

Grundlagen der Kognition und Perzeption für die Software-Ergonomie

Philipp Schaer¹

Holger Heuser²

14. November 2006

Universität Koblenz-Landau, Institut für Computervisualistik,
Arbeitsgruppe Software-Ergonomie und Information-Retrieval

1 Einleitung

Der folgende Arbeitsbericht soll eine kurze Zusammenfassung über die perzeptorischen und kognitiven Fähigkeiten des Menschen geben. Diese Zusammenfassung ist weit davon entfernt, umfassend zu sein. Jedoch bietet sie die Möglichkeit für Informatiker und Computervisualisten, einen kurzen Einblick in kognitionspsychologische Modelle zu gewinnen.

Nacheinander sollen die Wahrnehmung des Menschen (Kapitel 2), die Funktionsweise des Gedächtnisses (Kapitel 3), Kognition im Allgemeinen (Kapitel 4), die Theorien der mentalen Modellkonstruktion, der dualen Kodierungstheorie (Kapitel 5), die Konstruktion mentaler Modelle (Kapitel 6), die Wirkungsweise und Theorie der Metapher (Kapitel 7) und letztlich die emotiven Faktoren (Kapitel 8) betrachtet werden.

Jedes Kapitel besitzt eine kleine Zusammenfassung, die die Konsequenzen der jeweiligen Erkenntnisse für die Entwicklung von Softwaresystemen erklärt.

2 Wahrnehmung

Die Wahrnehmung des Menschen wird von fünf verschiedenen Sinnesorganen übernommen. Diese sind Auge, Ohren, Nase, Zunge und für den Tastsinn die gesamte Hautoberfläche, welche neben Druck auch Wärme erkennen kann. Da die visuelle Wahrnehmung ca. 80% des Gesamteindrucks ausmacht, wird sie unten am ausführlichsten betrachtet (s. Dahm, 2006, S. 40ff).

Unsere Augen nehmen jedoch nie einen Gesamteindruck der Umgebung auf, sondern fokussieren selektiv bestimmte Punkte im Sichtfeld an. Dazwischen liegen die so genannten Sakka-

¹ schaer@uni-koblenz.de

² heuser@uni-koblenz.de

den, Augenbewegungen von einem Fokus zum nächsten. Das Gesamtbild entsteht durch die Kombination der verschiedenen „Einzelfokussierungen“ im Gehirn. Gesteuert wird dieser Vorgang vor allem von der Aufmerksamkeit, also durch kognitive Prozesse. Das Auge selbst nimmt lediglich Farb- und Helligkeitsreize durch die Rezeptoren auf der Netzhaut auf. Diese besteht aus den helligkeitsempfindlichen Stäbchen, welche vor allem in schlechten Lichtsituationen zum Einsatz kommen und den farbempfindlichen Zäpfchen (s. Gegenfurtner, 2006; Resnikoff, 1989, 149ff). Unter der Netzhaut befinden sich verschaltete Ganglienzellen und führen eine Art Vorverarbeitung mit entsprechender Datenreduktion durch. Durch den Aufbau der Rezeptoren und die Querverschaltung der Ganglienzellen ist die visuelle Wahrnehmung zu einem hohen Grad kontextabhängig und kann auch durch bewusste Manipulation getäuscht werden. Wir kennen diese Wahrnehmungsfehler als optische Täuschungen, wie den Simultankontrast oder das Hermann-Gitter (s. Dahm, 2006, S. 48ff).

Weiterhin unterliegen die Rezeptoren noch einigen physiologisch bedingten Begrenzungen. Das sichtbare Spektrum reicht von ca. 380 bis 750nm. Der hohe Kontrastumfang des Auges von ca. 1:100.000 wird durch das Zusammenspiel mit der Iris erreicht, welche als verstellbare Blende dient. Das zeitliche Auflösungsvermögen liegt bei etwa 22 Bildern in der Sekunde. Alle höheren Frequenzen werden automatisch als Bewegung verschmolzen. Auch Auflösungsvermögen und Sichtfeld sind beim Menschen auf bestimmte Bereiche festgelegt. Aber nicht nur anatomisch bedingte Faktoren spielen bei der visuellen Wahrnehmung eine Rolle, sondern auch psychische Faktoren wie Müdigkeit, Laune und Überanstrengung des Auges.

Obwohl ein Großteil der optischen Reizaufnahme im „gelben Fleck“, einer Stelle der Netzhaut mit extrem hoher Rezeptordichte stattfindet, nehmen wir, wenn auch mit verminderter Detailgenauigkeit, die Peripherie wahr. Dort sind wir besonders gegenüber Bewegungen im Bild sensibel. Diese Eigenschaft menschlichen Sehens wird in der Literatur oft evolutionär begründet, da es für unsere frühen Vorfahren sehr wichtig war, herannahende Tiere frühzeitig zu entdecken. Auch die gute Unterscheidungsfähigkeit zwischen rot und grün führt man auf die Notwendigkeit zurück, Früchte von Blättern unterscheiden zu können (s. Gegenfurtner, 2006).

2.1 Tiefen- und Bewegungswahrnehmung

Neben Formen und Farben erlaubt das menschliche Augenpaar uns auch die Wahrnehmung von Tiefe. Jedoch verwendet der Mensch nicht nur den im Gehirn aus Einzelbildern erzeugten Stereo-Eindruck, sondern ergänzt aus gewohnten Erkenntnissen bestimmte Eigenschaften von Objekten im Raum (s. Dahm, 2006, S. 54ff). So werden Schatten, Verdeckung, und Lage normalerweise perspektivisch interpretiert. Auch gewohnte Größen, wie die eines Menschen fließen mit in die Betrachtung ein. So wird beispielsweise eine sehr kleine Person eher weit entfernt wahrgenommen als für kleinwüchsig gehalten. Künstler machen sich diese Deutungen zu Nutze, um in zweidimensionalen Bildern Tiefe zu simulieren. Auch hier arbeitet die Wahrnehmung nicht immer fehlerfrei, wie beispielsweise optische Täuschungen von M. C. Escher und anderen beweisen.

Ändern sich Position und Größe von wahrgenommenen Objekten, so wird dies bis zu einer bestimmten Größenordnung als Bewegung erkannt. Je mehr Zwischenstufen die Änderung hat, desto flüssiger ist der Bewegungsablauf innerhalb der Szene. Ab drei Stufen ist auch eine klare Bewegungsrichtung gegenüber einem Hin- und Herspringen auszumachen. Auch die Wahrnehmung von Bewegung lässt den Menschen auf das Vorhandensein von räumlicher Tiefe schließen. Wird ein Objekt fortschreitend aufgedeckt oder überdeckt, so folgert das Gehirn, dass beide in unterschiedlicher Entfernung vom Betrachter liegen und nicht ineinander verschoben werden.

