Prof. Dr.-Ing. Matthias L. Hemmje, Dr.-Ing. Marco X. Bornschlegl

# 63412
# Informationsvisualisierung im Internet

**Lektion 1:**
**Grundlagen**

**Leseprobe**

Fakultät für
**Mathematik und Informatik**

FernUniversität in Hagen

Der Inhalt dieses Dokumentes darf ohne vorherige schriftliche Erlaubnis durch die FernUniversität in Hagen nicht (ganz oder teilweise) reproduziert, benutzt oder veröffentlicht werden. Das Copyright gilt für alle Formen der Speicherung und Reproduktion, in denen die vorliegenden Informationen eingeflossen sind, einschließlich und zwar ohne Begrenzung Magnetspeicher, Computerausdrucke und visuelle Anzeigen. Alle in diesem Dokument genannten Gebrauchsnamen, Handelsnamen und Warenbezeichnungen sind zumeist eingetragene Warenzeichen und urheberrechtlich geschützt. Warenzeichen, Patente oder Copyrights gelten gleich ohne ausdrückliche Nennung. In dieser Publikation enthaltene Informationen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden.

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... III
1 Vorbemerkungen und Lernziele ..... 4
2 Motivation und Einführung ..... 8
2.1 Der Begriff der Informationsvisualisierung ..... 8
2.2 Ursprünge und Entwicklung der Informationsvisualisierung ..... 10
2.3 Modelle zur Informationsvisualisierung ..... 11
2.4 Daten- und Datentransformationen ..... 14
2.5 Visuelle Abbildung ..... 15
2.6 Strukturabbildungen ..... 17
2.7 Attributabbildungen ..... 18
2.8 Visuelle Skalierbarkeit ..... 19
3 Visuelle Wahrnehmung und Kognition ..... 21
3.1 Ein Modell für die visuelle Informationsverarbeitung ..... 21
3.2 Elementare visuelle Wahrnehmung ..... 23
3.3 Kognitionsunterstützung und kognitive Verstärkung ..... 26
4 Interaktionen und Interaktionstechniken ..... 30
4.1 Interaktionen ..... 30
4.2 Selektionstechniken ..... 31
4.3 Navigationstechniken ..... 32
4.4 Übersicht und Detailinformationsvisualisierungstechniken ..... 33
4.5 Fokussierungstechniken ..... 34
4.6 Interaktionstechniken in multiplen Sichten ..... 36
4.7 Interaktionstechniken innerhalb der Informationsvisualisierung ..... 36
4.8 Interaktionskategorien ..... 38
5 Zusammenfassung ..... 39
6 Literaturverzeichnis ..... 40
7 Abbildungsverzeichnis ..... 43
8 Tabellenverzeichnis ..... 43
9 Lösungen der Selbsttestaufgaben ..... 44

# 1 Vorbemerkungen und Lernziele

Dies ist die erste Lektion der Lehrveranstaltung 63412 „Informationsvisualisierung im Internet“. Die adäquate Repräsentation und visuelle Präsentation von abstrakten Daten bilden eine wichtige Grundlage für deren effektive Erfassung, deren Verständnis und deren Nutzung, z. B. zum Zwecke der Information oder der Entscheidungsunterstützung. Die Verwendung geeigneter Modelle, Methoden, Visualisierungstechniken und korrespondierender technischer Standards zur Unterstützung automatisierter Informationsvisualisierung erleichtert dabei die Entwicklung von Informationsvisualisierungssoftware, von visuellen Benutzungsschnittstellen zu Informationssystemen und ganz generell von maschinenlesbaren und maschinell darstellbaren und nutzbaren Informationsvisualisierungen sowie deren Wahrnehmung, Bearbeitung, Nutzung und den Austausch zwischen Menschen, zwischen Menschen und Maschinen sowie zwischen Maschinen. Solche Grundlagen stellen ein gemeinsames Grundverständnis unabhängig von einer individuellen Ausgestaltung einer Informationsvisualisierungsanwendung sicher und ermöglichen damit auch die Realisierung interaktiver, dynamischer und damit schnell wechselnder bzw. sich schnell verändernder Anwendungen von Informationsvisualisierungen, die in unserer durch das Internet global vernetzten und sich kontinuierlich veränderten Welt immer weiter an Bedeutung gewinnen.

### Der Schwerpunkt dieser Lehrveranstaltung

Ein wichtiges Ziel der Lehrveranstaltung ist es, in die Historie, die wesentlichen Grundlagen, Methoden und Techniken sowie in die Anwendung und aktuelle Entwicklung von Informationsvisualisierungen einzuführen sowie Kenntnisse zu visuellen Benutzungsschnittstellen für Informationssysteme im Internet unter Nutzung der verschiedenen Ebenen des World Wide Web zu vermitteln. Zunächst werden allgemeine Grundlagen und Modelle für die Informationsvisualisierung sowie wesentliche Begrifflichkeiten und Methoden vorgestellt. Der Informationsvisualisierungsbegriff wird erläutert und das Referenzmodell der Informationsvisualisierung eingeführt.

Im weiteren Verlauf werden systematisch verschiedene Klassen von Informationsvisualisierungstechniken anhand von Beispielen vorgestellt und Methoden zur Evaluation von Informationsvisualisierungen erläutert, bevor sich eine Vorstellung von Informationsvisualisierungsarchitekturen und -technologien anschließt.

Durch die immense Zunahme bei Zahl, Umfang und Funktionsbereich von Informationsvisualisierungstechnologien, deren Anwendungen und deren Implementierungen beschränkt sich diese Lehrveranstaltung jedoch durch die Vermittlung rudimentärer Grundlagen von X3D auf die überblicksartige Einführung in eine bespielhafte und grundlegende Informationsvisualisierungstechnologie. Die Rasanz der Entwicklung auf diesem Gebiet erlaubt es nicht, das Material der Lehrveranstaltung immer vollumfänglich bzgl. einer und schon gar nicht bzgl. aller aktuellen Visualisierungstechnologien auf dem neuesten Stand zu halten. Das Lehrveranstaltungsmaterial

konzentriert sich daher auf den wichtigsten der aktuell gültigen W3C-Visualisierungsstandards und die Versionen davon, die in der Praxis eine grundlegende und somit wesentliche Rolle für das Verständnis der Thematik spielen. Den schnellsten Zugang zum aktuellen Stand aller Standardisierungsprojekte des W3C finden Sie über die Adresse https://www.w3.org/TR/.

### Lernziele

Das hauptsächliche Lernziel dieser Lehrveranstaltung ist der Erwerb der Kenntnisse über die konzeptuellen Grundlagen, Modelle und Methoden der Informationsvisualisierung wie auch von praktischer Kompetenz und Handlungsfähigkeit im Bereich von X3D als Codierungsstandard und damit einer relevanten aktuellen Informationsvisualisierungstechnologie im Internet. Nach Bearbeitung der Lehrveranstaltung sollten die besprochenen Konzepte und Technologien gründlich bekannt sein. Einfache Informationsvisualisierungen sollten in X3D erstellt werden können. Eine Übersicht über die zur Verfügung stehenden Modelle, Methoden und Vorgehensweisen für die Entwicklung von Informationsvisualisierungssoftware sollte bekannt sein und mit einer wesentlichen von diesen Technologien sollte auch praktische Erfahrung gesammelt werden. Die Lehrveranstaltung soll dazu befähigen, Projekte mit zu konzipieren, technisch zu betreuen und durchzuführen, die die Erstellung und Evaluation von Informationsvisualisierungssystemen im Internet zum Ziel haben.

Ein weiteres, sehr wichtiges erstes Lernziel dieser Lehrveranstaltung betrifft das Referenzmodell der Informationsvisualisierung. Das Modell soll verinnerlicht und seine Bedeutung im Kontext der Informationsgesellschaft und der automatischen Informationsverarbeitung beurteilt werden können. Nach dem Durcharbeiten der Lehrveranstaltung sollten Sie wissen, dass Informationsvisualisierungen innerhalb von unterschiedlichsten Anwendungssystemen automatisiert erstellt und bearbeitet werden können. Es soll darüber hinaus vermittelt werden, wie Internettechnologien im Bereich der Visualisierung von Information das Potenzial, welches im Referenzmodell der Informationsvisualisierung steckt, realisieren und wie diese Erkenntnisse von Ihnen auch praxisbezogen angewendet werden können.

Zu den vorgestellten Thematiken und Inhalten ist jeweils eine systematische und grundlegende Darstellung vorgesehen, die bei besonders zentralen Themen um Übersichtstabellen ergänzt wird. Daneben wird auf die Originalspezifikationen des W3C sowie auf reichlich vorhandenes tutorielles Material im Internet selbst verwiesen. Die in der Lehrveranstaltung eingeführten Informationsvisualisierungsmethoden und -technologien werden im Text ausführlich durch Beispiele illustriert. Jedes Beispiel ist für sich lauffähig. Der Code wird in elektronischer Form zur Verfügung gestellt, sodass dieser ausprobiert und auch selbst modifiziert werden kann. Darüber hinaus kann der Lernfortschritt fortlaufend anhand von in den Text eingestreuten Selbsttestaufgaben überprüft werden.

### Formalia

Um die Praxisteile dieser Lehrveranstaltung bearbeiten zu können, wird ein Arbeitsplatzrechner mit Internetzugang benötigt. Darüber hinaus benötigen Sie Grundkenntnisse im Umgang mit einem Betriebssystem und Sie sollten die Möglichkeit haben, mit einem Texteditor einfache X3D-codierte Textdokumente im ASCII-Format zu erstellen bzw. zu bearbeiten und abzuspeichern. Als Texteditoren kommen Programme wie Notepad, vi, Edit oder Emacs infrage. Bitte aktualisieren Sie auch Ihren

Internetbrowser. Der Umgang mit Navigation und Suche im Internet wird als bekannt vorausgesetzt.

# 2 Motivation und Einführung

Dieser Text beinhaltet die erste Lektion der Lehrveranstaltung 63412 „Informationsvisualisierung im Internet“. Diese Lektion motiviert das Thema Informationsvisualisierung und führt in grundlegende Begrifflichkeiten und Eigenschaften der Informationsvisualisierung ein. Dabei stellt sie eine relevante Auswahl der Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung und Literatur zum Thema Informationsvisualisierung anhand derer historischen Entwicklung vor.

Informationsvisualisierung

Das Ziel der Informationsvisualisierung ist es, abstrakte Daten grafisch so zu repräsentieren, dass strukturelle Zusammenhänge und relevante Eigenschaften der Daten intuitiv erfasst werden können. Ein wichtiger Aspekt dabei ist, dass die Wahrnehmung, das Verständnis, die Exploration und damit insgesamt die Interaktion mit unbekannten Datenmengen unterstützt werden.

## 2.1 Der Begriff der Informationsvisualisierung

Um den Begriff der Informationsvisualisierung zu definieren, möchten wir zunächst den Begriff der *Visualisierung* definieren. Die Definition lautet wie folgt:

> *Visualisierung ist der Gebrauch von computergestützten interaktiven, visuellen Darstellungen von Daten, um deren Verständnis zu erleichtern.*

wissenschaftliche Visualisierung

Dabei wird insbesondere bei der wissenschaftlichen Visualisierung auf die Darstellung von physischen Daten, also z. B. Messwerten aus der realen Welt, eingegangen. Abb. 2-1 zeigt eine solche wissenschaftliche Visualisierung.

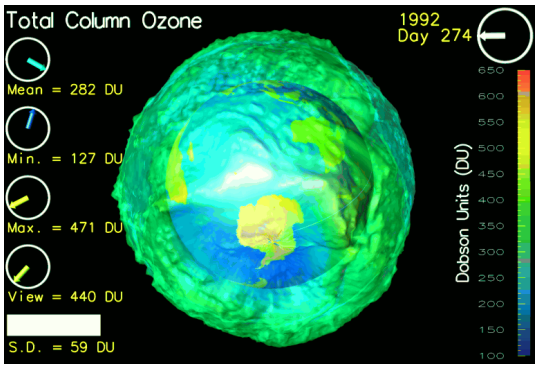



**Abb. 2-1: Beispiel: Visualisierung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre, veranschaulicht an der Erde in 3D (L. Treinish, IBM)**

Hier werden relativ zur Erdkugel, also zur Oberfläche der Erde, Ozonkonzentrationen, die in der Atmosphäre gemessen worden sind, innerhalb einer 3D-Grafik anschaulich visualisiert. Dabei wird eine Farb- und Höhencodierung verwendet, um die Messwerte anschaulich zu machen.

Im Gegensatz zu den in der Visualisierung, und besonders in der wissenschaftlichen Visualisierung, dargestellten physikalischen Daten der realen Welt, die aufgrund von

Messungen, Simulationen oder ähnlichen Methoden ermittelt wurden, definieren wir für den weiteren Verlauf der Lehrveranstaltung das Konzept der *Informationsvisualisierung* wie folgt:

> *Informationsvisualisierung ist der Gebrauch von computergestützten interaktiven, visuellen Darstellungen von abstrakten Daten, um deren Zugriff, Wahrnehmung, Interpretation und Verständnis zu erleichtern.*

Die Unterscheidung beruht dabei primär auf der Beschaffenheit der behandelten Daten. Abstrakte Daten haben naturgemäß keine physischen Erscheinungsformen und -eigenschaften wie beispielsweise geometrische Gestalt oder geografische Position.

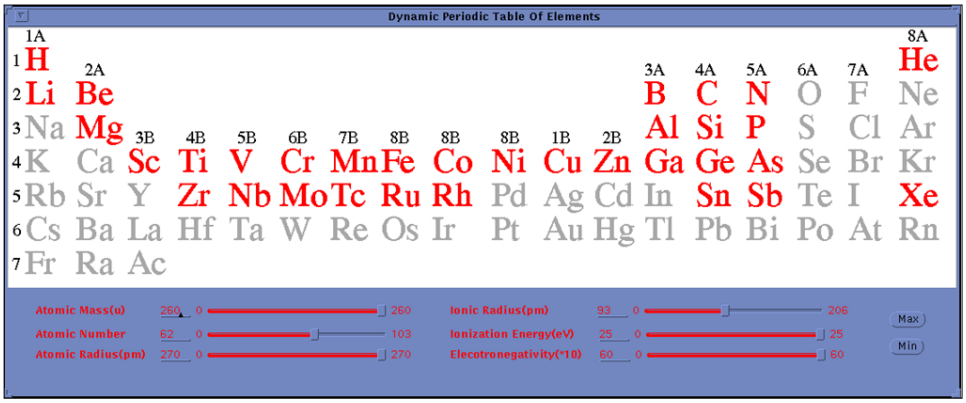



**Abb. 2-2: Beispiel zur Informationsvisualisierung: aktive Diagramme: Informationsvisualisierung basierend auf dem Periodensystem, (mit freundlicher Genehmigung des Human-Computer Interaction Laboratory (HCIL) der Universität von Maryland)**

Ein Beispiel für eine derartige Informationsvisualisierung abstrakter Daten stellt die Grafik in Abb. 2-2 zur Verfügung. Das hier dargestellte interaktive Diagramm visualisiert die Elemente des chemischen Periodensystems und erlaubt mithilfe der am unteren Bildrand sichtbaren Schieberegler, bestimmte Eigenschaften wie z. B. Atomgewicht, Anzahl der Elektronen und ähnliche eines chemischen Elementes einzustellen. Innerhalb des dargestellten Periodensystems wird dann in Tabellenform mithilfe von Farbcodierungen die Ergebnismenge derjenigen Elemente herausgehoben dargestellt, auf welche die eingestellten Eigenschaften der Anfragekonstruktions-Slider zutreffend sind. Damit leistet diese Informationsvisualisierung die Visualisierung von zwei abstrakten Datenmengen. Zum einen werden die Anfrage und deren Parameter visualisiert und zum andern werden die Ergebnismenge und deren Eigenschaften, also die Untermenge der Elemente, welche die Anfrage erfüllen, visualisiert.

