

**Prof. Dr. Matthias Hemmje, Gerald Jäschke, Dr. Daniel Biella,
Dr. Dieter Meiller, Dr. Paul Landwich, Dr. André Triebel,
Christian Danowski-Buhren**

Kurs 01870

Informationsvisualisierung im Internet

LESEPROBE

Fakultät für
**Mathematik und
Informatik**

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung und des Nachdrucks bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung der FernUniversität reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Übersicht zum Kurs 01870: Informationsvisualisierung im Internet

Kurseinheit 1 – Grundlagen

Kurseinheit 2 – Informationsvisualisierungstechniken I

Kurseinheit 3 – Informationsvisualisierungstechniken II

Kurseinheit 4 – Evaluation von Informationsvisualisierungstechniken

Kurseinheit 5 – Technologien und Architekturen I

Kurseinheit 6 – Technologien und Architekturen II

Kurseinheit 7 – Externe Programmierschnittstellen

Inhaltsverzeichnis

Übersicht zum Kurs 01870: Informationsvisualisierung im Internet.....	2
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
1 Motivation und Einführung.....	8
1.1 Ursprünge und Entwicklung der Informationsvisualisierung	9
1.2 Modelle zur Informationsvisualisierung.....	10
1.3 Daten- und Datentransformationen	13
1.4 Visuelle Abbildung	15
1.4.1 Struktur-Abbildungen	17
1.4.2 Attribut-Abbildungen	18
1.4.3 Visuelle Skalierbarkeit	19
1.5 Visuelle Wahrnehmung und Kognition	21
1.5.1 Visuelle Wahrnehmung von Bildschirmen und deren Auflösungen	22
1.5.2 Ein Modell für die visuelle Informationsverarbeitung.....	24
1.5.3 Elementare visuelle Wahrnehmung	26
1.5.4 Zeitschranken der Wahrnehmung	30
1.5.5 Kognitionsunterstützung und kognitive Verstärkung	32
1.6 Der Begriff der Informationsvisualisierung	38
1.7 Interaktionen und Interaktionstechniken	41
1.7.1 Interaktionen	41
1.7.2 Selektionstechniken	42
1.7.3 Navigationstechniken.....	43
1.7.4 Übersicht und Detail	44
1.7.5 Fokussierungstechniken	44
1.7.6 Interaktionstechniken in multiplen Sichten	47
1.7.7 Interaktionstechniken innerhalb der Informationsvisualisierung	47
1.7.8 Interaktionskategorien	49
1.8 Zusammenfassung	50
1.9 Literaturverzeichnis	52
1.10 Lösungen der Selbsttestaufgaben	56

