in der Zeitleiste, die den Kursanstieg nach dem Kursminimum am 03.03.2009 begründen. Blättern Sie dazu in der Zeitleiste auch bis zum 10.03.2009 vorwärts und scannen Sie die Kurzmeldungen.
- Haben Sie zwei Kurzmeldungen gefunden, finden Sie zwei weiterführende Details im dazugehörigen Online-Artikel von *The Guardian* (<here>-Link).
- Wie sicher sind Sie, dass der Kursaufstieg und die Finanznachrichten zusammenhängen? Notieren Sie den Vertrauenswert in der Tabelle.

#### 3. Informationen verknüpfen

Sie können das Kursminimum am 03.03.2009 mit einer Finanznachricht verknüpfen (mappen). Klicken Sie dazu auf den Button „Map information“. Klicken Sie auf den Punkt am 03.03.2009 im Kurschart und auf eine für Sie passende Nachricht in der Zeitleiste, anschließend auf „Save mapping“.

#### 4. Auf Basis des Mappings Interaktionstechniken einsetzen

Auf Basis des Mappings können Sie nun verschiedene Techniken in den Grafiken nutzen und dazwischen umschalten. Probieren Sie die verschiedenen Techniken aus.

In Aufgabe (1) werden interaktiv Finanznachrichten zu Kursen geladen und damit die Verbindung zwischen den Grafiken und Informationen gezeigt. Aufgabe (2) erweitert den Informationsübergang auf Online-Artikel im Web und lässt die Nutzer intellektuell nach Verbindungen zwischen den Informationstypen suchen. Aufgabe (3) soll verschiedene Informationstypen interaktiv verbinden, Aufgabe (4) soll darauf basierend Interaktionstechniken anwenden. Anschließend konnte das Gesamtszenario bewertet werden.

Für jede Aufgabe von (1) bis (4) sollten die Nutzer die Antworten in ein definiertes Textfeld schreiben, beantworten wie lange die Bearbeitung der Aufgabe gedauert hat, auf einer 5-Punkte-Skala (2=sehr leicht, 1=leicht, 0=normal, -1=schwer, -2=sehr schwer) bewerten, als wie schwer die Aufgabe

## 8. Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen

empfunden wurde und Kommentare und Vorschläge geben. In Aufgabe (2) und (3) konnte ein Vertrauenswert auf einer 5-Punkte-Skala (1=sehr unsicher, 2=unsicher, 3=teils/teils, 4=sicher, 5=sehr sicher) angegeben werden. Aufgabe (4) enthält 5-Punkte-Skalen für die Bewertung der Techniken Brushing-and-Linking und Interaktions-Icon im Szenario. Das Gesamtszenario konnte mit Freitext und einer 5-Punkte-Skala beurteilt werden (2=sehr hilfreich, 1=hilfreich, 0=normal, -1=nicht hilfreich, -2=überhaupt nicht hilfreich) und gab Raum für allgemeine Kommentare und Vorschläge.

### 8.4.4 Zusätzliche Schwierigkeiten in der Studie

Die Teilnehmer der Studie hatten einige zusätzliche Herausforderungen wie:

- Die Nutzungsoberfläche, Finanznachrichten und Online-Artikel waren in englischer Sprache, genauer in Börsenenglisch, wobei alle Teilnehmer der Studie Deutsch-Muttersprachler waren.
- Teilnehmer der Gruppe 1 hatten kein professionelles Wissen im Bereich Finanzinformation; Teilnehmer der Gruppe 2 hatten mindestens einen leichten Bezug durch ihren Studiengang.
- Für alle Teilnehmer war der gesamte Interaktionsprozess vollkommen neu (wie Informationen in Visualisierungen verbinden, Interaktionstechniken nutzen, zeitliche Filterung).

### 8.4.5 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Studie aufgeteilt nach Aufgaben gezeigt:

#### 1. Finanznachrichten zu Kursen laden

Kursdaten werden im Kursdiagramm angezeigt, Finanznachrichten in der Zeitleiste. Die Legende des Kursdiagramms enthält die Information, dass mit einem Klick auf einen Kurspunkt Finanznachrichten für diesen Tag in der Zeitleiste geladen werden können. Der Zeitpunkt 03.03.2009 ist mit einem Mouse-over im Diagramm initial nicht erreichbar. Nach dem Mantra von Shneiderman „*overview first, zoom and filter, then details on demand*“ (Shneiderman, 1996) werden die gesamten Daten von 2005 bis 2012 angezeigt. Der Nutzer muss nun mit dem Zeitfilter den Zeitraum einschränken, damit der 03.03.2009 als Mouse-over erscheint und in einer bequemen Zoomstufe erreichbar ist. Mit einem Mausklick auf den Datenpunkt können nun die passenden Finanznachrichten in der Zeitleiste geladen werden. Mit einem Klick auf den Button „one day forward“ in der Zeitleiste werden die Nachrichten für den nächsten Tag angezeigt.

*Gruppe 1:* Zehn von elf Teilnehmern konnten die Frage beantworten und gaben die korrekten Titel der Finanznachrichten an. Ein Teilnehmer hat die Legende übersehen, die darauf hinwies, dass ein Mausklick im Diagramm Finanznachrichten für diesen Tag lädt und konnte deshalb Aufgaben 1 bis 3 nicht beantworten. Die durchschnittliche Zeit zur Lösung der Aufgabe betrug 64 Sekunden mit einer Standardabweichung von 51 Sekunden. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe wurde als normal (0,27) eingestuft. In den Kommentaren wurde angemerkt, dass (1) nicht darauf hingewiesen wurde, dass man im Diagramm klicken kann, um Finanznachrichten zu laden, (2) die Filterung über den Zeitslider ungenau ist und (3) nicht beide Grafiken gleichzeitig gefiltert werden. Für Gruppe 2 wurde der Slider unterhalb des Kursdiagramms positioniert.

*Gruppe 2:* Sieben von elf Teilnehmern gaben die korrekte Antwort an, vier Teilnehmer gaben Nachrichten anderer Daten an. Die durchschnittliche Zeit zur Lösung der Aufgabe betrug 134 Sekunden mit einer Standardabweichung von 106 Sekunden. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe wurde als normal (0,1) eingestuft. Auch hier wurde in den Kommentaren auf die Ungenauigkeit des Zeitsliders hingewiesen und die Möglichkeit aufgezeigt einen Kalender oder ein Suchfeld für die Nachrichten der Zeitleiste anzubieten.

## 8. Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen

### 2. Gründe für Kursanstieg finden

Nachdem passende Finanznachrichten in der Zeitleiste für den 03.03.2009 geladen wurden, sollten die Nutzer in der Zeitleiste blättern und passende Nachrichten finden, die den Kursanstieg begründen. Informationsgrundlage auf diesem Level sind nur die Überschriften, die den Artikel zusammenfassen. Im ersten Schritt sollten zwei potentielle Nachrichten gefunden und dann im zweiten Schritt durch eine Überprüfung im Online-Artikel weiter begründet werden. Die Vertrauenswerte zeigen das Vertrauen des Nutzers in die Finanznachrichten als Begründung für den Kursanstieg.

#### Gruppe 1:

*Teilaufgabe a (erste Finanznachricht):* Zehn von elf Teilnehmern haben eine Finanznachricht, die den Kursanstieg begründet, ausgewählt. Die ausgewählten Nachrichten werden in Tabelle 8-1 aufgelistet. Neun von elf Teilnehmern konnten Details aus den Online-Artikeln zitieren, haben also den Link in der Zeitleiste ausgewählt und darüber zum Online-Artikel gewechselt. Der durchschnittliche Vertrauenswert über alle Finanznachrichten war *sicher* (4,0) mit einer Standardabweichung von 0,82.

*Teilaufgabe b (zweite Finanznachricht):* Acht von elf Teilnehmern gaben auch eine zweite Nachricht zur Begründung des Kursanstiegs an. Sieben von elf Teilnehmern gaben auch hier wieder Details aus den Online-Artikeln an. Der durchschnittliche Vertrauenswert über alle Finanznachrichten war *sicher* (3,88) mit einer Standardabweichung von 0,99.

Die durchschnittliche Zeit zur Lösung der kompletten Aufgabe betrug 227 Sekunden mit einer Standardabweichung von 186 Sekunden. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe wurde als *schwer* (-0,55) eingestuft. In den Kommentaren wurde angemerkt, dass das Börsen-Englisch schwer zu verstehen ist.

#### Gruppe 2:

*Teilaufgabe a (erste Finanznachricht):* Alle Teilnehmer haben eine Finanznachricht zur Begründung ausgewählt. Alle Teilnehmer konnten Details aus den Online-Artikeln zitieren. Der durchschnittliche Vertrauenswert über alle Finanznachrichten war *sicher* (3,56) mit einer Standardabweichung von 0,98.

*Teilaufgabe b (zweite Finanznachricht):* Auch hier gaben alle Teilnehmern eine zweite Nachricht zur Begründung des Kursanstiegs an. Alle Teilnehmer gaben auch hier wieder Details aus den Online-Artikeln an. Der durchschnittliche Vertrauenswert über alle Finanznachrichten war *teils/teils* (3,04) mit einer Standardabweichung von 0,51.

Die durchschnittliche Zeit zur Lösung der kompletten Aufgabe betrug 360 Sekunden mit einer Standardabweichung von 172 Sekunden. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe wurde als *schwer* (-0,82) eingestuft.

## 8. Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen

Tabelle 8-1: Finanznachrichten, die zum Kursanstieg zugeordnet wurden (ØV=durchschnittlicher Vertrauenswert, V=Vertrauenswert)

|   | Gruppe 1                     | Gruppe 2                        |
|---|------------------------------|---------------------------------|
| <i>Gründe für den Kursanstieg finden; Teilaufgabe (a) und Teilaufgabe (b) zusammengefasst</i> |                              |                                 |
| „Oil stocks help FTSE 100 regain early losses“ (09.03.2009)                                   | 7 Mal<br>ØV: sicher (3,71)   | 5 Mal<br>ØV: sicher (3,8)       |
| „Bank of England ready to pump money into UK economy“ (05.03.2009)                            | 4 Mal<br>ØV: sicher (4)      | 2 Mal<br>ØV: teils/teils (3)    |
| Nick Fletcher: Ray of light from China shines on FTSE“ (05.03.2009)                           | 3 Mal<br>ØV: sehr sicher (5) | 3 Mal<br>ØV: sicher (3,67)      |
| „Market Forces: FTSE rises on hopes of Opec production cuts“ (10.03.2009)                     | 2 Mal<br>ØV: teils/teils (3) | 3 Mal<br>ØV: teils/teils (2,67) |
| „Shares bounce back in Asia and London“ (04.03.2009)  | 1 Mal<br>V: sehr sicher (5)  |                                 |
| „Citigroup chief and Bernanke lift world markets“ (10.3.2009)                                 | 1 Mal<br>V: teils/teils (3)  |                                 |
| „Financials give a fillip to the FTSE 100“ (10.03.2009)                                       |                              | 2 Mal<br>ØV: sicher (3,5)       |
| „Miners help FTSE 100 to an early rebound“ (04.03.2009)                                       |                              | 1 Mal<br>V: unsicher (2)        |
| „FTSE edges higher“ (03.03.2009)  |                              | 1 Mal<br>V: unsicher (2)        |
| „FTSE 100 jumps nearly 5% as financial shares rebound“ (10.03.2009)                           |                              | 1 Mal<br>V: sehr sicher (5)     |
| „China stimulus hopes push up world stockmarkets“ (13.03.2009)                                |                              | 1 Mal<br>V: sicher (4)          |
| „Market forces: Insurers push FTSE 100 back down hill“ (06.03.2009)                           |                              | 1 Mal<br>V: teils/teils (3)     |
| „US bank bailout plan sends FTSE 100 soaring“ (23.03.2009)                                    |                              | 1 Mal<br>V: teils/teils (3)     |

### 3. Informationen verknüpfen

Nun konnten die Nutzer das Kursminimum mit einer für sie passenden Nachricht verknüpfen, einen Vertrauenswert festlegen und das Mapping speichern.

*Gruppe 1:* Alle Teilnehmer konnten die Aufgabe lösen. Die Teilnehmer wählten verschiedene Nachrichten für die Verlinkung zum Kursminimum, wie sie in Tabelle 8-2 aufgelistet werden. Die durchschnittliche Zeit zur Lösung der kompletten Aufgabe betrug 42 Sekunden mit einer Standardabweichung von 15 Sekunden. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe wurde als *einfach* (0,64) eingestuft.

