

3 Vergleich visueller und nicht-visueller Wahrnehmung

Bevor die Vorgänge des Wahrnehmens mit und ohne Sehsinn verglichen werden können, sind einige Anmerkungen zum Begriff der Wahrnehmung und zu ihrer wissenschaftlichen Erforschung notwendig. An erster Stelle steht hier die Definition von Wahrnehmung:

Wahrnehmung ist der Prozeß, in dem Sinnesempfindungen (Reize), Gedächtnisinhalte, Interessen und Gefühle sowie Erwartungen zu entscheidungs- und handlungsverwertbaren Informationen organisiert werden [vgl. MS ENCARTA 97].

Die Wahrnehmung ist Gegenstand der *Wahrnehmungspsychologie*. Diese untersucht insbesondere die Zusammenhänge zwischen den physikalischen Eigenschaften des wahrzunehmenden Objekts, den physiologischen Bedingungen des Wahrnehmens und den beim Wahrnehmen auftretenden Sinneserlebnissen. Weiterhin ist die Bedeutung, die Denken und Motivation für die Wahrnehmung haben, von Interesse [MS ENCARTA 97].

Obwohl die Wahrnehmungspsychologie schon seit langem als Teil der Psychologie etabliert ist, und obwohl die physiologischen Vorgänge bei der Stimulierung relativ gut erforscht sind, gibt es in diesem Gebiet noch eine Reihe ungeklärter Phänomene und kaum gesicherte Erkenntnisse. Es wird den Psychologen und hier insbesondere auch den Neuropsychologen überlassen bleiben müssen, z.B. den Zusammenhang zwischen neuraler Reizung und emotionalen Reaktionen aufzuklären (vgl. [DIX ET AL. 98, S.13]).

3.1 Kurzfassung relevanter Aspekte der Wahrnehmungspsychologie

Eine Recherche der Literatur auf dem Gebiet der Wahrnehmungspsychologie zeigt deutlich, daß Wahrnehmung in der ganz überwiegenden Zahl der Fälle mit visueller Wahrnehmung gleichgesetzt wird. Nicht nur Werke, die sich explizit mit der visuellen Wahrnehmung befassen (z.B. [GRONER ET AL. 90]), sondern auch solche, die sich mit dem Thema als ganzem befassen, reduzieren die Wahrnehmung oft auf ihre visuelle Ausprägung. Einzelne Aspekte der Wahrnehmung werden oft unter Verwendung optischer Täuschungen erforscht. Dem gegenüber steht die (kleine) Kollektion der wahrnehmungspsychologischen Literatur, die sich nahezu ausschließlich mit der nichtvisuellen Wahrnehmung (insbesondere Blinder) befaßt. Ein überzeugender allgemeiner Ansatz, der von der Wahrnehmungsmodalität gänzlich abstrahiert und den Prozeß der Wahrnehmung unabhängig von den beteiligten oder vorhandenen Sinnen beschreibt, ist zur Zeit nicht verfügbar [vgl. SEKULER & BLAKE 94]. Möglicherweise läßt sich die Wahrnehmung auch nicht gänzlich unabhängig von den Kanälen der Sinnesreize charakterisieren. Die Schwerpunkte der wissenschaftlichen Erkundung des Wahrnehmungsprozesses werden im Folgenden kurz dargestellt.

In der Wahrnehmungspsychologie wird davon ausgegangen, daß die nicht-organisierten, nackten Sinnesreize, die über das Auge, das Gehör und die anderen Sinne aufgenommen werden, praktisch unmittelbar unbewußt so „korrigiert“ werden, daß sogenannte *Abbilder*¹³, verwertbare Erfahrungen, entstehen. Beispielsweise wird ein Auto, das auf einer Straße fährt, unabhängig von der Größe des Abbilds auf der Netzhaut des Betrachters so wahrgenommen, als habe es seine volle Größe [MS ENCARTA 97]. Ähnliches gilt für die akustischen Reize. Man hört zwar ein komplexes Muster aus Schallwellen, nimmt dieses aber nur als deren Ursache wahr, z.B. als ein fahrendes Auto.

¹³ Man beachte, daß in der Wahrnehmungspsychologie das Wort „Abbild“ hier nicht in seiner Bedeutung als zweidimensionales „Bild“, sondern eher in der Bedeutung als gedanklicher Gegenstand („Modell“) verwendet wird.

Wahrnehmung erschöpft sich jedoch nicht in der Organisation unmittelbarer Sinnesempfindungen. Vielmehr werden auch die Abbilder, die aus früheren Erfahrungen stammen, selbst so organisiert, daß sie die Genauigkeit und Geschwindigkeit der momentanen Wahrnehmung erhöhen.

Hier spielt das Gedächtnis eine bedeutende Rolle: Wahrnehmung auf einer höheren Abstraktionsebene als der des reinen Reiz-Aufnehmens kommt ohne das Gedächtnis nicht aus. Interessanter Weise kann man das Gedächtnis nicht nur nach den klassischen Kategorien Kurzzeit- Arbeits- und Langzeitgedächtnis unterteilen, sondern auch nach sensorisch-motorischen Gesichtspunkten [DIX ET AL. 98, S. 27]. Man spricht dann von *iconic memory*, *echoic memory* und *haptic memory*. Diese Form des Gedächtnisses kann man auch an sich selbst beobachten: Zum Beispiel beim Eingeben einer häufig gewählten Telefonnummer am Tastentelefon oder der PIN (*personal identification number*) am Geldautomaten bewegen sich die Finger von Taste zu Taste, ohne daß man sich die Nummer ins Gedächtnis ruft. Insbesondere Blinde (aber nicht nur diese) haben sich solche Nummern bzw. die zu deren Eingabe nötigen Bewegungen „in den Fingern gemerkt“.

Um diesen Zusammenhang zwischen reizauslösendem Gegenstand, physischem Reiz und wahrgenommenem Stimulus sowie dessen Verarbeitung untersuchen zu können, kann man sich der Vorstellung des *mentalen Modells* bedienen. Auf dieses wird im Abschnitt 3.4 näher eingegangen.

Klassische Wahrnehmungstheorie: Die Wahrnehmungskonstanz ist ein schon lange wissenschaftlich untersuchtes Phänomen. Sobald ein Objekt einmal als identifizierbare Einheit erkannt worden ist, wird es tendenziell auch weiter als stabiles Objekt mit dauerhaften Eigenschaften perzipiert, unabhängig davon, wie es beleuchtet ist, aus welchem Blickwinkel und aus welcher Entfernung es wahrgenommen wird. Obwohl jedes Objekt in einem Abstand von 100 Metern ein kleineres Abbild auf der Netzhaut produziert als in einem Abstand von 20 Metern, wird es mit einer ihm innewohnenden festen Größe wahrgenommen [DIX ET AL. 98, S. 13FF; SHNEIDERMAN 98, S. 18FF].

Nach der von dem deutschen Physiologen und Physiker Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz in der Mitte des 19. Jahrhunderts vertretenen klassischen Wahrnehmungstheorie ist die Wahrnehmungskonstanz – wie auch die Tiefenwahrnehmung und die meisten anderen Abbilder – auf die Fähigkeit des Menschen zurückzuführen, seine vergangene Erfahrung kontinuierlich mit den gegenwärtigen Sinnesreizen synthetisch zu verbinden. Wenn ein neugeborenes Tier oder ein Kleinkind seine Welt erforscht, lernt es bald, das, was es sieht, nach einem dreidimensionalen Muster zu organisieren, wobei es sich hauptsächlich an der Zentralperspektive orientiert und daran, daß ein entfernteres Objekt durch ein nähergelegenes verdeckt wird und daß entferntere Objekte weniger scharf wahrgenommen werden. Diese Phänomene wurden bereits von Leonardo da Vinci entdeckt.

Unter Einbeziehung taktiler und akustischer Informationen erwirbt das heranwachsende Kind in kurzer Zeit eine Fülle spezifischer Assoziationen, die den physikalischen Eigenschaften der Objekte entsprechen. Diese Assoziationen werden automatisch vollzogen.

Gestalttheorie: In der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts hatte die Gestaltpsychologie ihre Blütezeit [KÖHLER 92]. Ihr zufolge kann die Wahrnehmung nicht verstanden werden, indem man einzelne Empfindungen analysiert, vielmehr sind die im Gehirn verarbeiteten Konfigurationen als ganze, eben die Gestalten, zu untersuchen. Aus dieser Sicht ist die eigentliche Wahrnehmungseinheit die Gestalt: eine geistig-seelische Struktur, deren Eigenschaften von der entsprechenden Struktur von Verarbeitungsvorgängen im Gehirn bestimmt werden. In gestaltpsychologischen Experimenten konnte gezeigt werden, daß die Wahrnehmung einer Gestalt nicht davon abhängt, daß deren einzelne Elemente wahrge-

nommen werden. Eine „quadratische“ Gestalt kann sowohl in einer Figur aus vier roten Linien als auch in einer Figur aus vier schwarzen Punkten wahrgenommen werden. In vergleichbarer Weise wird Musik nicht als aus einzelnen Tönen von verschiedenen Instrumenten und Stimmen bestehend wahrgenommen, vielmehr ist die Wahrnehmung gesetzmäßig so organisiert, daß der Hörer von Anfang bis Ende eine einzige, organisierte Gestalt wahrnimmt.