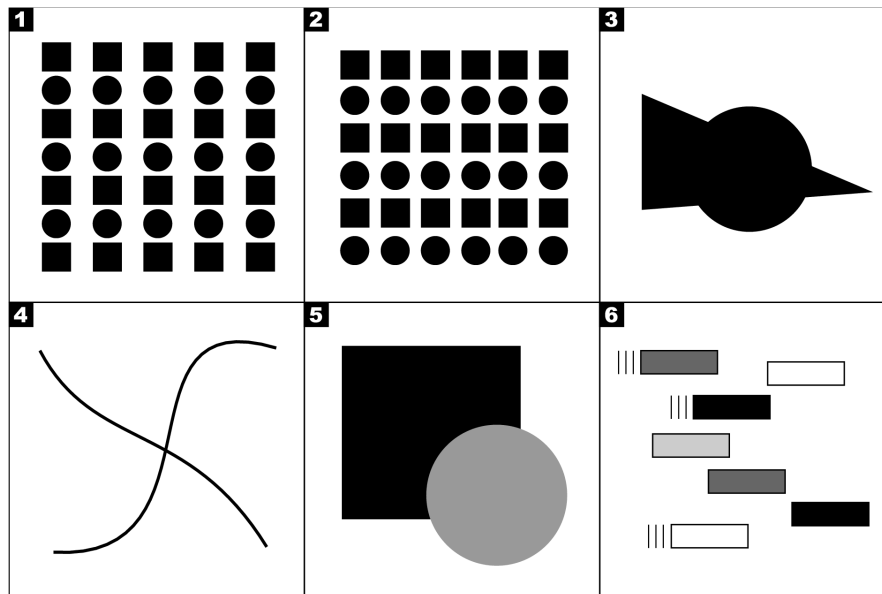


Abbildung 1: Beispiele für die Gestaltgesetze

2.2 Gestaltgesetze

Die Gestaltgesetze dienen zur Verdeutlichung der kognitiven Prozesse, die sich aus der visuellen Wahrnehmung ergeben. Sie sind auf einer höheren Ebene angesiedelt als die eigentliche physische Wahrnehmung und beschreiben die Vorgänge zum Zusammenfassen bestimmter Objekte zu zusammenhängenden Gruppen und Formen. Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Gesetze kurz vorgestellt (s. Dahm, 2006, S. 59ff).

Gesetz der Nähe Objekte mit geringerem Abstand werden als zusammengehörig erkannt. Dieses Merkmal ist offenbar dominanter als die Ähnlichkeit, denn bei gemeinsamer Anwendung siegt Nähe zur Gruppierung (s. Abb. 1, Nr. 1).

Gesetz der Ähnlichkeit Ähnliche Objekte werden zu Gruppen zusammengefasst. Als Maß für die Ähnlichkeit können Form, Farbe, Helligkeit, Farbe oder Muster dienen (s. Abb. 1, Nr. 2).

Gesetz der Prägnanz (der guten Gestalt) Komplexe Objekte werden nicht als zusammenhängende Form sondern als Verbund von einfacheren Formen wahrgenommen. Die Erkennungsleistung versucht jede Form auf prägnante Grundformen zurückzuführen (s. Abb. 1, Nr. 3).

Gesetz der guten Fortsetzung Linien werden immer als kontinuierlich erkannt und fortgesetzt anstatt plötzlich in einem Knick die Richtung zu ändern (s. Abb. 1, Nr. 4).

Gesetz der Geschlossenheit Formen von Objekten werden stets als geschlossen wahrgenommen. Zum Beispiel würde eher ein Quadrat vor einem Kreis erkannt anstatt ein Quadrat und ein Kreisbogen (s. Abb. 1, Nr. 5).

Gesetz des gemeinsamen Schicksals Objekte die sich in die gleiche Richtung bewegen werden als Gruppe zusammengefasst (s. Abb. 1, Nr. 6).

Formen, Farben und Kontraste werden auch über die Gestaltgesetze hinaus vom kognitiven System gedeutet. So ordnen wir der Größe und Farbe von Objekten teilweise nicht vorhandene Eigenschaften wie Gewicht und Schwerkraft zu. Dadurch erscheinen große Elemente im oberen Bildteil meistens überraschender, da man durch die Assoziation von Schwere eher ein bodennahes Vorkommen vermutet hätte. Weitere Beispiele dieser Art findet man bei Zitzmann und Schulz (1990).

2.3 Konsequenzen

Um die Aufmerksamkeit des Betrachters zu lenken, kann man die Bewegungssensibilität in dessen peripheren Sichtfeld ausnutzen und den Blick auf blinkende Objekte am Rand ziehen. Allerdings sollte mit solchen Elementen sparsam umgegangen werden, damit nicht ein „Gewöhnungseffekt“ eintritt und sie nicht mehr beachtet werden. Schnelle Änderungen von Objekten werden als Animationen wahrgenommen und können zum besseren Begreifen von Veränderungen der Szene dienen (s. Abschnitt 4).

Gemäß den Gestaltgesetzen können Objekte auf der Bedienoberfläche zu sinnvollen Gruppen zusammengefasst werden. Durch Eigenschaften wie Nähe und optische Ähnlichkeit können inhaltliche Eigenschaften von Elementen visualisiert werden. Bestimmte Objekte können durch den Einsatz von Farben und Kontrasten hervorgehoben werden. Auch beim Einsatz von Formen, Farben, Kontrasten sollte sparsam umgegangen werden, um eine Überlastung Wahrnehmung und der damit verbundene Verlust von Aufmerksamkeit und Konzentration zu vermeiden. In jedem Fall muss allerdings auch die jeweilige psychologische Wirkung geprüft werden. Beispielsweise wird in unserem Kulturkreis die Farbe rot oft als Warnung oder Signal angesehen.

3 Gedächtnis

Der folgende Abschnitt über den Aufbau des Gedächtnisses beruht zum größten Teil auf Erkenntnissen aus Dahm (2006, S. 72ff) und Schmidt (2006). Das menschliche Gedächtnis teilt sich in drei Stufen unterschiedlicher Kapazität und Speicherdauer auf.

Alle wahrgenommenen Sinneseindrücke der Sensoren, in diesem Falle vor allem die visuellen Reize, werden zunächst im Ultrakurzzeitgedächtnis (auch sensorisches Kurzzeitgedächtnis) zwischengespeichert. Dadurch bleibt selbst nach flüchtigen Blicken das wahrgenommene Bild circa eine Sekunde zur Auswertung erhalten. Interessant ist vor allem die daraus resultierende Fähigkeit, Änderungen in schnellen Bildsequenzen zu erkennen. Schaltet man allerdings ein Störbild dazwischen, sinkt die Erkennungsrate rapide ab.

Als nächste Stufe folgt das Kurzzeitgedächtnis. Obwohl man heute eher vom Arbeitsgedächtnis spricht ist die traditionelle Bezeichnung noch immer zutreffend, denn die Informationen werden wirklich nur für kurze Zeit dort abgelegt. Im Arbeitsgedächtnis ist der momentane Kontext unserer Umgebung hinterlegt und beeinflusst die Wahrnehmung stark. Da der Mensch keine sprunghafte Änderung des Kontextes erwartet, wird jeder neue Sinneseindruck im aktiven Zusammenhang verstanden und ausgewertet.

Sollen Daten über große Zeiträume hinweg erhalten bleiben, so ist dies nur durch eine Verschiebung ins Langzeitgedächtnis möglich. Dieser Übergang vom Arbeits- zum Langzeitgedächtnis kann durch Wiederholen von Informationen im Arbeitsgedächtnis erreicht werden. Alle Informationen im Langzeitgedächtnis bleiben dauerhaft gespeichert. Allerdings verblassen

sie mit der Zeit und werden oft erst durch Assoziative Gedanken wieder reaktiviert. In Arbeits- und Langzeitgedächtnis erfolgt die Speicherung enkodierter Daten, anstatt einer eins-zu-eins Repräsentation der wahrgenommenen Umgebung. Dadurch sind vor allem Bilder, die aus dem Gedächtnis abgerufen werden weniger detailliert als real wahrgenommene Szenen.