*Gruppe 2:* Alle Teilnehmer konnten die Aufgabe lösen. Ein Nutzer hat die Finanzmeldung nicht korrekt in den Fragebogen eingetragen, der Rest wählte verschiedene Nachrichten vom 03.03.2009. Die durchschnittliche Zeit zur Lösung der kompletten Aufgabe betrug 139 Sekunden mit einer Standardabweichung von 93 Sekunden. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe wurde als *normal* (0,37) eingestuft.

## 8. Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen

Tabelle 8-2: Finanznachrichten, die zum Kursminimum zugeordnet wurden ( $\bar{V}$ =durchschnittlicher Vertrauenswert,  $V$ =Vertrauenswert)

|   | Gruppe 1                           | Gruppe 2                             |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|
| <i>Informationen verknüpfen; Finanznachrichten zu Kursminimum</i>       |                                    |                                      |
| „Worst daily performances for the FTSE 100“ (03.03.2009)                | 6 Mal<br>$\bar{V}$ : sicher (3,66) | 4 Mal<br>$\bar{V}$ : sicher (4)      |
| „Market forces: HSBC rights issue sends shares wrong way“ (03.03.2009)  | 2 Mal<br>$\bar{V}$ : sicher (3,66) | 3 Mal<br>$\bar{V}$ : teils/teils (3) |
| „Bank of England ready to pump money into UK economy“ (05.03.2009)      | 1 Mal<br>$V$ : sicher (4)          |                                      |
| „Oil stocks help FTSE 100 regain early losses“ (09.03.2009)             | 1 Mal<br>$V$ : teils/teils (3)     |                                      |
| „Financial crisis hits world markets“ (02.03.2009)                      | 1 Mal<br>$V$ : sehr sicher (5)     |                                      |
| „FTSE rally fades out as banks head south“ (03.03.2009)                 |                                    | 1 Mal<br>$V$ : sehr sicher (4)       |
| „FTSE edges higher, but Wolseley falls on cash call fears“ (03.03.2009) |                                    | 1 Mal<br>$V$ : teils/teils (3)       |
| „International Power leads another FTSE 100 decline“ (03.03.2009)       |                                    | 1 Mal<br>$V$ : teils/teils (3)       |

### 4. Auf Basis des Mappings Interaktionstechniken einsetzen

Basierend auf dem Mapping konnten nun die Techniken Brushing-and-Linking oder Interaktions-Icon ausgewählt und verwendet werden.

*Gruppe 1:* Nur sechs von elf Personen konnten die Auswirkung der Technik Brushing-and-Linking erklären. Die Kommentare legen nahe, dass (a) der Mouse-Over-Bereich im Diagramm (nur ein Datenpunkt) zu klein ist und nicht direkt gefunden wird und (b) die optische Hervorhebung im Diagramm zu klein gewählt war und übersehen wurde. Zehn von elf Teilnehmern konnten die Technik Interaktions-Icon erklären, erkannten das Interaktions-Icon im Chart und konnten die Funktionalität erläutern. Als Vorteile von Brushing-und-Linking wurde genannt, dass es gut geeignet für viele Verlinkungen sei, aber bei wenigen Links die Datenpunkte nicht gut wiederzufinden seien. Als Vorteile des Interaktions-Icons wurde genannt, dass es ein direkter Link zum Artikel ist, markante Punkte immer sichtbar sind und man es als persönlichen Marker oder Bookmark verwenden kann. Als Nachteil wurde genannt, dass bei vielen Verlinkungen die Nutzung des Interaktions-Icons zu unübersichtlich wird, da dann zu viele Stellen im Diagramm mit dem Icon markiert sind. Die Interaktionstechnik Brushing-and-Linking wurde insgesamt mit *normal* (-0,33; Standardabweichung: 1,58), die Technik Interaktions-Icon mit *hilfreich* (0,56; Standardabweichung 1,13) bewertet.

*Gruppe 2:* Sechs von elf Personen konnten die Auswirkung der Technik Brushing-and-Linking erklären. Probleme aus Gruppe 1 (zu kleine optische Hervorhebung) wurden vermieden. Die Kommentare besagen, dass bei den Teilnehmern kein Unterschied nach der Auswahl der Technik festgestellt wurde. Die meisten haben die Grafiken wohl nicht weiter untersucht und ohne Interaktion mit der Maus fiel kein optischer Effekt auf. Neun von elf Teilnehmern erklärten die Auswirkung des Interaktions-Icons, erkannten das Icon im Chart und konnten die Funktionalität erläutern. Als Vorteile für Brushing-and-Linking wurde genannt, dass die Korrelation oder Beziehung der Daten zueinander deutlich wird. Als Vorteile des Interaktions-Icon wurde genannt, dass wichtige Artikel mit Direktlink erreichbar sind und man einen Bookmark-Effekt hat, da Daten im Diagramm schneller gefunden werden. Als Nachteil des Interaktions-Icons wurde genannt, dass die eigentliche Korrelation nicht

## 8. Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen

sichtbar ist. Die Interaktionstechnik Brushing-and-Linking wurde insgesamt mit *normal* (-0,09; Standardabweichung: 0,94), die Technik Interaktion-Icon mit *hilfreich* (0,73; Standardabweichung 0,65) bewertet. Drei Teilnehmer wählten Brushing-and-Linking als favorisierte Technik für dieses Szenario, sechs wählten Interaktions-Icon.

### Abschließende Bewertung

*Gruppe 1:* Insgesamt fanden die Nutzer die Verbindungen von Kursdaten und Finanznachrichten *hilfreich* (0,57; Standardabweichung: 0,98) für die Analyse von Kursdaten. In den allgemeinen Kommentaren wurde angemerkt, dass Kenntnisse in Wirtschaft und Finanz-Englisch hilfreich für die Analyse gewesen wären, eine weitere Erklärung der Interaktionstechniken hilfreich gewesen wäre und die Verbindungen zwischen den Grafiken noch deutlicher gemacht werden müsste.

*Gruppe 2:* Auch hier fanden die Nutzer die Verbindungen von Kursdaten und Finanznachrichten insgesamt *hilfreich* (0,91; Standardabweichung: 0,83). Die Nutzer erklärten in den Kommentaren, dass es sicher nützlich sei, mehrere Datenquellen für die Beurteilung von Kursen auf einen Blick zu haben, den Kontext der Nachrichten zu sehen und mögliche Verbindungen aufgezeigt zu bekommen. Die Nutzer bemerkten auch, dass sicherlich noch weitere Faktoren für den Kursverlauf eine Rolle spielen. In den allgemeinen Kommentaren wurde angegeben, dass deutlich mehr Informationen angezeigt werden sollten und dass die Nutzungsoberfläche überarbeitet werden sollte (Skalierung, mehr Information etc.). Tabelle 8-3 zeigt die zusammengefassten Ergebnisse.

Tabelle 8-3: Zusammengefasste Ergebnisse der Aufgabenbearbeitung (S=Standardabweichung, alle Werte Durchschnittswerte)

| Aufgabe   | Gruppe 1   | Gruppe 2   |
|---|--|--|
| Selbsteinschätzung  | gut (1, S:0,82)  | normal (0,45, S:0,69)  |
| 1. Finanznachrichten zu Kursen laden                      | 10/11<br>Zeit: 64s (S:51s)<br>Schwierigkeit: normal (0,27)                                       | 7/11<br>Zeit: 134s (S:106s)<br>Schwierigkeit: normal (0,1)   |
| 2. Gründe für Kursanstieg finden                          |  |  |
| Teilaufgabe (a)   | 10/11<br>Vertrauen: sicher (4, S:0,82)   | 11/11<br>Vertrauen: sicher (3,56, S: 0,98)   |
| Teilaufgabe (b)   | 8/11<br>Vertrauen: sicher (3,88, S:0,99)<br>Zeit: 227s (S:186s)<br>Schwierigkeit: schwer (-0,55) | 11/11<br>Vertrauen: teils/teils (3,04, S:0,51)<br>Zeit: 360s (S:172s)<br>Schwierigkeit: schwer (-0,82) |
| 3. Informationen verknüpfen                               | 11/11<br>Zeit: 42s (S:15s)<br>Schwierigkeit: einfach (0,64)                                      | 10/11<br>Zeit: 139s (S:93s)<br>Schwierigkeit: normal (0,37)  |
| 4. Auf Basis des Mappings Interaktionstechniken einsetzen |  |  |
| Brushing-and-Linking                                      | 6/11<br>Bewertung: normal (0,33, S:1,58)   | 6/11<br>Bewertung: normal (-0,09, S: 0,94)   |
| Interaktions-Icon   | 10/11<br>Bewertung: hilfreich (0,56, S:1,13)   | 9/11<br>Bewertung: hilfreich (0,75, S: 0,65)   |
| Insgesamt   | Bewertung: hilfreich (0,57, S:0,98)  | Bewertung: hilfreich (0,91, S:0,83)  |

### 8.4.6 Zusammenfassung

## 8. Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen

In diesem Abschnitt werden die Resultate der Nutzerstudie zusammengefasst und diskutiert.

Teilnehmer der Gruppe 1 hatten wenige Probleme Finanznachrichten in der Zeitleiste durch einen Mausklick im Diagramm zu laden und die Verbindung zu verstehen, obwohl die Technik nur in der Legende beschrieben wurde. Teilnehmer der Gruppe 2 hatten größere Schwierigkeiten, obwohl die Technik erfolgreich in den folgenden Aufgaben angewandt wurde. Probleme bereiteten die Zuordnung der Filtermöglichkeit zu den Grafiken und die Auflösung des Sliders, die bei kleinen Veränderungen zu großen zeitlichen Änderungen im Diagramm führt. Die Aufgabe wurde als normal schwer empfunden, wobei Gruppe 2 doppelt solange für die Aufgabe benötigte wie Gruppe 1.

Das Finden von passenden Finanznachrichten zum Kursanstieg war ein aufwendiger Prozess, der sich in einem hohen durchschnittlichen Zeitaufwand von 3-6 Minuten und einer empfundenen Schwierigkeit als *schwer* äußerte. Gruppe 2 benötigte für die Lösung der Aufgabe wieder gut 1/3 mehr Zeit. Passende Nachrichten konnten auf erster Stufe nur anhand der kurzen Überschrift vorgewählt und mussten dann im Online-Artikel kognitiv bestätigt werden. Trotzdem fand ein Großteil der Nutzer die für sie passenden Nachrichten. Tabelle 8-1 gibt einen Überblick über die ausgewählten Nachrichten der beiden Gruppen. In den unabhängigen Gruppen wurden als Begründung für den Kursanstieg relativ häufig dieselben Nachrichten gewählt und mit einem hohen Vertrauenswert bestätigt. In vielen Fällen enthalten bereits die Überschriften ein Indiz für die Erklärung eines Kursanstiegs („regain early losses“, „FTSE rises“, „shares bounce back“, „lift world markets“, „edges higher“), in anderen Fällen muss dies erst durch Details im Online-Artikel bestätigt werden. Für die zweithäufigste gewählte Meldung „Bank of England ready to pump money into UK economy“ ist nicht intuitiv klar, dass eine Erhöhung der Geldmenge zu einer Erholung des FTSE-Index führt. Der Online-Artikel gibt Hinweise, wie „Bank of England announces that it will fight the economic downturn by pumping hundreds of billions of pounds into the economy“ als langfristige Strategie, kurzfristig hat der Kurs aber nachgegeben: „...FTSE dropping 48 points to 3597“.

Das Mapping der Informationen wurde wiederum als einfach bis normal schwer empfunden. Die Nutzer hatten das Konzept verstanden und wählten eine für sie passende Nachricht aus, um diese mit dem Kursminimum zu verbinden. Die Aufgabe wurde von Gruppe 1 schnell gelöst (39s), Gruppe 2 brauchte wiederum mehr als die dreifache Zeit (139s). Tabelle 8-1 zeigt, dass die zwei am häufigsten gewählten Nachrichten Indizien für das Kursminimum direkt in der Überschrift enthalten („worst daily performance“, „sends shares wrong way“), aber auch hier wird die ambivalente Nachricht „Bank of England ready to pump money into the UK economy“ gewählt.