Der Gestalttheorie sind einige wichtige Erkenntnisse über das Lernen und die Struktur kreativer Prozessen zu verdanken, jedoch waren die introspektiven Berichte, auf die sie zur Erklärung der Wahrnehmung angewiesen war, immer noch zu subjektiv und damit nur von begrenztem wissenschaftlichen Wert. Darüber hinaus wird die Existenz der „angeborenen physiologischen Vorgänge“, denen die Gestaltpsychologen die von ihnen postulierten Organisationsprinzipien zuschrieben, heute bezweifelt.

Derzeitiger Stand der Forschung: Von Beginn der Wahrnehmungsforschung an haben Psychologen versucht, die – wie sie glaubten – angeborenen Aspekte der Wahrnehmung von den durch Erfahrung erworbenen zu trennen. In Experimenten mit optisch unerfahrenen Tieren und Kleinkindern zeigte sich, daß diese nicht über sogenannte „Wahrnehmungsriffe“ hinauskrabbelten. Man meinte, damit gezeigt zu haben, daß die Tiefenwahrnehmung angeboren ist. Mit Hilfe dieser und weiterer Experimente, die angeborene Fähigkeiten aufweisen sollten, wollten die Vertreter dieser Schule abschätzen, zu welchen Anteilen das Wahrnehmungsverhalten jeweils angeboren beziehungsweise erworben ist.

Heute sind sich die meisten Psychologen darin einig, daß eine derartige dichotome (von einer Zweiteilung ausgehende) Herangehensweise wissenschaftlich nicht gut fundiert ist und die Erforschung der Wahrnehmung nicht voranbringt. Unter Rückgriff auf die klassische Wahrnehmungstheorie gehen sie davon aus, daß die Fähigkeit zur Wahrnehmung auf der Fähigkeit basiert, die gesamte Erfahrung zu organisieren; hier sind auch die vielen Erfahrungen physiologischen Wachstums gemeint, die nach allgemeiner Meinung den formalen Lernerfahrungen vorausgehen. Zu dem „Wahrnehmungsriff“ etwa sagen Vertreter dieser Richtung, daß dem Kleinkind zwar vielleicht die optische Erfahrung fehlt, daß es aber dennoch in seiner Umgebung schon andere Sinnesempfindungen erlebt hat, die möglicherweise zu seiner Fähigkeit beitragen, optische Tiefe wahrzunehmen. Durch viele derartige Vorerfahrungen wird sozusagen das Lernen gelernt [MS ENCARTA 97, ROEBUCK ET AL. 75].

Dieser Kurzaufsatz der Wahrnehmungspsychologie, ihrer Methoden und Ergebnisse zeigt insbesondere zwei hier bedeutsame Merkmale: Erstens ist die Rolle der unterschiedlichen Sinne und insbesondere der Wechselwirkung zwischen ihnen bei der Wahrnehmung noch nicht endgültig geklärt, und zweitens verwendet die Wahrnehmungspsychologie gedankliche Modelle und reale Experimente zur Untersuchung und Verifikation ihrer Hypothesen. Zu gegebener Zeit wird auf solche Verfahren auch in der vorliegenden Arbeit zurückzugreifen sein.

3.2 Wahrnehmung des Raumes

In der Entwicklungspsychologie spielt der Begriff des Raumes und seiner Wahrnehmung eine zentrale Rolle [PIAGET & INHELDER 71]. Kinder lernen erst im Laufe ihrer Entwicklung, die dritte Dimension zu beherrschen. Dabei stützen sie sich zunächst noch stark auf den Tastsinn (in der weiteren Bedeutung). Der Tastsinn liefert in erster Linie *topologische* Informationen über den Aufbau des wahrgenommenen Raumes. Gegenstände und deren

Einzelteile werden als benachbart (zusammenhängend) oder getrennt, als Objekt oder Umgebung wahrgenommen (siehe hierzu auch [BISCHOFBERGER 89]).

Die „Konstruktion der räumlichen Relationen“ geschieht auf unterschiedlichen Ebenen und ist ein sequentieller Prozeß. In der Entwicklung des Kindes wird dieser Prozeß als Teil des Aufbaus der Wahrnehmungsfähigkeit durchlaufen: Bevor das Kind die räumliche Anordnung einzelner Teilobjekte erkennen kann, lernt es, diese voneinander zu unterscheiden. Später läuft dieser Vorgang bei jeder Raumwahrnehmung ab: Auf der lexikalischen Ebene (in [PIAGET & INHELDER 71, S. 21] Wahrnehmungsebene genannt) und auf der syntaktisch-semantischen Ebene (in [PIAGET & INHELDER 71, S. 21] Vorstellungs- oder intellektuelle Ebene genannt).

Diese Konstruktion läuft nach Piaget [PIAGET & INHELDER 71, S. 25-29] gemäß verschiedenen komplexen Relationen ab:

1. Benachbartsein
2. Trennung
3. Reihenfolge (räumliche Aufeinanderfolge)
4. Umgebensein (Umschlossensein)
5. Kontinuität

Die folgende Tabelle (Tabelle 3-1) zeigt an einem Beispiel die Konstruktion des Raumes aus seinen räumlichen Relationen, die tastend wahrgenommen werden:

Tabelle 3-1 Wahrnehmung räumlicher Relationen auf verschiedenen Ebenen

| Relation | lexikalische Ebene | syntaktisch-semantische Ebene |
|--------------------------------------|--|---|
| Benachbartsein (Zusammengehörigkeit) | verschiedene Stimuli, die zu einem Zeitpunkt auf die Hand wirken | ein Gegenstand, z.B. die Maus am Computer |
| Trennung | unterschiedlicher Druckwiderstand an zwei Fingern | eindrückbare Taste und festes Gehäuse |
| Reihenfolge (räumlich oder zeitlich) | ähnliche Stimuli beim Bewegen der Hand | Tasten nebeneinander auf der Tastatur |
| Umgebensein (Umschlossensein) | gleiche Stimulusänderung beim Bewegen des Fingers in jede beliebige Richtung von einem Punkt aus | Taste ist vom Gehäuse umgeben |
| Kontinuität | konstanter Stimulus beim Bewegen der Hand | Tischfläche oder -kante ist durchgehend |

Erst später¹⁴ gewinnt der Sehsinn immer mehr an Bedeutung, bis der Mensch sich auf die visuellen Sinneseindrücke als hauptsächliche Orientierungshilfe verläßt.

Zur visuellen Wahrnehmung des Raumes bedient sich der Sehende u.a. folgender optischer Effekte (siehe auch [MARR 82]):

¹⁴ Nach Piaget passiert das gegen Ende der „sensomotorischen Phase“ der Entwicklung des Kindes, also im zweiten Lebensjahr.

- Verdeckung (von Kanten, Flächen und Objekten sowie Objektteilen)
- scheinbare Größe entfernter Gegenstände
- Zusammenlaufende Fluchtlinien
- Parallaxen-Effekte beim Sehen mit zwei Augen
- atmosphärische Effekte ("Dunst" in der Ferne)

Daneben spielen auch beim Sehenden taktile Eindrücke oder die Erfahrung, eine Gegend "erlaufen" zu haben, sowie akustische Effekte eine Rolle.

Blinde nehmen den Raum auf andere Weise wahr¹⁵:

Gegenstände, die in Griffweite liegen, werden ertastet/abgetastet. Beim Abtasten wird die gesamte zugängliche Oberfläche des Objekts erkundet, wodurch auch Details, die von der Position des Betrachters nicht sichtbar sind (z.B. die Rückseite eines Objekts), wahrgenommen werden.

Tastbar, aber schlecht oder gar nicht sichtbar sind unter anderem

- Innenseiten von Gefäßen (soweit deren Öffnung groß genug für die Hand/den Finger ist)
- Gegenstände *innerhalb* solcher Gefäße
- *Rückseiten* von Gegenständen, die nahe an einer Wand stehen, wie z.B. eines Mikrowellenofens
- *Oberflächentexturen*, z.B. Rauheit oder Mikrostruktur, Stichrichtung bei Stickereien (siehe 2.4)
- *Masse*, sofern der Gegenstand anzuheben ist (nicht bei zu schweren oder an ihrer Umgebung befestigten Objekten)
- Elastizität/Plastizität.

Im Gegensatz dazu gibt es Szenen, die visuell, aber nicht tastend wahrgenommen werden können:

- Fische, die in einem Aquarium schwimmen
- im Fernsehen
- auf Fotografien
- sehr weit Entferntes
- Farben, Schattierungen.