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Referenzmodell der Informationsvisualisierung [Car99].....	10
Abb. 1-2: Datenstatusmodell in Anlehnung an [Chi98]	13
Abb. 1-3: 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)	14
Abb. 1-4: 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. 1-5: Beispiel: Filmfinder (mit freundlicher Genehmigung des Human-Computer Interaction Laboratory (HCIL) der Universität von Maryland)	16
Abb. 1-6: Erweitertes Referenzmodell der Visualisierung [Joh06, Wij05].....	21
Abb. 1-7: Sehschärfe in Prozent in Abhängigkeit vom Blickwinkel [War04]	22
Abb. 1-8: 3 Phasen-Modell der visuellen Informationsverarbeitung [War04].....	25
Abb. 1-9: beispielhafte Präattentive Verarbeitung durch Färbung [War04]	29
Abb. 1-10: Beispiel 1: Multiplikationshilfen: Zeit beim Kopfrechnen um einiges länger als beim Rechnen mit Stift und Papier => Visualisierung erhöht die „Denkleistung“, vgl. (Card et al., 1999, Seite 2).....	32
Abb. 1-11: Beispiel 2: Grafischer Taschenrechner („Graphing Calculator“): Der Nutzer hat eine simple trigonometrische Formel eingegeben, um sie zu berechnen. Daraufhin wird sie visualisiert, wozu Millionen von Berechnungen nötig sind, (vgl. Card et al., 1999).....	33
Abb. 1-12: Beispiel 3: Navigationsdiagramme: Alle Berechnungen der Schiffpositionen werden mit Hilfe eines Seefahrt-Diagramms gemacht. Problem: Abbildung der runden Erde auf ein flaches Diagramm (Quelle: http://www.koelner-piraten.de).....	34
Abb. 1-13: Beispiel 4: Diagramme: Sind nicht interaktiv Verständnis vs. Unverständnis Beispiel: Unfall des Space Shuttle „Challenger“ Dieses Diagramm zeigt keine klaren Sachverhalte auf (Nelson, Hagen & Muller, 1997, Vol. V, Seite 896).....	34
Abb. 1-14: Scatterplot: Dieses Diagramm ist um einiges aufschlussreicher als das in der Praxis tatsächlich zum Einsatz gekommene (Tuftte, 1997, Seite 45)	35
Abb. 1-15: Gewinnung von Information, Beispiel: Kauf eines Laptops (Card et al., 1999, Seite 10)	36
Abb. 1-16: Beispiel: Büroarbeiter (Card et al., 1999, Seite 14).....	37
Abb. 1-17: 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).....	38
Abb. 1-18: Beispiel: Visualisierung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre, veranschaulicht an der Erde in 3-D (L. Treinish, IBM).....	39
Abb. 1-19: Beispiel zur Informationsvisualisierung: Aktive Diagramme: Informationsvisualisierung basierend auf dem Periodensystem, (mit freundlicher Genehmigung des Human-Computer Interaction Laboratory (HCIL) der Universität von Maryland).....	40
Abb. 1-20: Range- und Alpha-Slider [Ahl94].....	42
Abb. 1-21: Unschärfefokussierung [Kos01] und Fisheye-Menu.....	46
Abb. 1-22: Referenzmodell der Visualisierung.....	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1 Geschichte der Informationsvisualisierung	9
Tabelle 1.2: Beispiel Datentabellen aus relationalen Rohdaten	11
Tabelle 1.3: Eingabewerte bestimmen eindeutig die Ausgabewerte	11
Tabelle 1.4: Datentabelle mit Ein- und Ausgabevariablen.....	12
Tabelle 1.5: Typische Bildschirmauflösungen (Stand 2011).....	23
Tabelle 1.6: Wahrnehmungseigenschaften visueller Attribute [Ber74]	27
Tabelle 1.7: Skalenniveau und visuelle Attribute [Ker07]	28
Tabelle 1.8: Präattentive Eigenschaften und visuelle Attribute [Hea96].....	30

Vorbemerkungen und Lernziele

Dies ist die erste Kurseinheit des Kurses 1870 „Informationsvisualisierung im Internet“. Der Kurs ersetzt die Kurse 1871+1872 „Informationsvisualisierung im Internet I + II“ vollständig, baut auf deren Struktur und Inhalten auf und aktualisiert diesen um wesentliche Inhalte aus dem Bereich der XML-basierten Sprachfamilien. Dank gilt an dieser Stelle den ehemaligen Fernstudenten und Doktoranden Dieter Meiller, Paul Landwich, Andre Triebel, und Christian Danowski-Buhren für wertvolle Kommentare, Korrekturen sowie für wertvolle Vorarbeiten und Entwürfe für die vorliegende Aktualisierung.

Die adäquate Repräsentation und visuelle Präsentation von abstrakten Daten bildet 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 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 zum einen schnell wechselnder bzw. sich schnell verändernder Anwendungen von Informationsvisualisierungen, die in unserer durch das Internet global vernetzten und sich kontinuierlich verändernden Welt immer weiter an Bedeutung gewinnen.

Der Schwerpunkte dieses Kurses

Ein wichtiges Ziel des Kurses 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 Methodiken 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 dieser Kurs jedoch durch die Vermittlung rudimentärer Grundlagen von X3D auf die überblicksartige Einführung in eine beispielhafte und grundlegende Informationsvisualisierungstechnologie. Die Rasanz der Entwicklung auf diesem Gebiet erlaubt es nicht, das Kursmaterial immer vollumfänglich bzgl. einer und schon gar nicht bzgl. aller aktuellen Visualisierungstechnologien auf **dem aktuellsten Stand** zu halten. Das Kursmaterial 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 dieses Kurses 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 Kodierungsstandard und damit einer relevanten aktuellen Informationsvisualisierungstechnologie im Internet. Nach Bearbeitung des Kurses 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 sollten auch praktische Erfahrung gesammelt werden. Der Kurs 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 dieses Kurses 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 des Kurses sollten Sie wissen, dass Informationsvisualisierungen wie gewöhnliche Daten von und mit Anwendungssystemen automatisiert erstellt und bearbeitet werden können. Es soll darüber hinaus vermittelt werden, wie Internettechnologien im Bereich der Visualisierung von Information das Potential, welches im Referenzmodell der Informationsvisualisie-