Bei der Technik Brushing-and-Linking gab es in Gruppe 1 Probleme aufgrund der zu kleinen Mouse-Over-Zone und optischen Markierung, die auf der großen Anzahl der Datenpunkte gründen. In Gruppe 2 wurde dies verbessert, aber auch hier wurde die Technik oft nicht gefunden, da aktive Interaktion mit der Maus nötig ist, um das erstellte Mapping zu finden. Daraus resultiert, dass nur ein Teil der Nutzer die Technik nutzen konnte und die Technik als *normal* bewertet wurde. Die Technik Interaktions-Icon konnte von fast allen Teilnehmern genutzt werden und wurde als hilfreich bewertet. Die spezifischen Vor- und Nachteile beider Techniken wurden selbstständig von den Teilnehmern herausgearbeitet: Brushing-and-Linking eignet sich besser bei vielen Verlinkungen zwischen den Daten und zeigt die Korrelation oder Beziehung, das Interaktions-Icon funktioniert als Bookmark und bietet einen direkten Link zur verbundenen Quelle und eignet sich auch für wenige Verbindungen zwischen den Daten. Mehrere Nutzer schlugen vor die Techniken kombiniert anzuwenden, das würde die Vorteile der Techniken verbinden. Die Nutzer empfanden die Verbindung von Kursdaten und Finanznachrichten insgesamt als hilfreich für die Analyse.

## 8.5 Fazit

Das vorgestellte Suchsystem umfasst große Menge an Informationen: Kursdaten auf der einen Seite und Finanznachrichten und Online-Artikel auf der anderen. Benutzer können diese Informationen leicht erkunden: Mit einem Mausklick können sie Finanznachrichten für einen Tag laden und mit einem weiteren Klick können sie Details in den Online-Artikeln prüfen. Auf diese Weise können mehr Informationen überflogen, bewertet, verglichen und beurteilt werden, um Beziehungen zwischen Erkenntnissen aus Visualisierungen und Kontext-/Hintergrundinformation aus Finanznachrichten und Online-Artikeln zu finden. Da eine Vielzahl von Informationen auf einer Seite zugänglich ist, können Nutzer Information leichter vergleichen und Verbindungen beurteilen. Analog zum Ansatz von Dynamic Sliders sind komplexe Transaktionen für die Informationsbeschaffung und -filterung hinter einfachen Mausklicks versteckt. Die Nutzerstudie zeigt, dass Teilnehmer diese Interaktionstechniken ohne Domänenwissen nutzen konnten und Entscheidungen mit hohem Vertrauen trafen, welche Informationen mit Mustern in der Grafik zu verbinden sind. Vergleicht man die beiden Gruppen der Nutzerstudie, so zeigt sich, dass die Forschergruppe ihr Weltwissen und ihre Erfahrung mit Informationssystemen nutzen konnte, um Verbindungen zwischen relevanten Informationen schneller zu finden und mit höheren Vertrauenswerten zu belegen. Im Gegensatz dazu benötigte die Studentengruppe signifikant länger für die Bearbeitung der Aufgaben und hatte niedrigere Vertrauenswerte. Allerdings fanden beide Gruppen unabhängig voneinander ähnliche Verbindungen zwischen den heterogenen Informationen.

Die meisten Systeme im Bereich der Informationsvisualisierung sind *geschlossene Systeme*, in dem Sinne, dass sie Zugang zu Informationen aus einer oder mehreren Datenquellen gewähren und diese Daten in einer oder mehreren Ansichten anzeigen, um Erkenntnis zu generieren. Die Informationen können mit verschiedenen Interaktionstechniken exploriert werden und verschiedene Ansichten können mit der Technik Brushing-and-Linking verbunden sein. Allerdings haben diese Systeme keine oder eine beschränkte Verbindung zu Datenmengen an außen existierenden Informationen im Web. Jedoch finden sich mehr und mehr verlinkte Informationen und Wissen im Web, wie zum Beispiel auf Webseiten, Wikipedia, Web-APIs oder in der LOD-Cloud (Bizer u. a., 2009a). Interaktive Visualisierungen sind im Web vorhanden (Heer u. a., 2009), was es möglich macht, Visualisierungen zu erstellen und in Webseiten, Blogs oder sozialen Netzwerken einzubetten. Allerdings sind diese Visualisierungen noch kein integraler Bestandteil des Webs und eines übergreifenden Suchprozesses, da Daten und Informationen hinter proprietärer Software und Datenhaltungen versteckt sind und Links zu verwandten Informationen fehlen.

Bates (1989) führt den Berrypicking-Prozess ein, der zeigt, dass der Suchprozess ein Browsing über verschiedene heterogene Informationen beinhaltet, um von ihnen zu lernen bis zum erfolgreichen Abschluss des Suchprozesses. Marchionini (2006) hebt besonders den Schritt des Lernens und Untersuchens im Suchprozess hervor. Card et al. (1999a) präsentieren den Knowledge Crystallization-Zyklus, in dem verschiedene Schritte wie Information Foraging, Schema Creation, Problem Solving, Learning and Decision Making involviert sind. Diese Prozesse können einfacher verbunden werden, wenn Interaktionstechniken Ressourcen im Information Foraging-Prozess verbinden, so dass der Nutzer einfach zwischen ihnen wechseln kann.

Mithilfe des Hyperlinking-Mechanismus können interaktive Visualisierungen in den explorativen Suchprozess im Web eingebunden werden. Das kann insbesondere durch die Integration von *Links direkt in Visualisierungen* umgesetzt werden, wie sie in dieser Studie mit dem Interaktions-Icon und Textlinks umgesetzt wurde. Die Nutzerstudie hat gezeigt, dass *offene Visualisierungen* einen Mehrwert generieren. Informationen in Visualisierungen sind nicht isoliert, sondern nutzen den Link-

## 8. Anwendungsszenario: Visualisierungen in explorativer Suche – eine Nutzerstudie mit Börseninformationen

Mechanismus des Internets. Der Suchprozess wird erweitert, um Navigationsschritte zwischen Informationen in Visualisierungen und verwandten Informationen im Web zu ermöglichen. Auf diese Weise werden heterogene Informationsräume verbunden, die vorher isoliert waren. Mit der Kombination können die Vorteile von Informationsvisualisierung und explorativer Suche verbunden werden. Auf der einen Seite werden heterogene Informationen komprimiert in nutzerfreundlichen Visualisierungen angezeigt, auf der anderen Seite werden sie durch Links in den Suchprozess integriert. Der Nutzer kann iterativ über assoziierte Ressourcen browsen, kann vergleichen, Verbindungen entdecken und Hintergrundwissen sammeln.

Die Kombination der Präsentation von großen Informationssammlungen in interaktiven Visualisierungen und der Verknüpfung zu verwandten Informationselementen im Web zum Zweck des Lernens und Wissenserwerbs lässt sich auch auf viele andere Domänen und Informationstypen anwenden. Zum Beispiel können statistische Informationen wie Indikatoren (BIP, Schulden etc.) sehr gut in Grafiken, Karten und Tabellen dargestellt werden. Diese Informationen sind verbunden zu anderen Informationseinheiten wie historische Ereignisse, Nachrichten, Videos und Bilder, die alle im Internet verfügbar, aber noch nicht integriert zugänglich sind.

Zusammengefasst können die gestellten Forschungsfragen wie folgt beantwortet werden:

*Frage 7 (F7):* Wie können interaktive Visualisierungen in den explorativen Suchprozess integriert werden?

(F7a) Nutzer können heterogene Informationen in Visualisierungen und verwandten Informationen im Web in einem explorativen Suchprozess nutzen. Relationen zwischen Kursverläufen und Finanznachrichten wurden intuitiv ohne Anleitung gefunden. Der Prozess in diesem Anwendungsszenario war sehr komplex, da sich die Nutzer in einer fremden Domäne befanden und sich nur auf ihr Weltwissen und die angebotenen Informationen stützen konnten. Sie mussten Informationen aus mehreren Quellen vergleichen und integrieren. Der Prozess wurde demzufolge als *schwer* empfunden und beide Gruppen haben durchschnittlich 4 bzw. 6 Minuten für das Finden von Relationen zwischen Informationen investiert, mit einem mittleren bis sicheren Vertrauen in die angezeigte Relation. Insgesamt fanden die beiden Gruppen die Verbindungen von Kursdaten und Finanznachrichten für die Analyse als hilfreich.

(F7b) Der Übergang zwischen verschiedenen Informationstypen und deren Informationsdarstellung in Kursdiagramm, Zeitleiste und Artikeln auf Webseiten funktioniert schnell und problemlos. Für die Aufgaben 2 und 3 mussten die Nutzer sehr oft zwischen den Informationsdarstellungen wechseln, um Verbindungen zwischen den Informationen zu finden. Demzufolge haben sie mehrere Iterationsprozesse in der kurzen Zeitspanne von 3-6 Minuten durchgeführt. In Aufgabe 1 haben die Nutzer in einer durchschnittlichen Zeitspanne von 1-2 Minuten das Minimum im Graphen identifiziert, dorthin gezoomt und Finanznachrichten dazu geladen. Die Schwierigkeit dafür wurde als normal eingestuft.

(F7c) Die Nutzer konnten verschiedene heterogene Informationstypen schnell (Gruppe 1: 42 Sekunden/Gruppe 2: 139 Sekunden) und einfach (Bewertung Gruppe 1: einfach/Gruppe 2: normal) verbinden und basierend auf diesem Mapping Interaktionstechniken intuitiv (ohne Erklärung) nutzen.

(F7d) Die Nutzer empfanden die Interaktionstechnik Interaktions-Icon als hilfreich und die Interaktionstechnik Brushing-and-Linking als normal.

Es konnte gezeigt werden, dass Nutzer die verschiedenen neu eingeführten Prozesse wie Linking von Information (4d), Coordinated-Views-Techniken (4c) und Glyphenbasiertes Filtern, Suche und Browsing für die explorative Suche im Web (Ebene 5) nutzen konnten.

### 9 Fazit und Ausblick

Diese Arbeit geht von Forschungsfrage (1) aus, wie interaktive Visualisierungen für den Linking- und Suchprozess heterogener Informationen im Web genutzt werden können, bezüglich konzeptueller Durchführbarkeit, Nutzerzufriedenheit und evaluatorischer Messgrößen wie Schwierigkeit, Zeit und Intuitivität.

Als Ausgangslage wurden dabei die verschiedenen Forschungsfelder besprochen, die für diese Frage eine Rolle spielen. Die Informationssuche stellt verschiedene Suchmodelle bereit, welche das Informationsbedürfnis des Nutzers, die Vagheit der Anfrage, die Unsicherheit im Prozess und den iterativen Suchprozess mit Lern- und Untersuchungsschritten herausstellen. Als Haupttechniken für die Suche werden Adhoc-Retrieval, Browsing, Filtering oder Faceted Search angewandt. Die Dokumentenbasis ist dabei stark heterogen und teilt sich in Informationen verschiedener Modalitäten, Medienformaten, aus verteilten Datenquellen, mit unterschiedlicher Strukturiertheit, Qualität und Granularität.

Die Informationsvisualisierung bietet eine Möglichkeit, stark heterogene Informationen zu untersuchen und daraus Erkenntnisse abzuleiten. Im Knowledge Crystallization-Prozess wird beschrieben, wie Informationen aus verschiedenen Datenquellen gesammelt, geordnet und in einer externen Repräsentation (z.B. Text, Bilder, Tabellen und Visualisierungen) und in einem internen Schema (mentalen Modell) repräsentiert werden können, um daraus Informationen abzuleiten. Visualisierungen können diesen Prozess auf allen Stufen unterstützen. Dabei reichen die Vorteile von Visualisierungen als Hilfe zu einfacher Mustererkennung bis zur Unterstützung des kognitiven Prozesses. Koordinierte Visualisierungen können verwendet werden, um komplexere Informationen abzubilden, wobei die Informationsstruktur für die initiale Visualisierung und als Unterstützung zur Bildung eines mentalen Modells genutzt wird.