Einer der bedeutendsten Unterschiede zwischen dem Sehsinn und dem Tastsinn ist die Reichweite: Ersterer ist ein Fernsinn und letzterer ein Nahsinn. Die Begrenzung des Tastsinns auf die Reichweite der Arme kann auf verschiedene Art erweitert werden:

Die Griffweite kann leicht erweitert werden, wenn man entweder gewisse Körperbewegungen (Vorbeugen u.ä.) bzw. eine Fortbewegung des gesamten Körpers (wenige Schritte) zuläßt, oder wenn man die Reichweite des Armes durch den Langstock vergrößert. Trainierte Benutzer des Langstocks empfinden diesen als Verlängerung des Armes.

¹⁵ Schiff et al. widmen diesem Thema ihr Werk [SCHIFF & FOULKE 82].

Objekte, die größer als die (erweiterte) Griffweite oder weiter entfernt sind, z.B. Häuser oder Fahrzeuge auf der Straße, werden primär akustisch wahrgenommen. Auch ihre Position und Größe, sowie bis zu einem gewissen Maß auch ihre Form können anhand ihrer akustischen Eigenschaften (insbesondere ihrer Reflexionseigenschaften) erkannt oder ermittelt werden.

Auch hier gibt es Möglichkeiten, sich taktil zu orientieren. Indem man ein Gebäude abschreitet, ggf. mit dem Langstock, kann man dessen Grundfläche und seinen Grundriß ermitteln. Die Höhe eines Gebäudes (oder eines Berges) kann ebenfalls beim Besteigen wahrgenommen werden, allerdings sind hier größere kognitive Anstrengungen nötig. Die Raumwahrnehmung ist weniger unmittelbar.

Insbesondere bei der Wahrnehmung von Bewegung spielt der akustische Kanal eine wesentliche Rolle: Zu den akustischen Eigenschaften, die bei der Wahrnehmung von Raum und Geschwindigkeit eine Rolle spielen, gehören Lautstärke, Tonhöhe und die Zeitverzögerung zwischen der visuellen und der akustischen Wahrnehmung eines Ereignisses: Man sieht einen Blitz oft mehrere Sekunden bevor man den gleichzeitig eingetretenen Donnerschall wahrnimmt. Ebenso kann man an der sich ändernden Tonhöhe der Geräusche eines Fahrzeugs erkennen, ob es sich auf den Wahrnehmenden zu bewegt oder von ihm weg.

Gerade das Beispiel der Entfernungsabschätzung/Raumwahrnehmung durch die Kombination des visuellen Reizes und dem akustischen Reiz, der mit einer gewissen Zeitverzögerung auftritt, zeigt einen weiteren Aspekt, der für die Bewertung von Wahrnehmungsmodalitäten eine Rolle spielt: Die Kombination unterschiedlicher Modalitäten ermöglicht eine über die Addition der beiden Einzelwahrnehmungen hinaus reichende Gesamtwahrnehmung, die deutlich mehr Informationen liefert als ihre Komponenten einzeln: Hört man eine Kanone, die einen Schuß abgab, so liefert dieses Geräusch nicht viel zusätzliche Information zu dem Gesehenen, das man kurze Zeit vorher wahrgenommen hat; erst die Kombination des Gesehenen, des Gehörten und der Zeitverzögerung dazwischen ermöglichen eine Entfernungsabschätzung.

In den Kapiteln 6.3 und 6.4 wird auf die Bedeutung dieser Synergie-Effekte im engeren Zusammenhang dieser Arbeit näher eingegangen.

3.3 Wahrnehmung von Zeichnungen

Die Bedeutung von Zeichnungen auch im nicht-visuellen Zusammenhang für die Informationsvermittlung wird als Thema in jüngerer Zeit auch von der Computergrafik-Gemeinde ernst genommen [WESLEY 95]. Bevor man sich diesem speziellen Aspekt zuwenden kann, muß man allerdings den Vorgang des Wahrnehmens von Zeichnungen allgemein etwas näher betrachten (siehe auch [WEIDENMANN 94B]).

Zeichnungen, insbesondere solche, die räumliche Gegenstände zeigen, sind zweidimensionale Darstellungen *von* Gegenständen. Das heißt, Zeichnungen haben immer eine Form von Modell im Sinne von Urbild. Das Modell kann auch eine Tabelle (im Fall eines Diagramms [KURZE ET AL. 95]) oder eine Abhängigkeitsbeziehung (im Falle eines Organigramms [KENNEL 96B, KENNEL 96A]) sein; in den uns hier interessierenden Fällen gegenständlicher Zeichnungen ist das Modell entweder eine Szene der realen Welt oder ein Rechnermodell (siehe Kapitel 4), eine formale Beschreibung der Geometrie einer Szene.

Zeichnungen werden im allgemeinen nicht als Ansammlung von Linien, sondern als das wahrgenommen, was sie darstellen. Anders gesagt, man nimmt nicht die Darstellung, sondern das Dargestellte wahr.[GRONER ET AL. 90].

Bei Sehenden wird dieser Effekt erreicht, indem man den visuellen (optischen) Eindruck einer realen Szene möglichst realistisch, d.h. fotorealistisch, nachzubilden versucht. Die Gesetze der Optik werden berücksichtigt und dadurch der Unterschied zwischen der Wahrnehmung einer Zeichnung und der des Raumes (siehe 3.2) möglichst gering gehalten.

Wegen der grundsätzlich anderen Art der Wahrnehmung des Raumes durch Blinde kann also eine Zeichnung, die auf optischen Effekten beruht, vom Blinden praktisch nicht erkannt werden. Experimente haben dies gezeigt [BEYER 95].

Hier zeigt sich eine Parallele zur Wahrnehmung durch (Klein-)Kinder beim Zeichnen. Obwohl sie über den Sehsinn verfügen, verlassen sie sich doch stärker auf den Tastsinn als Erwachsene. Das resultiert in der Tatsache, daß sie perspektivische Zeichnungen anfangs nicht erkennen. Man bemerkt diesen Zusammenhang auch, wenn man Kinderzeichnungen studiert. Diese zeigen anfangs gar keine Perspektive, später werden verschiedene Blickrichtungen in einer Zeichnung kombiniert¹⁶.

Ein grundlegender Zusammenhang wird erkennbar: Man zeichnet nicht, was man sieht, sondern was man weiß, also die eigene Vorstellung. *Wie* man zeichnet, ändert sich im Laufe der Zeit: Erwachsene (insbesondere ausgebildete Zeichner) zeichnen, wie sie sehen.

Auch Blinde zeichnen, was sie wissen, also ihre Vorstellung, aber sie zeichnen nicht wie gesehen, sondern wie gefühlt (siehe auch 3.4, [KENNEDY 82, KENNEDY 93, KURZE 95C]).

In dieser Arbeit werden noch weitere Rückschlüsse aus dieser Parallelität gezogen: Zeichnungen *von* Kindern zeigen eine eigene Form der Perspektive. Zeichnungen *für* Kinder in Kinderbüchern zeigen teilweise die gleiche Form der Perspektive, jedoch werden die von Kindern angewendeten Methoden hier verfeinert eingesetzt (siehe Abbildung 3-1). Auch in Kinderbüchern finden sich Zeichnungen, die mehrere Blickrichtungen vereinen, lediglich die Ausführung der Zeichnungen ist im allgemeinen präziser.

Daraus läßt sich der Schluß ziehen, daß Zeichnungen *für* Blinde die gleichen Methoden verwenden könnten wie solche *von* Blinden (siehe [KURZE 96A] und Kapitel 7.2). Ob es sich dabei um blinde Kinder oder Erwachsene handelt, spielt zunächst keine Rolle. Es ist jedoch interessant zu beobachten, daß die Zeichnungen blinder Erwachsener oft eine große Ähnlichkeit mit Zeichnungen von Kindern haben, die (wie geburtsblinde Erwachsene) keine zeichnerische Ausbildung bzw. kulturelle Sozialisation haben. Beide zeichnen diejenigen Eigenschaften der Dinge, die sie *kennen*, nicht unbedingt diejenigen, die sie *sehen*. Als Schlußfolgerung für diese Arbeit wird lediglich die Hypothese aufgestellt und untersucht, daß (taktile) Zeichnungen für blinde Erwachsene (prinzipiell aber auch für blinde Kinder) nach den gleichen grundlegenden Regeln erstellt werden sollten, die blinde Erwachsene (und Kinder) beim Zeichnen selbst anwenden.

¹⁶ Piaget schreibt in [PIAGET & INHELDER 71, S. 62]: „Es ist tatsächlich zweierlei, ob man einen Kreis oder ein Quadrat visuell wahrnimmt oder ob man das visuelle Bild dieser Formen rekonstruiert, wenn man sie mittels taktiler Erforschung wahrnimmt, so daß man sie unter mehreren Modellen herauskennt oder zeichnen kann“.



Abbildung 3-1 Eine Küche aus einem Kinderbuch: Möbelstücke und Gegenstände sind von mehreren Betrachterstandorten aus dargestellt.