rung 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 im Kurs 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 dieses Kurses 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-kodierte Textdokumente im ASCII-Format zu erstellen bzw. zu bearbeiten und abzuspeichern. Als Texteditoren kommen Programme wie Notepad, vi, Edit oder Emacs in Frage. Bitte aktualisieren Sie auch Ihren Internetbrowser. Der Umgang mit Navigation und Suche im Internet wird als bekannt vorausgesetzt.

1 Motivation und Einführung

Dieser Text beinhaltet die erste Kurseinheit des Kurses 1870 „Informationsvisualisierung im Internet“. Diese Kurseinheit 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 deren historischer Entwicklung vor.

Das Ziel der Informationsvisualisierung ist es, abstrakte Daten graphisch 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 unbekanntem Datenmengen unterstützt wird.

1.1 Ursprünge und Entwicklung der Informationsvisualisierung

Betrachtet man sich die Geschichte der Informationsvisualisierung, so kann man feststellen, dass es eine Visualisierung von abstrakten Datenmengen bereits schon seit längerer Zeit gibt (s. Tabelle 1.1).

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

Tabelle 1.1 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 mit Hilfe 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 Endbenutzersystemen 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 (Darstellung 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 graphischen Benutzungsschnittstelle zu Informationssystemen geboren.

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

1.2 Modelle zur Informationsvisualisierung

Informationsvisualisierung kann im Wesentlichen als ein Abbildungsprozess verstanden werden, in Folge dessen 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. 1-1). 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 hat ein Benutzer die Möglichkeit mit der Visualisierung zu interagieren, indem er implizit Parameter an verschiedenen Schritten des Transformationsprozesses variieren kann.

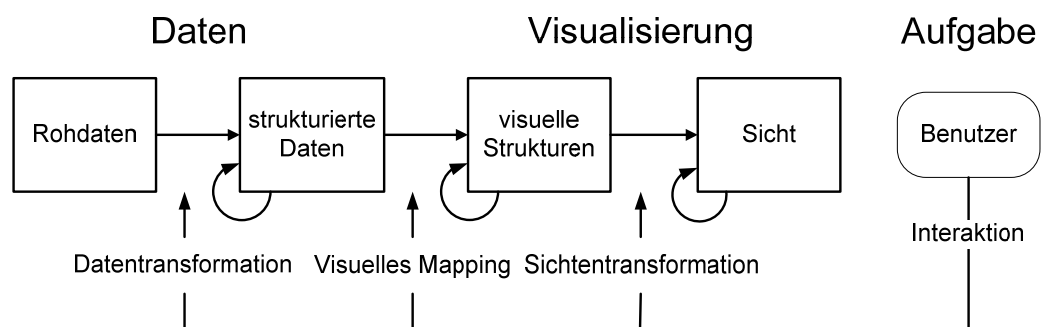


Abb. 1-1: Referenzmodell der Informationsvisualisierung [Car99]

Wie in Abb. 1-1 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 zugrundeliegende 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, so dass bestimmte *Sichten* auf die Visualisierungsobjekte erzeugt werden. Auf den derart generierten Ansichten von Informationsvisualisierungsszenen kann der Benutzer dann interagieren. D. h. nachdem er den Inhalt der Sichten wahrgenommen hat, kann er 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 _{iy}	Value _{ky}	...
...

Tabelle 1.2: 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 _{iy}	Value _{ky}	...
...

Tabelle 1.3: Eingabewerte bestimmen eindeutig die Ausgabewerte

Dabei ist es, wie in Tabelle 1.2 und Tabelle 1.3 dargestellt, wichtig, dass neben den eigentlichen Werten für die jeweils relationalen Koeffizientenpaare auch eine Funktion existiert, mit der eindeutig durch Angabe von Eingabewerten auf Ausgabewerte in den Zellen der relationalen Rohdatentabelle zugegriffen werden kann.

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 1.4: Datentabelle mit Ein- und Ausgabevariablen

Tabelle **1.4** 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.