Für die Informationssuche in Visualisierungen herrscht das Information-Seeking-Mantra von Shneiderman vor, wobei Informationen von einer Übersicht zu Details von Interesse gezoomt und gefiltert werden und dann weitere Informationen und Links zu anderen Informationsobjekten innerhalb der Visualisierung abgerufen werden können. Der Transfer von Visualisierungen in das Web verstärkt die Ausgangslage heterogener verteilter Informationen, bietet aber die Möglichkeit Visualisierungen als Komponenten in Blogs oder Dashboards weiter zu nutzen. Erste Forschungssysteme für die Filterung von Webinformationen mit Visualisierungen wurden entwickelt. Andere IR-Techniken wie Suche oder Browsing bleiben ausgehend von Glyphen in Visualisierungen aber noch ungenutzt.

Die Besprechung von kognitiven Modellen der Verarbeitung von Information und Visualisierungen zeigt die natürlichen Beschränkungen des menschlichen Kurzzeitgedächtnisses und streicht damit die Vorteile von Visualisierungen als Unterstützungswerkzeug des kognitiven Prozesses heraus. In Studien wird gezeigt, dass Nutzer heterogene Informationen aus verschiedenen Quellen und in verschiedenen Visualisierungsformen in einem qualitativen mentalen Modell integrieren können, aber dass der Aufwand für die Heterogenität ein erhöhter Zeitverbrauch für die Bildung des mentalen Modells ist.

Basierend auf dieser Ausgangslage wurde ein Modell entwickelt, das ausgehend von Strukturmodellen der Informationsvisualisierung heterogene Informationen, Informationsstrukturen, Visualisierungen und verschiedene Interaktionstechniken in einen übergreifenden Suchprozess einordnet. Dabei wurden

## 9. Fazit und Ausblick

neue Interaktionsprozesse wie Linking von Informationen in Visualisierungen und Glyphenbasiertes Suchen, Filtern, Browsing eingeführt, welche die Vorteile von koordinierten Visualisierungen nutzen. Eine Implementation dieses Modells ist das Vizgr-Toolkit, welches ermöglicht, verschiedene Informationstypen in koordinierten Visualisierungen darzustellen und Interaktionstechniken wie (4a) Individuelle Navigation und Interaktion, (4b) Übergreifendes Filtern, Suche und Animation, (4c) Coordinated-Views-Techniken, (4d) Linking von Information in Visualisierungen und (4e) Glyphenbasiertes Filtern, Suche und Browsing zu nutzen.

Das Vizgr-Toolkit wurde in vier verschiedenen Anwendungsszenarien eingesetzt, um ausgehend von Forschungsfrage 1 die verschiedenen Teilfragen zu untersuchen.

Im ersten Anwendungsszenario sollten Nutzer Visualisierungen selbst erstellen und Informationen innerhalb der Visualisierungen verlinken, um das generelle Konzept der Verlinkung von Informationen in Visualisierungen zu testen (Proof-of-concept). Über 94% der Nutzer konnte Visualisierungen erstellen, über 87% der Nutzer konnten Informationen verlinken, ein Großteil der Nutzer konnte die Aufgaben in unter 5 Minuten lösen und empfand die Lösung als sehr einfach bis normal schwer und konnte den generellen Effekt erklären. Damit konnte gezeigt werden, dass die neu eingeführten Prozesse (4d) Linking von Information in Visualisierungen und (4e) Glyphenbasiertes Filtern, Suche, Browsing prinzipiell von Nutzern durchgeführt und verstanden werden konnten.

Im Anwendungsszenario „Statistische Daten“ wurde das Vizgr-Toolkit für die Abbildung von statistischen Daten und verwandten Informationen genutzt. Heterogene Informationen konnten auf verschiedenen Ebenen integriert und für die Informationssuche zugänglich gemacht werden. Basierend auf manuell erstellten oder automatischen Linkings konnten Informationen in verschiedenen Ansichten hervorgehoben und geladen werden. Damit konnte gezeigt werden, dass heterogene Informationen wie statistische Daten, Nutzervisualisierungen und Zeitereignisse auf Dateneben verlinkt werden können (4d) und in koordinierten Ansichten mit Interaktionstechniken wie Übergreifendes Filtern, Suche und Animation (4b) und Coordinated-Views-Techniken (4c) verbunden werden können.

Im Anwendungsszenario „Suche in Digitalen Bibliotheken“ wurde das Vizgr-Toolkit direkt in den Suchprozess einer Digitalen Bibliothek integriert. Nutzer konnten Mehrwertinformationen und Verknüpfungen zwischen Informationen unterhalb einer Minute mit Visualisierungen finden und empfanden die Aufgaben als leicht oder normal schwer. Weiterhin konnten die Nutzer schnell (durchschnittlich in 54 Sekunden), intuitiv (nur mit Erklärung durch eine Legende) glyphenbasiert suchen und filtern und empfanden diese Technik als hilfreich. Außerdem empfanden sie die Nutzung von Visualisierungen als hilfreich für die Unterstützung der Suche. Damit konnte gezeigt werden, dass interaktive koordinierte Visualisierungen für die Unterstützung des Suchprozesses in einem IR-System (Ebene 6) genutzt werden konnten, auf der Basis von Interaktionstechniken wie Coordinated-Views-Techniken (4c) und Glyphenbasierten Filtern, Suche, Browsing (4e).

Im Anwendungsszenario „Visualisierungen in explorativer Suche“ mussten Nutzer komplexe Entscheidungen treffen und Relationen zwischen Kurstrends, Finanznews und Online-Artikeln finden und bewerten. Die Hauptfrage dieser Studie war, ob Nutzer in einem iterativen Prozess zwischen Informationen in Visualisierungen und im Web hin- und herwechseln können und diese Informationen in einem explorativen Suchprozess verwerten können. Der Prozess wurde als schwer empfunden und dauerte für die Hauptaufgabe zwischen 4 und 6 Minuten, dennoch fanden fast alle Nutzer Relationen und gaben einen mittleren bis sicheren Vertrauenswert für diese Relation an. Neue Techniken wie das Browsen von Visualisierungen zu Online-Artikeln oder Linking von Informationen in

## 9. Fazit und Ausblick

Visualisierungen wurden ganz nebenbei sicher und schnell genutzt und als hilfreich bewertet. Damit konnte gezeigt werden, dass Nutzer die verschiedenen neu eingeführten Prozesse wie Linking von Information (4d), Coordinated-Views-Techniken (4c) und Glyphenbasiertes Filtern, Suche, Browsing für die explorative Suche im Web (Ebene 5) nutzen konnten.

Ausgehend von Forschungsfrage 1 konnte gezeigt werden, dass das *Linking von Informationen* in Visualisierungen *prinzipiell funktioniert, schnell* und *einfach* ist und einen *abstrakten Prozess* darstellt, der in verschiedenen Kontexten (Nutzervisualisierungen, statistische Daten, Börseninformation, Nachrichten) funktioniert. Über die Interaktionsprozesse Individuelle Navigation und Interaktion, Übergreifendes Filtern, Suche, Animation konnte innerhalb von Visualisierungen gesucht werden. Der neue Prozess Glyphenbasiertes Filtern, Suche und Browsing öffnet die Visualisierung nach außen und erlaubt die Integration in einen übergreifenden Suchprozess. Hier konnte gezeigt werden, dass Nutzer diese Funktionalität *intuitiv* annehmen, *schnell* und *einfach* nutzen konnten und als *hilfreich* empfanden. Dadurch konnten Visualisierungen in einen übergreifenden explorativen Suchprozess integriert werden, in dem die einzelne Visualisierung einen Informationsspeicher mit Interaktionsmöglichkeit und Wegen nach außen bietet.

Die Integration von interaktiven Visualisierungen in das Web und in den Suchprozess steht dabei aber erst ganz am Anfang. Portale wie IBM Many Eyes ermöglichen es seit einigen Jahren, online Visualisierungen zu erstellen und in Blogs oder Webseiten zu integrieren. Die Interaktionstechniken beschränken sich dabei aber immer auf individuelle Navigations- und Interaktionstechniken, im Sinne des im Kapitel 3 beschriebenen Modells. Die Erstellung von Dashboards und übergreifenden Filtern, Suche und Animation und Coordinated-Views-Techniken bieten noch keine freien Toolkits, sondern nur kommerzielle Lösungen wie Spotfire oder Tableau. Die vorgestellten Prozesse Linking von Informationen in Visualisierungen und Glyphenbasiertes Filtern, Suche oder Browsing bieten eine Möglichkeit bestehende Lösungen zu erweitern und damit für die Verbindung zu anderen Webressourcen zu öffnen.

Ein Hinderungsgrund für die Verbreitung von interaktiven Visualisierungen im Web sind die langsame Entwicklung und Verbreitung von technischen Standards für Grafiken im Web und deren Datengrundlage. Bis zum heutigen Zeitpunkt werden interaktive Grafiken und Visualisierungstoolkits mit proprietären Techniken wie Flash, Java oder JavaScript erstellt, die keinen einheitlichen Standards entsprechen. Die Entwicklung und Verbreitung von HTML5 und dem Canvas-Element verspricht erstmals die Möglichkeit, Grafiken im Web mit standardisierten Elementen innerhalb von HTML zu erstellen. Allerdings bietet der Standard nur sehr elementare Funktionalitäten. Fortgeschrittene Funktionalitäten, wie sie für die Erstellung und Interaktivität von interaktiven Visualisierungen benötigt werden und in kommerziellen Umgebungen wie Adobe Flash Standard sind, müssen hier noch durch nicht-standardisierte Erweiterungen und Bibliotheken hinzugefügt werden.

Eine große Rolle im Web spielt die Indexierung von Information durch Websuchmaschinen, damit sie vom Nutzer überhaupt gefunden werden können. Datengrundlagen für interaktive Visualisierungen werden aber nur in Formaten wie XML oder JavaScript ohne Strukturierungsstandard vorgehalten und können nicht sinnvoll indiziert werden. Auszeichnungsformate wie Microformats oder RDF bieten eine Grundlage für weitere Entwicklungen, stehen aber für die Auszeichnung von heterogenen Inhalten im Web erst am Anfang, besonders als Datengrundlage für Visualisierungen.

Durch Zeit- und Arbeitsrestriktionen gibt es einige Limitierungen, die in dieser Arbeit nicht adressiert werden konnten. Das in Kapitel 3 gebildete Modell zeigt analog zu existierenden Quellen, dass beliebige Informationen anhand ihrer Informationsstrukturen in Visualisierungen abgebildet werden

## 9. Fazit und Ausblick

können. Die umgesetzten Visualisierungsformen im Vizgr-Toolkit beschränken sich dabei auf eine initiale Anzahl von Visualisierungsmöglichkeiten für jede Informationsstruktur. Die Menge der möglichen Visualisierungsformen ist natürlich unbeschränkt und neue Visualisierungen können in das Toolkit integriert werden. Dabei wurde der Prozess der Integration neuer Visualisierungen möglichst einfach durch die modulare Architektur und die abstrakte Datenhaltung gestaltet.

Auf Ebene 4 der Interaktionstechniken implementiert das Vizgr-Toolkit die im Modell genannten Interaktionstechniken. Für die Interaktionstechnik 4a (Individuelle Navigation und Interaktion) werden die Techniken durch die Visualisierungsform selbst gegeben und können das Toolkit erweitern. Für die implementierten Interaktionstechniken 4b (Übergreifendes Filtern, Suche, Animation), 4c (Coordinated-Views-Techniken), 4d (Linking von Information) und 4e (Glyphenbasiertes Filtern, Suche, Browsing) gilt, dass sie aufgrund der abstrakten Implementierung auch für alle neuen Visualisierungsformen direkt angewandt werden können. Dabei wurden für die Prozesse 4b und 4c die State-of-the-art-Techniken implementiert, weitere Techniken sind möglich.

Die neu eingeführten Prozesse (4d) und (4e) wurden in dieser Arbeit in Anwendungsszenarien untersucht und evaluiert. Dabei wurde festgestellt, dass die Prozesse prinzipiell funktionieren, schnell und einfach sind und einen abstrakten Prozess darstellen (siehe weiter oben). Der Prozess Linking von Information (4d) bildet die Basis für die Prozesse (4c) Coordinated-Views-Techniken und (4e) Glyphenbasiertes Filtern, Suche, Browsing. Der Mehrwert für den Prozess Linking von Information (4d) liegt in der Verknüpfung von Vorteilen von Visualisierungen (vom Erkennen von Trends bis zur interaktiven Nutzung als Denkhilfe), der einfachen Verlinkungsmetapher ohne Modalitätenwechsel, der Kombination von sehr heterogenen Informationen, und der Massentauglichkeit, der Crowdsourcing-Prozesse ermöglicht, um Informationen durch Webnutzer manuell verlinken zu lassen. Der Mehrwert für den Prozess Glyphenbasiertes Filtern, Suche, Browsing (4e) liegt in der Kombination von interaktiver Informationsdarstellung mit der Möglichkeit, direkt von visuellen Elementen (Glyphen, Trends, Informationsfacetten usw.) Such-, Browsing- und Filterungsprozesse zu initiieren. Dabei können beliebig komplexe Anfragen hinter einfachen, visuell attraktiven Elementen verborgen werden. Dies ermöglicht es dem Nutzer, komplexere Abfragen zu stellen, als es ihm in einer formalen Anfragesprache möglich wäre.