**Selbsttestaufgabe 1.1:**

Handelt es sich bei den nachfolgend genannten Systemen um Anwendungen von wissenschaftlicher Visualisierung oder von Informationsvisualisierung?

1. Strömungen (IBFV)
   http://www.win.tue.nl/~vanwijk/ibfv/

2. Menschliche Anatomie (NPAC/OLDA VISIBLE HUMAN VIEWER)
   http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html

## 2.2 Ursprünge und Entwicklung der Informationsvisualisierung

Betrachtet man die Geschichte der Informationsvisualisierung, so kann man feststellen, dass es eine Visualisierung von abstrakten Datenmengen schon seit längerer Zeit gibt (s. Tabelle 2-1).

| | |
|---|---|
| 1786 | erste Arbeiten mit grafischen Mitteln |
| 1967 | Basiselemente von Diagrammen |
| 1977 | von statistischen zu dynamischen Grafiken |
| 1985 | NSF: wissenschaftliche Visualisierung |
| 1985 | Grafikhardware |
| 1989 | Informationsvisualisierung |

**Tabelle 2-1 Geschichte der Informationsvisualisierung**

Obwohl der Begriff der Informationsvisualisierung auch auf nicht-digitale Repräsentationen von Information angewendet werden kann, wird er heute eigentlich nur in Zusammenhang mit der digitalen Datenverarbeitung verwendet.

So wurden bereits 1786 erste Arbeiten im Bereich der Visualisierung von abstrakten Datensätzen mithilfe grafischer Hilfsmittel durchgeführt. Im Jahre 1967 gab es erste Veröffentlichungen im Bereich der Informationswissenschaften über die Basiselemente von Diagrammen. Diese wurden fortgeführt mit der Forschung und Beschreibung von statischen und dynamischen grafischen Komponenten für Diagramme. Innerhalb der NSF (National Science Foundation) wurde in Amerika ab dem Jahr 1985 das Konzept der wissenschaftlichen Visualisierung zum Gegenstand der Forschung in der Informatik. Denn ab diesem Zeitpunkt erlaubte es die Hardware fortgeschrittener Rechnersysteme, Visualisierungsaufgaben auch in Echtzeit zu erfüllen. Erste grafische Benutzungsoberflächen wurden entwickelt. Aber erst Ende der 80er Jahre wurde mit dem Aufkommen sehr leistungsstarker 3D-grafischer Visualisierungshardware auch in Systemen für Endbenutzende, wie Personal Computern (PC) und Workstations, der Begriff der Informationsvisualisierung in der Informatik sowie im Forschungsfeld Mensch-Maschine-Kommunikation und Informationssysteme erstmals definiert.

Zusammenfassend können wir also sagen, dass Methoden der Visualisierung von Information schon seit Langem Verwendung finden, um menschliche Denkprozesse zu unterstützen und das visuelle Wahrnehmungsvermögen zu nutzen, damit kognitive Prozesse effizienter gestaltet werden können. Dabei wurden zunächst Methoden der Visualisierung physikalischer Daten im wissenschaftlichen Bereich (Darstel-

lung von großen Messwertmengen) verwendet. Erst mit dem Aufkommen von leistungsfähiger 3D-Computergrafikhardware wurden Visualisierungsansätze auch für abstrakte Datensätze in Betracht gezogen und um Echtzeitanimations- und Interaktionsfunktionalitäten ergänzt. Damit war der Begriff Informationsvisualisierung als die Visualisierung abstrakter Daten in der grafischen Benutzungsschnittstelle zu Informationssystemen geboren.

Im weiteren Verlauf der Lektion werden wir uns nun mit einigen grundlegenden Konzepten beschäftigen, die mit dem Begriff der Informationsvisualisierung verbunden sind.

## 2.3 Modelle zur Informationsvisualisierung

Informationsvisualisierung kann im Wesentlichen als ein Abbildungsprozess verstanden werden, infolgedessen die behandelten Ursprungsdaten umgewandelt und auf visuelle Objekte sowie deren visuelle Attribute und Strukturen abgebildet werden. Für die Erzeugung von Visualisierungen müssen Daten somit in eine visuelle Form transformiert werden. Dieser Transformationsprozess ist vielschichtig und wird, wenn auch noch Interaktionen auf diese Visualisierungen angewendet werden, sehr komplex.

Um den Transformationsprozess konzeptionell zu beschreiben, haben Card et al. [Car99] das Referenzmodell der Informationsvisualisierung entwickelt (Abb. 2-3). Das Modell beschreibt von links nach rechts den Transformationsprozess von den Rohdaten über strukturierte Daten hin zu visuellen Strukturen und schließlich der Visualisierung (Sicht). Über die Sicht haben Benutzende die Möglichkeit, mit der Visualisierung zu interagieren, indem sie implizit Parameter an verschiedenen Schritten des Transformationsprozesses variieren können.

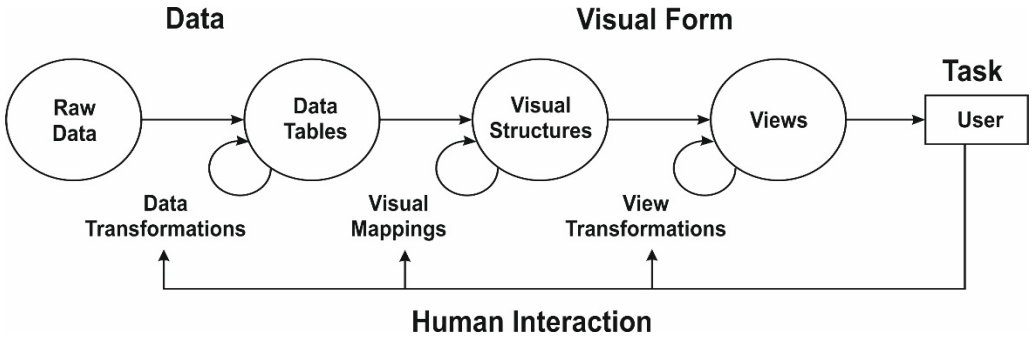



Abb. 2-3: Referenzmodell der Informationsvisualisierung [Car99]

Wie in Abb. 2-3 dargestellt, geht das Referenzmodell der Visualisierung davon aus, dass die zu visualisierende *Rohdatenmenge* als Datensatz vorliegt und dass diese Rohdatenmenge durch eine erste Zugriffsoperation auf eine Menge von strukturierten Daten für Informationsvisualisierung reduziert und strukturell vorbereitet wird.

Diese Daten werden dabei also gleichzeitig durch eine geeignete Transformation in ein geeignetes Datenmodell und ein darauf aufbauendes geeignetes *Datenschema*

mit für die Visualisierung geeigneten Eigenschaften überführt. Dieses zugrunde liegende Datenmodell und Datenschema der Informationsvisualisierung wird dann durch einen weiteren Schritt mit einem Visualisierungsmodell und einem Visualisierungsschema in Verbindung gebracht. Zu diesem Zweck werden sogenannte visuelle Abbildungen definiert, d. h., Eigenschaften der Daten werden auf Eigenschaften von visuellen Objekten abgebildet.

Die daraus entstehenden sogenannten *visuellen Strukturen* können dann weiter transformiert werden, sodass bestimmte *Sichten* auf die Visualisierungsobjekte erzeugt werden. Auf den derart generierten Ansichten von Informationsvisualisierungsszenen können die Benutzenden dann interagieren. D. h., nachdem sie den Inhalt der Sichten wahrgenommen haben, können sie Eingaben durchführen, um entweder die Sicht auf die Informationsvisualisierung zu verändern oder das Visualisierungsmodell in seinen Abbildungsfunktionen zu verändern oder die in der Visualisierung befindlichen Datensätze zu verändern.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $Variable_{x}$ | $Value_{ix}$ | $Value_{jx}$ | $Value_{kx}$ | … |
| $Variable_{y}$ | $Value_{iy}$ | $Value_{jy}$ | $Value_{ky}$ | … |
| … | … | … | … | … |

**Tabelle 2-2: Beispiel Datentabellen aus relationalen Rohdaten**

Das Referenzmodell der Informationsvisualisierung geht folglich davon aus, dass die in der Visualisierung befindlichen Datensätze in der Regel in sogenannten Datentabellen, also als relational strukturierte Rohdaten, abgelegt werden.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Case | $Case_{i}$ | $Case_{j}$ | $Case_{k}$ | … |
| $Variable_{x}$ | $Value_{ix}$ | $Value_{jx}$ | $Value_{kx}$ | … |
| $Variable_{y}$ | $Value_{iy}$ | $Value_{jy}$ | $Value_{ky}$ | … |
| … | … | … | … | … |

**Tabelle 2-3: Eingabewerte bestimmen eindeutig die Ausgabewerte**

Dabei ist es, wie in Tabelle 2-2 und Tabelle 2-3 dargestellt, wichtig, dass neben den eigentlichen Werten für die jeweils relationalen Koeffizienten-Paare auch eine Funktion existiert, mit der eindeutig durch Angabe von Eingabewerten auf Ausgabewerte in den Zellen der relationalen Rohdatentabelle zugegriffen werden kann.

Tabelle 2-4 zeigt ein konkretes Beispiel für eine solche Datentabelle mit Ein- und Ausgabevariablen. Im vorliegenden Fall sind die Eingabevariablen die Eigenschaften eines Films sowie die Identität, sprich die Nummer, einer Filminstanz. Die Ausgabevariablen sind dann jeweils die Werte der Eigenschaften des Films mit der betreffenden Identität.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Film ID | 230 | 105 | 540 | … |
| Title | Goldfinger | Ben Hur | Ben Hur | … |
| Director | Hamilton | Wyler | Niblo | … |
| Actor | Connery | Heston | Novarro | … |

| Actress | Blackman | Harareet | McAvoy | … |
|---|---|---|---|---|
| Year | 1964 | 1959 | 1926 | … |
| Length | 112 | 212 | 133 | … |
| Popularity | 7.7 | 8.2 | 7.4 | … |
| Rating | PG | G | G | … |
| Film Type | Action | Action | Drama | … |

**Tabelle 2-4: Datentabelle mit Ein- und Ausgabevariablen**

Die bei der Vorverarbeitung der Rohdaten auftretenden Transformationen werden, wie oben schon erwähnt, oft auch als Datentransformation bezeichnet. Die Transformation solcher Rohdaten in Datentabellen kann dabei den Verlust, aber auch den Gewinn, von Information nach sich ziehen. Die Transformation von Datentabellen bedeutet immer eine Veränderung der Struktur, d. h. des zugrunde liegenden relationalen Datenschemas und damit der Struktur der Wissensrepräsentation. Auch damit ist ein potenzieller *Gewinn oder Verlust an Information*, dieses Mal jedoch auf der semantischen Ebene, verbunden.

semantische Ebene

Die Benutzenden einer Informationsvisualisierung haben z. B. die Aufgabe, komplexe Zusammenhänge innerhalb von großen Datenmengen zu erkennen. Durch Interaktion mit einer Informationsvisualisierung werden sie in die Lage versetzt, andere Blickwinkel einzunehmen oder Daten in einem anderen Kontext darstellen zu lassen. Dabei wird je nach Informationsvisualisierungstechnik und zugehörigem Interaktionsmodell der Transformationsprozess innerhalb der drei Transformationsschritte ganz oder teilweise erneut durchlaufen, damit die Informationsvisualisierung aktualisiert wird.

**Selbsttestaufgabe 1.2:**

Zeichnen Sie das Referenzmodell der Visualisierung auf ein Blatt Papier!

Im Hinblick auf die Evaluation von Informationsvisualisierungstechniken ist die Erweiterung des vorgestellten Referenzmodells durch Chi und Riedel [Chi98] relevant, da diese die Daten und Transformationsschritte klarer definiert und abgrenzt. Abb. 2-4 zeigt die zu diesem Zweck eingeführte Terminologie.

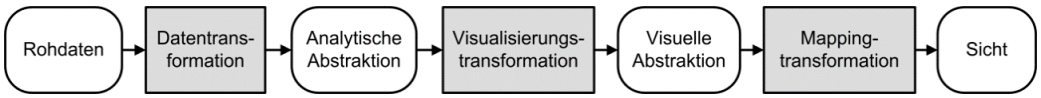



**Abb. 2-4: Datenstatusmodell in Anlehnung an [Chi98]**

Die Rechtecke mit den abgerundeten Ecken geben den Status der Daten wieder und die grauen Rechtecke geben die Transformationsschritte an. Während im ursprünglichen Modell allgemein strukturierte Daten angegeben werden, entsteht im Modell von Chi und Riedel zuerst die analytische Abstraktion und danach eine visuelle Abstraktion. Letztlich entsteht in diesem Schritt die Datenmenge, die in einer Sicht visualisiert wird.

Die analytische Abstraktion ist nach Chi und Riedel eine aus den Rohdaten transformierte Datenmenge, die u. a. Metadaten enthalten kann. Die visuelle Abstraktion enthält die Daten, die tatsächlich visualisiert werden. Diese kann im Schritt der Visualisierungstransformationen durch Strukturtransformationen, Dimensionsreduzierungen, Clustering oder andere Mechanismen entstehen. Entscheidend ist dabei, dass die analytische Abstraktion als eine Datenmenge interpretiert werden kann, die für die Lösung einer bestimmten Aufgabe notwendig ist, aber nicht notwendigerweise in der vorliegenden Form oder Gesamtheit visualisiert werden muss. Die visuelle Abstraktion ist von Relevanz, da sie zumindest die Datenstrukturabbildung festlegt und somit für eine gewisse Vergleichbarkeit zwischen Evaluationsobjekten auf dieser Ebene sorgt.

## 2.4 Daten- und Datentransformationen

Der erste Schritt auf dem Weg zu einer Informationsvisualisierung ist die Datentransformation. Hierbei werden die Rohdaten, die in beliebiger Form und Menge vorliegen können, in eine strukturierte Form gebracht. Strukturierte Form bedeutet für die Informationsvisualisierung, dass die Daten für den nächsten Transformationsschritt – die visuelle Abbildung – eine verarbeitbare Grundlage bilden. Nicht immer muss dieser Datentransformationsschritt ausgeführt werden. Messdaten physikalischer Vorgänge oder Körper sind z. B. Rohdaten, die oft schon strukturiert vorliegen. Hier ist dann oftmals keine Transformation nötig.

strukturierte Form

Die Datentransformation kann auf unterschiedlichste Weise erfolgen: Es können Rohdaten gefiltert, Untermengen gebildet, Rohdaten gruppiert oder klassifiziert werden, es können aber auch Metadaten hinzugefügt werden. Card et al. [Car99] beschreiben den Datentransformationsschritt ausführlich anhand des relationalen Datenmodells. Dabei werden beliebige Rohdaten in Datentabellen transferiert und diese Datentabellen um Metainformationen erweitert. Die beschriebenen Transformationsschritte sind vergleichbar mit der Arbeit in einem Tabellenkalkulationsprogramm. Mit dem Ziel, eine Datenmenge zu visualisieren, können von den Benutzenden Rohdaten z. B. angeordnet oder sortiert werden. Es können weiterhin Datenreihen gruppiert werden. Einzelne Datenreihen können um weitere Informationen erweitert werden, z. B. mit Spaltenüberschriften. All diese Transformationen dienen schließlich als Grundlage für die Darstellung der Rohdaten, z. B. in einem gruppierten Balkendiagramm. Ein Beispiel für die Umwandlung von Datenstrukturen zeigt die Abb. 2-5.