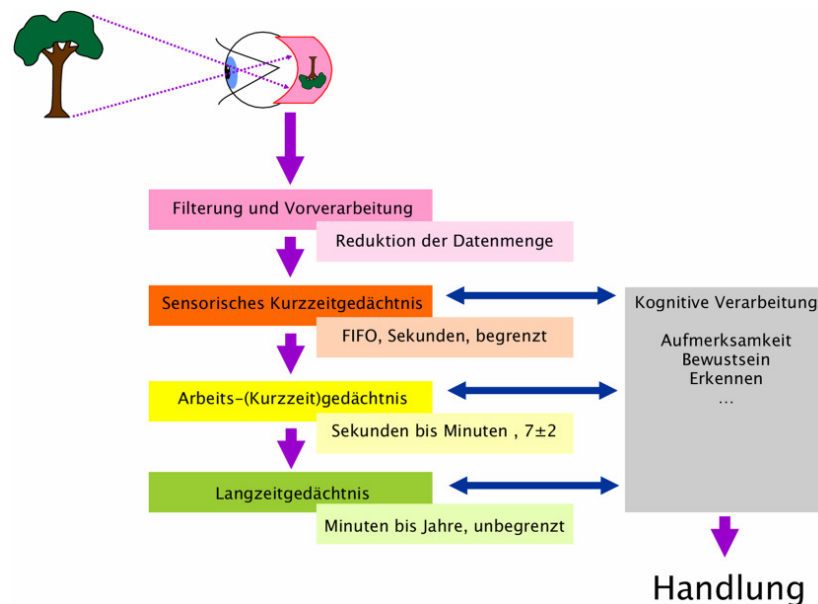


Abbildung 2: Gedächtnismodell mit visueller Verarbeitung

3.1 Aufbau und Leistungsfähigkeit der drei Stufen

Ultrakurzzeitgedächtnis (UKZG, Sensorisches Gedächtnis) Das Ultrakurzzeitgedächtnis dient als Zwischenspeicher (FIFO) der Sensoren und besitzt eine sehr hohe Kapazität. Allerdings beträgt die Verweildauer der Daten nur circa eine Sekunde. Gesteuert wird diese Speicherung durch die Aufmerksamkeit während der Perzeption, also der Wahrnehmung. Abfolgen (Sequenzen) wahrgenommener Daten können direkt im Ultrakurzzeitgedächtnis verglichen und so Veränderungen, wie beispielsweise die Bewegung einzelner Objekte erkannt werden.

Kurzzeitgedächtnis (KZG, heute eher Arbeitsgedächtnis) Forschungen zum Kurzzeitgedächtnis wurden von Ebbinghaus bereits Anfang des Jahrhunderts durchgeführt (Ebbinghaus, 1992). Es besitzt eine kurze Speicherzeit von Sekunden bis höchstens Minuten und hat eine sehr begrenzte Kapazität. Studien ergaben hier die „magische Zahl 7“, denn es können 7 ± 2 so genannter Chunks, also Datenblöcken simultan gespeichert werden. Diese Blöcke können Buchstaben, Wörter oder sogar ganze Sätze enthalten. Daher hat das KZG insgesamt sehr großen Einfluss auf die Wahrnehmung. Durch Wiederholungen (Schleifen) können die Daten zunächst erhalten werden und gelangen schließlich in das Langzeitgedächtnis.

Langzeitgedächtnis (LZG) Im Gegensatz zu den ersten beiden Gedächtnisstufen erstreckt sich die Speicherdauer des Langzeitgedächtnisses von Minuten bis zu Jahren. Die Kapazität ist theoretisch unbegrenzt, es enthält also das ganze Leben. Selbst Erlebnisse aus früher Kindheit können in hohem Alter noch abgerufen werden. Allerdings verblassen die Daten

mit der Zeit, können jedoch durch andere Erinnerungen wieder „reaktiviert“ werden. Zum Beispiel fallen einem durch ein Klassentreffen alte Anekdoten aus der Schulzeit wieder ein. Das LZG unterteilt sich in das prozedurale und das deskriptive System. Letzteres besteht wiederum aus einem semantischen und einem episodischen Teil (s. Tulving, 1983). Alle Daten werden nicht nur abgelegt, sondern assoziativ verknüpft und in semantischen Netzen organisiert.

3.2 Konsequenzen

Man sollte die Gedächtnislast des Nutzers auf die Merkfähigkeit abstimmen. Da die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses stark begrenzt ist, ist es zum Beispiel für die Navigation wichtig, diese Grenze nicht zu überschreiten.

Durch die Wahl des richtigen Kontextes können unnötige Teillasten vorher ausgeblendet und damit auch Fehler vermieden werden. Zum Beispiel führt die Frage „Verstehen Sie etwas von Mathematik“ dazu, in folgenden Fragen die Bedeutung des Begriffes „Wurzel“ an den Kontext anzupassen. Hätte man lediglich nach dem Begriff gefragt, ohne vorher den Kontext festzulegen, hätte es auch zu einer anderen Deutung kommen können (s. Dahm, 2006, S. 74).

Eine Gleichförmigkeit der Prozesse erleichtert das Lernen, da durch häufige Schleifen die Daten eher ins LZG gelangen. Hier spiegelt sich auch die aus der Software-Ergonomie bekannte Erwartungskonformität wieder, denn man ruft für ähnliche Situationen bereits gespeicherte Prozeduren ab. Ändert sich jedoch der Ablauf, so muss die Handlung wieder neu erlernt werden. Dadurch werden die Aufmerksamkeit und das KZG stark belastet.

Strukturierung schafft bessere Orientierung, denn je einfacher und klarer das Modell, desto kleiner die Gedächtnisleistung und die kognitive Last beim Verstehen und Speichern. Außerdem wird durch eine Strukturierung und Hierarchisierung eine bessere semantische Verknüpfung geschaffen und die Informationen sind vernetzt abrufbar.

4 Kognition

Der Begriff Kognition stammt vom lateinischen „kognitiv“, also auf die Erkenntnis bezogen. Allgemein beschreibt er „wie Menschen denken“ und fasst alle höheren geistigen Tätigkeiten zusammen. Sämtliche wahrgenommenen Sinneseindrücke werden durch die Kognition verarbeitet und beeinflusst. So steuert beispielsweise die Aufmerksamkeit direkt unsere Wahrnehmung. Dies wird deutlich, wenn man bei „unaufmerksamer“ Betrachtung Objekte einer Szene einfach übersieht, obwohl diese physisch vorhanden waren. Auch das Gedächtnis ist in seiner Arbeitsweise eng an die kognitiven Prozesse gekoppelt. Erst durch die Fähigkeit, Dinge zu erkennen, können diesen Assoziationen zugeordnet und dieses Netz im Gedächtnis gespeichert werden. Es handelt sich also um ein sehr enges Zusammenspiel der drei Komponenten Wahrnehmung, Gedächtnis und Informationsverarbeitung oder Kognition. Erst dieser letzte Punkt der Kette füllt die vorher noch bedeutungslosen Sinneseindrücke mit Inhalt. Dadurch wird ein Lernen erst ermöglicht, denn es setzt viele der nachfolgend aufgeführten Punkte voraus.