Dabei wurde in den Anwendungsszenarien der Fokus auf allgemeine IR- und Websysteme gelegt, die es dem durchschnittlichen Webnutzer und Laien ermöglichen heterogene Informationen zu suchen, zu vergleichen, zu verknüpfen usw. Dafür wurde das Vizgr-Toolkit auf eine möglichst breite Anwendbarkeit unterschiedlicher Informationen und Domänen ausgerichtet. Für bestimmte Anwendungen in Fachdomänen kann dagegen die Art der Visualisierungs- und Interaktionsmöglichkeiten sehr speziell auf die Fachdomäne zugeschnitten sein.

Sowohl für den Prozess der Verlinkung von Information als auch für den Prozess des Glyphenbasierten Filterns, Suche, Browsing wäre eine vertiefte Untersuchung in Expertensystemen ausgewählter Fachdomänen interessant. Domänenexperten unterscheiden sich von Laien durch vertieftes Hintergrundwissen über die Informationen, welches die Komplexität der Such- und Verknüpfungsprozesse steigert. Für den Suchprozess zeigt Wolff (1996) beispielsweise, dass Domänenexperten bereits visuell denken, wenn es um das Finden von Werkstoffen mit ähnlichen Eigenschaften zu einer vorausgegangenen Suche geht. Dieses visuelle Denken können sie direkt in der Ergebnisgrafik ohne Modalitätenwechsel ausdrücken, um eine Anfrage zu stellen. Dadurch lassen sich sehr komplexe Anfragen in einfachen, glyphenbasierten Techniken ausdrücken, die sich sonst nicht oder nur sehr schwer in einer formalen Anfrage durch den Anwender ausdrücken lassen. Dieser

## 9. Fazit und Ausblick

Vorteil gilt auch generell für den Prozess (4e) Glyphenbasiertes Filtern, Suche, Browsing und kann mithilfe des Vizgr-Toolkits in Expertensystemen instanziiert und evaluiert werden.

## 10 Literaturverzeichnis

- Ahlberg, Christopher (1996): „Spotfire: an information exploration environment“. In: *SIGMOD Record*. 25 (4), S. 25–29, DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/245882.245893>.
- Ahlberg, Christopher; Shneiderman, Ben (1994): „Visual information seeking: tight coupling of dynamic query filters with starfield displays“. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: celebrating interdependence*. New York, NY, USA: ACM (CHI '94), S. 313–317, DOI: 10.1145/191666.191775. — ISBN: 0-89791-650-6
- Alexopoulou, Dimitra; Alvers, Michael R.; Andreopoulos, Bill; u. a. (2007): *GoPubMed: ontology-based literature search*. (Technical Report Nr. A2-D7).
- Andrews, Keith (2002): „Visualising Information Structures - Aspects of Information Visualisation“. (Habilitation) Graz, Österreich: Graz University of Technology.
- Andrews, Keith; Sabol, Vedran; Lackner, Wilfried; u. a. (2001): „Search Result Visualisation with xFIND“. In: *Proceedings of the Second International Workshop on User Interfaces to Data Intensive Systems*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society (UIDIS '01), S. 50–58. — ISBN: 0-7695-0834-0
- Andrews, Keith; Wolte, Josef; Pichler, Michael (1997): „Information Pyramids: A New Approach to Visualising Large Hierarchies“. In: *Proceedings of IEEE Visualization '97*. Phoenix, Arizona: IEEE Computer Society (VIS '97), S. 49–52.
- Armstrong, Timothy G.; Moffat, Alistair; Webber, William; u. a. (2009): „Improvements that don't add up: ad-hoc retrieval results since 1998“. In: *Proceedings of the 18th ACM conference on Information and knowledge management*. New York, NY, USA: ACM (CIKM '09), S. 601–610, DOI: 10.1145/1645953.1646031. — ISBN: 978-1-60558-512-3
- Baddeley, Alan David (2000): „The Episodic Buffer: A New Component of Working Memory?“. In: *Trends in Cognitive Sciences*. 4 (11), S. 417–423, DOI: 10.1016/S1364-6613(00)01538-2.
- Baddeley, Alan David (1986): *Working Memory*. Oxford, UK; New York: Oxford University Press. — ISBN: 0 19 852116 2
- Baeza-Yates, Ricardo A.; Ribeiro-Neto, Berthier (1999): *Modern Information Retrieval*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. — ISBN: 020139829X
- Bates, Marcia J. (1989): „The Design of Browsing and Berrypicking Techniques for the Online Search Interface“. In: *Online Review*. 13 (5), S. 407–424.
- Beaudoin, Luc; Parent, Marc-Antoine; Vroomen, Louis C. (1996): „Cheops: A Compact Explorer for Complex Hierarchies“. In: *Proceedings of the 7th conference on Visualization '96*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, S. 87–92. — ISBN: 0-89791-864-9
- Becker, Richard A.; Cleveland, William S. (1987): „Brushing scatterplots“. In: *Technometrics*. 29 (2), S. 127–142, DOI: 10.2307/1269768.
- Belkin, Nicholas J.; Croft, W. Bruce (1987): „Annual review of information science and technology“. In: Williams, Martha E. (Hrsg.) New York, NY, USA: Elsevier Science Inc., S. 109–145. — ISBN: 0-444-70302-0

## 10. Literaturverzeichnis

- Belkin, Nicholas J.; Croft, W. Bruce (1992): „Information filtering and information retrieval: two sides of the same coin?“. In: *Communications of the ACM*. 35 (12), S. 29–38, DOI: 10.1145/138859.138861.
- Bergstrom, Peter; Atkinson, Darren C (2009): „Augmenting the exploration of digital libraries with web-based visualizations“. In: Grosky, Bill; Andrès, Frédéric; Pichappan, Pit (Hrsg.) *Fourth International Conference on Digital Information Management*. (ICDIM'09), S. 64–70, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICDIM.2009.5356798>.
- Berners-Lee, Tim (2006): „Linked Data - Design Issues“. W3C. Abgerufen am 12.09.2012 von <http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>.
- Berners-Lee, Tim; Hendler, James; Lassila, Ora (2001): „The Semantic Web“. In: *Scientific American*. 284 (5), S. 34–43.
- Bertin, Jacques (1983): *Semiology of graphics*. University of Wisconsin Press. — ISBN: 0299090604
- Bizer, Christian; Heath, Tom; Berners-Lee, Tim (2009a): „Linked data - the story so far“. In: *International Journal on Semantic Web and Information Systems*. 5 (3), S. 1–22.
- Bizer, Christian; Lehmann, Jens; Kobilarov, Georgi; u. a. (2009b): „DBpedia - A crystallization point for the Web of Data“. In: *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*. 7 (3), S. 154–165, DOI: 10.1016/j.websem.2009.07.002.
- Borst, Timo; Neubert, Joachim; Group, W3C Semantic Web Working (2009): *Case Study: Publishing STW Thesaurus for Economics as Linked Open Data*. (Case Study).
- Bostock, Michael; Heer, Jeffrey (2009): „Protovis: A Graphical Toolkit for Visualization“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 15 (6), S. 1121–1128, DOI: 10.1109/TVCG.2009.174.
- Brand, Matthias; Markowitsch, Hans J. (2004): „Lernen und Gedächtnis“. In: *Praxis der Naturwissenschaften*. 53 (7), S. 1–7.
- Bray, Tim; Paoli, Jean; Sperberg-McQueen, C. M. u. a. (2008): *Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition)*. W3C.
- Bruckner, Stefan; Šoltészova, Veronika; Groller, Eduard; u. a. (2009): „BrainGazer - Visual Queries for Neurobiology Research“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 15 (6), S. 1497–1504, DOI: 10.1109/TVCG.2009.121.
- Card, Stuart K.; Mackinlay, Jock D.; Shneiderman, Ben (1999a): „Information Visualization“. In: *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers (Morgan Kaufmann Series in Interactive Technologies), S. 1–34. — ISBN: 1-55860-533-9
- Card, Stuart K.; Mackinlay, Jock D.; Shneiderman, Ben (Hrsg.) (1999b): *Readings in information visualization - Using vision to think*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc. (Morgan Kaufmann Series in Interactive Technologies). — ISBN: 1-55860-533-9
- Carpendale, Sheelagh (2008): „Evaluating Information Visualizations“. In: Kerren, Andreas; Stasko, John T.; Fekete, Jean-Daniel; u. a. (Hrsg.) *Information Visualization*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 19–45. — ISBN: 978-3-540-70955-8
- Carpenter, Patricia A; Shah, Priti (1998): „A model of the perceptual and conceptual processes in graph comprehension“. In: *Journal of Experimental Psychology Applied*. 4 (2), S. 75–100.

## 10. Literaturverzeichnis

- Chandler, Paul; Sweller, John (1991): „Cognitive Load Theory and the Format of Instruction“. In: *Cognition and Instruction*. 8 (4), S. 293–332.
- Chawda, B.; Craft, B.; Cairns, P. u. a. (2005): „Do attractive things work better? An exploration of search tool visualisations“. In: McKinnon, L.; Bertelsen, O.; Bryan-Kinns, N. (Hrsg.) *Proceedings of '05 British HCI group annual conference*. Swindon, UK: British HCI Group (HCI2005), S. 46–49.
- Chi, Ed H.; Pirolli, Peter; Chen, Kim; u. a. (2001): „Using information scent to model user information needs and actions and the Web“. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM (CHI '01), S. 490–497, DOI: 10.1145/365024.365325. — ISBN: 1-58113-327-8
- Cleveland, William S.; McGill, Robert (1986): „An Experiment in Graphical Perception.“. In: *International Journal of Man-Machine Studies*. 25 (5), S. 491–501.
- Cleveland, William S.; McGill, Robert (1984): „Graphical Perception: Theory, Experimentation, and Application to the Development of Graphical Methods“. In: *Journal of the American Statistical Association*. 79 (387), S. 531–554.
- Dion, Karen; Berscheid, Ellen; Walster, Elaine (1972): „What is beautiful is good“. In: *Journal of Personality and Social Psychology*. 24 (3), S. 285–290.
- Dörk, Marian; Carpendale, Sheelagh; Collins, Christopher; u. a. (2008): „VisGets: Coordinated Visualizations for Web-based Information Exploration and Discovery“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 14 (6), S. 1205–1212, DOI: 10.1109/TVCG.2008.175.
- Dörk, Marian; Gruen, Daniel M.; Williamson, Carey; u. a. (2010): „A Visual Backchannel for Large-Scale Events.“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 16 (6), S. 1129–1138.
- Eagly, Alice H.; Ashmore, Richard D.; Makhijani, Mona G. u. a. (1991): „What is beautiful is good, but...: A meta-analytic review of research on the physical attractiveness stereotype“. In: *Psychological Bulletin*. 110 (1), S. 109–128.
- Eibl, Maximilian (2002): „DEViD: a media design and software ergonomics integrating visualization for document retrieval“. In: *Information Visualization*. 1 (2), S. 139–157, DOI: 10.1057/palgrave.ivs.9500017.
- Eibl, Maximilian (2003): *Visualisierung im Document Retrieval - Theoretische und praktische Zusammenführung von Softwareergonomie und Graphik Design*. (IZ-Forschungsbericht Nr. 7) Informationszentrum Sozialwissenschaften - IZ Bonn.
- English, Jennifer; Hearst, Marti; Sinha, Rashmi; u. a. (2002): „Flexible Search and Navigation Using Faceted Metadata“. In: *Proceedings of the ACM SIGIR Conference on Research and Development of Information Retrieval*. (SIGIR '02), S. 11–15.
- Fekete, Jean-Daniel (2004): „The InfoVis Toolkit“. In: *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society (INFOVIS '04), S. 167–174, DOI: 10.1109/INFOVIS.2004.64. — ISBN: 0-7803-8779-3
- Fruchterman, Thomas M. J.; Reingold, Edward M. (1991): „Graph drawing by force-directed placement“. In: *Software-Practice & Experience*. 21 (11), S. 1129–1164, DOI: 10.1002/spe.4380211102.