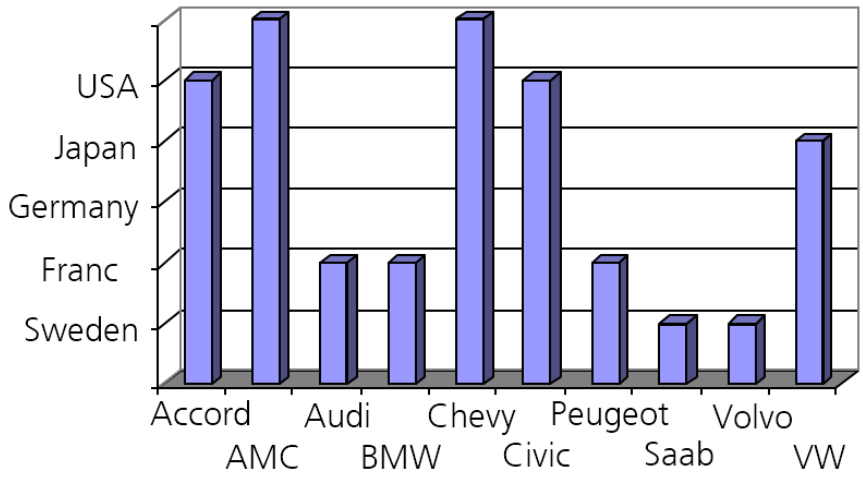



**Abb. 2-5: Datentabellen und deren Umwandlung in eine visuelle Struktur, in diesem Beispiel wird visuell eine Beziehung dargestellt, die in den Daten nicht vorhanden ist (Card, Mackinlay & Shneiderman, 1999, Seite 23)**

Hier besteht das Informationsvisualisierungsproblem im Finden einer ausdrucksstarken visuellen Abbildung für die Verkaufsgebiete von verschiedenen Fahrzeugherstellern. In dem dargestellten Beispiel drückt das Balkendiagramm eine visuelle Beziehung zwischen den Daten aus, die im Datensatz selbst so nicht vorhanden ist.

Dies liegt daran, dass hier eine Informationsvisualisierungstechnik verwendet wurde, die quantitativer Natur ist und daher die eher qualitativen Eigenschaften der Beziehung zwischen den Verkaufsgebieten und den Fahrzeugherstellern nicht abbilden kann. Ganz im Gegensatz zum eigentlichen Informationsgehalt der Datenmenge wird so bei den Benutzenden unbewusst der Eindruck vermittelt, dass es sich hier um eine quantitative Datenmenge handelt, also beispielsweise um die Absatzzahlen der Fahrzeughersteller in verschiedenen Vertriebsgebieten.

## 2.5 Visuelle Abbildung

visuelle Abbildung

Der entscheidende Schritt hin zu einer Informationsvisualisierung ist die visuelle Abbildung (engl. *mapping*). Hierbei werden strukturierte Daten, die in unterschiedlichster Form vorliegen können, in visuelle Strukturen umgewandelt. Visuelle Strukturen reichern einen räumlichen Darstellungsbereich durch grafische Symbole und grafische Eigenschaften an, um auf diese Art und Weise Information visuell zu codieren [Car99].

expressiv

effektiv

Für gegebene strukturierte Daten gibt es immer viele verschiedene mögliche visuelle Abbildungen. Es ist daher aber nicht immer leicht, eine gute visuelle Abbildung zu finden. Eine gute visuelle Abbildung ist ausdrucksfähig (expressiv). Dies bedeutet, es werden alle relevanten Informationen und nur diese angezeigt. Weiterhin ist eine gute visuelle Abbildung auch effektiv. Das bedeutet, die visuelle Abbildung nutzt die Möglichkeiten des Ausgabemediums und die visuellen Fähigkeiten des Menschen optimal aus, um Information auf visuell codierte Art und Weise visuell wahrnehmbar zu machen.

unbewusste Vorgänge
bewusste Vorgänge

Die Bearbeitung visuell codierter Informationen erfolgt dabei in zwei Kategorien von kognitiven Aktivitäten, den bewussten und den unbewussten kognitiven Vorgängen. Die bewussten Vorgänge erzeugen eine für die Benutzenden wahrnehmbare explizite kognitive Leistung und stellen damit quasi eine kognitive Belastung dar, während die unbewussten Vorgänge vom Menschen nicht bewusst als Leistung wahrgenommen werden und somit quasi scheinbar ohne jede Belastung durchgeführt werden können. Um diese Eigenschaften formal zu definieren, entwickelte Mackinlay das Konzept grafischer Sprachen [Mac86].

In den in Abb. 2-6 dargestellten Informationsvisualisierungen sind zwei visuelle Abbildungen des gleichen Datensatzes in unterschiedliche Informationsvisualisierungstechniken abgebildet.

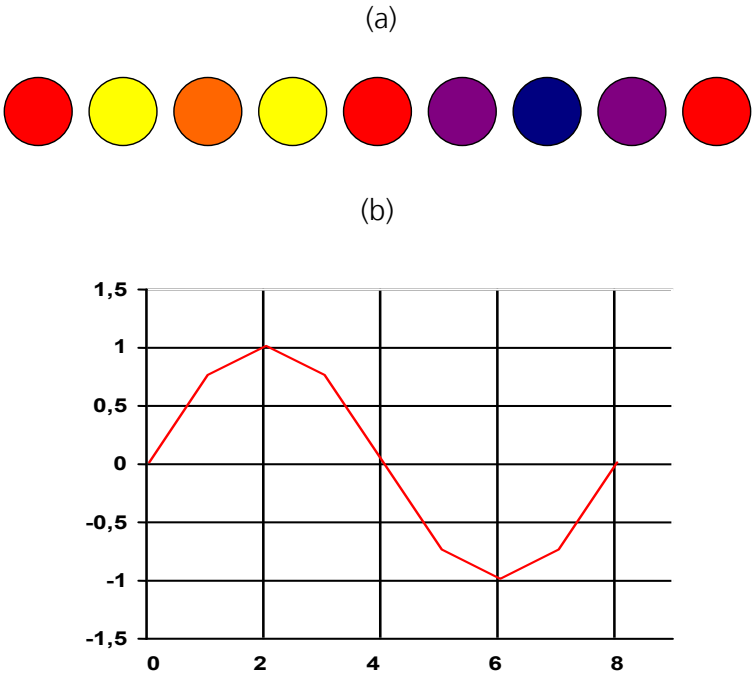



**Abb. 2-6: Datentabellen und deren Umwandlung in eine visuelle Struktur, in diesem Beispiel ist Grafik a) weniger effektiv als Grafik b) (Card, Mackinlay & Shneiderman, 1999, Seite 23)**

Im Beispiel a) wurde ein numerischer Wert auf eine Farbcodierung abgebildet, während im Beispiel b) die numerischen Werte auf ein zweidimensionales kartesisches Koordinatensystem abgebildet wurden. Dabei ist die Abbildung im Beispiel b) kognitiv effektiver als die Abbildung im Beispiel a), da die quantitativen Differenzen zwischen den Datenwerten im Beispiel b) anschaulicher, d. h., leichter wahrnehmbar und leichter verständlich dargestellt sind.

In Abb. 2-7 wird nun ein Beispiel für eine effektive Informationsvisualisierung gegeben. Hier werden die auf Datentabellen (siehe hierzu Tabelle 2-4) abgebildeten Rohdaten in Form einer modernen zweidimensionalen Visualisierung (Sankey Diagram) aufbereitet.

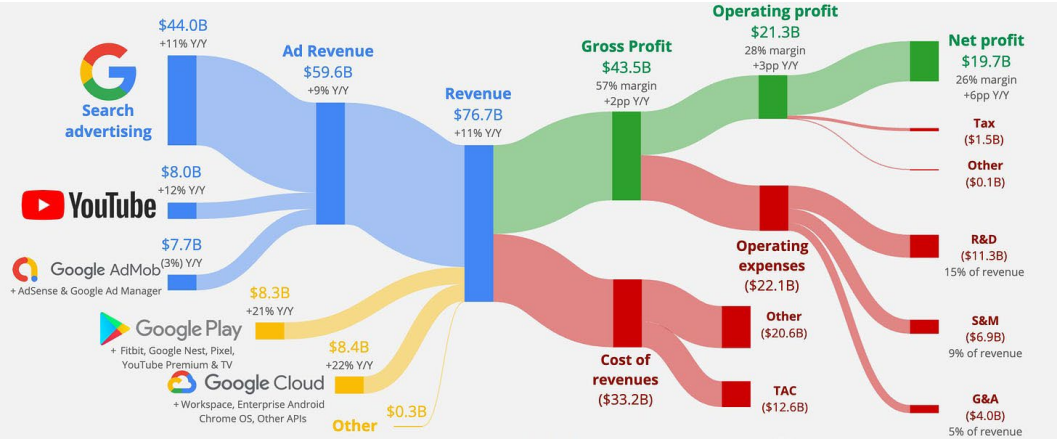



**Abb. 2-7: Beispiel: Alphabet Income Statement Q3, Fiscal Year 2023 (Sankey Diagram). Quelle: Economy Insights LLC**

Sowohl die Ausrichtung als auch die Farbcodierung sind optimal gewählt. Die zweidimensionale Darstellung in Kombination mit den unterschiedlichen Farben beschreibt den Revenue Stream (grau), die unterschiedlichen Kostenarten (rot) sowie den resultierenden Profit (grün). Die Interpretation der Geschäftszahlen kann mithilfe dieser Darstellung auf eine leicht verständliche Weise visuell wahrgenommen werden.

Visuelle Abbildungen bilden also zusammengefasst Daten und deren Struktur auf eine visuelle Repräsentation ab. Die Abbildungen zur Erstellung einer Informationsvisualisierung von Daten sollten dabei möglichst so gewählt werden, dass sowohl das Verständnis als auch die gesamte Wahrnehmung möglichst kognitiv günstig innerhalb unbewusster Prozesse des visuellen Systems abgewickelt werden können. Dazu stehen unterschiedliche visuelle Attribute zur Verfügung, die je nach den zugrunde liegenden Daten und zu erfüllenden Aufgaben eingesetzt werden können. Da oft sehr große Datenmengen visualisiert werden müssen, ist die sogenannte visuelle Skalierbarkeit eine wesentliche Eigenschaft einer visuellen Abbildung.

## 2.6 Strukturabbildungen

Der wichtigste Aspekt bei einer Strukturabbildung innerhalb einer Informationsvisualisierung ist die Verwendung eines visuellen Darstellungsraumes mit entsprechenden strukturellen Eigenschaften. Deshalb sind für das Entwickeln solcher visuellen Strukturen innerhalb von visuellen Darstellungsräumen sogenannte visuelle Darstellungsachsen relevant.

visueller Raum

Card et al. [Car99] unterscheiden diese Achsen in vier Grundtypen:

- unstrukturierte Achsen,
- nominale Achsen (eine Region ist in Unterregionen unterteilt),
- ordinale Achsen (auf den Unterregionen ist eine Ordnung definiert),
- quantitative Achsen (einer Region ist eine Metrik zugeordnet).

Weitere Unterteilungen und Spezialisierungen von Achsen sind im physikalischen Bereich möglich, z. B. über Einheiten oder geografische Koordinaten.

Neben den verschiedenen Einteilungen der Achsen können Achsen linear oder auch radial angeordnet sein. Um die Menge der Informationen zu erhöhen, die auf Achsen codiert werden können, wurden folgende Techniken entwickelt [Mac86]:

- Komposition: orthogonale Anordnung von Achsen für die Darstellung mehrdimensionaler Räume,
- Anordnung: Wiederholung einer Achse an einer anderen Position im Raum,
- Faltungen: Fortsetzung einer Achse in einer anderen orthogonalen Dimension,
- Rekursion: Wiederholte Teilung des Raumes,
- Überladen: Wiederverwendung von Raum, in dem schon andere Daten dargestellt sind.

Neben klassischen Achsen können Zusammenhänge zwischen Daten z. B. über Verbindungen und die relative Lage von Zeichen bzw. Symbolen zueinander codiert werden. Auf diese Art und Weise können hierarchische Daten und Grafen visualisiert werden. Bei Grafen besteht weiterhin die Möglichkeit, das Kantengewicht über den Abstand der Knoten oder über die grafischen Eigenschaften der Kanten (z. B. die Dicke oder die Farbe einer Kante) visuell zu codieren.

Speziell bei der Visualisierung von Grafen werden komplexe Positionierungsalgorithmen für Knoten verwendet, um ein effektives und expressives Mapping zu gewährleisten. Hierarchische Daten können bspw. mit den Strukturabbildungen der Informationsvisualisierungstechniken *Cone Tree* [Rob91], *Hyperbolic Tree* [Lam95] oder *Treemaps* [Shn92] visualisiert werden. Darüber hinaus wurden jedoch zwischenzeitlich zahlreiche weitere Informationsvisualisierungstechniken zur strukturorientierten Verwendung von visuellen Darstellungsräumen und zur Erhöhung der Größe darzustellender Informationsmenge entwickelt. In den nachfolgenden Lektionen werden wir exemplarisch weitere Beispiele vorstellen.

## 2.7 Attributabbildungen

Die zweite wesentliche Komponente bei visuellen Abbildungen ist die Verwendung von sogenannten visuellen Zeichen, Symbolen oder Markierungen. Es handelt sich hierbei um sichtbare Elemente innerhalb des visuellen Darstellungsraumes. Diese visuellen Darstellungselemente können z. B. Punkte (nulldimensional), Linien (eindimensional), Flächen (zweidimensional) oder auch Quader (dreidimensional) sein. Diese Zeichen, Symbole oder Markierungen wiederum können in räumlichen visuellen Darstellungen beliebiger Dimension verwendet werden.

Für die Wahrnehmung der Zeichen, Symbole oder Markierungen sind ihre grafischen Eigenschaften von maßgeblicher Bedeutung. Sie werden in der Literatur auch

visuelle bzw. ästhetische Attribute [Wil05] oder auch retinale Variablen [Ber74] genannt, weil sie ohne weitere kognitive Verarbeitung von der Retina verglichen werden können. Solche Attribute sind z. B. Farbe, Helligkeit, Sättigung, Form, Schraffur, Textur, Schärfe oder Orientierung. Im Zusammenhang mit computergenerierten Informationsvisualisierungen gehört auch das visuelle Attribut Bewegung zu dieser Aufzählung. Die visuellen Attribute können beliebig kombiniert werden.

retinale Variablen

visuelle bzw. ästhetische Attribute

Die charakteristischen Eigenschaften der Attribute bei ihrer Wahrnehmung sowie Regeln und Gesetzmäßigkeiten bei deren Verwendung bilden eigene Disziplinen innerhalb der kognitiven Neurowissenschaft wie z. B. die Kognitionspsychologie und die kognitive Psychophysiologie. Grundlegende Arbeiten dazu lieferte Bertin [Ber74]. Darauf aufbauend entwickelte Leland Wilkinson [Wil05] die „Grammar of Graphics". Eine tiefgehende Aufbereitung des aktuellen Standes der Forschung zur Wahrnehmung der einzelnen visuellen Attribute findet sich bei Colin Ware [War04].