Zur Kognition zählen Fähigkeiten des Menschen wie Aufmerksamkeit, Vorstellung, Wahrnehmung, Handeln (aus dem Verständnis heraus), Erkennen, Denken, Verstehen, Lernen, Entscheiden, Sprechen, Schlussfolgern, Problemlösen, Urteilen und Erinnern. Dadurch können alle wahrgenommenen Sinneseindrücke erst weiterverarbeitet und entsprechende Handlungen ausgelöst werden (s. Cassells u. a., 1995, 12ff).

Ein besonders wichtiger Punkt aus obigen Fähigkeiten ist die Aufmerksamkeit, denn sie steuert den gesamten Wahrnehmungsprozess. Cassells u. a. (1995) stellen für deren Steuerung

verschiedene Modelle vor, welche jedoch alle von einer Art Flaschenhals für die Eingabekanäle ausgehen (s. Cassells u. a., 1995, 91ff). Obwohl sich die Aufmerksamkeit sehr stark auf einen Kanal fixiert, liegen empirische Studien vor, welche belegen, dass auch die „unbeachteten Kanäle“ verarbeitet und, wenn auch unbewusst wahrgenommen werden. Damit erklärt sich auch das so genannte „Cocktailparty-Phänomen“, welches die menschliche Fähigkeit beschreibt, auf Partys auch beispielsweise während einer Konversation noch den eigenen Namen aus Gesprächen anderer Gäste wahrnehmen zu können. So muss davon ausgegangen werden, dass zwar die Signale, die sich im direkten Fokus der Aufmerksamkeit befinden verstärkt wahrgenommen werden, aber auch bestimmte Sinneseindrücke außerhalb dieser Konzentration verarbeitet und an höhere kognitive Stellen weitergeleitet werden.

4.1 Konsequenzen

Die kognitiven Fähigkeiten des Menschen sind nicht unbegrenzt, sondern verteilen sich, wie auch die Aufmerksamkeit auf die gesamte wahrgenommenen Szenerie (s. Dahm, 2006). Anwendungen sollten daher ein unnötiges Strapazieren der kognitiven Last vermeiden, was zu sinkender Aufmerksamkeit führen kann. Erfolgt die Reizaufnahme allerdings über unterschiedliche Sinneskanäle, so kommt es zu einer geteilten Aufmerksamkeit. Situationen wie beispielsweise das Autofahren zeigen, dass der Mensch in der Lage ist, mehrere Dinge gleichzeitig zu tun (s. Cassells u. a., 1995, 106f).

Entstehen im Handlungsablauf zu große Sprünge, muss der Nutzer diese durch Vorstellung und Verständnis ausgleichen und vorhandenes Potenzial von der eigentlichen Aufgabe abziehen um die Lücken zu füllen.

Solche Übergänge können beispielsweise durch Animationen realisiert werden, welche einen Vorgang fließend darstellen. Alle Änderungen der Lage und Position von Objekten müssen dann nicht im Kopf nachvollzogen, sondern können direkt als Bewegung erkannt werden.

5 Duale Kodierungstheorie

Die Duale Kodierungstheorie geht maßgeblich auf Paivio (1986) zurück. Paivio beschreibt wie Menschen Texte und Bilder verarbeiten und diese abspeichern. Die Annahme der dualen Kodierungstheorie ist, dass der Mensch zwei kognitive Subsysteme besitzt, ein verbales und ein bildliches System (vgl. Abbildung 3, links). Wenn nun Text wahrgenommen und verarbeitet wird, so wird dieser im verbalen System abgespeichert und quasi einfach codiert. Bilder hingegen werden sowohl sprachlich, als auch bildlich verarbeitet, also doppelt codiert. Die einfache Erkenntnis, die daraus ableiten werden kann ist, dass Menschen Texte, die mit Bildern angereichert sind, besser memorieren können, also solche, die auf Bilder verzichten.

Dies ist aber nur bedingt richtig, da auch beim reinen Textverstehen multiple mentale Repräsentationen, eben auch in Form von inneren Bildern, angelegt werden. Weiterhin kann die duale Kodierungstheorie nicht erklären, warum sich neben einer besseren Erinnerung auch meist ein besseres Verständnis durch Bilder ergibt.

Daher wurde das Modell von Schnotz und Bannert (1999) um eine Theorie des multimediaalen Lernens erweitert. Hierbei wird davon ausgegangen, dass es unterschiedliche Zeichenarten in den Repräsentationen gibt. Hierbei wird unterschieden in Deskriptionen und Depiktionen, die jeweils andere Nutzungseigenschaften besitzen. Deskriptionen sind Symbolzeichen, die auf Grund von Konventionen genutzt werden (z.B. die Bezeichnung für einen Hund, die auch „dog“ oder „chien“ lauten kann). Deskriptionen sind stärker selektiv und vor allem ausdrucksmächtiger. So lassen sich allgemeine Negationen oder Disjunktionen darstellen. Diese Ausdrucks-

mächtigkeit fehlt Depiktionen, da sie auf ikonischen Zeichen aufbauen. Hierdurch ergibt sich allerdings eine wesentlich höhere Inferenzleistung. So ist in einem Bild eines Dreiecks die komplette Information über seine geometrischen Eigenschaften enthalten. Daher lassen sich vor allem neue Informationen besser mit Depiktionen erschließen, da oft direkt abgelesen werden kann.

Diese Unterscheidung wird in Abbildung 3 (rechts) dargestellt. So wird die externe Repräsentation eines Textes in eine oberflächliche textuelle interne Repräsentation umgewandelt. Der semantische Gehalt, der Sinngehalt wird in eine propositionale Repräsentation abgebildet, welche dann durch eine Symbolverarbeitung mit dem mentalen Modell interagiert. Bilder werden hingegen im depiktionalen Repräsentationsteil schneller zu mentalen Modellen verarbeitet. So ergeben sich unterschiedliche Wege der mentalen Modellkonstruktion, die vor allem auch noch von Vorwissen abhängig ist. So erlaubt ein hohes Vorwissen etwa eine mentale Modellkonstruktion auch ohne Bildunterstützung, wobei Lerner mit niedrigerem Vorwissen stärker auf Bilder angewiesen sind.

5.1 Sechs Prinzipien des instruktionalen Design

Moreno und Mayer (2000) stellen sechs Designprinzipien für multimediale Lernumgebungen vor, die sowohl theoretisch auf Basis der beschriebenen Modelle von Paivio, Mayer und Schnotz basieren, als auch empirisch evaluiert wurden. Die folgenden Prinzipien sind als Daumenregeln zu betrachten, die die teilweise komplexen Sachverhalte nur unzureichend zusammenfassen.