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 potentieller *Gewinn oder Verlust an Information*, dieses Mal jedoch auf der semantischen Ebene, verbunden.

xe Zusammenhänge innerhalb von großen Datenmengen zu erkennen. Durch Interaktion mit einer Informationsvisualisierung wird er 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 1.1

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. 1-2 zeigt die zu diesem Zweck eingeführte Terminologie. 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.

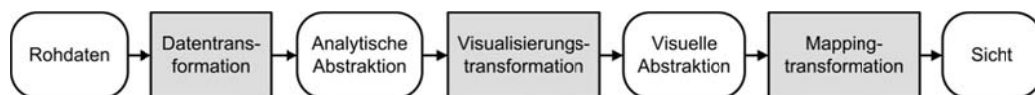


Abb. 1-2: Datenstatusmodell in Anlehnung an [Chi98]

Die analytische Abstraktion ist nach Chi und Riedel eine aus den Rohdaten transformierte Datenmenge, die u. a. Meta-Daten 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.

1.3 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

| 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.

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 vom Benutzer 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.

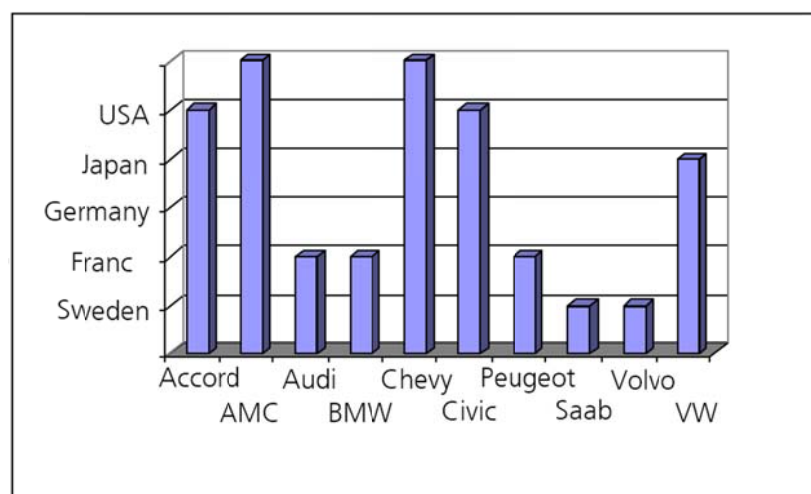


Abb. 1-3: Datentabellen und deren Umwandlung in eine visuelle Struktur, in diesem Beispiel wird visuell eine Beziehung dargestellt, die in den Daten nicht vorhanden ist (Card, Mackinlay & Shneiderman, 1999, Seite 23)

Ein Beispiel für die Umwandlung von Datenstrukturen zeigt die Abb. 1-3. 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 beim Benutzer unbewusst der Eindruck vermittelt, dass es sich hier um eine quantitative Datenmenge handelt, also beispielsweise um die Absatzzahlen der Fahrzeughersteller in verschiedenen Vertriebsgebieten.

1.4 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 kodieren [Car99].

visuelle Abbildung

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 kodierter Art und Weise visuell wahrnehmbar zu machen. Die Bearbeitung visuell kodierter Informationen erfolgt dabei in zwei Kategorien von kognitiven Aktivitäten, den bewussten und den unbewussten kognitiven Vorgängen. Die bewussten Vorgänge erzeugen eine für den Benutzer 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].

unbewusste Vorgänge

bewusste Vorgänge

expressiv

effektiv

In den in Abb. 1-4 dargestellten Informationsvisualisierungen sind zwei visuelle Abbildungen des gleichen Datensatzes in unterschiedliche Informationsvisualisierungstechniken abgebildet.