## 10. Literaturverzeichnis

- Fuhr, Norbert (1996): „Ziele und Aufgaben der Fachgruppe Information Retrieval der Gesellschaft für Informatik“. Abgerufen am 12.09.2012 von [http://www.uni-hildesheim.de/fgir/index.php?option=com\\_content&task=view&id=14&Itemid=41](http://www.uni-hildesheim.de/fgir/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=41).
- Gershon, Nahum; Page, Ward (2001): „What storytelling can do for information visualization“. In: *Communications of the ACM*. 44 (8), S. 31–37, DOI: 10.1145/381641.381653.
- Hanani, Uri; Shapira, Bracha; Shoval, Peretz (2001): „Information Filtering: Overview of Issues, Research and Systems“. In: *User Modeling and User-Adapted Interaction*. 11 (3), S. 203–259, DOI: 10.1023/A:1011196000674.
- Hassenzahl, Marc; Schifferstein, Hendrik N. J.; Hekkert, Paul (Hrsg.) (2008): „Aesthetics in interactive products: Correlates and consequences of beauty“. In: *Product experience.*, S. 287–299.
- Hassenzahl, Marc (2004): „The interplay of beauty, goodness, and usability in interactive products“. In: *Human-Computer Interaction*. 19 (4), S. 319–349, DOI: 10.1207/s15327051hci1904\_2.
- Hassenzahl, Marc; Tractinsky, Noam (2006): „User experience - a research agenda“. In: *Behaviour & Information Technology*. 25 (2), S. 91–97, DOI: 10.1080/01449290500330331.
- Havre, Susan; Hetzler, Beth; Nowell, Lucy (2000): „ThemeRiver: Visualizing Theme Changes over Time“. In: *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2000*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society (INFOVIS '00), S. 115–123. — ISBN: 0-7695-0804-9
- Heer, Jeffrey; Card, Stuart K.; Landay, James A. (2005): „Prefuse: a toolkit for interactive information visualization“. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM (CHI '05), S. 421–430, DOI: 10.1145/1054972.1055031. — ISBN: 1-58113-998-5
- Heer, Jeffrey; Viégas, Fernanda B; Wattenberg, Martin; u. a. (2009): „Point, Talk, and Publish: Visualisation and the Web“. In: Jain, Lakhmi; Wu, Xindong; Liere, Robert; u. a. (Hrsg.) *Trends in Interactive Visualization*. London: Springer (Advanced Information and Knowledge Processing), S. 1–15. — ISBN: 978-1-84800-269-2
- Hegner, Marcus (2003): *Methoden zur Evaluation von Software*. (Arbeitsbericht Nr. 29) Bonn: InformationsZentrum Sozialwissenschaften.
- Hemmje, Matthias (1995): „LyberWorld: a 3D graphical user interface for fulltext retrieval“. In: *Proceedings ACM SIGCHI '95*. ACM (SIGCHI '95), S. 417–418.
- Hemmje, Matthias; Kunkel, Clemens; Willett, Alexander (1994): „LyberWorld—a visualization user interface supporting fulltext retrieval“. In: Croft, W. Bruce; van Rijsbergen, C. J. (Hrsg.) *Proceedings of the 17th annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*. New York, NY, USA: Springer (SIGIR '94), S. 249–259. — ISBN: 0-387-19889-X
- Hienert, Daniel; Luciano, Francesco (2012): „Extraction of Historical Events from Wikipedia“. In: Völker, Johanna; Paulheim, Heiko; Lehmann, Jens; u. a. (Hrsg.) *Proceedings of the First International Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining Meets Linked Open Data (KNOW@LOD 2012)*. (ESWC 2012), S. 25–36.
- Hienert, Daniel; Mayr, Philipp (2012): „Visualizations in Exploratory Search – A User Study with Stock Market Information“. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies*. New York, NY, USA: ACM (i-KNOW '12), S. 25:1–25:8, DOI: 10.1145/2362456.2362488. — ISBN: 978-1-4503-1242-4

## 10. Literaturverzeichnis

- Hienert, Daniel; Sawitzki, Frank; Schaer, Philipp; u. a. (2012a): „Integrating Interactive Visualizations in the Search Process of Digital Libraries and IR Systems“. In: Baeza-Yates, Ricardo A.; de Vries, Arjen P.; Zaragoza, Hugo; u. a. (Hrsg.) *Advances in information retrieval : proceedings / 34th European Conference on IR Research*. Springer (Lecture Notes in Computer Science), S. 447–450. — ISBN: 978-3-642-28996-5
- Hienert, Daniel; Schaer, Philipp; Schaible, Johann; u. a. (2011a): „A Novel Combined Term Suggestion Service for Domain-Specific Digital Libraries“. In: Gradmann, Stefan; Borri, Francesca; Meghini, Carlo; u. a. (Hrsg.) *Research and Advanced Technology for Digital Libraries*. Berlin, Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Computer Science), S. 192–203, DOI: 10.1007/978-3-642-24469-8\_21. — ISBN: 978-3-642-24468-1, 978-3-642-24469-8
- Hienert, Daniel; Wegener, Dennis; Paulheim, Heiko (2012b): „Automatic Classification and Relationship Extraction for Multi-Lingual and Multi-Granular Events from Wikipedia“. In: van Erp, Marieke; van Hage, Willem Robert; Troncy, Raphaël; u. a. (Hrsg.) *Proceedings of the Detection, Representation, and Exploitation of Events in the Semantic Web (DeRiVE 2012)*. Boston, USA (ISWC 2012), S. 1–10, DOI: urn:nbn:de:0074-902-3.
- Hienert, Daniel; Zopilko, Benjamin; Schaer, Philipp; u. a. (2011b): „Vizgr: Combining Data on a Visual Level“. In: Cordeiro, José; Filipe, Joaquim (Hrsg.) *Proceedings of the 7th International Conference on Web Information Systems and Technologies*. SciTePress (WEBIST 2011), S. 202–211.
- Hienert, Daniel; Zopilko, Benjamin; Schaer, Philipp; u. a. (2012c): „Vizgr: Linking Data in Visualizations“. In: Cordeiro, José; Filipe, Joaquim (Hrsg.) *WEBIST 2011 Selected and Revised Papers*. Berlin: Springer (Lecture Notes in Business Information Processing), S. 177–191. — ISBN: 978-3-642-28081-8
- Hienert, Daniel; Zopilko, Benjamin; Schaer, Philipp; u. a. (2011c): „Web-Based Multi-View Visualizations for Aggregated Statistics“. In: *Proceedings of the 5th International Workshop on Web APIs and Service Mashups*. New York, NY, USA: ACM (DATAVIEW '11), S. 11:1–11:8, DOI: 10.1145/2076006.2076019. — ISBN: 978-1-4503-0823-6
- Hilbert, Martin; López, Priscila (2011): „The World’s Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information“. In: *Science*. 332 (6025), S. 60–65, DOI: 10.1126/science.1200970.
- Holmquist, Lars Erik (1997): „Focus+context visualization with flip zooming and the zoom browser“. In: *CHI '97 extended abstracts on Human factors in computing systems: looking to the future*. New York, NY, USA: ACM (CHI EA '97), S. 263–264, DOI: 10.1145/1120212.1120383. — ISBN: 0-89791-926-2
- Honkela, Timo; Kaski, Samuel; Lagus, Krista; u. a. (1998): „WEBSOM - Self-Organizing Maps of Document Collections“. In: *Neurocomputing*. (21), S. 101–117, DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-2312\(98\)00039-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-2312(98)00039-3).
- Huynh, David F.; Karger, David R.; Miller, Robert C. (2007): „Exhibit: lightweight structured data publishing“. In: *Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web*. Banff, Alberta, Canada: ACM (WWW '07), S. 737–746, DOI: 10.1145/1242572.1242672. — ISBN: 978-1-59593-654-7
- Ingwersen, P.; Järvelin, K. (2007): „On the holistic cognitive theory for information retrieval: Drifting outside the border of the laboratory framework“. In: Dominic, S.; Kiss, F. (Hrsg.) *Studies in the Theory of Information Retrieval (ICTIR 2007)*, *Foundation for Information Society*. Budapest, Hungary, S. 135–147.

## 10. Literaturverzeichnis

- Inselberg, A. (1997): „Multidimensional detective“. In: *Proceedings of the 1997 IEEE Symposium on Information Visualization*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society (INFOVIS '97), S. 100–107. — ISBN: 0-8186-8189-6
- Jog, N. K.; Shneiderman, B. (1995): „Starfield visualization with interactive smooth zooming“. In: *Proceedings of the third IFIP WG2.6 working conference on Visual database systems 3 (VDB-3)*. London, UK: Chapman & Hall, Ltd., S. 3–14. — ISBN: 0-412-72170-8
- Kappe, Frank; Droschl, Georg; Kienreich, Wolfgang; u. a. (2002): „InfoSky: Eine neue Technologie zur Erforschung großer, hierarchischer Wissensräume“. In: *KnowTech 2002, 4. Konferenz zum Einsatz von Knowledge Management in Wirtschaft und Verwaltung (www.knowtech2002.de)*. Munich, Germany.
- Ke, Weimao; Borner, Katy; Viswanath, Lalitha (2004): „Major Information Visualization Authors, Papers and Topics in the ACM Library“. In: *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society (INFOVIS '04), S. 216.1, DOI: 10.1109/INFOVIS.2004.45. — ISBN: 0-7803-8779-3
- Keim, Daniel A; Barro, Helmut; Panse, Christian; u. a. (2004): „Exploring and Visualizing the History of InfoVis“. In: *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society (INFOVIS '04), S. 216.6, DOI: 10.1109/INFOVIS.2004.22. — ISBN: 0-7803-8779-3
- Keim, Daniel A. (2002): „Information Visualization and Visual Data Mining“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 8 (1), S. 1–8, DOI: 10.1109/2945.981847.
- Keskin, Can; Vogelmann, Volker (1997): „Effective visualization of hierarchical graphs with the cityscape metaphor“. In: *Proceedings of the 1997 workshop on New paradigms in information visualization and manipulation*. New York, NY, USA: ACM (NPIV '97), S. 52–57, DOI: 10.1145/275519.275531. — ISBN: 1-58113-051-1
- Kim, Jinwoo; Lee, Joeun; Choi, Dongseong (2003): „Designing emotionally evocative homepages: an empirical study of the quantitative relations between design factors and emotional dimensions“. In: *International Journal of Human-Computer Studies*. 59 (6), S. 899 – 940, DOI: 10.1016/j.ijhcs.2003.06.002.
- Kosslyn, S. M. (1989): „Understanding charts and graphs“. In: *Applied Cognitive Psychology*. 3 , S. 185–226.
- Krause, Jürgen (1996): *Visualisierung und graphische Benutzungsoberflächen*. (IZ-Arbeitsbericht Nr. 3) Arbeitsbericht Informationszentrum Sozialwissenschaften - IZ Bonn und Universität Koblenz-Landau/Institut für Informatik Koblenz.
- Kuhlen, Rainer (1995): *Informationsmarkt: Chancen und Risiken der Kommerzialisierung von Wissen*. Konstanz: UVK, Universitätsverlag. — ISBN: 3-87940-528-X
- Kumar, Vijay; Furuta, Richard; Allen, Robert B (1998): „Metadata visualization for digital libraries: interactive timeline editing and review“. In: *Proceedings of the third ACM conference on Digital libraries*. New York, NY, USA: ACM (DL '98), S. 126–133, DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/276675.276689>. — ISBN: 0-89791-965-3
- Kurosu, Masaaki; Kashimura, Kaori (1995): „Apparent usability vs. inherent usability: experimental analysis on the determinants of the apparent usability“. In: *Conference companion on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM (CHI '95), S. 292–293, DOI: 10.1145/223355.223680. — ISBN: 0-89791-755-3