## 2.8 Visuelle Skalierbarkeit

Eick und Karr [Eik02] definieren die Messbarkeit von visueller Skalierbarkeit in Form einer mathematischen Funktion. Diese beschreibt die Antworten bzw. Erkenntnisse, die mithilfe einer Informationsvisualisierungstechnik bzw. mithilfe eines Informationsvisualisierungssystems gewonnen werden können. Diese Erkenntnisse können unterschiedlich in ihrer Auswirkung und in ihrer Verwertbarkeit sein. Die Funktion wird definiert durch die zugrunde liegenden Daten und Faktoren, die die Erarbeitung von Antworten beeinflussen: **responses = F(factors, data)**

Eick und Karr [Eik02] halten jedoch auch fest, dass es nicht möglich ist, Informationsvisualisierungsmodelle zu entwickeln, die die Erkenntnisse in Abhängigkeit von den Faktoren eindeutig abbilden. Eine Ursache dafür besteht schon in der Tatsache, dass Erkenntnisse schwer quantifizierbar und messbar sind. Daher ersetzen sie die Erkenntnisse durch einfache Skalierbarkeitsmetriken:

Skalierbarkeitsmetriken

- Datenbank-Metriken: sämtliche Kennzahlen, die Größenbeziehungen in Datenbanken beschreiben, z. B. Bytes einer Tabelle, Anzahl Datenreihen und Attribute, Anzahl der Dimensionen von Datentabelle etc.,
- Informationsvisualisierungscharakteristika: im Wesentlichen die Anzahl unterscheidbarer visueller Objekte auf einem Bildschirm, z. B. die Balken eines Balkendiagramms.

Sie beschreiben weiterhin relevante Faktoren, die die Wahrnehmung bzw. Erkenntnisgewinnung beeinflussen, und diskutieren mögliche Zusammenhänge. Diese Faktoren sind:

- menschliche Wahrnehmung,
- Bildschirmauflösung,

- visuelle Metaphern (bzw. Informationsvisualisierungstechniken),
- Interaktivität,
- Datenstrukturen und Verarbeitungsalgorithmen,
- Recheninfrastruktur.

Dabei werden die Faktoren „menschliche Wahrnehmung“ sowie die „Bildschirmauflösung“ als die wesentlichen limitierenden Faktoren eingestuft.

Für den Faktor Interaktivität geben Eick und Karr klassische Interaktionstechniken wie Zooming, Panning und Selektionen an, die unabhängig von den meisten Info-Vis-Techniken sind, aber einen wesentlichen Beitrag für die Skalierung leisten. Die Faktoren Datenstruktur und Algorithmen haben unterschiedlichen Einfluss auf die Skalierbarkeit in Abhängigkeit von der konkreten Datenstruktur und von Interaktionen, die ausgeführt werden. Grafenoperationen können z. B. schon bei kleiner Knoten- und Kantenanzahl sehr komplex werden.

Zeitschranken der Wahrnehmung

Bei der Realisierung von Interaktionen müssen die Zeitschranken der Wahrnehmung eingehalten werden was ebenfalls zu hohen Rechenaufwänden führt. In diesem Zusammenhang wird der Faktor Recheninfrastruktur in die beschränkenden Faktoren CPU-Leistung, Datenzugriffszeiten, Netzwerkgeschwindigkeit und Rendering-Rate zerlegt. Für den gesamten Faktorenblock wurde von Wegman [Weg95] eine ausführliche Komplexitätsanalyse von Algorithmen zum Zeichnen von Informationsvisualisierungen und von Clusteringalgorithmen durchgeführt. Sie zeigt, dass die Komplexität von Algorithmen zur Datenaggregation z. B. durch Clustering, Diskriminanzanalyse und Hauptkomponentenanalyse (PCA) so groß ist ($O(n^{3/2})$ oder $O(n^2)$), dass sie problematisch für die abgeschätzte Größenordnung $10^6$ für wahrnehmbare Pixel sein kann (Annahme: 1 Pixel = 1 Datenelement).

Um die visuelle Skalierbarkeit zu erhöhen, stellen Eick et al. [Eik02]Optimierungen vor, von denen hier nur einige aus den Bereichen visuelle Abbildung und Interaktion exemplarisch erwähnt werden sollen:

- farbcodierte gestapelte Balkendiagramme zur Erhöhung der darstellbaren Attributanzahl,
- optimierte Labelanordnung zur Vermeidung von Überlappungen,
- Erweiterung der Zoom-Möglichkeiten bis zu 200:1,
- „Water-Level“-Funktion und automatische Balkensortierung zur Optimierung von 3D-Balkendiagrammen,
- „Jittering“-Funktion zur Vermeidung von Überlappungen in Scatterplots [Cha83],
- progressive, semantische Zoom-Funktionen.

Als weitere Möglichkeit, die visuelle Skalierbarkeit zu erhöhen, stellen Eick und Karr die Data-Cube-Funktionen moderner Datenbanksysteme vor (auch unter dem Namen OLAP-Cubes bekannt), bei denen indizierte Zellen durch Aggregation (Sum-

menbildung, Mittelwertbestimmung etc.) zusammengefasst werden. Die Aggregationen können weiterhin auch hierarchisch zusammengefasst werden.

atomare Visualisierungen

aggregierte Visualisierungen

Ähnlich wie Eick und Karr stellt Shneiderman [Shn08] die mögliche, aber beschränkte Skalierung von Informationsvisualisierungen anhand der Bildschirmauflösung vor. Er unterscheidet in ähnlicher Weise atomare Visualisierungen, bei denen ein visuelles Objekt genau einen Datensatz repräsentiert, und aggregierte Visualisierungen, bei denen ein visuelles Objekt tausende Datensätze repräsentieren kann. Aggregierte Visualisierungen haben großes Skalierbarkeitspotenzial, da es für die kognitive Verarbeitung einer Datenbanktabelle mit $r$ Datenreihen (*engl. rows*) und $a$ Spalten (bzw. Attributen) notwendig ist, $a(a-1)/2$ paarweise Relationen zu verstehen. Dabei ist die Analyse von aggregierten Werten unabhängig von $n$. Als eine Spezialform der aggregierten Visualisierungen werden die Density-Plots vorgestellt, bei denen nicht nur Aggregierungen visualisiert werden, sondern auch Häufungen von visuellen Objekten. Daher können diese Visualisierungen auch als zweidimensionale Histogramme interpretiert werden.

# 3 Visuelle Wahrnehmung und Kognition

erweitertes Referenzmodell der Visualisierung

Um Wahrnehmungs- und Kognitionsaspekten ein stärkeres Gewicht zu geben, wurde von unterschiedlichen Autorinnen und Autoren das Referenzmodell der Visualisierung erweitert. Dabei wurden eine allgemeine Wahrnehmungs- und Kognitionskomponente sowie eine abstrakte Wissenskomponente (Abb. 3-1) eingefügt.

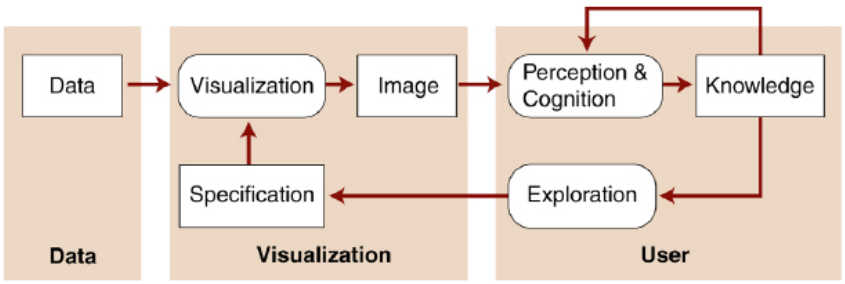



**Abb. 3-1: Erweitertes Referenzmodell der Visualisierung [Joh06, Wij05]**

Diese Komponenten betrachten grundsätzlich Fragestellungen anderer Wissenschaften, stehen aber im engen Zusammenhang mit der Informationsvisualisierung. Daher soll in diesem Abschnitt ein grober Überblick über elementare Wahrnehmungsaspekte gegeben werden. Dazu wird zuerst ein allgemeines Modell zur Informationsverarbeitung vorgestellt und danach auf spezifische Aspekte eingegangen.

## 3.1 Ein Modell für die visuelle Informationsverarbeitung

Im Folgenden wird ein vereinfachtes Informationsverarbeitungsmodell der menschlichen Wahrnehmung eingeführt. An der gesamten kognitiven Verarbeitung sind weitaus mehr Subsysteme beteiligt, als hier dargestellt. Ein generalisiertes Modell ist

jedoch oft hilfreich, um mit tiefergehenden Analysen zu beginnen [War04] (siehe Abb. 3-2).

***Phase 1: Paralleles Extrahieren von einfachen Eigenschaften der visuellen Szene***

Visuelle Informationen werden von großen Feldern von sogenannten Neuronen im Auge und im primären visuellen Cortex verarbeitet. Spezielle Neuronen sind auf bestimmte Informationen eingestellt, wie z. B. Kantenausrichtung oder Farben von punktuellem Licht. In der ersten Phase arbeiten Milliarden von Neuronen parallel und extrahieren simultan Merkmale des visuellen Feldes. Diese parallele Verarbeitung erfolgt unbewusst und unabhängig davon, auf was sich der Mensch aktiv konzentriert. Die Charakteristiken der ersten Phase beinhalten:

paralleles Extrahieren

- sehr schnelle, parallele Verarbeitung,
- Extrahieren von Merkmalen, Orientierungen, Farben, Texturen und Bewegungen,
- transiente Natur der Informationen, die kurz in einem speziellen Teil des Gedächtnisses gehalten werden („iconic store"),
- bottom-up- und datengesteuertes Modell der Verarbeitung.

***Phase 2: Musterwahrnehmung***

Schnelle aktive Prozesse zerlegen das visuelle Feld in Regionen und einfache Muster wie z. B. kontinuierliche Konturen, Regionen gleicher Farbe oder Textur. Die Phase ist sehr flexibel und wird von der großen Datenmenge aus Phase 1 sowie von Top-down-Handlungen, die aktiv gesteuert werden, beeinflusst. Aktuelle Forschungen vermuten eine Unterteilung der beteiligten Systeme dieser Phase in ein Bewegungs- und Aktionssystem („*action system*") und ein System für symbolische Objektmanipulation („*what system*"). Die Charakteristiken der zweiten Phase beinhalten:

Musterwahrnehmung

- langsamere serielle Verarbeitung,
- Einbeziehen des Arbeits- und Langzeitgedächtnisses,
- mehr Betonung arbiträrer Aspekte der Symbolerkennung,
- Kombination von Bottom-up- und aktiver Top-down-Verarbeitung,
- Existenz unterschiedlicher Wege für Objekterkennung und visuell gesteuerte Bewegung.

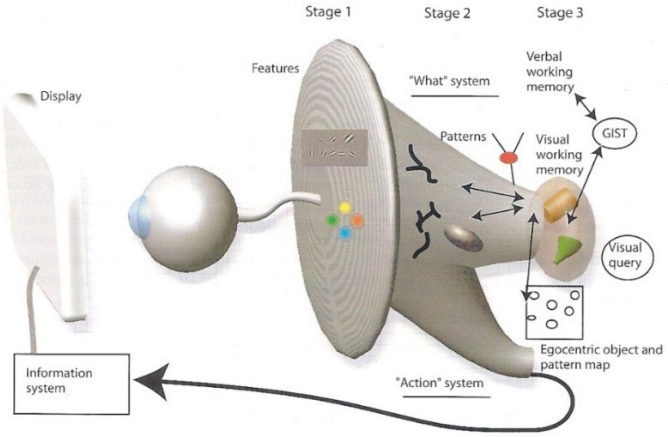



Abb. 3-2: 3-Phasen-Modell der visuellen Informationsverarbeitung [War04]

***Phase 3: Sequenzielle und zielgerichtete Verarbeitung***

sequenzielle Verarbeitung

Auf der höchsten Ebene der visuellen Wahrnehmung werden Objekte für die Anforderungen der „aktiven Aufmerksamkeit" im visuellen Arbeitsgedächtnis gehalten. Um eine Visualisierung zu benutzen, konstruiert der Mensch visuelle Abfragen, die durch visuelle Suchstrategien im Gehirn beantwortet werden. Auf dieser Ebene können nur wenige Objekte gleichzeitig gehalten werden. Diese Objekte werden aus den Mustern konstruiert und beantworten so die visuellen Abfragen. Visuelle Abfragen werden bspw. bei der Betrachtung einer Straßenkarte mit roten Linien (Hauptstraßen) zwischen zwei visuellen Symbolen (zwei Städten) gestellt.

Über die drei vorgestellten Phasen und Verarbeitungssysteme hinaus existieren Schnittstellen zu anderen Subsystemen, wie z. B. dem verbal-linguistischen System, mit dem Worte und Bilder verknüpft werden, oder dem motorischen System, das die Muskeln steuert. Für Betrachtungen im Hinblick auf die Informationsvisualisierung ist es jedoch ausreichend, die hier vorgestellten drei Phasen zu betrachten. Wichtig ist hierbei bereits die Erkenntnis, dass die einzelnen Phasen mit entsprechenden Informationsvisualisierungen so zu bedienen sind, dass z. B. die schnelle parallele Verarbeitung in Phase 1 effizient ausgenutzt werden kann.

## 3.2 Elementare visuelle Wahrnehmung

In Abschnitt 2.4 wurden visuelle Variablen zur Darstellung von Datenstrukturen und Datenattributen vorgestellt. Die Wahl der visuellen Attribute für bestimmte Datenattribute wird stark davon beeinträchtigt, wie die Anwenderinnen und Anwender die angezeigten Daten wahrnehmen und nutzen sollen. Die visuellen Variablen haben unterschiedlich starken repräsentativen Charakter in Bezug auf den Nutzungskontext. Bertin [Ber74] unterscheidet vier Gruppen von Wahrnehmungseigenschaften, die Einfluss auf die visuellen Variablen haben:

- Die assoziative Wahrnehmung beschreibt, wie stark sich eine visuelle Variable auf die Sichtbarkeit der anderen Dimensionen auswirkt.

- Die selektive Wahrnehmung beschreibt, wie gut eine bestimmte visuelle Variable ein dargestelltes Element von den anderen abgrenzt.
- Die Wahrnehmung der Anordnung einer visuellen Variable beschreibt, wie gut die Rangordnung der dargestellten Elemente zu erkennen ist.
- Die quantitative Wahrnehmung beschreibt, wie gut unterschiedlich angeordnete Elemente anhand der Menge der Unterschiede unterscheidbar sind.

Tabelle 3-1 zeigt die Einteilung der visuellen Attribute und die Eignung für spezifische Wahrnehmungseigenschaften.

| | **selektiv** | **assoziativ** | **quantitativ** | **Anordnung** |
|---|---|---|---|---|
| **Lage** | ja | ja | ja | ja |
| **Größe** | ja | nein | ja | ja |
| **Form** | nein | ja | nein | nein |
| **Wert** | ja | nein | nein | ja |
| **Farbe** | ja | ja | nein | nein |
| **Orientierung** | ja | ja | nein | nein |
| **Textur** | ja | ja | nein | nein |
| **Bewegung** | ja | ja | nein | nein |

**Tabelle 3-1: Wahrnehmungseigenschaften visueller Attribute [Ber74]**

Beim Erstellen komplexerer visueller Mappings sind diese Eigenschaften von Bedeutung, vor allem, weil sie auch kombiniert auf visuelle Zeichen angewandt werden können. Weiterhin haben visuelle Attribute unterschiedliche Eignungen für die Darstellung unterschiedlicher Datenattribute.