Dem modernen westlichen Betrachter erscheint die Darstellung räumlicher Gegenstände in der Art der Fotografie als die „natürliche“ und „richtige“ Form. Für einige andere Kulturen scheint dies nicht zu gelten [HUDSON 60, THOULESS 33]. Es kann nicht Aufgabe der vorliegenden Schrift sein, die „Natürlichkeit“ fotografischer Abbildungen zu beurteilen, jedoch soll hier darauf verwiesen werden, daß die perspektivische Darstellung eine Erfindung der Renaissance ist und daß vorher Abbildungen eher die Methoden verwendeten, die heute im Bereich der Bilder von Kindern und für Kinder gefunden werden (siehe Abbildung 3-2).



Abbildung 3-2 Vor-Renaissance-Abbildung eines Goldschmieds: Wie in Abbildung 3-1 werden verschiedene Perspektiven in einem Bild kombiniert [HAUSBUCH 15]H].

Die Erkenntnis, daß es neben dem „fotorealistischen“ Rendern von Abbildungen auch andere Methoden gibt und daß diese in bestimmten Situationen sinnvoll und nützlicher sind als jene, hat sich erst in jüngerer Zeit durchgesetzt [SCHUMANN ET AL. 96, LANSDOWN & SCHOFIELD 95]. Allerdings gehen auch Ansätze wie dieser von der Rezeption der Zeichnungen mittels der Augen aus. Die Besonderheiten der tastenden Wahrnehmung beim Entwurf von Zeichnungen werden nicht berücksichtigt.

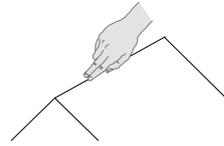
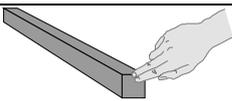
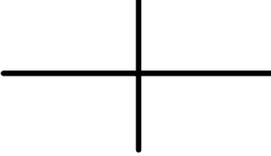
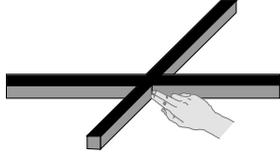
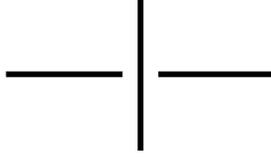
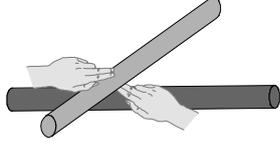
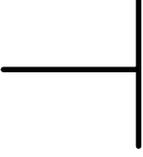
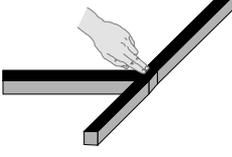
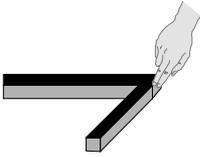
Darstellungen räumlicher Gegenstände als Skizzen oder mit falscher Perspektive dienen, wie auch Dreiseitenansichten, dazu, das Dargestellte leichter zu erkennen und es in das eigene mentale Modell zu integrieren beziehungsweise dieses aufzubauen. Im Entwurfsprozeß jeder Grafik (visueller wie auch haptischer) spielt der *Zweck* der Grafik eine entscheidende Rolle. Während Skizzen verwendet werden, um die Vorläufigkeit des Abgebildeten zu symbolisieren, werden perspektivisch inkohärente Darstellungen in Kinderbüchern eingesetzt, um das Dargestellte in seiner typischsten Form wiedergeben zu können, auch wenn dies nicht für alle Gegenstände vom gleichen Betrachterstandort möglich ist.

Zeichnungen für Blinde müssen in gleicher Weise ihrem Zweck angemessen entworfen werden. Geht es (wie in dieser Arbeit) um die Vermittlung räumlich-gegenständlicher Information, so müssen einerseits die dargestellten Gegenstände identifiziert werden können, andererseits müssen ihre räumlichen Relationen aus der Zeichnung zu entnehmen sein. Bei Zeichnungen handelt es sich also um eine Form von Sprache, die herkömmlich „visuelle Sprache“ genannt wird. In der Literatur [KENNEDY ET AL. 91, KENNEDY 82, KENNEDY 93, KENNEDY 97, SCHIFF & FOULKE 82] wird der Untersuchung von Zeichnungen im Zusammenhang mit ihrer nichtvisuellen Wahrnehmung erst in jüngerer Zeit nennenswerte Beachtung geschenkt. Die Betrachtung haptischer Zeichnungen als Aus-

drücke einer nichtvisuellen Sprache erfordert zunächst die Identifikation ihrer lexikalischen Elemente, die in der nun folgenden Tabelle 3-2 aufgeführt werden.

In der ersten Spalte der Tabelle ist die „Draufsicht“ der lexikalischen Elemente haptischer Zeichnungen dargestellt. Diese entspricht der Darstellung bei visuellen Zeichnungen (z.B. Punkt, Linie, Fläche ...). Die zweite Spalte enthält eine Querschnittsansicht der gleichen Elemente, aus der die Lage des tastbaren Elements relativ zur (ebenfalls tastbaren) Zeichenebene entnommen werden kann. Dargestellt ist also die Ausdehnung der Elemente in die dritte Dimension, die diese erst tastbar machen. In der dritten Spalte ist dargestellt, welchen haptischen Wahrnehmungen von Eigenschaften realer Gegenstände die lexikalischen Elemente näherungsweise entsprechen. Als solche werden die Elemente haptischer Zeichnungen oft interpretiert. Zur Verdeutlichung dieses (sehr einfachen) Interpretationsvorgangs werden in der vierten Spalte der Tabelle jeweils die abstrakte und mögliche konkrete Bedeutungen der Elemente aufgeführt. Die abstrakten Bedeutungen können im jeweiligen Kontext unterschiedlich konkretisiert werden. Die konkrete Bedeutung zum Beispiel eines Punktes ist kontextabhängig und wird in der Tabelle insofern als „mehrdeutig“ gekennzeichnet.

Tabelle 3-2: Lexikalische Elemente einer haptischen Zeichnung¹⁷, deren Wahrnehmung und Bedeutungen (siehe hierzu auch Text)

| Draufsicht | Querschnitt | haptische Wahrnehmung | Bedeutung (abstrakt, konkret) |
|---|---|--|---|
|  |  |  | abstrakt: <i>Linie</i> ; konkret: <i>Kante</i> |
|  |  |  | abstrakt: <i>Linie</i> konkret: <i>länglicher Gegenstand</i> |
|  |  |  | abstrakt: <i>Punkt</i> ; konkret: <i>mehrdeutig</i> |
|  |  |  | abstrakt: <i>Kreuzung</i> ; konkret: <i>mehrdeutig</i> |
|  |  |  | abstrakt: <i>Kreuzung</i> ; konkret: <i>2 Stäbe übereinander</i> |
|  |  |  | abstrakt: <i>T-Verbindung</i> konkret: <i>mehrdeutig</i> |
|  |  |  | abstrakt: <i>Winkel</i> ; konkret: <i>Winkel oder Kante</i> |
|  |  |  | abstrakt: <i>Fläche mit Kante</i> konkret: <i>dito</i> |
|  |  |  | abstrakt: <i>Fläche mit Loch</i> konkret: <i>dito</i> |

¹⁷ Anmerkung zu Tabelle 3-2: sämtliche hier gerade dargestellten Linien sind auch gekrümmt als entsprechende lexikalische Elemente wahrnehmbar.

Wie Tabelle 3-2 zeigt, gibt es einige lexikalische Elemente, die keine eindeutige Bedeutung haben: Eine Linie wird (abstrakt) als Linie wahrgenommen, ihre Bedeutung (konkret) ist aus entsprechenden Wahrnehmungen im 3D-Raum ableitbar eine Kante.

Endet die Linie jedoch frei, so bedeutet dies ein Ende der Kante im Raum. Solche „freien Enden“ kommen in der Realität nicht vor, da Kanten immer von zwei aneinanderstoßenden Flächen gebildet werden. Also müßten am Ende der Kante diese Flächen tastbar sein. Im Fall der frei endenden Linie liegt also ein skalierungsbedingtes Zusammenfallen mehrerer Kanten vor, die von sehr schmalen Flächen gebildet werden. Solche schmalen Flächen bilden in der Realität die Oberfläche länglicher Gegenstände, wie z.B. von Tischbeinen.

Ein ähnliches Problem zeigt sich bei geschlossenen Figuren (siehe Abbildung 3-3). Während bei der vollflächigen Darstellung sofort eine Fläche wahrgenommen wird, kann die Umrißdarstellung auch als leerer Rahmen interpretiert werden. Die konkrete Bedeutung im Einzelfall hängt vom Kontext ab, der bei der tastenden Wahrnehmung nur sequentiell erfaßt werden kann. Zu den Vor- und Nachteilen einer Darstellung von Oberflächen als ausgefüllte Flächen wird im folgenden Kapitel eingegangen.



Abbildung 3-3 Eine rechteckige Fläche, dargestellt als Umriß oder Vollfläche.