## 10. Literaturverzeichnis

- Lam, H.; Bertini, E.; Isenberg, P. u. a. (2011): *Seven guiding scenarios for information visualization evaluation*. (Technical Report Nr. 2011-992-04) Department of Computer Science. University of Calgary.
- Lamping, John; Rao, Ramana; Pirollo, Peter (1995): „A focus+context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies“. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. (CHI '95), S. 401–408, DOI: 10.1145/223904.223956. — ISBN: 0-201-84705-1
- Lassila, Ora; Swick, Ralph R. (1999): *Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification*. (W3C Recommendation) W3C.
- Lavie, Talia; Tractinsky, Noam (2004): „Assessing dimensions of perceived visual aesthetics of web sites“. In: *International Journal of Human-Computer Studies*. 60 (3), S. 269–298, DOI: 10.1016/j.ijhcs.2003.09.002.
- Lee, Bongshin (2005): „Understanding research trends in conferences using PaperLens“. In: *Extended Abstracts of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems 2005*. ACM Press, S. 1969–1972, DOI: 10.1145/1056808.1057069. — ISBN: 1-59593-002-7
- Lewandowski, Dirk (2005): *Web information retrieval*. Frankfurt am Main: Deutsche Gesellschaft für Informationswissenschaft und Informationspraxis. — ISBN: 3-925474-55-2
- Liu, Zhicheng; Nersessian, Nancy; Stasko, John (2008): „Distributed Cognition as a Theoretical Framework for Information Visualization“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 14 (6), S. 1173–1180, DOI: 10.1109/TVCG.2008.121.
- Lohse, Gerald Lee (1993): „A cognitive model for understanding graphical perception“. In: *Human-Computer Interaction*. 8 (4), S. 353–388, DOI: 10.1207/s15327051hci0804\_3.
- Lynch, Kevin (1960): *The Image of the City*. The MIT Press. — ISBN: 0262620014
- Mackinlay, Jock D.; Hanrahan, Pat; Stolte, Chris (2007): „Show Me: Automatic Presentation for Visual Analysis“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 13 (6), S. 1137–1144, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2007.70594>.
- Mackinlay, Jock D.; Robertson, George G.; Card, Stuart K. (1991): „The perspective wall: detail and context smoothly integrated“. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Reaching through technology*. New York, NY, USA: ACM (CHI '91), S. 173–176, DOI: 10.1145/108844.108870. — ISBN: 0-89791-383-3
- Mandl, Thomas (2006a): „Die automatische Bewertung der Qualität von Internet-Seiten im Information Retrieval“. (Habilitation) Universität Hildesheim, Fachbereich III - Institut für Angewandte Sprachwissenschaft.
- Mandl, Thomas (2006b): „Implementation and evaluation of a quality-based search engine“. In: *Proceedings of the seventeenth conference on Hypertext and hypermedia*. New York, NY, USA: ACM (HYPERTEXT '06), S. 73–84, DOI: 10.1145/1149941.1149957. — ISBN: 1-59593-417-0
- Marchionini, Gary (2006): „Exploratory search: from finding to understanding“. In: *Communications of the ACM*. 49 (4), S. 41–46, DOI: 10.1145/1121949.1121979.
- Marks, Linn; Hussell, Jeremy A. T; McMahon, Tamara M; u. a. (2005): „ActiveGraph: A digital library visualization tool“. In: *International Journal on Digital Libraries*. 5 (1), S. 57–69, DOI: 10.1007/s00799-004-0110-z.

## 10. Literaturverzeichnis

- Mayer, Richard E. (2005): „Cognitive Theory of Multimedia Learning“. In: Mayer, Richard E. (Hrsg.) *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge University Press, S. 31–48.
- Mayer, Richard E. (2001): *Multimedia Learning*. Cambridge University Press. — ISBN: 0521787491
- Mayr, Philipp; Petras, Vivien (2008): „Building a terminology network for search: the KoMoHe project“. In: *Proceedings of the 2008 International Conference on Dublin Core and Metadata Applications*. Dublin Core Metadata Initiative (DCMI '08), S. 117–182.
- McKeon, Matt (2009): „Harnessing the Information Ecosystem with Wiki-based Visualization Dashboards“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 15 (6), S. 1081–1088, DOI: 10.1109/TVCG.2009.148.
- Meier, Beat (1999): *Differentielle Gedächtniseffekte: Implizite und explizite Erfahrungsnachwirkungen aus experimenteller und psychometrischer Perspektive*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann (Internationale Hochschulschriften). — ISBN: 978-3-89325-741-6
- Miller, George A. (1956): „The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information“. In: *The Psychological Review*. 63 (2), S. 81–97.
- Mutschke, Peter (2001): „Enhancing Information Retrieval in Federated Bibliographic Data Sources Using Author Network Based Stratagems“. In: Constantopoulos, Panos; Sølvberg, Ingeborg T. (Hrsg.) *Proceedings of the 5th European Conference on Research and Advanced Technology for Digital Libraries*. London, UK, UK: Springer (ECDL '01), S. 287–299. — ISBN: 3-540-42537-3
- Nardi, Bonnie A.; Zamer, Craig L. (1993): „Beyond Models and Metaphors: Visual Formalisms in User Interface Design“. In: *Journal of Visual Languages and Computing*. 4 (1), S. 5–33.
- Norman, Donald A. (1999): *The invisible computer: why good products can fail, the personal computer is so complex, and information appliances are the solution*. MIT Press. — ISBN: 0-262-14065-9
- North, Chris (2005): „Information Visualization“. In: Salvendy, G. (Hrsg.) *Handbook of Human Factors and Ergonomics, 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons, S. 1222–1246.
- North, Chris (2006): „Toward Measuring Visualization Insight“. In: *IEEE Computer Graphics and Applications*. 26 (3), S. 6–9, DOI: 10.1109/MCG.2006.70.
- North, Chris; Conklin, Nathan; Indukuri, Kiran; u. a. (2002): „Visualization schemas and a web-based architecture for custom multiple-view visualization of multiple-table databases“. In: *Information Visualization*. 1 (3-4), S. 211–228, DOI: 10.1057/palgrave.ivs.9500020.
- North, Chris; Shneiderman, Ben (2000): „Snap-together visualization: a user interface for coordinating visualizations via relational schemata“. In: *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*. New York, NY, USA: ACM (AVI '00), S. 128–135, DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/345513.345282>. — ISBN: 1-58113-252-2
- Olston, Christopher; Chi, Ed H. (2003): „ScentTrails: Integrating browsing and searching on the Web“. In: *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*. 10 (3), S. 177–197, DOI: 10.1145/937549.937550.
- Paivio, Allan (1986): *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford University Press (Oxford Psychology Series). — ISBN: 0195066669, 9780195066661

## 10. Literaturverzeichnis

- Peterson, Lloyd; Peterson, Margaret Jean (1959): „Short-term retention of individual verbal items.“. In: *Journal of Experimental Psychology*. 58 (3), S. 193–198, DOI: 10.1037/h0049234.
- Petras, Vivien (2005): „How one word can make all the difference - using subject metadata for automatic query expansion and reformulation“. In: *Working Notes for the CLEF 2005 Workshop, 21–23 September, Vienna, Austria*.
- Pinker, Steven (1990): „A theory of graph comprehension“. In: Feedle, R. (Hrsg.) *Artificial Intelligence and the future of testing*. Lawrence Erlbaum Associates Inc, S. 73–126. — ISBN: 0-8058-0117-0
- Pirolli, Peter; Card, Stuart K. (1999): „Information Foraging“. In: *Psychological Review*. 106 , S. 643–675.
- Pirolli, Peter; Rao, Ramana (1996): „Table lens as a tool for making sense of data“. In: *Proceedings of the workshop on Advanced visual interfaces*. New York, NY, USA: ACM (AVI '96), S. 67–80, DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/948449.948460>. — ISBN: 0-89791-834-7
- Plaisant, Catherine (2004): „The challenge of information visualization evaluation“. In: *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*. New York, NY, USA: ACM (AVI '04), S. 109–116, DOI: 10.1145/989863.989880. — ISBN: 1-58113-867-9
- Prud'hommeaux, Eric; Seaborne, Andy (2008): *SPARQL Query Language for RDF*. W3C.
- Ratwani, Raj M.; Trafton, Gregory J.; Boehm-Davis, Deborah A. (2008): „Thinking graphically: Connecting vision and cognition during graph comprehension“. In: *Journal of Experimental Psychology: Applied*. 14 (1), S. 36–49.
- Reas, Casey; Fry, Benjamin (2003): „Processing: a learning environment for creating interactive Web graphics“. In: *ACM SIGGRAPH 2003 Sketches & Applications*. New York, NY, USA: ACM (SIGGRAPH '03), S. 1–1, DOI: 10.1145/965400.965440.
- Rekimoto, Jun; Green, Mark (1993): „The Information Cube: Using Transparency in 3D Information Visualization“. In: *Proceedings of the Third Annual Workshop on Information Technologies & Systems*. (WITS'93), S. 125–132.
- Van Rijsbergen, C. J. (1979): *Information retrieval*. 2d ed. Butterworths, London ; Boston : — ISBN: 0408709294
- Robertson, George G.; Mackinlay, Jock D.; Card, Stuart K. (1991): „Cone Trees: animated 3D visualizations of hierarchical information“. In: *CHI '91: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM, S. 189–194.
- Rosling, Hans (2007): „Visual technology unveils the beauty of statistics and swaps policy from dissemination to access“. In: *Statistical Journal of the IAOS: Journal of the International Association for Official Statistics*, IOS Press. 24 (1-2), S. 103–104.
- Russell, Daniel M.; Stefik, Mark J.; Pirolli, Peter; u. a. (1993): „The cost structure of sensemaking“. In: *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM (CHI '93), S. 269–276, DOI: 10.1145/169059.169209. — ISBN: 0-89791-575-5
- Schierl, Thomas (2001): *Text und Bild in der Werbung: Bedingungen, Wirkungen und Anwendungen bei Anzeigen und Plakaten*. Halem. — ISBN: 9783931606312

## 10. Literaturverzeichnis

- Schnotz, Wolfgang (2005): „An Integrated Model of Text and Picture Comprehension“. In: Mayer, Richard E. (Hrsg.) *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press, S. 49–67. — ISBN: 0521787491
- Schnotz, Wolfgang; Bannert, Maria (2003): „Construction and interference in learning from multiple representation“. In: *Learning and Instruction*. 13 (2), S. 141–156.
- Shen, Zeqian; Ogawa, Michael; Teoh, Soon Tee; u. a. (2006): „BiblioViz: A System for Visualizing Bibliography Information“. In: *Proceedings of Asia-Pacific Symposium on Information Visualization*. Australian Computer Society, Inc. (APVis '06), S. 93–102. — ISBN: 1-920682-41-4
- Shneiderman, Ben (1996): „The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations“. In: *Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Visual Languages*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society (VL '96), S. 336–343. — ISBN: 0-8186-7508-X
- Shneiderman, Ben (2009): „Treemaps for space-constrained visualization of hierarchies“. Abgerufen am 10.09.2012 von <http://www.cs.umd.edu/hcil/treemap-history/index.shtml>.
- Smith, Greg; Czerwinski, Mary; Meyers, Brian; u. a. (2006): „FacetMap: A Scalable Search and Browse Visualization“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 12 (5), S. 797–804, DOI: 10.1109/TVCG.2006.142.
- Snowdon, Dave; Jää-Aro, Kai-Mikael (1997): „A Subjective Virtual Environment for Collaborative Information Visualization“. In: *In: Virtual Reality Universe'97.*, S. 2–5.
- Sparacino, Flavia; Davenport, Glorianna; Pentland, Alex (1996): „City of News: cataloguing the World Wide Web through Virtual Architecture“. In: *SIGGRAPH 99, Visual Proceedings, Emerging Technologies*. Los Angeles, CA, USA (SIGGRAPH '99).
- Squire, Larry R. (1992): „Memory and the Hippocampus: A Synthesis from Findings with Rats, Monkeys, and Humans“. In: *Psychological Review*. 99 (2), S. 195–231.
- Squire, Larry R.; Knowlton, Barbara; Musen, Gail (1993): „The Structure and Organization of Memory“. In: *Annual Review of Psychology*. 44 (1), S. 453–495.
- Sweller, John (2003): „Evolution of human cognitive architecture“. In: *Psychology of Learning and Motivation*. Elsevier, S. 215–266. — ISBN: 978-0-12-543343-3
- Sweller, John (2005): „Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning“. In: Mayer, Richard E. (Hrsg.) *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press, S. 19–30. — ISBN: 0521787491
- Tractinsky, Noam (1997): „Aesthetics and apparent usability: empirically assessing cultural and methodological issues“. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM (CHI '97), S. 115–122, DOI: 10.1145/258549.258626. — ISBN: 0-89791-802-9
- Tractinsky, Noam (2005): „Does Aesthetics Matter in Human-Computer Interaction?“. In: Stary, Christian (Hrsg.) *Mensch und Computer 2005: Kunst und Wissenschaft - Grenzüberschreitung der interaktiven Art*. München: Oldenbourg Verlag, S. 29–42. — ISBN: 3-486-57805-7
- Tractinsky, Noam; Katz, Adi S.; Ikar, Dror (2000): „What is beautiful is usable“. In: *Interacting with Computers*. 13 (2), S. 127 – 145, DOI: 10.1016/S0953-5438(00)00031-X.