Die Wahrnehmung von numerischen Attributen mit unterschiedlichen visuellen Attributen konnte in einer Studie von Cleveland und McGill [Cle84] weiter präzisiert werden. Dabei mussten Probandinnen und Probanden den Prozentsatz eines Einzelwertes schätzen, der Teil eines größeren Wertes war. Die Werte waren mit unterschiedlichen visuellen Attributen dargestellt, u. a. Länge, Position und Winkel in Form von Balken- und Tortendiagrammen. Im Ergebnis waren z. B. die Positionsschätzungen 1,4- bis 2,5-fach präziser als Längenschätzungen und 1,96-fach präziser als Winkelschätzungen. Insgesamt konnte die folgende Reihenfolge für die Eignung visueller Attribute für die elementare Aufgabe aufgestellt werden:

- Position entlang einer üblichen Skala,
- Position entlang einer nicht ausgerichteten Skala,
- Länge, Richtung, Winkel,
- Fläche,
- Volumen und Krümmung,
- Schattierung und Farbsättigung.

In der ersten Phase der Informationsverarbeitung werden bei der parallelen Verarbeitung bestimmte visuelle Variablen sehr schnell identifiziert. Das geschieht, noch bevor die Aufmerksamkeit der Benutzenden aktiv auf Details ausgerichtet wird; daher wird dieser Vorgang präattentives Verarbeiten genannt (engl. *preattentive processing*). Diese präattentiven visuellen Attribute werden unabhängig vom Stresslevel einer Person verarbeitet und können im Rahmen einer Visualisierung immer dann eingesetzt werden, wenn Anwenderinnen und Anwender bestimmte Aspekte der Visualisierung vor anderen identifizieren sollen.

präattentives Verarbeiten

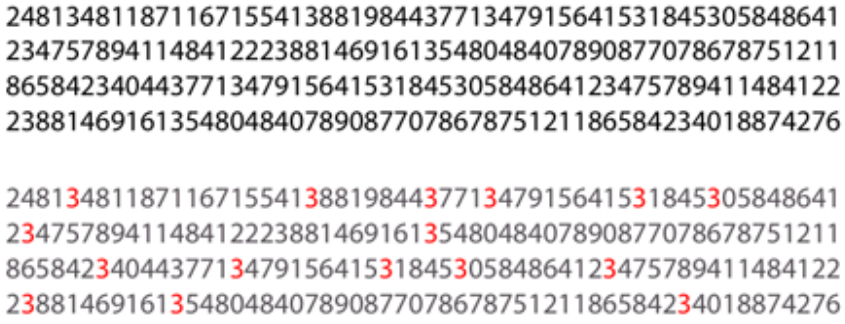



**Abb. 3-3: beispielhafte präattentive Verarbeitung durch Färbung [War04]**

Abb. 3-3 zeigt ein Beispiel, in dem im oberen Bereich eine Anordnung von Zahlen abgebildet ist. Zum Zählen der Ziffer 3 müssen zwangsweise alle Ziffern gelesen werden. Im unteren Bereich sind alle Dreien rot markiert und die restlichen Ziffern grau dargestellt. Zum Zählen müssen nun nur die roten Objekte gescannt werden. Das ist sehr schnell möglich, da das visuelle Attribut Farbe präattentiv verarbeitet wird. Allgemein muss eine Farbe, um präattentiv verarbeitet zu werden, außerhalb der konvexen Hülle der anderen genutzten Farben liegen. Details dazu und zu weiteren Aspekten der Farbverwendung finden sich im Standardwerk von Ware [War04].

Um zu erforschen, welche visuellen Attribute präattentiv verarbeitet werden können und welche nicht, wurden diverse Studien durchgeführt. Exemplarisch seien hier die Arbeiten von Treismann [Tre85, Tre86] und Healey [Hea96] erwähnt. Dabei konnten die allgemeinen visuellen Attribute Form, Farbe, räumliche Position und Bewegung in unterschiedlichen Ausprägungen extrahiert werden. Tabelle 3-2 zeigt eine Übersicht über die Ausprägungen.

| Form | Farbe | Bewegung | räumliche Position |
|---|---|---|---|
| Linienorientierung | Schattierungen | Flimmern | 2-D-Position |
| Linienlänge und –breite | Intensität | Bewegungsrichtung | stereoskopische Tiefe |
| Linienkolinearität | | | Konvexität/Konkavität |
| Größe | | | |
| Krümmungen | | | |
| räumliches Gruppieren | | | |
| hinzugefügte Zeichen | | | |

**Tabelle 3-2: Präattentive Eigenschaften und visuelle Attribute [Hea96]**

## 3.3 Kognitionsunterstützung und kognitive Verstärkung

Kognitionsunterstützung

Wenden wir uns hinsichtlich in der Informationsvisualisierung wichtiger Grundbegriffe nun zunächst dem Begriff der externen Kognition oder externen Wahrnehmungsunterstützung und *Kognitionsunterstützung* zu. Darunter versteht man die Unterstützung menschlicher „Denkleistungen".

**Abb. 3-4: Beispiel 3: Navigationsdiagramme: Alle Berechnungen der Schiffpositionen werden mithilfe eines Seefahrtdiagramms gemacht. Problem: Abbildung der runden Erde auf ein flaches Diagramm (Quelle: http://www.koelner-piraten.de)**

Das Beispiel in Abb. 3-4 zeigt eine sehr traditionelle Form der Informationsvisualisierung. Hier werden in einer Seefahrtskarte Schiffspositionen und -bewegungen eingezeichnet und machen so die Navigation einfacher. Dabei besteht ein besonderes Problem in der perspektivischen Abbildung der eigentlich dreidimensionalen, runden Erdoberfläche auf ein flaches zweidimensionales Diagramm.

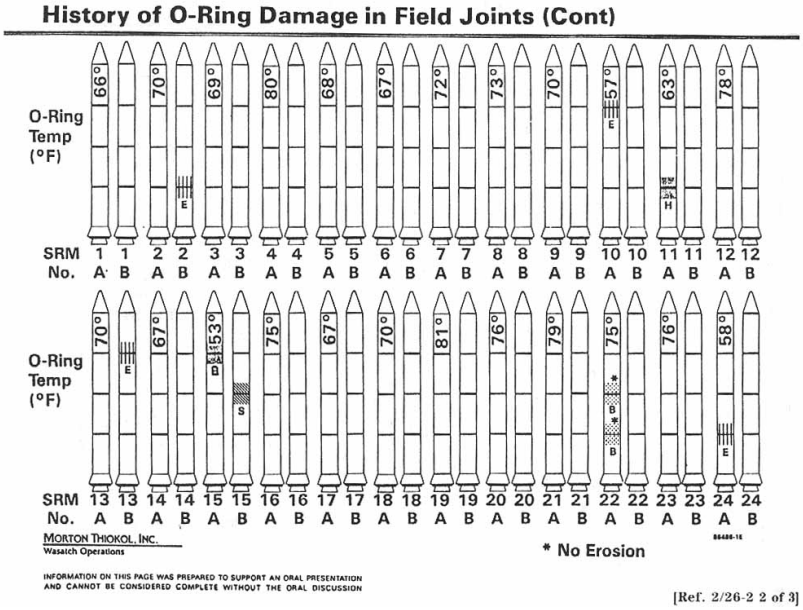



**Abb. 3-5: Beispiel 4: Diagramme: Sind nicht interaktiv, Verständnis vs. Unverständnis, Beispiel: Unfall des Spaceshuttles „Challenger"; dieses Diagramm zeigt keine klaren Sachverhalte auf (Nelson, Hagen & Muller, 1997, Vol. V, Seite 896)**

Das Beispiel in Abb. 3-5 zeigt eine Grafik, in der die Triebwerke, die beim Unfall der NASA-Raumfähre „Challenger" Verwendung fanden, auf ihre Haltbarkeit bezüglich der Dichtungsringe zwischen den verschiedenen Triebwerksstufen getestet wurden. Im Verlauf der Experimente wurden hierbei die Schäden an den Dichtungsringen bei unterschiedlichen Temperaturen aufgezeichnet. Bezüglich der zum Unfallzeitpunkt herrschenden Temperaturverhältnisse und deren Beziehung zu potenziellen Schäden an den Dichtungsringen zeigt die Darstellungsweise in diesem Diagramm jedoch keinen klaren Sachverhalt auf. Dieser Sachverhalt wird erst in der Darstellung des Diagramms in Abb. 3-6 ersichtlich.

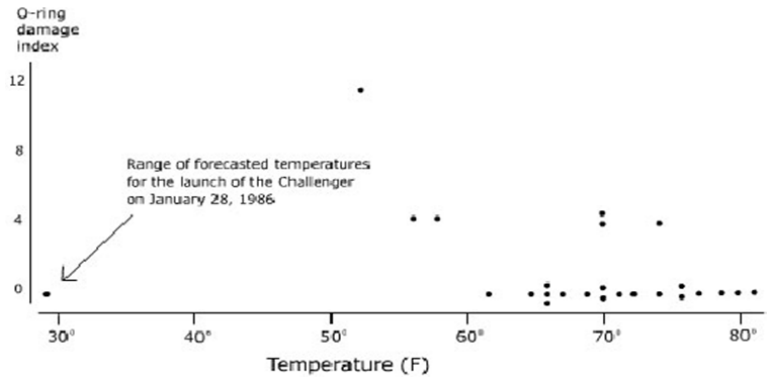
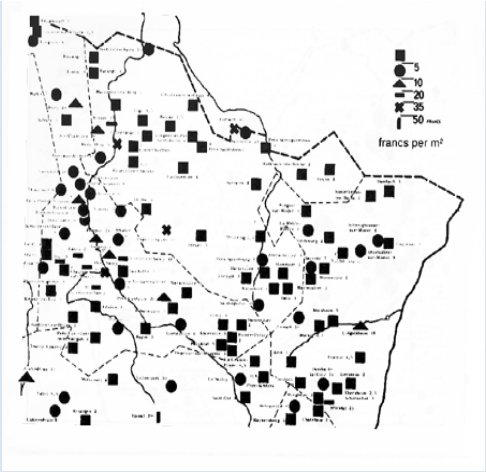


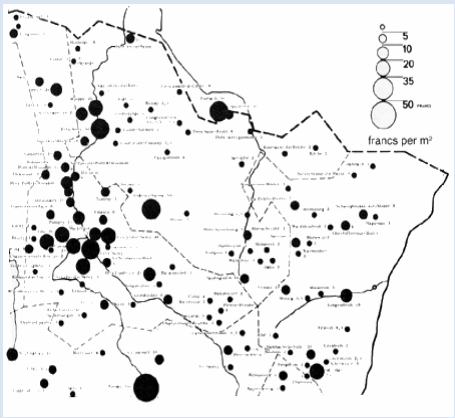

**Abb. 3-6: Scatterplot: Dieses Diagramm ist um einiges aufschlussreicher als das in der Praxis tatsächlich zum Einsatz gekommene (Tufte, 1997, Seite 45)**

Hier ist in einer zweidimensionalen sogenannten Scatterplot-Darstellung für jede Temperatur, bei der ein Schaden an einem Dichtungsring entstanden ist, ein Punkt abgetragen und die Stärke des Schadens auf der Y-Koordinate angezeigt. Wie man klar erkennen kann, befinden sich die Tests, die an den Dichtungsringen durchgeführt wurden, alle in Temperaturbereichen, die sehr weit von den eigentlichen Temperaturen, die zum Zeitpunkt des Unfalls geherrscht haben, entfernt sind. Dies bedeutet, dass die eigentliche Versuchsreihe, die zum Testen der Dichtungsringe verwendet wurde, keine validen Aussagen für die zum Zeitpunkt des Unfalls herrschenden Temperaturen liefern kann. In diesem Diagramm kann also die Informationsvisualisierung hinsichtlich dieses informationellen Sachverhaltes sehr viel effizienter eine Unterstützung zur Lösung des Problems geben.

**Selbsttestaufgabe 1.3**

Die zwei demografischen Karten stellen identische Inhalte dar, nämlich Quadratmetergrundstückspreise, einmal als „Reading-Map" (links) und einmal als „Seeing-Map" (rechts) (Barton B. F., Barton, M. S.: Modes of Power in Technical and Professional Visuals, JBTC 7.1, 1993, 138-162)




Bertin favorisiert eindeutig eine dieser beiden Darstellungen. Welche der beiden Darstellungsarten wird von Bertin wohl favorisiert?

Womit lässt sich begründen, dass eine Karte besser und die andere schlechter für die visuelle Darstellung und Vermittlung der Sachverhalte geeignet ist?

Aus welchem Grund bezeichnet Bertin die linke Darstellung als „Reading-Map“ und die rechte als „Seeing-Map“?

Wir können daraus schlussfolgern, dass die Visualisierung von Information den Menschen im Sinne des Konzeptes der externen Wahrnehmung unterstützt und somit den Benutzenden bei der Erfüllung von Aufgaben bzw. beim Lösen von Problemen informationeller Natur Unterstützung leistet. Dabei ist jedoch festzuhalten, dass es innerhalb der Informationsvisualisierung sehr viele Möglichkeiten gibt, Daten und informationelle Sachverhalte auf visuelle Darstellungen abzubilden und dass somit auch keineswegs sichergestellt ist, dass innerhalb einer Anwendung von Informationsvisualisierungsmethoden auch eine adäquate Methode für das zugrunde liegende informationelle und visuelle Abbildungsproblem verwendet wird. Das bedeutet, es gibt immer gut, weniger gut und schlecht geeignete Methoden, um Daten mit bestimmten strukturellen und sonstigen informationellen Eigenschaften auf visuelle Art und Weise darzustellen. So kann z. B. eine Darstellungsform gewählt werden, die zwar informationelle Zusammenhänge innerhalb eines Datensatzes darstellt, dabei aber genau solche Zusammenhänge visualisiert, die für das jeweilige Problem oder die Aufgabe, die zu lösen ist, nicht relevant sind und insofern keine kognitiv effektive, geschweige denn eine effiziente Unterstützung anbieten.

kognitive Verstärkung

Neben dem Begriff der externen Wahrnehmung stellt der Begriff der kognitiven Verstärkung eines der wesentlichen Konzepte zur Beschreibung der Eigenschaften von Informationsvisualisierungen innerhalb von Informationsdialogen und Informationsaktivitäten dar.

Informationsvisualisierung unterstützt die Benutzenden auch beim Suchen und Erkennen von Schemata, d. h. von Beziehungen zwischen den Daten und Datensätzen. So können z. B. Ordnungen auf den Datensätzen visualisiert werden. Es können Clustereigenschaften, Klasseneigenschaften, Durchschnittswerte, Muster und

andere abstrakte Zusammenhänge zwischen den Daten in Form eines visuellen Schemas dargestellt werden.

Die Informationsvisualisierungsunterstützung wird weiterhin neben der reinen Darstellung der Datensätze und deren Verarbeitung auch zu eher analytisch orientierten Zwecken verwendet, um die Benutzenden in einer Entscheidungssituation in die Lage zu versetzen, aus dem Datensatz die relevanten Daten zu extrahieren und sein Problem oder seine Aufgabe zu bearbeiten bzw. zu lösen.

Neben der Unterstützung der rationalen Denkprozesse, d. h. der Steigerung der kognitiven Effizienz, sind es insbesondere aber auch die zum Informationszugriff und zur Informationsgewinnung notwendigen Schritte, die kognitive Kosten verursachen.