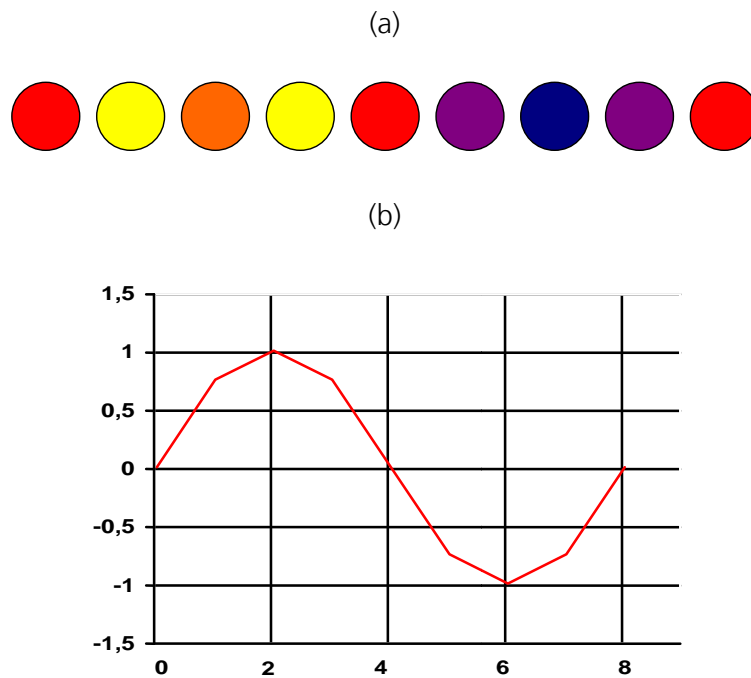


Abb. 1-4: Datentabellen und deren Umwandlung in eine visuelle Struktur, in diesem Beispiel ist Grafik a) weniger effektiv als Grafik b) (Card, Mackinlay & Shneiderman, 1999, Seite 23)

Im Beispiel a) wurde ein numerischer Wert auf eine Farbkodierung 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.

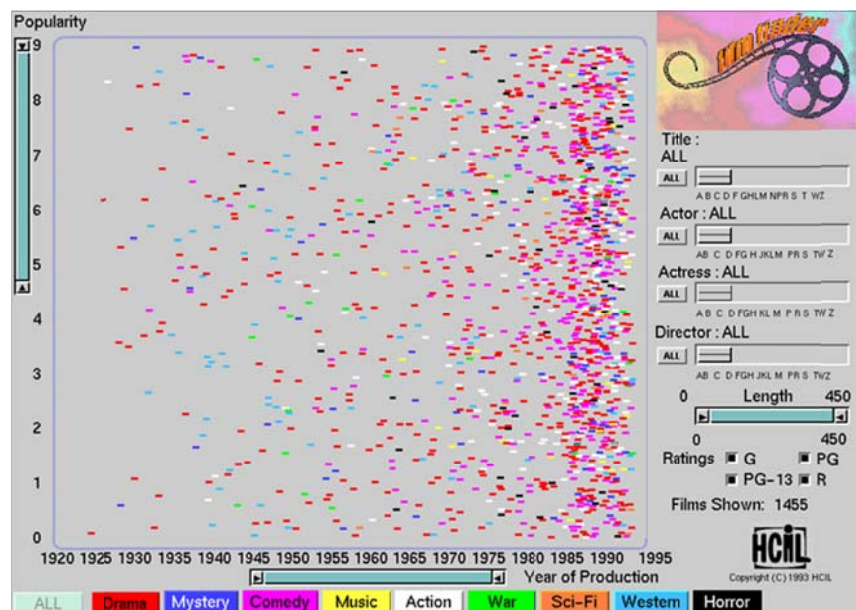


Abb. 1-5: Beispiel: Filmfinder (mit freundlicher Genehmigung des Human-Computer Interaction Laboratory (HCIL) der Universität von Maryland)

In Abb. 1-5 wird nun ein Beispiel für eine effektive Informationsvisualisierung gegeben. Hier werden die auf Datentabellen (siehe hierzu

Tabelle 1.4) abgebildeten Rohdaten durch einen räumlichen Layoutalgorithmus innerhalb eines zweidimensionalen kartesischen Koordinatensystems positioniert. Dabei wird auf der X-Achse für eine Menge von Informationsobjekten, die Filme beschreiben, das Erscheinungsjahr des Films abgetragen und auf der Y-Achse die Popularität des Films in Form eines numerischen Wertes. Die Punkte auf den entsprechenden Positionen visualisieren somit Informationsobjekte, welche Filme beschreiben und diese bekommen eine spezielle Farbkodierung anhand derer ein weiterer Attributswert des Informationsobjektes, nämlich das Filmgenre visuell kodiert wird und damit vom Benutzer visuell wahrgenommen werden kann.

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.