## 10. Literaturverzeichnis

- Tractinsky, Noam; Lowengard, Oded (2007): „Web-Store Aesthetics in E-Retailing: A Conceptual Framework and Some Theoretical Implications“. In: *Academy of Marketing Science Review [Online-Journal]*. 11 (1) .
- Trafton, J. Gregory; Kirschenbaum, Susan S.; Tsui, Ted L. u. a. (2000): „Turning pictures into numbers: extracting and generating information from complex visualizations.“. In: *International Journal of Human-Computer Studies*. 53 (5), S. 827–850.
- Trafton, J. Gregory; Marshall, Sandra P.; Mintz, Farilee; u. a. (2002): „Extracting explicit and implicit information from complex visualizations“. In: Hegarty, M.; Meyer, B.; Narayanan, H. (Hrsg.) *Proceedings of the Second International Conference on Diagrammatic Representation and Inference*. London, UK: Springer (DIAGRAMS '02), S. 206–220. — ISBN: 3-540-43561-1
- Trafton, J. Gregory; Trickett, Susan B. (2001): „A New Model of Graph and Visualization Usage“. In: Moore, J. D.; Stenning, K. (Hrsg.) *Proceedings of the twenty-third annual conference of the cognitive science society*. Mahwah, NJ: Erlbaum, S. 1048–1053.
- Tufte, Edward Rolf (1999): *Beautiful evidence*. Cheshire, Connecticut: Graphics Press. — ISBN: 9780961392178 0961392177
- Tulving, Endel (1972): „Episodic and semantic memory“. In: Tulving, Endel; Donaldson, W (Hrsg.) *Organization of memory*. New York: Academic Press, S. 381–403.
- Tulving, Endel (1985): „Memory and consciousness“. In: *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*. 26 (1), DOI: 10.1037/h0080017.
- Tulving, Endel; Schacter, Daniel L. (1990): „Priming and Human Memory Systems“. In: *Science*. 247 , S. 301–306.
- Viegas, Fernanda B.; Wattenberg, Martin; Van Ham, Frank; u. a. (2007): „ManyEyes: a Site for Visualization at Internet Scale“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 13 (6), S. 1121–1128, DOI: 10.1109/TVCG.2007.70577.
- Voorhees, Ellen M.; Harman, Donna K. (2005): *TREC: Experiment and evaluation in information retrieval*. Cambridge, Massachusetts: MIT press. — ISBN: 0262220733
- Wang Baldonado, Michelle Q.; Woodruff, Allison; Kuchinsky, Allan (2000): „Guidelines for using multiple views in information visualization“. In: *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*. Palermo, Italy (AVI '00), S. 110–119, DOI: 10.1145/345513.345271.
- Ware, Colin (2005): „Visual queries: the foundation of visual thinking“. In: Tergan, Sigmar-Olaf; Keller, Tanja (Hrsg.) Berlin, Heidelberg: Springer, S. 27–35. — ISBN: 3-540-26921-5, 978-3-540-26921-2
- White, Ryen W.; Kules, Bill; Drucker, Steven M. u. a. (2006): „Supporting Exploratory Search“. In: *Communications of the ACM*. 49 (4), S. 36–39, DOI: 10.1145/1121949.1121978.
- White, Ryen W.; Marchionini, Gary (2007): „Examining the effectiveness of real-time query expansion“. In: *Information Processing and Management*. 43 , S. 685–704, DOI: 10.1016/j.ipm.2006.06.005.
- Willett, Wesley; Heer, Jeffrey; Agrawala, Maneesh (2007): „Scented Widgets: Improving Navigation Cues with Embedded Visualizations“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 13 (6), S. 1129–1136, DOI: 10.1109/TVCG.2007.70589.

## 10. Literaturverzeichnis

- Wittrock, Merlin C. (1989): „Generative processes of comprehension“. In: *Educational Psychologist*. 24 (4), S. 345–376.
- Wolff, Christian (1996): *Graphisches Faktenretrieval mit Liniendiagrammen*. Konstanz: Universitätsverlag Konstanz (Schriften zur Informationswissenschaft). — ISBN: 3-87940-562-X
- Wolff, Christian; Womser-Hacker, Christa (1997): „Graphisches Faktenretrieval mit vager Anfrageinterpretation“. In: *Theorien, Modelle und Implementierungen integrierter elektronischer Informationssysteme*. Konstanz, S. 251–264.
- Wong, Pak Chung; Hetzler, Beth; Posse, Christian; u. a. (2004): „IN-SPIRE InfoVis 2004 Contest Entry“. In: *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society (INFOVIS '04), S. 216.2–, DOI: 10.1109/INFOVIS.2004.37. — ISBN: 0-7803-8779-3
- Wong, William; Chen, Raymond; Kodagoda, Neesha; u. a. (2011): „INVISQUE: intuitive information exploration through interactive visualization“. In: *Proceedings of the 2011 annual conference extended abstracts on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM (CHI EA '11), S. 311–316, DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1979742.1979720>. — ISBN: 978-1-4503-0268-5
- Wood, Jo; Dykes, Jason; Slingsby, Aidan; u. a. (2007): „Interactive Visual Exploration of a Large Spatio-temporal Dataset: Reflections on a Geovisualization Mashup“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 13 (6), S. 1176–1183, DOI: 10.1109/TVCG.2007.70570.
- Zapilko, Benjamin; Sure, York (2009): *Converting TheSoz to SKOS*. (Technical Report Nr. 2009/07) Bonn: GESIS – Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften.

## Anhang A: Lebenslauf

### Daniel Hienert

Diplom-Informatiker

\*31. Oktober 1978 in Boppard

Römerstr. 78c

56073 Koblenz

daniel.hienert@gesis.org

**1989 - 1998**

### Schulbildung

Kant-Gymnasium Boppard, Abschluss Abitur

**10/1998 - 08/1999**

### Zivildienst

Zivildienst in den Loreley-Kliniken St. Goar/Oberwesel

**10/1999 - 08/2005**

### Studium

Studium der Computervisualistik an der Universität Koblenz-Landau

**09/2003 - 02/2004**

### Auslandssemester

Auslandssemester in Lissabon/Portugal an der Universität Nova de Lisboa

**08/2005**

### Studiumabschluss

Studiumabschluss als Diplom-Informatiker mit der Note „1,8“

**08/2005**

### Diplomarbeit

Diplomarbeit mit dem Thema „Musikproduktion in Augmented Reality“ mit der Note „1,3“

**10/2005 - 10/2007**

### Zweitstudium

im Bachelorstudiengang Italienisch/BWL an der Humboldt-Universität zu Berlin

**07/2001 - 08/2003**

### Praktische Tätigkeit während des Studiums

Wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Computervisualistik, Koblenz

**08/2006 - 06/2007**

Studentische Hilfskraft am Informationszentrum Sozialwissenschaften, Bonn

**Seit 10/2007**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei GESIS – Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften, Köln

**Seit 07/2011**

Aufnahme in den Doktorandenstatus des Fachbereichs 4 der Universität Koblenz-Landau, Koblenz

## Veröffentlichungen

- Schaer, Philipp; Hienert, Daniel; Sawitzki, Frank; Wira-Alam, Andias; Lüke, Thomas (2012): Dealing with sparse document and topic representations: Lab Report for CHiC 2012. In: Forner, Pamela; Karlgren, Jussi; Womser-Hacker, Christa (Hrsg.): *CLEF 2012 Evaluation Labs and Workshop*, Online Working Notes, Rome, Italy, September 17-20, 2012, Rom
- Sawitzki, Frank; Schaer, Philipp; Hienert, Daniel (2012): „Extending aggregated search in a social sciences digital library”. In: Larsen, Birger; Lioma, Christina; De Vries, Arjen (Hrsg.): *Proceedings of Task Based and Aggregated Search Workshop (TBAS)*, collocated with ECIR 2012, Barcelona, Spain, April 1, 2012, Copenhagen: University of Copenhagen
- Hienert, Daniel; Luciano, Francesco (2012): „Extraction of Historical Events from Wikipedia“. In: Völker, Johanna; Paulheim, Heiko; Lehmann, Jens; Niepert, Mathias (Hrsg.) *Proceedings of the First International Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining Meets Linked Open Data (KNOW@LOD 2012)*. (ESWC 2012), S. 25–36.
- Hienert, Daniel; Mayr, Philipp (2012): „Visualizations in Exploratory Search – A User Study with Stock Market Information“. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies*. New York, NY, USA: ACM (i-KNOW '12), S. 25:1–25:8, DOI: 10.1145/2362456.2362488. — ISBN: 978-1-4503-1242-4
- Hienert, Daniel; Sawitzki, Frank; Schaer, Philipp; u. a. (2012a): „Integrating Interactive Visualizations in the Search Process of Digital Libraries and IR Systems.“. In: Baeza-Yates, Ricardo A.; de Vries, Arjen P.; Zaragoza, Hugo; u. a. (Hrsg.) *Advances in information retrieval : proceedings / 34th European Conference on IR Research*. Springer (Lecture Notes in Computer Science), S. 447–450. — ISBN: 978-3-642-28996-5
- Hienert, Daniel; Schaer, Philipp; Schaible, Johann; Mayr, Philipp (2011a): „A Novel Combined Term Suggestion Service for Domain-Specific Digital Libraries“. In: Gradmann, Stefan; Borri, Francesca; Meghini, Carlo; Schuldt, Heiko (Hrsg.) *Research and Advanced Technology for Digital Libraries*. Berlin, Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Computer Science), S. 192–203, DOI: 10.1007/978-3-642-24469-8\_21. — ISBN: 978-3-642-24468-1, 978-3-642-24469-8
- Hienert, Daniel; Wegener, Dennis; Paulheim, Heiko (2012b): „Automatic Classification and Relationship Extraction for Multi-Lingual and Multi-Granular Events from Wikipedia“. In: van Erp, Marieke; van Hage, Willem Robert; Troncy, Raphaël; Shamma, David A. (Hrsg.) *Proceedings of the Detection, Representation, and Exploitation of Events in the Semantic Web (DeRiVE 2012)*. Boston, USA (ISWC 2012), S. 1–10, DOI: urn:nbn:de:0074-902-3.
- Hienert, Daniel; Zapilko, Benjamin; Schaer, Philipp; Mathiak, Brigitte (2011b): „Vizgr: Combining Data on a Visual Level“. In: Cordeiro, José; Filipe, Joaquim (Hrsg.) *Proceedings of the 7th International Conference on Web Information Systems and Technologies*. SciTePress (WEBIST 2011), S. 202–211.
- Hienert, Daniel; Zapilko, Benjamin; Schaer, Philipp; Mathiak, Brigitte (2012c): „Vizgr: Linking Data in Visualizations“. In: Cordeiro, José; Filipe, Joaquim (Hrsg.) *WEBIST 2011 Selected and Revised Papers*. Berlin: Springer (Lecture Notes in Business Information Processing), S. 177–191. — ISBN: 978-3-642-28081-8
- Hienert, Daniel; Zapilko, Benjamin; Schaer, Philipp; Mathiak, Brigitte (2011c): „Web-Based Multi-View Visualizations for Aggregated Statistics“. In: *Proceedings of the 5th International Workshop on Web APIs and Service Mashups*. New York, NY, USA: ACM (DATAVIEW '11), S. 11:1–11:8, DOI: 10.1145/2076006.2076019. — ISBN: 978-1-4503-0823-6