**Abb. 3-7: Beispiel: Büroarbeitskraft (Card et al., 1999, Seite 14)**

Die Abb. 3-7 zeigt, wie am Beispiel eines Büroarbeitsplatzes Arbeitsumgebungen in der Regel bereits darauf abgestimmt sind, die Kostenstrukturen bezüglich der Speicherung, des Zugriffs und der Wiedergewinnung von Informationen in einem informationellen Arbeitskontext möglichst gering zu halten. Innerhalb eines Informationsarbeitsplatzes, sprich hier am Beispiel der Einrichtung innerhalb eines Büros, werden Informationen in primärer, sekundärer und tertiärer Speicherebene abgelegt. Informationen, mit denen im Kontext der Lösung der Aufgaben bzw. des Problems sehr häufig umgegangen werden muss, befinden sich unmittelbar im primären Zugriff des Benutzers und dessen Arbeitskontexts. In der hier verwendeten Metapher sind sie also unmittelbar auf dem Schreibtisch des Benutzers zugreifbar. An in der Nähe befindlichen Ablage- und Speicherorten werden dann weitere Dokumente und andere Informationsobjekte wie z. B. Grafiken abgelegt. In diesem sekundären Speicherbereich ist der Aufwand zum Zugriff auf die Information, die im Arbeitskontext gehalten wird, schon größer, während bereits archivierte Informationen, die in Archivkästen abgelegt sind, die höchsten Zugriffskosten verursachen. Sie liegen im tertiären Speicherbereich einer informationellen Arbeitsumgebung.

kognitive Kosten

Kostenstrukturen zur Informationsgewinnung

In ähnlicher Art und Weise kann für Informationsvisualisierungskomponenten bzw. generell für Benutzungsschnittstellen für den Zugriff auf und die Gewinnung von Information aus digital gespeicherten Informationskollektionen quasi eine Kosten-Nutzen-Funktion zur Informationsgewinnung erstellt werden.

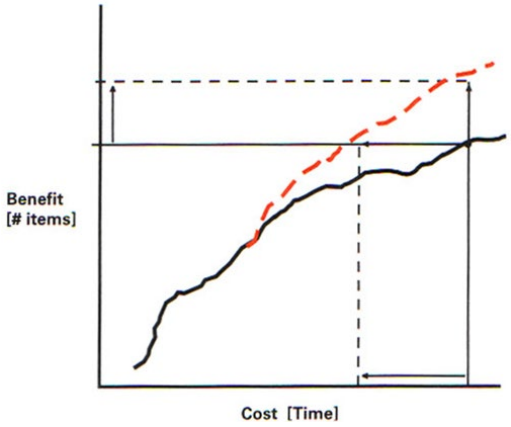



**Abb. 3-8: Cost-of-Knowledge-Characteristic-Function: kann helfen, die zeitabhängigen Kostenstrukturen von Informationsvisualisierungen zu verstehen. Beispiel: Anzahl an Dokumenten, die zu einem bestimmten Zeitpunkt gefunden wurden (Card et al., 1999, Seite 15)**

Am Beispiel in Abb. 3-8 können wir erkennen, dass hier innerhalb des Diagramms die Anzahl der gefundenen Informationsobjekte in Abhängigkeit von der Suchzeit aufgetragen ist. Dabei wird die Zeit, die bis zum Finden eines Informationsobjektes verstreicht, als Kostenfaktor interpretiert.

# 4 Interaktionen und Interaktionstechniken

Neben der visuellen Wahrnehmung von Information aus Bildern stellen Interaktionen und Interaktionstechniken ein wichtiges ergänzendes Konzept in der Informationsvisualisierung dar, um den Benutzenden die Möglichkeit zu geben, mit der Informationsvisualisierung direktmanipulativ umzugehen, also Eingaben auf die Informationsvisualisierung zu machen mit dem Ziel die Darstellung zu verändern oder den Informationsvisualisierungsprozess selbst zu steuern.

## 4.1 Interaktionen

North und Shneiderman [Nor97] definieren für die konzeptionelle Beschreibung von Interaktionstechniken ein Fenster innerhalb einer Benutzungsoberfläche, das aus der eigentlichen Sicht (engl. *view*) und einer Sammlung von Elementen (engl. *items*) innerhalb dieser Sicht besteht. Diese Bestandteile sind durch die grundlegenden Interaktionen „Selecting items“ [1] und „Navigating views“ miteinander verbunden.

Selektion von Objekten

- ***Selektion von Objekten*** (engl. *selecting items*): Eine Sicht besteht aus

[1] Im Folgenden wird anstatt item der allgemeinere Begriff Objekt verwendet.

einer Sammlung von diversen Objekten. Das können z. B. Pixel, Polygone, Knoten eines Baumes, Regionen innerhalb einer Grafik, Buchstaben oder auch Abschnitte in Texten sein. Weiterhin können zu einer Sicht Interaktionselemente wie z. B. Schieberegler oder Radio-Buttons gehören. Die Auswahl von Objekten des Informationsraumes über Interaktionselemente wird Selektion genannt.

- ***Navigieren von Sichten*** (engl. *navigating views*): Sichten enthalten viele Objekte, die aufgrund ihrer Menge nicht vollständig angezeigt oder von anderen Objekten verdeckt werden. Das Navigieren von Sichten führt dazu, nicht sichtbare Objekte anzuzeigen oder Objekte aus einer anderen Perspektive zu betrachten.

Navigieren von Sichten

Interaktionen finden also unmittelbar immer über Elemente der eigentlichen Sicht (z. B. Knoten eines Baumes, Listeneinträge etc.) oder über mittelbar spezielle Interaktionselemente der Benutzungsoberfläche statt (z. B. Pulldown-Menüs, Koordinatenachsen, Radio-Buttons etc.). Neben allgemein üblichen Interaktionselementen, wie sie allgemein aus grafischen Benutzungsoberflächen bekannt sind, wurde für die Informationsvisualisierung auch eine Vielzahl von spezielleren Interaktionselementen, wie z. B. der Range-Slider oder der Alpha-Slider, entwickelt [Ahl94].

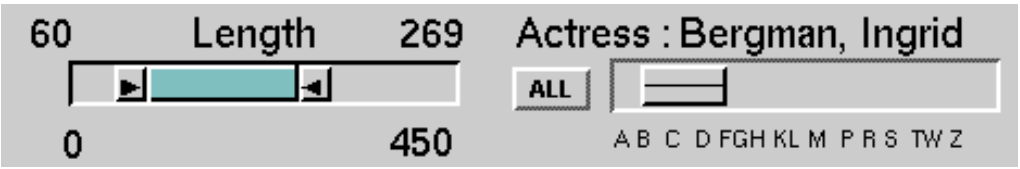



**Abb. 4-1: Range- und Alpha-Slider [Ahl94]**

Mit dem Range-Slider können so z. B. untere und obere Schranken eines Bereiches definiert werden (Abb. 4-1 links). Mit einem Alpha-Slider werden Daten beispielsweise anhand des Alphabetes direkt ausgewählt. Beide Beispiele zeigen zusätzlich, dass Interaktionselemente nicht zwingend statischer Natur sind, denn sie können in Abhängigkeit von den zugrunde liegenden Daten erstellt und nach Interaktionen (z. B. Filterungen) aktualisiert werden. Der Alpha-Slider in Abb. 4-1 bietet so z. B. keine Möglichkeit, den Buchstaben „V“ auszuwählen, da dieser nicht in der zu explorierenden Datenmenge enthalten ist. Weitere Slider-Typen werden bei Eick [Eic94] oder bei Chimera (*Valuebars*) [Chm92] vorgestellt.

## 4.2 Selektionstechniken

Im einfachsten Fall führt die Selektion eines Objektes innerhalb einer Sicht zu dessen Hervorhebung z. B. durch einen Rahmen um das zugeordnete Zeichen. Es kann nun klarer von anderen Objekten der Sicht abgegrenzt werden. Weitere Selektionstechniken sind die Filterung und die Projektion. Sie können wie folgt abgegrenzt werden:

- **Filterung:** Filter verwenden einen einzelnen Ausdruck, um einen booleschen Wert für jeden Eingabedatensatz zu berechnen. Eine Sicht stellt nur die Datensätze dar, für die dieser Wert wahr ist.

Filterung

Projektion

- **Projektion:** Projektionen hingegen verwenden einen oder mehrere Ausdrücke, um aufeinander folgende Felder jedes Eingabedatensatzes zu berechnen. Eine Sicht stellt nur die Felder aller Eingabedatensätze dar, die den Ausdrücken entsprechen.

Dynamic Queries

Ein prominentes Beispiel dieser Interaktionstechniken sind sogenannte dynamische Anfragen (engl. *dynamic queries* [Shn94]). Auf der Grundlage von relationalen Daten werden bei dieser Technik effiziente Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt, die Filterungen und Projektionen zur Folge haben. Dynamic Queries wurden in mehreren Prototypen implementiert, z. B. HomeFinder und FilmFinder [Ahl94], und sind heute bereits in vielen kommerziellen Produkten fester Bestandteil der Benutzungsoberfläche.

Linsentechniken

Eine weitere Interaktionsform, die sich der Selektionstechnik bedient, sind sogenannte Linsentechniken. Diese Techniken selektieren Objekte in Abhängigkeit ihrer x- oder y-Position und wenden dann spezielle Filter oder Projektionen an. Da multiple Linsen auch übereinander angeordnet werden können, ist es möglich, komplexe boolesche Anfragen zu generieren. Fishkin und Stone [Fis95] beschreiben ein Beispiel, in dem die Linsentechnik für die Ausführung von dynamischen Anfragen verwendet wird. Prinzipiell können auf den durch eine Linse selektierten Objekten auch Daten- oder Visualisierungstransformationen durchgeführt werden. Ein Beispiel dafür sind die sogenannten *Magic-Lenses* [Bie93, Bie94a]. Eine Taxonomie für Linsentechniken (engl. *see-through tools*) befindet sich bei Bier et al. [Bie94b].

## 4.3 Navigationstechniken

Zu den Navigationstechniken zählen Interaktionen, die von der Arbeit mit grafischen Benutzungsoberflächen von Betriebssystemen und Standardapplikationen bekannt sind. Mit Navigationstechniken können große Datenmengen exploriert werden, die nicht gleichzeitig auf einem Bildschirm dargestellt werden können. Die gängigsten Navigationstechniken werden kurz vorgestellt.

Scrolling

Panning

Scrolling (engl. *scroll*, dt. Schriftrolle) bezeichnet das Verschieben eines Bildausschnittes auf dem Bildschirm. Ursprünglich ist diese Technik für einfache Texte verwendet worden, sie kann aber auch für komplexe Daten, Listen und Grafiken verwendet werden. Speziell für Grafiken wird das Verschieben des dargestellten Bildausschnittes auch Panning (engl. *to pan,* dt. schwenken) genannt.

geometrisches Zooming

Durch sogenanntes geometrisches Zooming wird ein Bildausschnitt verkleinert oder vergrößert dargestellt. Dabei wird die Wahrnehmung für einen vergrößerten Bereich verbessert. Der vergrößerte Bereich ist dabei Ziel der Exploration. Bei einer Verkleinerung entsteht ein besserer Überblick über eine Datenmenge.

semantisches Zooming

Beim semantischen Zooming wird die Anzahl der Objekte des Informationsraumes, die dargestellt werden, reduziert oder erhöht. Im Gegensatz zum geometrischen Zooming wird dabei nicht nur die Wahrnehmung von Objekten erleichtert, sondern es wird auch effektiv mehr oder weniger Information angezeigt. Beispiele für semantisches Zooming finden sich im Informationsvisualisierungssystem *Improvise* [Wea04] und in der Implementierung des Benutzerinterfaces *Pad++* [Bed94].

Camera-Movement

Rotating

Camera-Movement drückt den Wechsel der Position des Beobachters oder der Beobachterin im dreidimensionalen Raum aus. Dies ermöglicht, eventuell Elemente zu sehen, die zuvor verdeckt wurden, oder Elemente aus einem anderen Blickwinkel zu sehen. Beim Rotating wird das zu explorierende Objekt um seine eigenen Achsen gedreht, um verdeckte Elemente sichtbar zu machen oder einen anderen Blickwinkel auf das Objekt zu erhalten. Mit *ascend/descend* (dt. auf- bzw. absteigen) wird das Ein- und Ausklappen einer Baumstruktur bezeichnet.

## 4.4 Übersicht und Detailinformationsvisualisierungstechniken

Entscheidend ist bei Übersicht-und-Detail-Informationsvisualisierungstechniken, dass eine große Datenmenge im Überblick dargestellt wird. Dabei ist es aber aufgrund beschränkter Anzeigeflächen oft nicht möglich, alle Elemente des Informationsraumes ausreichend detailliert darzustellen. Nach einer Interaktion mit der reduzierten Darstellung auf der „Overview"-Sicht werden bei dieser Technik zu einem selektierten Objekt in der Detailsicht weitere Informationen angezeigt. Die Verwendung des Überblicks ist wesentlich, weil es den Benutzenden hilft, eine schnelle Übersicht über den Informationsraum zu erhalten, den Überblick während der Exploration zu behalten und Muster im Informationsraum zu erkennen. Der Überblick macht es den Benutzenden auch möglich, gezielter zu interagieren.

Übersicht-und-Detailinformationsvisualisierungstechniken sind eng verwandt mit Zooming-Techniken. Die Detailsicht kann als vergrößerte Überblicksansicht interpretiert werden. Vor allem bei grafischen Implementierungen sind dem Zooming jedoch Grenzen gesetzt. Zoomfaktoren von 3-30 (Verhältnis der Größen von Übersicht- und Detailsicht) sind für die Wahrnehmung effektiv. Sollen größere Zoomfaktoren verwendet werden, sind Zwischensichten zu empfehlen. Solche Zwischensichten wurden z. B. bei der kommerziellen Umsetzung der Software *SeeSoft* [Eic92] von Lucent Technologies verwendet. In der Software *LifeLines* [Pla96] wurden Übersichten und semantisches Zooming kombiniert.

Charakteristisch für Übersicht- und Detailtechniken ist, dass immer ein Zielkonflikt bei der Aufteilung der Anzeigefläche zwischen Übersicht- und Detailsicht besteht. Anhand diverser Anforderungen an eine Visualisierung müssen deshalb spezifische Kompromisse gefunden werden. Für die Erstellung effektiver Visualisierungen mit Übersicht-und-Detailinformationsvisualisierungstechniken analysierten Hornbæk und

Bederson Gebrauchsmuster und unterschiedliche Ausprägungen der Technik auf Verwendbarkeit [Hor01].

## 4.5 Fokussierungstechniken

Ähnlich wie bei den Navigationstechniken wird bei den Fokussierungstechniken ein visueller Fokus auf Objekte des besonderen, respektive des augenblicklichen, Interesses gesetzt. Im Unterschied zu den Navigationstechniken ist aber in der Regel ein Überblick über alle Objekte der Visualisierung möglich. Daher werden diese Techniken auch mit „Focus + Context" bezeichnet [Car99]. Der Bereich des Visualisierungsraumes, in den der visuelle Fokus gesetzt ist, wird kurz Fokus genannt. Die Objekte, die aktuell nicht fokussiert sind, aber trotzdem dargestellt werden, sind der Kontextbereich. Im Gegensatz zu Übersicht- und Detailtechniken ist es für Fokussierungstechniken charakteristisch, dass immer der gesamte Informationsraum angezeigt wird und durch die Verschiebung des visuellen Fokus die Wahrnehmung für konkrete Informationsobjekte erleichtert wird.