Ein Extremfall eines lexikalischen Elements, das allein praktisch keine, im Kontext allerdings viele Bedeutungen haben kann, ist der Punkt. Als Punkt in einer Zeichnung wird ein sehr kleines Element verstanden, das noch gut wahrnehmbar, dessen Form (Kreis, Rechteck, oder andere) aber nicht erkennbar ist und daher keine Bedeutung trägt. Bedeutung erhält ein Punkt nur durch seine Position und die Position benachbarter Elemente. Sind diese benachbarten Elemente ebenfalls Punkte, so können mehrere Punkte durchaus gemeinsam als Linie interpretiert werden und dann die Bedeutung einer Linie (s.o.) haben. Bei diskreten haptischen Zeichnungen liegt genau dieser Fall vor.

Eine haptische Zeichnungsmethode heißt *diskret*, wenn sie regelmäßig und unveränderlich (z.B. in einem orthogonalen oder hexagonalen Gitter) angeordnete einzeln tastbare Elemente benutzt, die entweder angehoben sind oder das Niveau der Zeichnungsfläche haben. Beispiele sind Zeichnungen auf der Stiftplatte [SCHWEIKHARDT 85] oder von Braille-Druckern produzierte (siehe Abbildung 3-4).

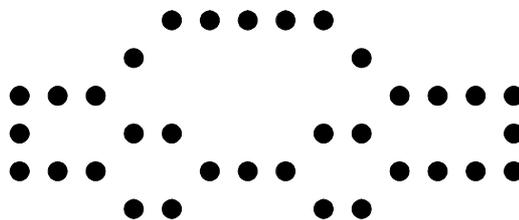


Abbildung 3-4 Beispiel für eine diskrete haptische Zeichnung. Die tastbaren Elemente (Punkte) sind in einem orthogonalen Gitter angeordnet.

Eine Grafik auf der Stiftplatte wird durch eine Menge von Stiften gebildet, die einzeln als Punkte wahrgenommen werden. Linien können nur punktiert dargestellt werden, weil zwischen den Stiften/Punkten ein Abstand von ca. 3 mm liegt. Linien, die nicht senkrecht oder waagrecht verlaufen, sind deutlich treppenförmig, weil die Stifte fest in einem orthogonalen Gitter angeordnet sind.

Das Erfassen einer diskreten haptischen Zeichnung erfordert eine höhere kognitive Leistung als das einer kontinuierlichen, weil die haptischen Reize einer kontinuierlichen Zeichnung (Linien) eher denen der realen Welt (Kanten) entsprechen als punktierte Linien, die zunächst (kognitiv) als Linie erkannt werden müssen, um anschließend dann als Kante ins mentale Modell eingebaut werden zu können (siehe folgenden Abschnitt 3.4 „Überlegungen zum Realismus“).

Definition: Eine haptische Zeichnungsmethode heißt *kontinuierlich*, wenn mit ihr zeichnerische Elemente jeder Form, Größe und Ausrichtung produziert werden können, bei denen keine zugrunde liegenden Einzelelemente wahrnehmbar sind. Beispiele sind Zeichnungen mit Schwellpapier oder Tiefziehfolien-Technik (siehe Abbildung 3-5).

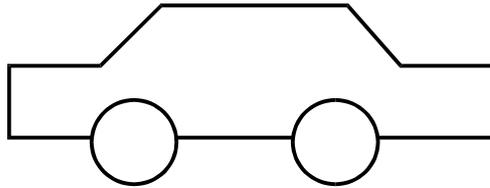


Abbildung 3-5 Beispiel für eine kontinuierliche haptische Zeichnung. Es ist kein Raster tastbar.

Geht man von der bestmöglichen Darstellung in Form einer kontinuierlichen Zeichnung aus, so bleibt noch immer das Problem der zwangsläufig sequentiellen Wahrnehmung durch den Tastsinn. Das Vorgehen beim Erfassen einer haptischen Zeichnung läßt sich exemplarisch beschreiben. Im Folgenden wird eine Methode dargestellt, die oft von Blinden verwendet wird, die schon gewisse Erfahrungen mit haptischen Grafiken gesammelt haben. Da viele Blinde bisher kaum mit solchen Grafiken in Kontakt gekommen sind und es noch keine allgemein anerkannten Verfahrensweisen für den Umgang mit haptischen Grafiken gibt, gehen manche Blinde anders vor, wenn sie eine taktile Grafik erfassen. Hier soll nun ein typisches Vorgehen eines erfahrenen (oder ausgebildeten) Blinden erläutert werden:

Zunächst wird eine Hand oder werden beide Hände flach auf die Zeichnung gelegt, um sich einen Eindruck zu verschaffen, wo sich auf der Fläche grafische Elemente befinden (Groborientierung). Aus der mit zwei Händen bequem bedeckbaren Fläche kann man die maximal sinnvolle Größe für haptische Zeichnungen ableiten: Sie ist etwa 30 cm breit und 20 cm tief (\approx DIN A4 quer). Läßt man außerdem leichte Bewegungen der Ellenbogengelenke zu, so vergrößert sich die Fläche, die ein Arbeitsplatz und somit eine Zeichnung einnehmen darf, auf etwa 40 cm Tiefe (\approx DIN A3 längs, siehe auch [BEYER 95]).

Nach der Groborientierung wird die Grafik mit den Fingerspitzen beider Hände (im allgemeinen Zeige- und Mittelfinger) abgetastet. Dabei bleibt eine Hand meist auf einem grafischen Element oder am Bildrand, während die andere von dort ausgehend die Umgebung entlang von Linien erkundet. Die Rollen der ruhenden und der erkundenden Hand wechseln bisweilen, wenn die erkundende Hand einen interessanten neuen Orientierungspunkt gefunden hat. Mitunter wird der Daumen der erkundenden Hand während der Erkundung an die andere Hand gelegt, um die genaue Position gegenüber der ruhenden Hand zu ermitteln. Es gibt also bei der haptischen Erfassung einer Zeichnung eine Rollenverteilung zwischen der aktiv tastenden Hand (*Erkundung*) und der ruhenden Hand (*Orientierung*). Die Reihenfolge der Erkundung hängt auch von der Anfangsposition der Orientierungshand ab. Es kann vorkommen, daß gewisse Details der Zeichnung nicht gefunden werden, weil sie nicht über Linien mit anderen Elementen verbunden und zu weit von der Orientierungshand entfernt sind (siehe auch Kapitel 7.4).

Informationstechnisch gesehen handelt es sich beim tastenden Erfassen einer Zeichnung um die Erkundung einer Fläche, bei der lediglich lokale Operatoren zur Verfügung stehen. Die Orientierung kann nur von der (bekannten) Position der ruhenden Hand ausgehen und dann die Position der erkundenden ändern. Eine Orientierung anhand einer allgemeinen Übersicht, die der Sehende stets beim Betrachten einer Zeichnung hat, ist dem Blinden nicht möglich. Die initiale Orientierung beim Auflegen der Hände auf die Zeichnung dient lediglich zur Feststellung der Positionen der relevanten Elemente der Zeichnung, nicht zu ihrer Identifizierung oder gar Charakterisierung. Während des zweihändigen Erkundens bedeutet das Auflegen der Hände immer einen Moduswechsel, der die eigentliche Erfassung unterbricht und stets eine Neuorientierung beim weiteren Navigieren mit zwei Händen erforderlich macht. Daher wird diese Groborientierung möglichst nur am Anfang verwendet und sonst nur, wenn sich der Erfassende in der Zeichnung „verirrt“ hat und eine Neuorientierung wünscht. Auf eine computergestützte Hilfe zur Orientierung bei der tastenden Erkundung wird in den Abschnitten 6.2 und 7.4 noch eingegangen.

Ob das Dargestellte wirklich wahrgenommen wird oder ob die Zeichnung nur als ein Gewirr von Linien erfaßt wird, hängt von zwei Faktoren ab:

- Einerseits spielt die *Gestaltung* der Zeichnung selbst eine entscheidende Rolle. Dieser Gestaltung sind die Kapitel 4 und 5 gewidmet, weswegen hier nicht weiter auf sie eingegangen werden soll.
- Andererseits liegt (auch für Sehende) keine Zeichnung im leeren Raum vor. Jede Grafik hat einen *Kontext*. Handelt es sich um eine Abbildung in einem Text, so bildet dieser Text den Kontext; oft sind Zeichnungen auch mit Titeln oder Beschriftungen versehen, die einen Hinweis auf das Dargestellte enthalten.

Es hat sich gezeigt, daß Zeichnungen (auch richtig gestaltete) oft haptisch nicht erkannt werden, wenn sie völlig ohne Zusammenhang präsentiert werden. Gibt man einem Blinden eine Zeichnung ohne jeden Kommentar und Kontext-Information mit der Frage „Was ist das?“, so erhält man oft keine Antwort, weil der Blinde keinerlei Ansatzpunkt hat, von dem er bei der Beurteilung der Elemente der Zeichnung ausgehen kann¹⁸. Oft genügt schon der Hinweis auf den ungefähren Maßstab der Abbildung oder die Bezeichnung eines Elements der Zeichnung, um den Rest erkennbar zu machen. Im Abschnitt 8.3 wird hierauf noch genauer einzugehen sein.