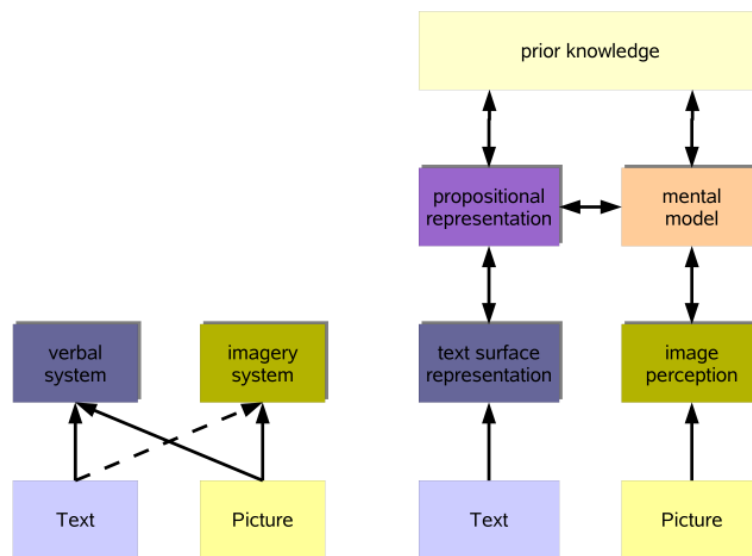


Abbildung 3: Duale Kodierungstheorie nach Paivio (1986) (links) und nach Schnotz und Bannert (1999) (rechts)

Split-Attention-Prinzip Anwender lernen besser, wenn das Instruktionsmaterial nicht verlangt ihre Aufmerksamkeit auf mehrere inkompatible Quellen zu verteilen.

Modalitäten-Prinzip Anwender lernen besser, wenn die verbale Information als gesprochene Sprache vermittelt wird, als wenn sie als geschriebener Text vorliegt. Dies gilt sowohl für gleichzeitige, als auch für aufeinander folgende Präsentationen.

Redundanz-Prinzip Anwender lernen besser von Animationen mit Erzählungen als von Animationen mit Erzählungen und ergänzenden Textstücken, wenn die visuellen Informationen parallel zu den verbalen Informationen präsentiert werden.

Prinzip der räumliche Kontinuität Anwender lernen besser, wenn Texterklärungen und visuelles Material nahe beieinander liegen, als wenn sie räumlich voneinander getrennt sind.

Prinzip der zeitlichen Kontinuität Anwender lernen besser, wenn verbale und visuelle Materialien zeitlich synchronisiert, als wenn sie zeitlich voneinander getrennt dargestellt werden

Kohärenz-Prinzip Anwender lernen besser, wenn Materialien ohne Belang (z.B. Hintergrundmusik) nicht in die Präsentation einfließen.

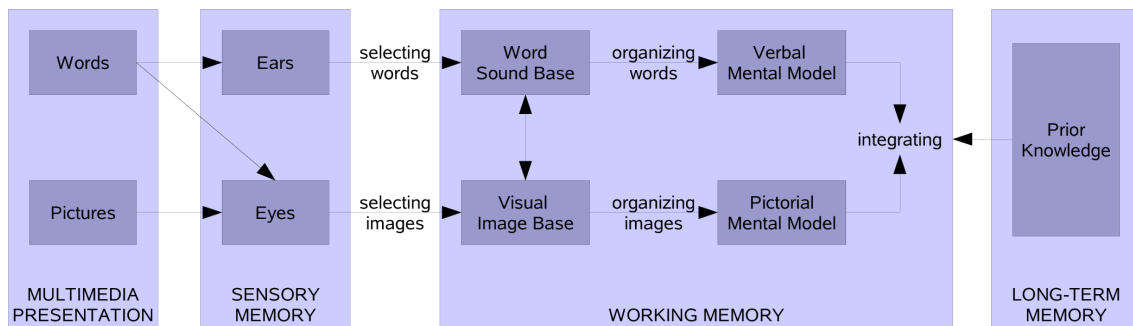


Abbildung 4: Verarbeitung von Informationen nach der generativen Theorie multimedialen Lernens nach Moreno und Mayer (2000)

5.2 Konsequenzen

Generell lässt sich sagen, dass der Einsatz von Multimedia nicht generell das Lernen verbessert. Bewährt hat sich allerdings der Einsatz einer hohen Kohärenz, einer Kontiguität sowohl räumlich, als auch zeitlich, die Präsentation von Bildern vor der Textpräsentation, der Einsatz von Bildern für schwierige Inhalte und Lerner mit geringem Vorwissen sowie eine begrenzte Zahl von Repräsentationen (s. Schnotz, 2002).

Letztlich kann man die Frage der geistigen Leistung und der Erstellung eines mentalen Modells auch aus Sicht der kognitiven Ökonomie betrachten. Hierbei wird davon ausgegangen, dass mehrere externe Repräsentationen (Text, Bilder etc.) beim Verständnisprozess helfend und unterstützend wirken können. Dies wird z.B. damit begründet, dass durch mehrere externe Repräsentationen die Interpretationsmöglichkeiten wechselseitig eingeschränkt werden und es so zu einem besseren Verständnis kommt. Auf der anderen Seite allerdings sind bei steigender Anzahl von externen Repräsentationen auch steigende kognitive Kosten verbunden. Der Mensch hat nur eine beschränkte Menge an kognitiven Ressourcen, die es optimal auszunutzen gilt. Ein Übermaß an Material kann zu sehr belasten und ist hinderlich für den Lernerfolg. So müssen Kosten und Nutzen jeweils gegeneinander abgewogen werden. Weniger ist dabei häufig mehr.

6 Mentale Modelle

Bei der Benutzung eines Computers hat ein Anwender bestimmte Vorstellungen von seiner Arbeit und der Funktionsweise der zu bedienenden Software. Diese Vorstellung wird mentales Modell genannt (vgl. Abschnitt 5). Mentale Modelle sind als eine Art innere „Landkarte“, als eine innere Repräsentation der Welt zu verstehen. Neben dem Modell des Anwenders gibt es noch die konzeptuellen Modelle der Systementwickler, sowie die systemtechnischen Modelle, welche die tatsächlich umgesetzten, d.h. programmierten Modelle beschreibt. Die Modelle der Systementwickler sind meist strukturierter als die mentalen Modelle der Anwender (s. Herczeg, 2005, S. 39ff).

Mit der Zeit entwickelt der Benutzer also ein Verständnis der Prinzipien der Benutzeroberfläche. Diese müssen allerdings nicht immer den systemtechnischen oder konzeptuellen Modellen entsprechen. Probleme entstehen, wenn diese unterschiedlichen Modelle nicht zueinander passen, die Vorstellungen der Benutzer von einem System sich stark von denen der Entwickler oder der technischen Umsetzung unterscheiden. Man spricht in diesem Fall von inkompatiblen Modellen.

Das Schreiben eines Textes am Computer ist ein einfaches Beispiel für die Anwendung eines mentalen Modells (s. Dahm, 2006, S. 80). Die Funktionsweise einer Textverarbeitung und die Bedienung der Tastatur kann in Analogie zu einer Schreibmaschine gesehen werden. Die Analogiebildung steht in engem Zusammenhang mit dem Einsatz von Metapher, die in Abschnitt 7 behandelt werden. Die Bildung von korrekten mentalen Modellen kann durch den Einsatz von Metaphern erleichtert werden, dadurch können sie aber auch falsch sein. Abweichungen von der Bedienungsweise der Schreibmaschine müsse also ebenfalls in das Modell eingebaut werden.