1.4.1 Struktur-Abbildungen

Der wichtigste Aspekt bei einer Struktur-Abbildung innerhalb einer Informationsvisualisierung ist die Verwendung eines visuellen Darstellungsraumes mit entsprechenden strukturellen Eigenschaften. Deshalb sind für das Entwickeln von solchen visuellen Strukturen innerhalb von visuellen Darstellungsräumen sogenannte visuelle Darstellungsachsen relevant. Card et al. [Car99] unterscheiden diese Achsen in vier Grundtypen:

visueller Raum

- 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 kodiert 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 kodiert werden. Auf diese Art und Weise können hierarchische Daten und Graphen visualisiert werden. Bei Graphen 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 kodieren.

Speziell bei der Visualisierung von Graphen werden komplexe Positionierungsalgorithmen für Knoten verwendet, um ein effektives und expressives Mapping zu gewährleisten. Hierarchische Daten können bspw. mit den Struktur-Abbildungen 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 Kurseinheiten werden wir exemplarisch weitere Beispiele vorstellen.

1.4.2 Attribut-Abbildungen

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.

visuelle bzw. ästhetische Attribute,
retinale Variablen

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].

1.4.3 Visuelle Skalierbarkeit

Eick und Karr [Eik02] definieren die Messbarkeit von visueller Skalierbarkeit in Form einer mathematischen Funktion. Diese beschreibt die Antworten bzw. Erkenntnisse, die mit Hilfe einer Informationsvisualisierungstechnik bzw. mit Hilfe 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. Graphen-Operationen 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 (vgl. 1.5.4), 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. [Eic02] Optimierungen vor, von denen hier nur einige aus den Bereichen visuelle Abbildung und Interaktion exemplarisch erwähnt werden sollen:

- farbkodierte 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 Scatter-Plots [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 (Summenbildung, Mittelwertbestimmung etc.) zusammengefasst werden. Die Aggregationen können weiterhin auch hierarchisch zusammengefasst werden.

Ähnlich zu 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 Skalierbarkeitspotential, 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 Aggregationen visualisiert werden, sondern auch Häufungen von visuellen Objekten. Daher können diese Visualisierungen auch als zweidimensionale Histogramme interpretiert werden.

aggregierte
Visualisierungen
atomare
Visualisierungen

1.5 Visuelle Wahrnehmung und Kognition

Um Wahrnehmungs- und Kognitionsaspekten ein stärkeres Gewicht zu geben, wurde von unterschiedlichen Autoren das Referenzmodell der Visualisierung erweitert. Dabei wurde eine allgemeine Wahrnehmungs- und Kognitionskomponente sowie eine abstrakte Wissenskomponente (Abb. 1-6) eingefügt.

erweitertes
Referenzmodell der
Visualisierung

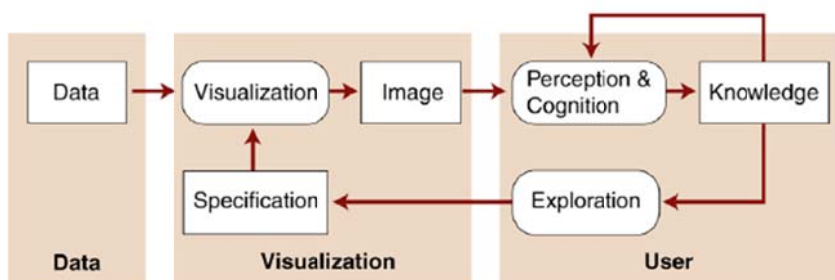


Abb. 1-6: Erweitertes Referenzmodell der Visualisierung [Joh06, Wij05]

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.

1.5.1 Visuelle Wahrnehmung von Bildschirmen und deren Auflösungen

Die visuelle Wahrnehmung erfolgt im ersten Schritt durch das Auge. Die zahlreichen biologischen und physikalischen Zusammenhänge werden an dieser Stelle in Auszügen und hauptsächlich bezogen auf die Wahrnehmung von Bildschirmen und deren Auflösung vorgestellt. In diesem Zusammenhang sind zwei Basiskonzepte von Relevanz (eine detaillierte Analyse mit Bezug zur Informationsvisualisierung wird bei Ware vorgestellt [War04]):

- der visuelle Winkel und Abstand zum Bildschirm
- die Sehschärfe

Mit beiden Augen hat der Mensch ein Sichtfeld von etwas mehr als 180 Grad. Innerhalb dieses Sichtfeldes befindet sich ein grob dreieckiger Bereich, in dem sich die Sichtfelder beider Augen überschneiden. Die grob dreieckige Form entsteht durch die Nase, die das Sichtfeld einschränkt. Innerhalb des gesamten Sichtfeldes ist die Sehschärfe sehr unterschiedlich verteilt.