Neben dem Kontext, in dem die Grafik sich befindet, bildet die Grafik selbst den Kontext für ihre Elemente. So ist eine sich an der Ecke einer Tischplatte befindliche Linie leicht als Tischbein zu interpretieren. Aus diesem Grund sind komplexe Zeichnungen oft einfacher zu erfassen als Zeichnungen einzelner Gegenstände.

Interessanterweise scheinen einige Regeln der Gestalttheorie, die sich mit der visuellen Wahrnehmung befassen, auch bei der haptischen Wahrnehmung von Zeichnungen zu gelten:

Gemäß dem Gesetz der Kontinuität nehmen wir zwei genau in einer Flucht liegende gerade Linien als *eine* unterbrochene Linie wahr (siehe Abbildung 3-6 a). Das gleiche scheint auch bei Blinden der Fall zu sein, sofern die Unterbrechung nicht zu groß ist. Weiterhin wirkt eine genau senkrecht durch die Unterbrechung geführte Linie (wie in Abbildung 3-6 b) wie eine räumlich *vor* der unterbrochenen Linie befindliche (vgl. Tabelle 3-2).

¹⁸ Außerdem versetzt man den Blinden so in eine Situation, die einem Ratespiel näherkommt als einer realen Situation, in der eine Zeichnung als Träger wichtiger Information innerhalb eines bestimmten Aufgabenumfeldes dient.



Abbildung 3-6 a) Zwei in einer Flucht liegende Linien.
b) Drei gerade Linien, die von Sehenden wie auch von Blinden als *eine* waagerechte Linie und eine *davor* senkrecht verlaufende wahrgenommen werden.

Es zeigt sich also, daß Zeichnungen nicht nur mit dem Seh- oder Tastsinn wahrgenommen werden, sondern daß zur Wahrnehmung des Abgebildeten auch und insbesondere eine kognitive Leistung nötig ist. Worin diese kognitive Leistung besteht und wie sie im einzelnen abläuft, soll im folgenden Abschnitt aus der Perspektive der Informatik näher untersucht werden.

3.4 Überlegungen zum Realismus

Realismus wird in der Informatik - wie in der bildenden Kunst - für die Lebensnähe dargestellter Wirklichkeit, häufig gleichbedeutend mit Naturalismus, gebraucht. In der Softwaretechnik wird versucht, Geschäftsvorgänge und Unternehmensstrukturen mit Algorithmen und Datenstrukturen realistisch nachzubilden; in der Computergrafik ist „Fotorealismus“ ein allgemein angestrebtes Ziel der Bilderzeugung (siehe dazu auch das folgende Kapitel). Ein Standardwerk der Computergrafik widmet dem Thema „The Quest for Visual Realism“ ein eigenes Kapitel an zentraler Stelle [FOLEY ET AL 90, S. 605-647]. In der bildenden Kunst wird „Realismus“ sowohl im Sinne von „Fotorealismus“, d.h. so visuell realistisch wie ein Foto, verwendet als auch in einem weitergehenden Sinne als Darstellung von Wirklichkeit, die sich nicht auf das Wiedergeben möglichst vieler optischer Details beschränkt, sondern auch soziale und gesellschaftliche Wirklichkeit abbildet (Adolf Menzel und Heinrich Zille sind Realisten in diesem Sinne). Auf die Betrachtung von Wirklichkeit als über das Sichtbare hinausgehend wird im Zusammenhang mit nicht-visueller Wahrnehmung noch wiederholt einzugehen sein.

In diesem Abschnitt wird der Realismus zunächst als Theorie, die den philosophischen Teildisziplinen der Metaphysik und der Epistemologie zuzurechnen ist, behandelt. Für den Informatiker ergeben sich daraus interessante Schlußfolgerungen in Bezug auf die Art und Weise, in der er den Erkenntnisprozeß des Betrachters durch die Gestaltung von Darstellungen, die vom Menschen wahrgenommen und „erkannt“ werden sollen, unterstützen kann.

Die Untersuchung des Erkenntnisprozesses auf der philosophischen Ebene bietet die Möglichkeit, von der konkreten Wahrnehmungsmodalität zu abstrahieren und den Erkenntnisprozeß als solchen zu betrachten. Hier spielt es zunächst keine Rolle, ob der beschriebene Erkenntnisprozeß bei Sehenden oder Blinden stattfindet, da er sich auf dieser Ebene nicht unterscheidet. Ausgehend von dieser abstrakten Herangehensweise werden die zweifellos bestehenden Unterschiede der Wahrnehmung Sehender und Blinder anhand eines konkreten philosophisch-psychologischen Paradigmas (das Paradigma des „mental Modells“) faßbar gemacht. Anhand dessen können dann im weiteren Verlauf der Arbeit informatische Entwurfsentscheidungen und Beobachtungen bei der Evaluation erläutert werden.

3.4.1 Realismus in der Erkenntnistheorie

Vertreter des Realismus sind zunächst zwei Prinzipien verpflichtet: *erstens*, daß einige der über die Wahrnehmung festgestellten Gegenstände „öffentlicher“ Natur sind, und *zweitens*,

daß einige dieser Objekte unabhängig von dem wahrnehmenden Geist existieren. Insbesondere durch diese zweite Annahme unterscheiden sich die Realisten von den Phänomenologen [vgl. CHISHOLM 61].

Der Realist glaubt, daß es einen durch den intuitiven gesunden Menschenverstand erkennbaren Unterschied zwischen verschiedenen Klassen von Entitäten gibt, die von Menschen wahrgenommen werden. Eine dieser Klassen besteht unter anderem aus Gedanken, Schmerzen oder Wünschen, eine andere aus Tischen, Felsen, Planeten, Personen und gewissen physikalischen Phänomenen wie Regenbogen, Blitzen und Schatten. Metaphysisch betrachtet der Realist die erste Klasse von Entitäten als mental, die zweite als physisch, wobei sich die beiden Klassen gegenseitig ausschließen. Anders ausgedrückt: Die Menge der wahrgenommenen mentalen Entitäten hat keine nicht-leere gemeinsame Teilmenge mit der Menge der physischen Entitäten. Der metaphysische Realist geht weiter davon aus, daß die mentalen Entitäten privat sind, während die physischen öffentlich sind. Mit „privat“ ist in diesem Zusammenhang gemeint, daß jedes Element der Kategorie „mental“ von nur einer Person erfaßt werden kann. So kann nur je eine Person einen bestimmten Kopfschmerz haben. Im Gegensatz dazu sind physische Objekte öffentlich: Mehr als eine Person kann den gleichen Stuhl sehen oder anfassen.

Der Realist glaubt auch, daß Elemente der physischen Klasse unabhängig vom Geist sind. Damit ist gemeint, daß die Existenz dieser Dinge nicht davon abhängt, ob sie wahrgenommen werden. Ob also ein bestimmter Tisch gesehen oder gefühlt wird oder auch nicht, hat keine Wirkung auf seine Existenz. Auch wenn niemand den Tisch ansieht, existiert er doch. Das gilt nicht für mentale Phänomene. Wenn jemand gerade keinen Kopfschmerz hat, bestreiten die Realisten, daß dieser Kopfschmerz existiert. Ein Kopfschmerz ist insofern abhängig vom Geist, was Tische, Felsen und Schatten nicht sind [vgl. SELLARS 63, SMART 63].

Daher beginnen Wissenstheorien im Realismus mit der Annahme der Unterscheidung privater und öffentlicher Entitäten und gehen zumeist weiterhin davon aus, daß man die Existenz der mentalen Phänomene nicht weiter beweisen muß. Dieser Dinge sind sich Menschen direkt bewußt, also gibt es kein besonderes Problem mit ihrer Existenz. Dies kann aber nicht von physikalischen Phänomenen angenommen werden. Wie die Existenz optischer Täuschungen, Illusionen und anderen Irregularitäten zeigt, kann man in keiner Wahrnehmungssituation sicher sein, daß man physische Objekte erfaßt. Das einzige, was ein Mensch als sicher annehmen kann, ist, daß er eine gewisse Erscheinung bemerkt, z.B. von einem geknickten Stock im Wasser. Ob aber diese Erscheinung zu irgend etwas wirklich Existierendem in der externen Welt gehört, ist für diese Realisten eine offene Frage.

In „Foundations of Empirical Knowledge“ nennt Ayer dieses Problem die „egozentrische Zwangslage („*the egocentric predicament*“) [AYER 40]. Wenn eine Person auf etwas schaut, von dem sie glaubt, es sei ein physisches Objekt (wie ein Stuhl), ist das, was sie direkt erfaßt, eine bestimmte visuelle Erscheinung. Eine solche Erscheinung scheint aber für diese Person privat zu sein. Sie scheint etwas mentales und damit nicht öffentlich zugänglich zu sein. Was berechtigt dann die individuelle Annahme der Existenz von angeblichen externen Objekten, also physischen Entitäten, die außerhalb des menschlichen Geistes bestehen? Die zwei wichtigsten theoretischen Antworten auf diese Frage sind der *direkte Realismus* und der *repräsentative Realismus*.