Beispiel 1 Die Leertaste hat eine andere Funktion als bei der Schreibmaschine. Es wird keine Schreibkopf über das Papier bewegt, sondern die nachfolgenden Wörter im Text werden nach hinten geschoben oder alternativ überschrieben.

Beispiel 2 Der Scrollbalken und die dazugehörigen Pfeilknöpfe verschieben nicht das Papier wie bei einer Schreibmaschine die Drehung an der Walze. Der Pfeil nach unten verschiebt vielmehr das „Papier“ nach oben, aber das Fenster nach unten.

Inkompatible Modelle entstehen auch auf sprachlicher Ebene. So entstehen Probleme, wenn die Systemsprache nicht die der Benutzer ist, also z.B. bestimmte Fachbegriffe benutzt werden, die dem Anwender fremd sind.

6.1 Konsequenz

Selbstbeschreibungsfähigkeit und Erwartungskonformität der Anwendung sind die wichtigsten Voraussetzungen für die Bildung eines angemessenen mentalen Modells (s. Wandmacher, 1993, S. 197). Sie ermöglichen einen intuitiven Umgang mit der Software. Wenn von Entwicklerseite ein korrektes mentales Modell beim Benutzer hervorgerufen werden kann, so ermöglicht es dies dem Benutzer die korrekte Benutzung der Software zu erkennen, anstatt sie umständlich erlernen zu müssen.

Wichtig für die Vermeidung inkompatibler Modelle ist die Kenntnis über die Struktur des menschlichen Gedächtnisses und die Funktionsweise und Konstruktion der mentalen Modelle des Benutzers.

Eine gute Software ist daran orientiert, dass Menschen in ihrer Umwelt notorisch Sinn, Ordnung und Zusammenhänge sehen. Andeutungen genügen, um Deutungen und Handlungsweisen im Sinne der aktivierten mentalen Modelle auszulösen. (s. Glaser, 1994)

Weiterhin kann durch die rechtzeitige frühe Einbeziehung des Benutzers in den Entwicklungsprozess Einblick in die mentalen Modelle der Benutzer gewonnen werden. Diese Grundsätze sind im Usability Engineering (s. Nielsen, 1993) zusammengefasst.

7 Metaphern

Der Begriff der Metapher (griechisch *μεταφορα* – Übertragung, von *metà phérein* – „anderswohin tragen“) stammt ursprünglich aus der Linguistik und der Sprachphilosophie, hat aber mehr und mehr seinen Weg in die Oberflächengestaltung von Computersystemen gefunden (s. Krause, 2006).

Sprachliche Metaphern beschreiben Bedeutungen von Wörtern, die über die enge wörtliche Bedeutung hinausgehen. Analogien sind hier das zentrale Element. Metaphern stehen also stellvertretend immer für etwas anderes. So bezieht sich der Begriff hochnäsig nicht auf das Aussehen einer Person, sondern auf sein arrogantes Verhalten. Durch solche Metaphern gewinnt eine Sprache an Ausdrucksmöglichkeit (s. Wirth, 2005). Viele Metaphern sind so in den allgemeinen Sprachgebrauch eingeflossen, dass einem gar nicht in den Sinn kommen würde, am „Fuß eines Berges“ nach Zehen zu suchen oder beim Herausschneiden eines „Salatherzen“ an Mord und Totschlag zu denken.

Metaphern sind aber vielfältiger einsetzbar. Bei erklärenden Formulierungen wie „Das funktioniert so etwa wie ein...“ oder „Im Grunde ist das das Gleiche wie...“ werden Analogien benutzt. Analogien sind der Grundbaustein der Metaphern (s. Bauer-Wabnegg, 2005).

Lernen findet häufig über Analogien statt. Während des Lernprozesses setzt der Mensch ihm bekanntes Altwissen ein, um einen neuen Sachverhalt zu verstehen. Metaphern sind also als Denktechniken zu verstehen, die für den Menschen vollkommen natürlich sind. Der Mensch denkt permanent in Metaphern (s. Lakoff und Johnson, 1980; Krause, 1996)

Hülzer-Vogt (1995, S. 197) sieht die Metaphernerkennung als kognitive Grundstrategie des Menschen, die ihm angeboren ist:

Die analogische Konstruktion des Neuen nach dem Vorbild oder Muster des Bekannten (unter Zuhilfenahme innerer Bilder), initiiert durch ein AHA-Erlebnis, ist der wichtigste Vorgang bei der Metaphernbildung. Dieser komplexe Konstruktionsprozess, der eine Interaktion zwischen zwei kognitiven Konzepten darstellt, ist sozusagen die Methode, nach der Metaphern kreiert werden. Die unbewusste, automatische Anwendung dieser Methode legt es nahe, davon auszugehen, daß sie als angeborene Fähigkeit bei Sprecher und Hörer gleichermaßen vorauszusetzen ist. Auf sie stützt sich der Hörer bei seiner Rekonstruktion der gemeinten Bedeutung einer sprachlichen Metapher.

7.1 Visuelle Formalismen vs. Metaphern

Der Einsatz von Metaphern birgt Gefahren, da es zu logischen Brüchen in der Anwendung von Metaphern kommen kann. Der bekannte Papierkorb auf Desktopsystemen kann z.B. neben einzelnen Dateien, ganze Aktenorder verschlingen. Eine gewisse Detailkritik an Metaphern ist nicht neu.

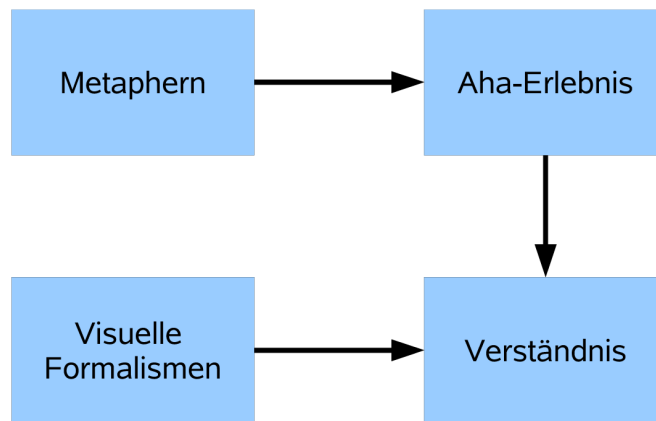


Abbildung 5: Erkenntnisprozesse auf Basis von Metaphern und visuellen Formalismen

Nardi und Zарmer (1993, S. 18f) sprechen daher die Nachteile von Metaphern an. Hiernach seien Metaphern schlüpfrig und ungenau, meist zu einfach und könnten daher die semantische Last, die auf ihnen liegt nicht tragen. Anwender hätten keine Probleme eine Bedeutung aus einer Metapher zu extrahieren, doch würde es Probleme bereiten, die relevanten von den irrelevanten Bedeutungen zu unterscheiden. Metaphern „tun so als ob“ sie etwas anderes seien, was letztlich der Kern der Kritik ist. Diese gelte es zu vermeiden.