Focus + Context

Entstanden sind diese Techniken durch die Beobachtung, dass die Wahrnehmung eines Informationsraumes erschwert wird, wenn zwei zusammengehörige Informationsmengen auf unterschiedlichen Sichten dargestellt werden. Eine allgemeine Hypothese, die die Verwendung von Fokussierungstechniken empfiehlt, besagt deshalb, dass die Wahrnehmung verbessert werden kann, wenn mehr periphere Informationen mit reduzierten Details in Kombination mit einem visuellen Fokus mit mehr Details dargestellt werden. Zusammenfassend ergeben sich drei Prämissen für die Entwicklung von Fokussierungstechniken [Car99]:

- Es werden beide Bereiche – Übersicht und Detail – gleichzeitig dargestellt.
- Beide Bereiche werden auf ein und derselben dynamischen Sicht dargestellt.
- Informationen, die in der Übersicht dargestellt werden, können sich von denen, die in der Detailansicht dargestellt werden, unterscheiden.

Um die peripheren Informationen im Kontextbereich reduziert darzustellen, unterscheiden Card et al. [Car99] mehrere Möglichkeiten:

- Es kann eine Filterung oder Projektion verwendet werden.
- Es können ähnliche Objekte im Kontextbereich zusammengefasst werden (engl. *selective aggregation*).
- Micro-Macro-Readings bezeichnet eine Möglichkeit, bei der viele Details in ein zusammenhängendes Ganzes zusammengefasst werden.
- Beim Highlighting, einer Sonderform des Micro-Macro-Readings, werden auf unterschiedliche Art und Weise Fokusobjekte vom Kontextbereich visuell abgegrenzt. Eine Möglichkeit ist eine Unschärfefokussierung (engl. *blurring*), bei der Kontextbereiche unscharf dargestellt werden. Eine detaillierte

Ausführung dazu befindet sich bei Kosara [Kos01]. In Abb. 4-2 lassen sich durch Blurring spezielle Spielsituationen leichter wahrnehmen.

Distorsionstechniken verwenden geometrische Verzerrungen des Visualisierungsraumes, z. B. gekrümmte Wiedergaben gerader Linien. Bei der Verwendung von Fokussierungstechniken bewirken Distorsionen relative Verzerrungen der Anzahl zugeordneter Pixel zu Informationsobjekten. Es wird also die Auflösung unterschiedlicher Bereiche für Fokus- und Kontextinformationen innerhalb der Darstellung variiert.

Fisheye-View

Eine Fisheye-View ist eine weitere Distorsionstechnik. Es handelt sich hierbei um Ausdehnungen um ein Zentrum innerhalb einer Darstellung. Sie werden zum Beispiel bei Furnas [Fur81] und Sarkar [Sar94] beschrieben. Informationsobjekte, die im Fokus der Betrachtungen stehen, werden vergrößert dargestellt. Durch die Verzerrung wird zu den Kontextobjekten ein sehr leicht wahrnehmbarer Übergang geschaffen. Abb. 4-2 rechts zeigt ein Beispiel für die Verwendung von Fisheye Views, bei dem der Link „Disney“ im Fokus steht. Weiterhin findet diese Technik auch bei den hyperbolischen Bäumen Anwendung. Eine weitere sehr ähnliche Fokussierungstechnik ist die Table-Lens.

Table-Lens

**Abb. 4-2: Unschärfefokussierung [Kos01] und Fisheye-Menu[2]**

Bifocal-Lens

Document-Lens

Das Konzept der Verwendung mehrerer Fokusbereiche wird bei Spence erstmalig unter Verwendung von zwei Fokusbereichen als sogenannte Bifocal-Lens vorgestellt [Spe82]. Eine weitere Technik, in der komplette Textdokumente auf einem Bildschirm angezeigt werden, ist die Document-Lens [Rob93]. Die jeweils fokussierte Seite eines Dokuments rückt in den Vordergrund und die restlichen Seiten des Kontextbereiches treten in den Hintergrund. Dadurch ist es z. B. möglich, Suchergebnisse auf einen Blick einzusehen und durch gezielte Interaktion die gewünschte Seite direkt auszuwählen. Eine kritische Beurteilung und Taxonomie von distorsionsorientierten Fokussierungstechniken enthält Leung [Leu94].

[2] http://www.cs.umd.edu/hcil/fisheyemenu (05.11.10)

## 4.6 Interaktionstechniken in multiplen Sichten

Die bereits vorgestellten Grundoperationen für Interaktion „Selektion von Objekten“ und „Navigieren von Sichten“ bilden eine der Grundlagen der sogenannten 2x3-Taxonomie für multiple Sichten, die von North und Shneiderman entwickelt worden ist [Nor97]. Die erste Dimension in dieser Taxonomie wird durch die Kombination der Grundoperationen beschrieben:

- Selektion von Objekten<->Selektion von Objekten,
- Navigieren von Sichten<->Navigieren von Sichten,
- Selektion von Objekten <->Navigieren von Sichten.

Die Koordination der Sichten führt zu einer engen Bindung der Sichten über die Zuordnung der Grundoperationen an die einzelnen Sichten. Die zweite Dimension unterscheidet, ob den verschiedenen Sichten identische oder verschiedene Daten zugrunde liegen. Visualisierungen mit identischen Daten unterscheiden sich nur im visuellen Mapping. Es können also identische Daten, z. B. als Balkendiagramm oder als einfache Liste, dargestellt werden. Im zweiten Fall unterscheiden sich die Daten, die den einzelnen Sichten zugrunde liegen. Die unterschiedlichen Daten stehen jedoch untereinander in Beziehung. Die Beziehung kann über identische Objekte innerhalb der Daten, über separate Daten oder einen Algorithmus hergestellt werden.

## 4.7 Interaktionstechniken innerhalb der Informationsvisualisierung

Was genau bewirkt nun aber Interaktion innerhalb einer Informationsvisualisierung? Das Referenzmodell in Abb. 4-3 (eingeführt in Abschnitt 2.3) zeigt, wie in der Informationsvisualisierung Daten über verschiedene Transformationen zu visualisierter Form gelangen. Abb. 4-3 zeigt auch, wie Interaktion an diesen drei Transformationen ansetzt und den Benutzenden über die Eingabeelemente eines Systems verschiedene Ansatzpunkte bietet, um die Parameter dieser Transformationen zu manipulieren.

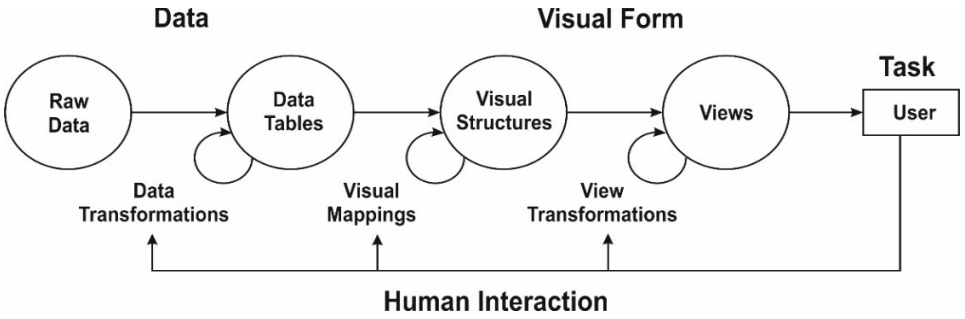



Abb. 4-3: Referenzmodell der Informationsvisualisierung

Um den Ablauf der Transformationen zu beeinflussen, die Daten innerhalb einer Informationsvisualisierung in eine visuelle Form abbilden, gibt es eine Reihe von Interaktionstechniken. Oftmals realisieren diese die Auswahl einer Teilmenge der vor-

handenen Daten bzw. beeinflussen die Darstellung auf der Grundlage eines Auswahlmechanismus über die Darstellungsparameter. Dabei können sie an den drei Transformationsstufen der Informationsvisualisierung ansetzen. Bei Interaktionen auf der Ebene der Datentransformation (engl. *data transformations*) wählen sie Daten und Attribute aus, die visualisiert werden sollen. Bei Interaktionen auf der Ebene der visuellen Abbildung (engl. *visual mappings*) wählen sie Abbildungsbeziehungen und deren Parameter, die Strukturen, durch die Daten und visuelle Darstellung in Verbindung stehen und solche Strukturen, durch die Interaktionen über Ansichtstransformationen abschließend auswählen (engl. *view transformations*), welche Daten in der aktuellen Visualisierung zu sehen sind (vgl. [Car99, S. 233 f]), aus.

Zu den **Interaktionstechniken für Datentransformationen** bei Informationsvisualisierungen von dynamischen Anfragen zählen:

- Direct Walk – die Visualisierungen der Daten sind über Links direkt miteinander verbunden und können direkt angewählt werden (z. B. in einem Browser).
- Details-on-Demand – Erweiterung einer beschränkten Darstellung eines Datensatzes um weitere Attribute, die zusätzlich visualisiert werden (z. B. Dialogmenü, Pop-up).
- Attribute-Walk – zu einem ausgewählten Datensatz können andere Datensätze mit ähnlichen Attributen gesucht werden.
- Brushing – ein Objekt kann in mehreren Visualisierungen gleichzeitig angewählt werden (z. B. repräsentieren Schieberegler und Visualisierung die gleichen Variablenwerte).
- Direct Manipulation – Parameter von Transformationen können unmittelbar verändert und angepasst werden.
- Dynamic Queries – dynamische, interaktive Suchanfragen mit Visualisierung von Datenbestand, Anfragen und Ergebnissen; Aktualisierungen der Datenauswahl durch Anfragen werden interaktiv visualisiert.

Zu den **Interaktionstechniken für visuelle Abbildungen** bei Informationsvisualisierungen von dynamischen Anfragen zählen:

- Data-Flow – Daten werden durch konkrete Darstellungen explizit visualisiert, um ihre Bedeutung und die Zusammenhänge zwischen ihnen verständlich zu machen (z. B. in Knoten-Kanten-Diagrammen).
- Pivot-Tables – Direkte Manipulation der Darstellungsstruktur für Daten auf den Reihen und Spalten einer Tabelle (z. B. bei Tabellenkalkulation).

Zu den **Interaktionstechniken für Ansichtstransformationen** bei Informationsvisualisierungen von dynamischen Anfragen zählen:

- Direct Selection – verschiedene Methoden, um Objekte auszuwählen und für den Gebrauch durch andere Aktionen hervorzuheben.
- Camera-Movement – Änderung des Betrachtungswinkels, besonders in 3D-Systemen.
- Magic-Lens – spezielle Filter, die zu komplexen Anfragen kombiniert werden können (siehe unten).
- Overview & Detail – mindestens zwei inhaltlich verbundene Visualisierungen bieten einen Überblick oder Rahmen sowie detailliertere Ansichten für eines oder mehrere Objekte.
- Zooming – Reduktion der Anzahl sichtbarer Objekte, evtl. mit Erhöhung der Anzahl der Attribute, die pro Objekt angezeigt werden.

## 4.8 Interaktionskategorien

Um die Zusammenhänge und Mechanismen von Interaktionen systematisch zu verstehen, erstellten die Autoren in [YI07] zunächst eine Liste von Interaktionstechniken. Dazu untersuchten sie diverse kommerzielle Informationsvisualisierungssysteme und 59 wissenschaftliche Veröffentlichungen. Sie analysierten auf diese Art und Weise 51 Informationsvisualisierungssysteme und sammelten dabei 311 Interaktionstechniken, die zu diesem Zeitpunkt implementiert waren. Mithilfe einer Affinitätsanalyse konnten diverse Gruppen aggregiert werden, die aber nicht robust erschienen. Auf Basis der Beobachtung, dass unterschiedliche Informationsvisualisierungstechniken unterschiedliche Interaktionstechniken verwenden, um gleiche Aufgaben auszuführen bzw. ähnliche Ziele zu erreichen, wurden die Interaktionstechniken nach Benutzungsabsicht in folgende Kategorien eingeteilt:

- Auswählen (engl. *select*): Etwas als interessant kennzeichnen;
- Erkunden (engl. *explore*): Zeige mir etwas anderes;
- Neukonfigurieren (engl. *reconfigure*): Zeige mir eine andere Anordnung;
- Entschlüsseln (engl. *encode*): Zeige mir eine andere Darstellung;
- Abstrahieren/Konkretisieren (engl. *abstract/elaborate*): Zeige mir mehr oder weniger Details;
- Filtern (engl. *filter*): Zeige mir etwas abhängig von bestimmten Bedingungen;
- Verbinden (engl. *connect*): Zeige mir zugehörige Elemente.

Auch diese Taxonomie und die Einordnung von konkreten Interaktionstechniken durch die Autoren kann nicht als vollständig angesehen werden. Ähnlich wie bei verwandten Arbeiten sind einige Interaktionstechniken nur sehr schwer zu klassifizieren und können in keine der definierten Kategorien eingeordnet werden, z. B.

das „Water-Level-Feature“ im kommerziellen InfoVis-System SeeIT[3]. Andere Interaktionstechniken können in mehrere Kategorien eingeordnet werden. Im Unterschied zu verwandten Arbeiten wurde „Vergleichen“ nicht explizit als Kategorie definiert, da es sich um ein abstraktes Benutzerziel handelt, das durch diverse kombinierte Interkationen erreicht werden kann.

# 5 Zusammenfassung

Wir fassen an dieser Stelle noch einmal abschließend Folgendes zusammen: Das Referenzmodell der Informationsvisualisierung (Abb. 2-3) besteht im Wesentlichen aus vier Phasen: An erster Stelle stehen die Exploration der Rohdaten und die Überführung derselben in relationale Datentabellen. Somit wird die Struktur der informationellen Sachverhalte zwischen Informationsobjekten und Informationsobjekteigenschaften, sprich Attributen, festgelegt. Dann erfolgt im nächsten Schritt das Übersetzen der relationalen Datentabellen in eine visuelle Struktur, d. h. die Zuordnung von Eigenschaften der Informationsobjekte auf visuelle Objekte und deren visuelle Eigenschaften. Dann folgt als nächster Schritt eine Ansichtsveränderung, die es erlaubt, eine möglichst große oder eine möglichst spezifische Datenmenge zu visualisieren, und schlussendlich die Bereitstellung von Mechanismen, die menschliche Interaktion mit der visualisierten Daten- bzw. Informationsobjektmenge erlauben.

Es kann festgehalten werden, dass die Methoden der interaktiven Informationsvisualisierung – insbesondere zur Unterstützung von strategischen Informationsaktivitäten in Informationsdialogen zwischen Informationssystemen und naiven Benutzenden – sinnvoll, flexibel und effizient einsetzbar sind, dass aber eine systematische Modell- und Methodenauswahl für eine erfolgreiche Informationsvisualisierungsanwendung von großer Bedeutung ist. Was in der Methodik der Informationsvisualisierung bereits an unterschiedlichen Klassen von Informationsvisualisierungstechniken entstanden ist, wird nun im weiteren Verlauf der Lehrveranstaltung anhand von Beispielen systematisch eingeführt und vorgestellt und darüber hinaus innerhalb der Übungen mithilfe von Aufgaben vertieft. Dies sind zunächst besonders die raumbasierten Abbildungsverfahren der vier räumlichen Informationsvisualisierungstechnikkategorien, die im Verlauf dieser ersten Lektion bereits in Auszügen anhand einzelner Beispiele vorgestellt wurden und die in der zweiten und dritten Lektion dann innerhalb einer systematischen Strukturierung und in detaillierterer Form anhand von Beispielen vorgestellt werden.