Sowohl der direkte Realismus als auch der repräsentative Realismus gehen von der Sinnesdaten-Theorie aus, unterscheiden sich jedoch in deren Anerkennung. Der technische Begriff des „Sinnesdatums“ wird meist anhand von Beispielen erklärt: Wenn jemand halluziniert und rosa Mäuse sieht, sieht er ein Sinnesdatum. Auch wenn keine rosa Mäuse

da sind, hat man die visuelle Empfindung solcher Tiere; und diese Empfindung ist das, was man Sinnesdatum nennt. Das Bild, das man mit geschlossenen Augen sieht, nachdem man in ein helles Licht geschaut hat, ist ein weiteres Beispiel. Aber auch beim normalen Sehen kann man vom Erfassen von Sinnesdaten sprechen: Wenn man eine runde Münze schräg von der Seite ansieht, sieht man die Münze als Ellipse. Hier befindet sich ein elliptisches Sinnesdatum im Sichtfeld. Gerade dieses letzte Beispiel wird häufig herangezogen, weil es zeigt, daß man ständig Sinnesdaten erfäßt, ob die Wahrnehmung nun normal ist oder nicht.

Nach der Sinnesdaten-Theorie bemerkt man bei jedem Wahrnehmungsakt *direkt* etwas. Ein Sinnesdatum ist daher oft definiert als eine Entität, die das Objekt der direkten Wahrnehmung ist. Mit „direkt“ meinen die Anhänger dieser Theorie, daß keinerlei Schlußfolgerung nötig ist, um diese Entitäten zu erfassen. Nach Ayer unterscheiden sich Sinnesdaten von physischen Objekten dadurch, daß sie die Eigenschaften haben, die sie zu haben scheinen, d.h. sie können nicht scheinbar Eigenschaften haben, die sie in Wirklichkeit nicht besitzen. Das Problem, das sich nun daraus für die Realisten ergibt, ist, zu zeigen, wie diese privaten Empfindungen die intuitive Überzeugung rechtfertigen, daß es physische Objekte außerhalb der individuellen Wahrnehmung überhaupt gibt. Schon Russell (1872-1970) versuchte zu zeigen, wie Wissen über die externe Welt aus solchem mentalen privaten Erfassen aufgebaut werden kann [RUSSELL 12, RUSSELL 14].

Heute ist der Realismus in verschiedenen Ausprägungen anzutreffen. Insbesondere gibt es sogar direkte Realisten wie James Gibson, der die Sinnesdaten-Theorie ablehnt und behauptet, daß die äußeren Aspekte physischer Objekte direkt beobachtet werden können [GIBSON 79]. Die Mehrheit der Realisten glaubt allerdings, daß die Existenz der Sinnesdaten akzeptiert werden muß. Teilweise wird vorgeschlagen, daß Sinnesdaten keine mentalen Entitäten seien, sondern Teil der Oberfläche des wahrgenommenen materiellen Objekts.

Alle direkten Realisten kämpfen mit dem Problem der Wahrnehmungsanomalien. Moore, der zuvor die Sinnesdaten-Theorie unterstützte und im Rahmen des direkten Realismus fortentwickelte, verwarf diesen schließlich grundsätzlich. Er argumentiert, daß, da das elliptische Sinnesdatum, welches man wahrnimmt, wenn man auf eine runde Münze schaut, nicht identisch mit der Münze sein *kann*, man diese Münze eben *nicht* direkt sehen kann, sondern nur das Sinnesdatum. Daher kann man kein direktes Wissen über die externe Objekte haben [MOORE 57].

Wegen dieser Probleme des direkten Realismus haben viele Philosophen für die Kausaltheorie argumentiert. Diese wird auch Theorie des repräsentativen Realismus genannt und geht letztendlich bis auf John Locke (1632-1704) zurück. Sie heißt auch „die wissenschaftliche Theorie“, weil sie von gewissen Erkenntnissen der Optik und der Physik unterstützt wird.

Nach dieser Richtung des Realismus gibt es physische Objekte, die außerhalb des menschlichen Geistes existieren, und Sinnesdaten, bzw. ihre Äquivalente, die hier auch mentale Repräsentationen genannt werden. Visuelle Wahrnehmung wird dann wie folgt erklärt: Licht wird von externen Objekten reflektiert, bewegt sich gemäß den bekannten Regeln der Physik durch den Raum, wird vom menschlichen visuellen System aufgenommen, das aus Augen, Sehnerv und Retina besteht, und wird schließlich vom Gehirn verarbeitet. Es handelt sich also um eine Folge von Ursachen und Wirkungen: Licht erzeugt eine Reaktion im Auge, die wiederum eine Antwort im optischen Nerv verursacht usw. Das letzte Ereignis in dieser Folge ist das „Sehen“.

Was man in diesem Fall erfäßt, ist eine mentale Repräsentation (ein Sinnesdatum) des ursprünglichen Objekts. Durch verschiedene Prozesse im Gehirn ergibt diese Repräsentation schließlich eine Beschreibung des Objekts, wie es ist. Visuelle Illusionen werden auf

verschiedene Art erklärt, aber gewöhnlich als Folge einer Anomalie in der Kausal-Kette, die Verzerrungen und andere visuelle Phänomene erzeugt. Gemäß dieser Betrachtungsweise sind menschliche Beobachter sich der mentalen Repräsentationen (oder Sinnesdaten) direkt bewußt und nur indirekt der physischen Objekte, die diese Daten im Gehirn verursachen.

Das Problem mit dieser Betrachtung ist, daß, weil man die direkt wahrgenommenen Sinnesdaten nicht mit dem Originalobjekt vergleichen kann, man auch nicht sicher sein kann, daß diese eine genaue und korrekte Beschreibung davon liefern. Daher können Menschen nicht *wissen*, daß die wirkliche Welt mit ihrer Wahrnehmung von dieser korrespondiert. Sie sind noch immer auf die Reichweite des Anscheins begrenzt. Es sieht also so aus, als ob keine Version des Realismus die Probleme löst, mit denen sie begonnen hat. [EB 97]

3.4.2 Das Konzept des mentalen Modells als Hilfsmittel bei der Gestaltung haptischer Interaktionsformen

Die im vorangegangenen Abschnitt 3.4.1 dargelegten unterschiedlichen Betrachtungsweisen des Erkenntnisprozesses (direkter bzw. repräsentativer Realismus) unterscheiden sich im wesentlichen durch die Annahme oder Ablehnung der Existenz einer „mentalen Repräsentation“ der realen Welt im erkennenden Geist. Diese mentale Repräsentation wird in der Kognitions- und Wahrnehmungspsychologie auch „mentales Modell“ genannt (siehe auch [KURZE & HOLMES 96]).

Das *mentale Modell* ist die Vorstellung eines Menschen von einem Gegenstand und seinen Eigenschaften einschließlich seiner möglichen Operationen (Operationen auf dem Gegenstand und durch ihn). Der Gegenstand kann sowohl konkret (Stuhl, Haus, Kernkraftwerk) als auch abstrakt (Geldmengenpolitik, Stromkreislauf) sein. Insofern ähnelt der Begriff dem Objektbegriff in der Objektorientierung als Modellierungsmethode der Informatik. Wie die genannten Beispiele zeigen, können mentale Modelle durchaus auch sehr komplex sein [WEIDENMANN 94A].

Im Zusammenhang dieser Arbeit werden nur mentale Modelle konkreter Gegenstände betrachtet. Als Gegenstand und mentales Modell im weitesten Sinne ist auch die Umgebung, der Raum als solcher zu betrachten. Das mentale Modell ist Ziel und Mittel jeder Wahrnehmung:

Wie in den Abschnitten 3.2 und 3.3 beschrieben, verläuft die Wahrnehmung des Raumes (und auch die von Zeichnungen) bei Sehenden und Blinden über unterschiedliche Kanäle (Sinne). In der Begriffswelt der Realisten erfassen Blinde und Sehende unterschiedliche Sinnesdaten, die vom selben externen Objekt ausgehen. Die Frage, die sich nun stellt, ist die nach dem Ergebnis der Wahrnehmung. Es zeigt sich, daß die philosophischen Probleme der Realisten mit der direkten Wahrnehmung oder deren Nicht-Existenz im konkreten Anwendungsfall an Bedeutung verlieren, wenn man akzeptiert, daß es ein „mentales Modell“ der Realität gibt, auf dessen Basis der Mensch seine Wahrnehmung aufbaut und seine Handlungen plant. Wie dieses mentale Modell im Einzelnen aufgebaut wird (mit oder ohne „Sinnesdaten“), spielt dabei eine untergeordnete Rolle, solange es seine Funktion erfüllt.