Als Gegenentwurf werden die visuellen Formalismen vorgestellt, die es ermöglichen sollen intuitive Interaktionskonzepte zu entwickeln, ohne auf Metaphern angewiesen zu sein. Krause (1996, S. 21) beschreibt visuelle Formalismen wie folgt:

Visual formalism sind somit im Kern nichtbildhafte, nichtmetaphorische, visuelle Gestaltungsmittel, deren graphischer Charakter in Verbindung mit kognitiven Grundfähigkeiten eine effiziente, direktmanipulative Systembedienung ohne (bzw. mit nur geringem) Lernaufwand ermöglichen und die Problemlösung durch “external representation” unterstützen.

Als Beispiel für visuelle Formalismen werden häufig Spreadsheet Anwendungen im Sinne von Excel vorgestellt. Diese Art der Darstellung ermöglicht einen nahezu intuitiven Umgang mit Kalkulationen und Zahlen. Es handelt sich dabei nicht nur um „Wissen“, wie z.B. eine erlernte Sprache, auch nicht um Wissen, dass auf Analogien beruht, wie die Metaphern, sondern um direktes Wissen (s. Krause, 1996, S. 19).

Visuelle Formalismen bedienen sich also Grundfähigkeiten des Menschen wie z.B. der Hierarchiebildung oder der Erkennung von Linien und Mustern. Diese Fähigkeiten sind dem Menschen angeboren und müssen nicht erlernt werden. Wie in Abbildung 5 zu sehen, führen visuelle Formalismen direkt zu einem Verständnis – Im Gegensatz zu Metaphern, die ein „Aha-Erlebnis“, also eine Wiedererkennungs- und Abstraktionsleistung auf Basis von Altwissen benötigen, um zum Verständnis zu gelangen.

Wenn wir allerdings den Umgang mit Metaphern als kognitive Grundfähigkeit des Menschen ansehen, dann spricht nicht viel gegen den Einsatz von Metaphern, da der Mensch es gewöhnt ist, mit Metapher zu arbeiten und sich deren Mehrdeutigkeiten und Ungenauigkeiten durchaus bewusst ist. Er weiß, dass eine metaphorische BOF im Windowsstil keine Simulation eines Büros und eines Arbeitsplatzes ist, sondern nur „so ähnlich“.

7.2 Globale und Detail-Metaphern

In der Anwendung von Metaphern kann zwischen globalen und „en-detail“ Metaphern unterschieden werden. Globale Metaphern sind z.B. die Desktop-Metapher, die also einen gesamten Arbeitsbereich (in diesem Falle die Bürowelt und den Schreibtisch im Speziellen) auf den Computer abbildet. Weitere globale Systemmetaphern finden sich z.B. im Bereich von Laborsystemen oder auch Text- und Grafikeditoren. Darüber hinaus sind globale Metaphern eher selten anzutreffen. Einen Großteil der angewendeten Metaphern findet man daher im Bereich der Detail-Metaphern. Diese sind meist eine Kombination aus visuellen Formalismen und reinen Metaphern. So sind beispielsweise Buttons und Schieberegler zum einen stark grafisch abstrahiert (visuelle Abstraktion) auf der anderen Seite allerdings funktional an bekannte Gegenstände der Dingwelt angelehnt (Analogieprinzip der Metapher).

Die Vermischung der beiden Prinzipien ist gleichzeitig die Stärke der Detail-Metaphern, da sie hierdurch meist zu einem natürlichen Mapping (Norman, 1988) führen, welche eingängig und intuitiv sind.

7.3 Konsequenzen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die künstlich verstärkte Gegenüberstellung von visuellen Formalismen und Metaphern durch Nardi und Zarmar (1993) nicht umsetzbar ist. Bei der Gestaltung einer BOF kann es keine Entweder-Oder-Entscheidung geben. Letztlich sind beide Ansätze sinnvoll und auch einzusetzen. Wenn sich Lösungen auf Basis eines visuellen Formalismus finden lassen, so stellen diese einen intuitiven Zugang zur Anwendung dar, wobei gute auf Metaphern basierende Lösungen dieser allerdings in nichts nachstehen müssen. Allerdings ist zu beachten dass Metaphern auch nicht tragfähig sein können, wie Krause (1996, S. 9) beschreibt:

Metapherngebrauch ist somit immer als Ausgleich gegensätzlich wirkender Be- und Entlastungskomponenten gesehen worden. Neigt sich dieses kognitive gegeneinander Aufrechnen ins Negative, handelt es sich um eine schlechte Metapher, die die Benutzerfreundlichkeit der Oberfläche nicht erhöht. Kommt der Ausgleich noch stärker in den Minusbereich, kollabiert die Metapher; der Benutzer kann sie nicht mehr nachvollziehen.

Die Frage ob eine Metapher tragfähig ist oder nicht muss letztlich durch empirische Untersuchungen gezeigt werden. So ist es selbstverständlich schlechte Metaphern als solche zu erkennen und durch bessere Lösungsansätze zu ersetzen.

8 Emotive Faktoren

Betrachtet man das Erscheinungsbild von Benutzungsoberflächen genauer, so kommt neben den softwareergonomischen, kognitionspsychologischen und perzeptiven Komponenten noch eine weitere, bisher eher unbeachtete Ebene zum Vorschein, die ästhetisch-emotive Wirkung. Eibl stellt fest, dass Anwender in Tests den Grad der Benutzerfreundlichkeit nicht auf Grund softwareergonomischer Fakten bewerten, sondern diesen aus der ästhetischen Wahrnehmung ableiten (vgl. Eibl u. a., 2005, S. 157ff). Diese Diskrepanz zwischen tatsächlicher und scheinbarer Benutzerfreundlichkeit wird vor allem deutlich, wenn Anwender auch weit über den ersten Eindruck hinaus das von ihnen als „schöner“ empfundene Interface als das benutzerfreundliche-

re ausweisen. Eine durch den Gebrauch der tatsächlich schlechteren Oberfläche zu erwartende Einsicht stellt sich offensichtlich auch nach längerer Zeit nicht ein. Scheinbar entwickelt der Anwender die Erwartungshaltung abhängig von den wahrgenommenen emotiven Faktoren und gleicht diese eher selten mit anschließenden Erfahrungen ab.

Vor diesem Hintergrund muss der Zusammenhang zwischen grafischem Design und scheinbarer Benutzbarkeit näher untersucht werden. Es stellt sich die Frage ob durch ästhetisch-emotive Komponenten eine dauerhafte Steigerung der Akzeptanz und Motivation erreicht werden kann und die Anwendbarkeit der Oberfläche auf diese Weise effektiver kommuniziert wird als bei optisch weniger Ansprechenden Ansätzen.

9 Fazit

Dieser Arbeitsbericht stellte die aktuellen Erkenntnisse im Bereich der Perzeption und Kognition zusammen. Erwähnt werden sollte, dass viele dieser Erkenntnisse noch Gegenstand der aktuellen Forschung sind und z.B. die Modelle der dualen Kodierung und daraus resultierenden Lerntheorien erheblich erweitert werden. Die hier zusammengefassten Konsequenzen sind also folglich oft als Daumenregeln und „Best-Practice“ zu betrachten.