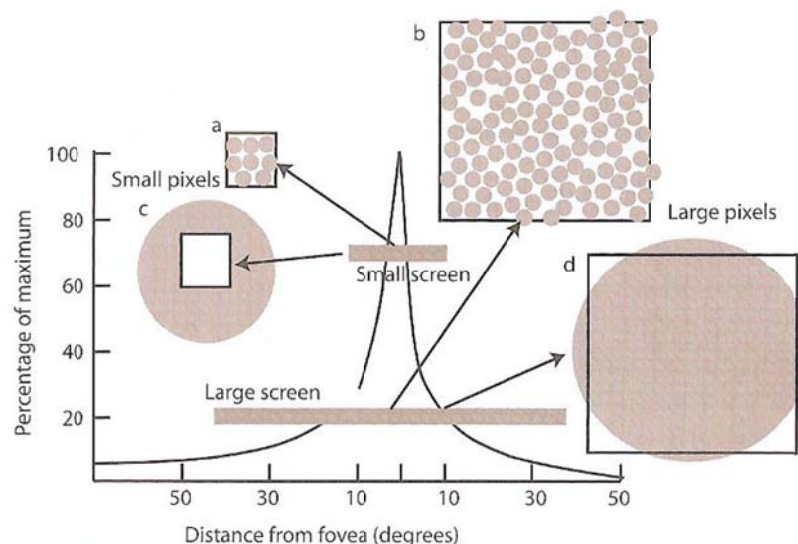


Abb. 1-7: Sehschärfe in Prozent in Abhängigkeit vom Blickwinkel [War04]

schreiben visuelle Einheiten im Gehirn, die im Gegensatz zu Bildschirmpixeln wegen biologischer Zusammenhänge sehr unterschiedlich ausgeprägt sind. Gehirnpixel werden in Abb. 1-7 als Kreise und Bildschirmpixel als Vierecke dargestellt. Im zentralen Bereich der Wahrnehmung nehmen auf dem kleinen Bildschirm ca. 10-mal mehr Gehirnpixel die Information der Bildschirmpixel auf (Abb. 1-7a). Auf einem großen Bildschirm nehmen ca. 100-mal mehr Gehirnpixel die Informationen der gleichen Bildschirmpixelanzahl auf (Abb. 1-7b). In den Randbereichen des Sichtfeldes sind die Bildschirmpixel des kleinen Bildschirms kleiner als die Gehirnpixel (Abb. 1-7c). Auf dem großen Bildschirm entsprechen die Größen der Pixel einander (Abb. 1-7d).

Bei ca. sechs Grad Sichtwinkel wird die Sehgrube (*lat. fovea centralis*), also der Bereich der höchsten Sehschärfe genutzt. Dieser Bereich kann als optimal für Mustererkennung angesehen werden. Für den großen Bildschirm ist offensichtlich, dass in diesem Bereich viele Gehirnpixel redundante Informationen aufnehmen. Er ist in diesem Bereich weniger effizient als der kleine Bildschirm. Basierend auf einer Simulation der Bildschirm- und visuellen Effizienz mit einer Million Pixeln und variierender Bildschirmbreite konnte der Schluss gezogen werden, dass normale Monitore nur 5 – 10 % unseres Sichtfeldes abdecken, aber 50 % der Gehirnpixel aktivieren. Wenn also die Bildschirmauflösung erhöht würde, würden nur unwesentlich mehr Informationen ins Gehirn gelangen.

Gerät	Auflösung (Pixel)	Darstellbare Pixel	Pixel pro Zoll (ppi)
iPhone 4	960 x 640	614.400 Pixel	326
iPad	1024 x 768	786.432 Pixel	132
30" Bildschirm	2560 x 1600	4.096.000 Pixel	100
optimale Auflösung [War04]	4000 x 4000	16.000.000 Pixel	-
komb. 17" Bildschirme [Yos06]	10.240 x 3.072	31.457.280 Pixel	96

Tabelle 1.5: Typische Bildschirmauflösungen (Stand 2011)

Kleine und hochauflösende Bildschirme haben die größte visuelle Effizienz. Ein hoher sogenannter PPI-Wert (Pixel per Inch) ist unter dieser theoretischen Betrachtung sinnvoll. Jedoch ist eine optimale Wahrnehmung noch von anderen Faktoren wie z. B. der Größenanpassung der Schaltflächen oder dem Text einer grafischen Benut-

zungsoberfläche abhängig. Große Bildschirme sind mit hoher Auflösung trotzdem sinnvoll, da sich das Auge sehr schnell über den Bildschirm bewegen kann. In

Tabelle 1.5 sind einige Bildschirmauflösungen und deren PPI-Werte zusammengefasst.