[3] http://www.advizorsolutions.com/, 01.11.2010

# 6 Literaturverzeichnis

[Ahl94] Ahlberg, C. and Shneiderman, B. 1994. Visual Information Seeking: Tight Coupling of Dynamic Query Filters with Starfield Displays, Human Factors in Computing Systems (Boston), In Proceedings of CHI, ACM Press, New York, pages 313–317.

[Bed94] Bederson, B. B., Hollan, J. D. 1994. Pad++: A Zooming Graphical Interface for Exploring Alternate Interface Physics, Proceedings of the 7th annual ACM symposium on User interface software and technology (Marina del Rey), ACM Press, New York, pages 17–26.

[Ber74] Bertin, J. 1974. „Sémiologie Graphique" Paris: Editions Gauthier-Villars 1967. Deutsche Übersetzung von Jensch, G., Schade, D., Scharfe, W.: Graphische Semiologie. Diagramme – Netze – Karten. Berlin, Walter de Gruyter.

[Bie93] Bier, E. et al. 1993. Magic Lenses. Toolglass and Magic Lenses: The See-Through Interface, In Proceedings of ACM SIGGRAPH Conference, ACM PRESS, New York, pages 73–80.

[Bie94a] Bier, E., Fishkin, K., Stone, M. C. 1994. The Movable Filter as a User Interface Tool, Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI), ACM PRESS, New York, pages 306–312.

[Bie94b] Bier, E. A., Stone, M. C., Baudel, T., Buxton, W., Fishkin, K. 1994. A taxonomy of see-through tools, In Proceedings of CHI, pages 358–364, ACM PRESS, New York

[Cha83] J. M. Chambers, W. S. Cleveland, B. Kleiner, and P. A. Tukey. 1983. Graphical Methods for Data Analysis. Wadsworth International Group, Belmont, California.

[Car99] Card, S., Mackinlay, J., Shneiderman, B.: 1999. Readings in Information Visualization. San Francisco: Morgan Kaufmann, S. 1–34.

[Chm92] Chimera, R. 1992. Value Bars: An information visualization and navigation tool for multi-attribute listings, In Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI), Addison-Wesley, pages 293–294.

[Chi98] Chi, E., Riedl, J. 1998. "An Operator Interaction Framework for Visualization Systems", In Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis98), IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, pages 63–70.

[Cle84] Cleveland, W. S. and McGill, R. 1984. Graphical Perception: Theory, Experimentation, and Application to the Development of Graphical Methods, Journal of the American Statistical Association, Vol. 79, No. 387., pp. 531–554.

[Eik02] Eick, S. G. and Karr, A. F. 2002. Visual scalability. Journal of Computational and Graphical Statistics. 11(1): 22–43.

[Eic92] Eick, S., Steffen, J., Summer, E. 1992. SeeSoft – A Tool For Visualizing Line Oriented Software Statistics, In IEEE Transactions on Software Engineering, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos,Volume 18: pages 957–968.

[Eic94] Eick, S. G. 1994. Data visualization sliders, In Proceedings of UIST'94, ACM PRESS, New York, pages 119–120.

[Fis95] Fishkin, K., Stone, M. 1995. Enhanced dynamic queries via movable filters, Proceedings of the conference on human factors in computing systems (CHI), ACM PRESS, New York, pages 23–29.

[Fur81] Furnas, G. W. 1981. The FISHEYE View: A New Look at Structured Files", Bell Laboratories Technical Memorandum, Murray Hill, New Jersey.

[Hea96] Healey, C. G. 1996. Effective Visualization of Large Multidimensional Datasets

[Hemmje99] A Multidimensional Categorization of Information Activities for Differential Design and Evaluation of Information Systems. In: GMD-Arbeitspapiere Nr. 1036, GMD – Forschungszentrum Informationstechnik, St. Augustin, December 1996

[Hor01] Hornbæk, K., Bederson, B. B., Plaisant, C. 2001. Navigation Patterns and Usability of Overview+Detail and Zoomable User Interfaces for Maps, HICL, http://hcil.cs.umd.edu/trs/2001-11/2001-11.html (13.12.2006).

[Joh06] Johnson, C., Moorehead, R., Munzner, T., Pfister, H., Rheingans, P., Yoo, T. S. (eds.) 2006. NIH-NSF Visualization Research Challenges Report, 1st edn. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA.

[Kos01] Kosara, R., Miksch, S., Hauser, H. 2001. Semantic Depth of Field, Proceedings of the 2001 IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis 2001), IEEE Computer Society Press, pages 97–104.

[Lam95] Lamping, J., Rao, R. 1995. The Hyperbolic Browser: A Focus+Context Technique for Visualizing Large Hierarchies, Xerox PARC, New York.

[Leu94] Leung, Y. K., Apperley, M. D., 1994. A review and taxonomy of distortion-oriented presentation techniques. ACM Transactions Computer-Human Interaction, 1(2):126–160.

[Mac86] Mackinlay, J. 1986. Automating the Design of Graphical Presentations of Relational Information, In: ACM Transactions on Graphics (TOG), ACM Press, New York, Volume 5(2): pages 110–141.

[Nor97] North, C., Shneiderman, B. 1997. A Taxonomy of Multiple Window Coordinations, Technical Report CS-TR-3854, University of Maryland Computer Science Department.

[Pla96] Plaisant, C., Milash, B., Rose, A., Widoff, S., Shneiderman, B. 1996. LifeLines: Visualizing Personal Histories, Human-Computer Interaction Lab (HCIL), University of Maryland, In Proceeding of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI), ACM Press, New York, pages 221–227.

[Rob91] Robertson, G. G., Mackinlay, J. D., Card, S. K. (1991), Cone Trees: Animated 3D Visualizations of Hierachical Information In: SIGCHI '91 Conference Proceedings, New York: ACM Press S. 189–194.

[Rob93] Robertson, G. G., Mackinlay, J. D. 1993. The document lens, In Proceedings of the

6th annual ACM symposium on User interface software and technology, ACM Press, New York, pages 101–108.

[Sar94] Sarkar, M., Brown, M., 1994.Graphical fisheye views, Communications of the ACM, ACM Press, New York, Volume 37(12): pages 73–84.

[Sim05] Simons, D., Rensink, R, 2005. Change blindness: Past, present, and future, Trends in Cognitive Sciences 9 (1), 16–20.

[Shn92] Shneiderman, B., Tree Visualization with Tree-Maps: 2-d Space-Filling Approach. In: ACM Transactions on Graphics (TOG), Volume 11, Issue 1, New York: ACM Press S. 92–99

[Shn94] Shneiderman, B. 1994. Dynamic Queries for visual Information Seeking, IEEE Software, Los Alamos, Volume 11(6): pages 70–77.

[Shn08] Shneiderman, B. 2008. Extreme visualization: squeezing a billion records into a million pixels. In Proceedings of the 2008 ACM SIGMOD international conference on Management of data (SIGMOD '08). ACM, New York, NY, USA, 3–12.

[Spe82] Spence, R. and Apperley, M. 1982. Data Base Navigation: An Office Environment for the Professional, Behavior and Information Technology, Volume 1(1): pages 43–54.

[Tre85] Treisman, A. 1985. Preattentive processing in vision. Comput. Vision Graph. Image Process.31, 2 (August 1985), 156–177.

[Tre86] Treisman, A. 1986. Features and Objects in Visual Processing, Scientific American, 255(5): 114–125

[Yl07] Yi, J. S., ah Kang, Y., & Stasko, J. (2007). Toward a deeper understanding of the role of interaction in information visualization. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 13(6), 1224–1231.

[War04] Ware, C., 2004. Information Visualization. Perception for design, Morgan Kaufmann Series In Interactive Technologies, 2000, Second Edition, ISBN:1-55860-511 – 8.

[Wea04] Weaver, C., 2004. Building Highly-Coordinated Visualizations in Improvise. in Matthew O. Ward & Tamara Munzner, ed., 'INFOVIS' , IEEE Computer Society, , pp. 159–166 .

[Weg95] Wegman, E. J. 1995. Huge data sets and the frontiers of computational feasibility, Journal of Computational and Graphical Statistics, Volume = 4, S. 281–295.

[Wil05] Wilkinson, L. 2005. The Grammar of Graphics, 2nd ed, New York, Springer

[Wij05] Wijk Van, J. J. 2005. The Value of Visualization. In: C. Silva, E. Groeller, H. Rushmeier (eds.), Proc. IEEE Visualization 2005, 79–86.

[Yos06] Yost, B. and North, C. 2006. The Perceptual Scalability of Visualization. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 12, 5 (September 2006), 837–844

# 7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: Beispiel: Visualisierung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre, veranschaulicht an der Erde in 3D (L. Treinish, IBM) ..... 8
Abb. 2-2: Beispiel zur Informationsvisualisierung: aktive Diagramme: Informationsvisualisierung basierend auf dem Periodensystem, (mit freundlicher Genehmigung des Human-Computer Interaction Laboratory (HCIL) der Universität von Maryland) ..... 9
Abb. 2-3: Referenzmodell der Informationsvisualisierung [Car99] ..... 11
Abb. 2-4: Datenstatusmodell in Anlehnung an [Chi98] ..... 13
Abb. 2-5: Datentabellen und deren Umwandlung in eine visuelle Struktur, in diesem Beispiel wird visuell eine Beziehung dargestellt, die in den Daten nicht vorhanden ist (Card, Mackinlay & Shneiderman, 1999, Seite 23) ..... 15
Abb. 2-6: Datentabellen und deren Umwandlung in eine visuelle Struktur, in diesem Beispiel ist Grafik a) weniger effektiv als Grafik b) (Card, Mackinlay & Shneiderman, 1999, Seite 23) ..... 16
Abb. 2-7: Beispiel: Alphabet Income Statement Q3, Fiscal Year 2023 (Sankey Diagram). Quelle: Economy Insights LLC ..... 17
Abb. 3-1: Erweitertes Referenzmodell der Visualisierung [Joh06, Wij05] ..... 21
Abb. 3-2: 3-Phasen-Modell der visuellen Informationsverarbeitung [War04] ..... 23
Abb. 3-3: beispielhafte präattentive Verarbeitung durch Färbung [War04] ..... 25
Abb. 3-4: Beispiel 3: Navigationsdiagramme: Alle Berechnungen der Schiffpositionen werden mithilfe eines Seefahrtdiagramms gemacht. Problem: Abbildung der runden Erde auf ein flaches Diagramm (Quelle: http://www.koelner-piraten.de) ..... 26
Abb. 3-5: Beispiel 4: Diagramme: Sind nicht interaktiv, Verständnis vs. Unverständnis, Beispiel: Unfall des Spaceshuttles „Challenger"; dieses Diagramm zeigt keine klaren Sachverhalte auf (Nelson, Hagen & Muller, 1997, Vol. V, Seite 896) ..... 26
Abb. 3-6: Scatterplot: Dieses Diagramm ist um einiges aufschlussreicher als das in der Praxis tatsächlich zum Einsatz gekommene (Tufte, 1997, Seite 45) ..... 27
Abb. 3-7: Beispiel: Büroarbeitskraft (Card et al., 1999, Seite 14) ..... 29
Abb. 3-8: Cost-of-Knowledge-Characteristic-Function: kann helfen, die zeitabhängigen Kostenstrukturen von Informationsvisualisierungen zu verstehen. Beispiel: Anzahl an Dokumenten, die zu einem bestimmten Zeitpunkt gefunden wurden (Card et al., 1999, Seite 15) ..... 30
Abb. 4-1: Range- und Alpha-Slider [Ahl94] ..... 31
Abb. 4-2: Unschärfefokussierung [Kos01] und Fisheye-Menu ..... 35
Abb. 4-3: Referenzmodell der Informationsvisualisierung ..... 36

# 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Geschichte der Informationsvisualisierung ..... 10
Tabelle 2-2: Beispiel Datentabellen aus relationalen Rohdaten ..... 12
Tabelle 2-3: Eingabewerte bestimmen eindeutig die Ausgabewerte ..... 12
Tabelle 2-4: Datentabelle mit Ein- und Ausgabevariablen ..... 13
Tabelle 3-1: Wahrnehmungseigenschaften visueller Attribute [Ber74] ..... 24
Tabelle 3-2: Präattentive Eigenschaften und visuelle Attribute [Hea96] ..... 25

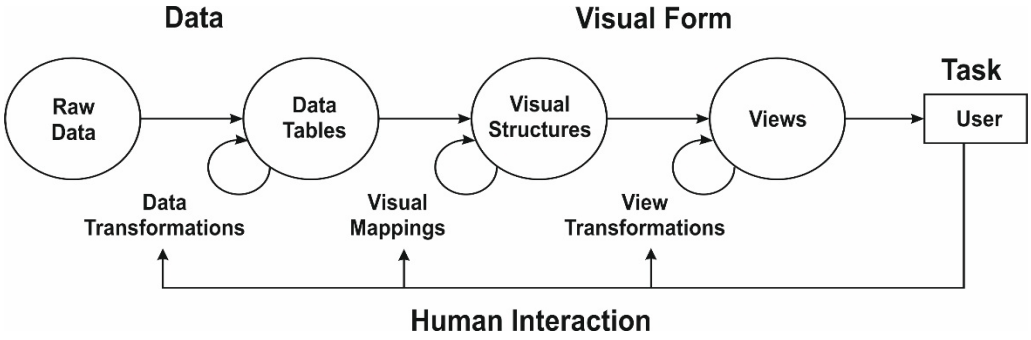
# 9 Lösungen der Selbsttestaufgaben

### Selbsttestaufgabe 1.1

1. Strömungen (IBFV)
   *Wissenschaftliche Visualisierung: Bei den dargestellten Daten handelt es sich um (simulierte respektive gemessene) physikalische Phänomene.*
2. Menschliche Anatomie (NPAC/OLDA VISIBLE HUMAN VIEWER)
   Wissenschaftliche *Visualisierung: Darstellung und Navigation in digital erfassten, dreidimensionalen Körperscans.*

### Selbsttestaufgabe 1.2

vgl. Abbildung 2-3




### Selbsttestaufgabe 1.3

Die „Seeing-Map" (rechts) wird von Bertin favorisiert, weil sie die bessere visuelle Darstellung ist. Sie erlaubt es, die dargestellten Informationen intuitiv und schnell zu erfassen.

Der Hauptunterschied liegt darin, dass bei der „Seeing-Map" – im Gegensatz zur „Reading-Map" – die Informationen auf einen Blick erkennbar sind. In „Seeing-Maps" repräsentiert eine Menge von abgestuften Symbolen die linearen Daten. Die Ausprägung des visuellen Attributes, hier die Kreisfläche, korrespondiert unmittelbar mit dem repräsentierten Wert, dem Grundstückspreis. Bereits durch den Blick auf die grafische Kartendarstellung lassen sich ein Überblick als auch Relationen – teurer und günstiger – erkennen. Zusätzlich erlaubt die Referenz zur Legende (jeweils rechts oben) die Ermittlung der präzisen Werte. Bei den „Reading-Maps" müssen die Betrachtenden auf jeden Fall die Legende zu Rate ziehen.

Bei den „Seeing-Maps" erfolgt ein Großteil der Erkenntnisbildung unterbewusst im menschlichen Wahrnehmungsapparat. Bei den „Reading-Maps" müssen die Betrachtenden bewusste Denkarbeit investieren, um deren Information zu erfassen.

**000 000 000 (00/25)**

**00000-0-00-S 1**

Alle Rechte vorbehalten
© 2025 FernUniversität in Hagen
Fakultät für Mathematik und Informatik