Eine direkte Übertragung dieser Konzepte auf den Entwurf von BOF ist schwierig. Zu unspezifisch und unklar sind viele dieser Erkenntnisse, eine scheinbare Lösung des Dilemmas bringen Styleguides. Diese bieten Designrichtlinien in Rezeptform an, die klare Entwurfsregeln enthalten. Leider sind sie durch ihre Konkretheit zu festgefahren und nicht an verschiedene Anwendungsbereiche anwendbar. Um der Unklarheit der Kognitionswissenschaft auf der einen und der Starre der Styleguides auf der anderen Seite zu begegnen, wurde das WOB³ Modell als Mittelmodell zwischen diesen beiden Extremen eingeführt (s. Krause, 2006).

Literatur

- [Bauer-Wabnegg 2005] BAUER-WABNEGG, Walter: War of Eyeballs. Design in der Medien-gesellschaft. In: EIBL, Maximilian (Hrsg.) ; WOLFF, Christian (Hrsg.) ; WOMSER-HACKER, Christa (Hrsg.): Designing Information Systems Bd. 43. Konstanz : UVK Verlagsgesellschaft mbH, 2005, S. 183–196
- [Cassells u. a. 1995] CASSELLS, Annette ; GREEN, Patrick ; HARTLAND, Judith ; HAYES, Nicky ; REDDY, Peter ; GERSTENMAIER, Jochen (Hrsg.): Einführung in die Kognitions-psychologie. UTB für Wissenschaft: Grosse Reihe, 1995
- [Dahm 2006] DAHM, Markus: Grundlagen der Mensch-Maschine-Interaktion. Pearson Studium, 2006
- [Ebbinghaus 1992] EBBINGHAUS, Hermann: Über das Gedächtnis : Untersuchungen zur ex-perimentellen Psychologie. Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1992
- [Eibl u. a. 2005] EIBL, Maximilian (Hrsg.) ; WOLFF, Christian (Hrsg.) ; WOMSER-HACKER, Christa (Hrsg.): Designing Information Systems: Festschrift für Jürgen Krause. Konstanz : UVK Verlagsgesellschaft mbH, 2005 (Schriften zur Informationswissenschaft; 43). – 221 Seiten
- [Gegenfurtner 2006] GEGENFURTNER, Karl R.: Farbwahrnehmung. 2006. – URL www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/farbe.html. – Tutorial, Universität Giessen Abteilung

³ Auf der Werkzeugmetapher basierte streng objektorientierte Benutzungsoberfläche

Allgemeine Psychologie Justus-Liebig-Universität Gießen Otto-Behaghel-Str. 10F 35394 Gießen, gegenfurtner@uni-giessen.de

- [Glaser 1994] GLASER, Wilhelm R.: Menschliche Informationsverarbeitung. In: EBERLEH, E. (Hrsg.) ; OBERQUELLE, Horst (Hrsg.) ; OPPERMANN, Reinhard (Hrsg.): Einführung in die Software-Ergonomie; Mensch -Computer -Kommunikation; Grundwissen 1/2. Berlin, New York : de Gruyter, 1994, Kap. 1
- [Herczeg 2005] HERCZEG, Michael: Software-Ergonomie. Grundlagen der Mensch-Computer-Kommunikation. zweite vollständig überarbeitete. Oldenbourg Verlag, 2005
- [Hülzer-Vogt 1995] HÜLZER-VOGT, Heike: Metapher. In: LENKE, Nils (Hrsg.) ; HANS-DIETER, Lutz (Hrsg.) ; SPRENGER, Michael (Hrsg.): Grundlagen sprachlicher Kommunikation. Mensch -Welt -Handeln -Sprache -Computer. München : Wilhelm Fink Verlag, 1995, S. 176–197
- [Krause 1996] KRAUSE, Jürgen: Visualisierung und graphische Benutzeroberflächen / InformationsZentrum Sozialwissenschaften. Bonn, 5 1996 (Nr. 3). – IZ-Arbeitsbericht. – URL http://www.gesis.org/Publikationen/Berichte/IZ_Arbeitsberichte/pdf/ab3.pdf
- [Krause 2006] KRAUSE, Jürgen: Visual Interaction on the Basis of the WOB-Model. In: RAPP, Reinhard (Hrsg.); SEDLMEIER, Peter (Hrsg.); ZUNKER-RAPP, Gisela (Hrsg.): Perspectives on Cognition -A Festschrift for Manfred Wettler. Dustri, 2006. – URL <http://www.uni-koblenz.de/~krause/skripte/WOB06.pdf>
- [Lakoff und Johnson 1980] LAKOFF, George ; JOHNSON, Mark: Metaphors We Live By. Chicago : University of Chicago Press, 1980
- [Moreno und Mayer 2000] MORENO, Roxana; MAYER, Richard E.: A Learner-Centered Approach to Multimedia Explanations: Deriving Instructional Design Principles from Cognitive Theory. In: Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer-Enhanced Learning (2000). – URL <http://imej.wfu.edu/articles/2000/2/05/index.asp>. – Onlinequelle, letzte Überprüfung 08. Sept. 2006
- [Nardi und Zarmmer 1993] NARDI, B. A. ; ZARMER, C. L.: Beyond models and metaphors: Visual formalisms in user interface design. In: Journal of Visual Languages and Computing (1993), Nr. 4, S. 5–33
- [Nielsen 1993] NIELSEN, Jakob: Usability Engineering. San Francisco, CA, USA : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993
- [Norman 1988] NORMAN, Donald A.: The psychology of everyday things. Basic Books, 1988
- [Paivio 1986] PAIVIO, Alan: Mental Representations. New York : Oxford University Press, 1986
- [Resnikoff 1989] RESNIKOFF, Howard L.: The illusion of reality. New York, NY, USA : Springer-Verlag New York, Inc., 1989
- [Schmidt 2006] SCHMIDT, Thomas: Die Architektur des Gedächtnisses. 5 2006. – URL <http://www.allpsych.uni-iessen.de/thomas/teaching/pdf/G2006/Gedaechtnis1.pdf> – Foliensatz aus der Vorlesung Kognitive Psychologie im SS 2006 von Knut Drewing, Thomas Schmidt, Miriam Spering, Karl Gegenfurtner
- [Schnotz 2002] SCHNOTZ, Wolfgang: Lernen mit Multimedia: Versprechungen, Befunde, Perspektiven. Vortrag in der Vorlesungsreihe Open source Aspekte des eLearning". 1 2002. – URL <http://gonzo.uni-weimar.de/~m2/smil/schnotz/schnotz.html>. – Onlinequelle, letzter Abruf am 12. Sept. 2006

- [Schnotz und Bannert 1999] SCHNOTZ, Wolfgang ; BANNERT, Maria: Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text-und Bildverstehen. In: Zeitschrift für Experimentelle Psychologie (1999), 7, Nr. 3, S. 217–236
- [Tulving 1983] TULVING, Endel: Elements of Episodic Memory. Oxford: Clarendon Press, 1983
- [Wandmacher 1993] WANDMACHER, Jens: Software-Ergonomie. de Gruyter, Berlin, New York, 1993
- [Wirth 2005] WIRTH, Thomas: Über Metaphern. Kommunikationsdesign. 2005. – URL <http://www.kommdesign.de/texte/metaphern.htm>
- [Zitzmann und Schulz 1990] ZITZMANN, Lothar ; SCHULZ, Benno: Grundlagen visueller Gestaltung. erste. Burg Giebichstein, Neuwerk 7, Halle (Saale) 4020 : Hochschule für industrielle Formgestaltung, Halle, 1990