Vereinfacht kann angenommen werden, daß aus den Reizen der Umwelt (visuelle und/oder haptische Stimuli) eine Vorstellung (Abbild, Modell) von dieser Umwelt beziehungsweise von deren Komponenten erstellt wird. Existiert schon eine grobe Vorstellung, so dienen die Stimuli (als „Sinnesdaten“ oder direkt wahrgenommen) zur Verfeinerung und Bestätigung dieses mentalen Modells. Gleichzeitig unterstützt ein schon vorhandenes mentales Modell die Interpretation der Stimuli. Dies ist in der Psychologie als Erwartungs-

haltung bekannt und setzt voraus, daß die Stimuli in einem bestimmten Kontext interpretiert werden. Der externe Kontext bildet gewissermaßen das Urbild, dessen interne Abbildung das mentale Modell ist.

Das mentale Modell dient allerdings nicht nur zur Unterstützung der Wahrnehmung, sondern ist ebenso Planungsgrundlage für das Handeln und Grundlage weiterer kognitiver Prozesse.

Man kann über das mentale Modell keine empirischen Aussagen machen, da man es nicht direkt zu beobachten vermag (schließlich ist es selbst nur eine Modellvorstellung zur Beschreibung kognitiver Prozesse). Hierin unterscheidet sich der psychologische vom philosophischen Ansatz: Philosophen meinen, *nur* über mentale Objekte Aussagen machen zu können, da die Welt in ihrem Sinne nicht „direkt“ beobachtet werden kann.

Da Sehende und Blinde in der gleichen Welt leben und handeln, ist das Urbild ihres mentalen Modells das gleiche, eben diese reale Welt. Da beide im wesentlichen die gleichen Handlungen planen und ausführen können, und da sie beide (grundsätzlich) gleichartige Aussagen über ihre Umwelt machen können, muß auch ihr mentales Modell im wesentlichen gleich sein.

Am Moore'schen Beispiel der Münze kann man sich dies gut verdeutlichen: Der Sehende und der Blinde nehmen eine Münze beide als rund wahr: Der Sehende *weiß* (möglicherweise weil er als Kind durch haptische Wahrnehmungen Münzen als runde Gegenstände in sein mentales Weltmodell integriert hat), daß eine Münze, die er von seinem Standort aus optisch verzerrt wahrnimmt, rund ist. Der Blinde weiß dies ebenfalls und erkennt eine Münze auch dann als rund, wenn er sie nicht vollständig haptisch untersucht hat. Neben den physikalischen und geometrischen Eigenschaften haben Münzen auch eine abstrakte Bedeutung als Zahlungsmittel, die ebenfalls von Blinden und Sehenden gleichermaßen in ihrem mentalen Modell abgelegt ist.

Andererseits unterscheiden sich die Einzelhandlungen beim Durchführen eines komplexen Handlungsablaufs bisweilen stark. Als Beispiel sei hier der Vorgang des Eingießens eines Getränks in ein Glas skizziert: Der Sehende gießt, bis er sieht, daß der Flüssigkeitsspiegel nahe am oberen Rand des Glases steht. Der Blinde hält den tastenden Finger ins Glas und gießt mit der anderen Hand ein, bis er die Flüssigkeit spürt (oder verläßt sich auf das Gewicht des sich füllenden Glases¹⁹).

Hieraus läßt sich eine verfeinerte Struktur des mentalen Modells ableiten. Das mentale Modell besteht aus (mindestens) zwei Schichten:

Die *abstrakte Schicht* enthält die allgemeinen Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten eines Objekts (Beispiel: Glas dient zum Befüllen und Austrinken). In dieser Schicht werden auch die geometrischen Informationen verwaltet, die über Gegenstände bekannt sind oder wahrgenommen werden. Diese Schicht ist bei Blinden und Sehenden prinzipiell gleich. Lediglich die rein optischen Eigenschaften wie Farbe, Schatten oder Beschriftung fehlen im Modell des Blinden, der dafür nicht-visuelle Eigenschaften stärker berücksichtigt.

Die *konkret-operationale* Schicht dient zur Handlungsplanung und -durchführung auf niedriger Ebene (Beispiel: Glas aufnehmen). Während der Sehende sich bei der Handlung auf die visuelle Rückkopplung verlassen kann (Auge-Hand-Koordination), muß der Blinde sich auf den Tastsinn (und ggf. auf das Gehör) verlassen, wodurch die Handlungsabläufe sich möglicherweise unterscheiden. Beispielsweise wird der Blinde mit der Hand auf dem Tisch

¹⁹ Technische Hilfsmittel wie Flüssigkeitssensoren, die auf den Glasrand gesteckt werden und akustisch den Füllstand des Glases melden, werden von den allermeisten Blinden belächelt und abgelehnt.

entlang fahren, um das Glas zu nehmen, während der Sehende die Hand direkt zum Glas führt.

In diesem Zusammenhang ist weiterhin wichtig, daß das mentale Modell bei der Wahrnehmung aufgebaut oder aktualisiert wird. Wenn die Wahrnehmung in das bestehende mentale Modell paßt, kann unmittelbar mit diesem weitergearbeitet werden; weitere Details des wahrgenommenen Gegenstands müssen nicht genauer untersucht werden, weil sie bereits im mentalen Modell vorhanden, gewissermaßen vorverarbeitet, sind. Nur wenn etwas grundlegend Neues wahrgenommen wird, muß dazu ein neuer Aspekt im mentalen Modell eingebracht werden, was zusätzliche mentale Belastung bedeutet, die sich dann aber später auszahlt, wenn ähnliche Wahrnehmungen verarbeitet werden müssen.

Diese Feststellung erklärt auch, warum sowohl Blinde wie auch Sehende mit unvollständiger Information auskommen, wenn die ihnen zur Verfügung stehende Teilinformation in ein entsprechendes schon vorhandenes Modell paßt: Sieht man den Oberkörper des Nachrichtensprechers im Fernsehen hinter einem Tisch auftragen, *weiß* man, daß dessen Unterleib vom Tisch verdeckt wird, aber vorhanden ist. Ein Blinder, der eine Türklinke herunterdrückt, weiß, daß sich an der gegenüberliegenden Kante der Tür ein Scharnier befindet, auch, wenn er es nicht ertastet hat. Sollte sich herausstellen, daß es sich bei der Tür um eine Schiebetür handelt, muß das mentale Modell dieser Tür entsprechend angepaßt werden, indem die (tastbaren und abstrakten) Eigenschaften von Schiebetüren erkundet und in das Modell integriert werden. Ähnlich aufwendig muß das mentale Modell Sehender angepaßt werden, wenn sie in entsprechenden Darbietungen eine „Frau ohne Unterleib“ wahrnehmen.

Das mentale Modell ist hier also das zentrale Bindeglied zwischen Wahrnehmung und Handlung. Zusätzlich muß bedacht werden, daß auch der Akt der Wahrnehmung eine Form des Handelns ist. Dies trifft schon für die visuelle Wahrnehmung in gewissem Maße zu, da sowohl kleinere und größere Augenbewegungen als auch die mentalen Handlungen beim Abgleich mit dem mentalen Modell als Handlungen betrachtet werden können.

Bei der taktilen Wahrnehmung, insbesondere beim aktiven Tasten, ist die körperliche Aktivität noch wesentlich größer. Die mentalen Handlungen zum Abgleichen des mentalen Modells sind vergleichbar aufwendig. Eine andere Qualität zeigt sich bei eigentlichen Handlungen, z.B. dem Greifen des Glases: Hier ist die Wahrnehmung der Handposition und der Berührung des Glases unmittelbar mit der Handlung des Aufnehmens des Glases verknüpft. Eine Auge-Hand-Koordinierung entfällt. Die Handlungsplanung und -überwachung im mentalen Modell kann also viel stärker in der konkret-operationalen Schicht ablaufen.

Diese Überlegungen münden in die im Kapitel 4 vorgestellten Methoden zur Darstellung, die sich einerseits stark an der "wirklichen" Form des Gegenstands orientiert und andererseits das Vorgehen beim Ertasten von Gegenständen und Grafiken berücksichtigt. Dadurch soll erreicht werden, daß die „Sinnesdaten“ möglichst nah an den tatsächlichen Gegebenheiten ihrer Objekte orientiert sind. Die Form dieser Sinnesdaten („Datentypen“) muß der Wahrnehmungsmodalität (Eingabeschnittstelle) angepaßt werden.

In diesem Zusammenhang darf die neben dem Tasten insbesondere für Blinde wichtigste Modalität, die Akustik und die akustische Wahrnehmung nicht außer Acht gelassen werden. Das mentale Modell beruht natürlich auch auf den über das Gehör wahrgenommenen Informationen. Die Bedeutung der akustischen Wahrnehmung wird in den Abschnitten 6.3 und 6.4 näher erläutert. Dort werden aus diesen Tatsachen auch die Schlußfolgerungen für den Entwurf von Algorithmen bei der Erkundungsunterstützung gezogen.