Bildschirme bzw. Auflösungen sind weiter skalierbar, z. B. durch die Kombination von Bildschirmen, durch Projektorenanordnung, stereoskopische Displays oder volumetrische Displays. Eine Studie von Yost und North [Yos06], die eine normale Bildschirmauflösung von 1 Mp mit einer Kombination aus Bildschirmen mit 32 Mp vergleicht, kommt zu dem Schluss, dass beide Auflösungen auch in Bezug auf die Wahrnehmung skalierbar sind. Die analysierte Effizienz und Effektivität auf Basis normalisierter Werte ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Systemen. Die Effektivität sank jedoch von 95 % (normaler Bildschirm) zu 92 % (kombinierte Bildschirme). Insgesamt konnte also auch die 32 Mp-Anzeige effektiv genutzt werden. Die Ergebnisse zeigten aber auch, dass das visuelle Mapping eine große Rolle spielte. Auf kleinen Bildschirmen mit kleinen Datenmengen wurden grafische Mappings, auf großen Bildschirmen mit großen Datenmengen wurden räumliche Mappings bevorzugt.

1.5.2 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. 1-8):

Phase 1: Paralleles Extrahieren von einfachen Eigenschaften der visuellen Szene

paralleles Extrahieren

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 punktuellm 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:

- 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:

Muster-Wahrnehmung

- 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 gesteuerter Bewegung

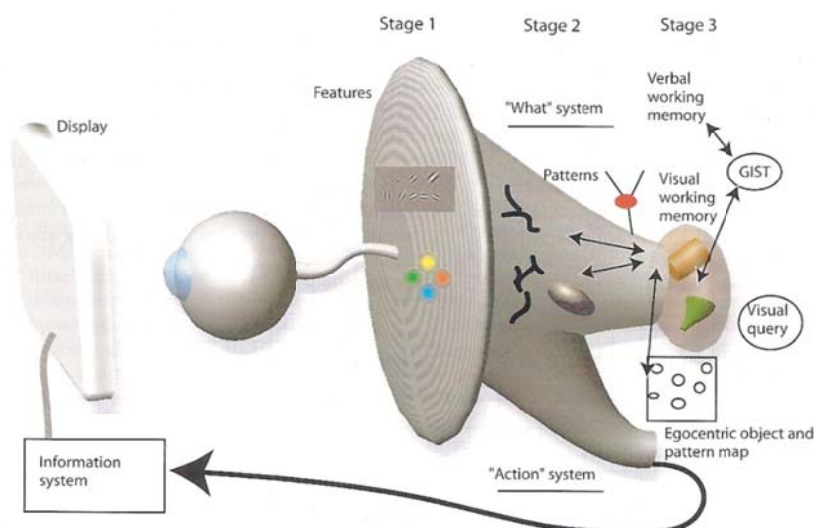


Abb. 1-8: 3 Phasen-Modell der visuellen Informationsverarbeitung [War04]

Phase 3: Sequentielle und zielgerichtete 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

sequentielle
Verarbeitung

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.

1.5.3 Elementare visuelle Wahrnehmung

In Abschnitt 1.3 wurden visuelle Variablen zur Darstellung von Datenstrukturen und Datenattributen vorgestellt. Die Wahl der visuellen Attribute für bestimmte Datenattribute wird stark davon beeinträchtigt, wie die 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 1.6 zeigt die Einteilung der visuellen Attribute und die Eignung für spezifische Wahrnehmungseigenschaften. Beim Erstellen komplexerer visueller Mappings sind diese Eigenschaften von Bedeutung, vor allem, weil sie auch kombiniert auf visuelle Zeichen angewandt werden können.

	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 1.6: Wahrnehmungseigenschaften visueller Attribute [Ber74]

Weiterhin haben visuelle Attribute unterschiedliche Eignungen für die Darstellung unterschiedlicher Datenattribute.