

2. Wahrnehmung

2.1 Vorbemerkungen

Um die verschiedenen auf uns einwirkenden Reize wahrzunehmen, besitzt der Mensch unterschiedliche Arten von **Rezeptoren**. Diese nehmen Reize aus der Umwelt auf (Netzhaut – Licht, Schnecke – Geräusche etc.) und wandeln sie in Nervenimpulse um, die dann über neuronale Bahnen an das Gehirn weitergeleitet werden. Wahrnehmung ist jedoch mehr als die Umwandlung physikalischer Energie. Das Wahrgenommene wird von uns gefiltert, strukturiert sowie in unsere bisherigen Erfahrungen integriert und damit auch gedeutet. Nur so ist es möglich, die Vielzahl unterschiedlich auf uns einwirkender Informationen zu verarbeiten und darauf entsprechend zu reagieren.

Rezeptoren

**die Umwelt-
information
wird
interpretiert**

Schätzungsweise empfängt der Organismus etwa 10^{10} bit/s an Reizen aus der Umwelt. Verarbeitet werden je nach Konzentrationszustand aber lediglich bis zu 10^2 bit/s. Bei der Weiterleitung u.a. an die Muskeln erfolgt wiederum eine Ausweitung der Signale auf bis zu 10^7 bit/s.

**Verdichtung und
Ausweitung von
Information**

Sowohl bei der Umwandlung der Umweltreize wie bei der Interpretation des Wahrgenommenen machen wir jedoch Fehler. Auf einige Wahrnehmungsvorgänge und manche dabei gemachten Fehler soll im Folgenden eingegangen werden. Da der Mensch sich sehr stark an den visuellen und akustischen Wahrnehmungen orientiert, werden hier die Aufnahme und Verarbeitung von optischen und akustischen Informationen behandelt.

2.2 Visuelle Wahrnehmung

2.2.1 Visuelle Informationsverarbeitung

Die Umwandlung des Lichts in Nervenimpulse erfolgt durch einen photochemischen Prozess auf der Netzhaut (Retina). Zwei verschiedene Typen von lichtempfindlichen Zellen (Rezeptoren) sind dafür zuständig, die **Stäbchen** und die **Zapfen** (vgl. GOLDSTEIN 1997, S. 40 ff.). Die Zapfen bringen eine hohe Auflösung und ermöglichen uns das Farbsehen, während die Stäbchen zwar eine geringere Auflösung besitzen, dafür aber weniger Lichtenergie benötigen. Daraus ergibt sich, dass sie im Allgemeinen für weniger scharfes Schwarz-Weiß-Sehen zuständig sind, wie wir es zum Beispiel nachts erleben.

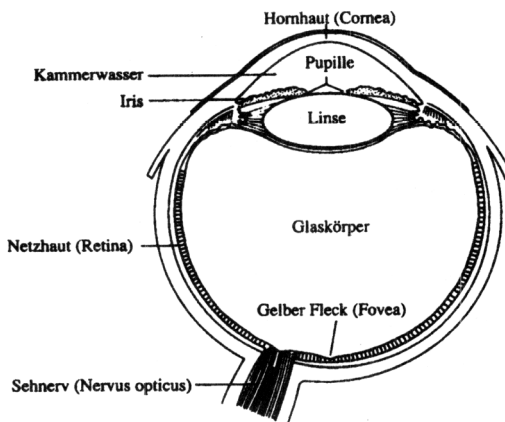
Stäbchen und Zapfen wandeln Licht in Nervenimpulse um.

In der Nacht sind alle Katzen grau.

Eine hohe Dichte an Zapfen befindet sich im **Gelben Fleck (Fovea)**. Fixieren wir ein Objekt, so bewegen wir unsere Augen so, dass das Objekt auf die Fovea fällt, wodurch wir die Auflösung maximieren.

Gelber Fleck

Abb. 11: Das Auge (aus ANDERSON 1996)



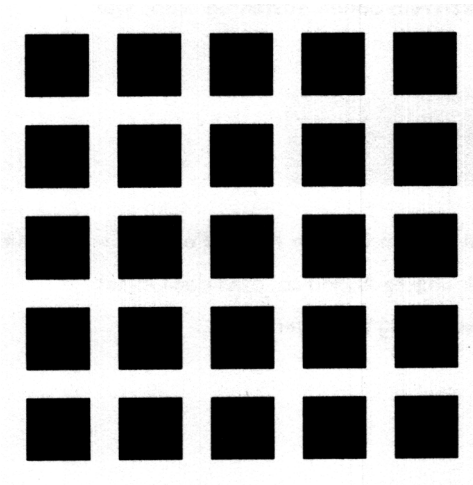
An der Stelle, an der der Sehnerv aus dem Auge austritt, befindet sich der **blinde Fleck**. Schließen wir ein Auge und führen einen Bleistift vor dem offenen Auge vorbei, so verschwindet die Spitze für einen kurzen Augenblick.

blinder Fleck

Die Nervenzellen sind untereinander verbunden, dadurch kann eine einzelne aktivierte Zelle nicht nur andere Zellen erregen, sondern auch benachbarte Zellen in ihrer elektrischen Aktivität hemmen (**laterale Hemmung**).

laterale Hemmung

Abb. 12: HERINGsches Gitter (nach KEBECK 1997, S. 27)



Beim HERINGschen Gitter (auch nach seinem eigentlichen Entdecker oft HERMANN-Gitter genannt) erscheinen an den Kreuzungspunkten der weißen Streifen bereits nach kurzer Betrachtung graue Flecken, die durch die laterale Hemmung von Netzhautzellen entstehen.

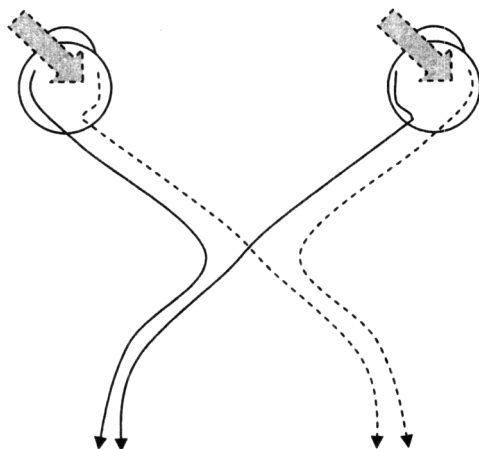
Wie in jedem Fotoapparat steht die Abbildung auf der Netzhaut auf dem Kopf. Wir nehmen das Bild jedoch „richtig“ wahr. Das Gehirn leistet diese Umwandlung nach einiger Gewöhnungszeit, auch wenn man längere Zeit eine sogenannte Umkehrbrille trägt.

Die Nervenimpulse werden über verschiedene neuronale Bahnen zur

Sehrinde im hinteren Teil der Großhirnrinde (**Cortex**) weitergeleitet. Dabei überkreuzen sich die optischen Nerven beider Augen derart, dass die Nerven der rechten Innenseite beider Augen mit der rechten Gehirnhälfte und die Nerven der linken Innenseite beider Augen mit der linken Gehirnhälfte verbunden sind. Dies bedeutet, dass die linke Hirnhemisphäre Informationen über den rechten Teil der Welt und die rechte Hirnhemisphäre Informationen über den linken Teil der Welt verarbeitet.

Großhirnrinde = Cortex

Abb. 13: Nervenbahnen vom Auge zum Gehirn



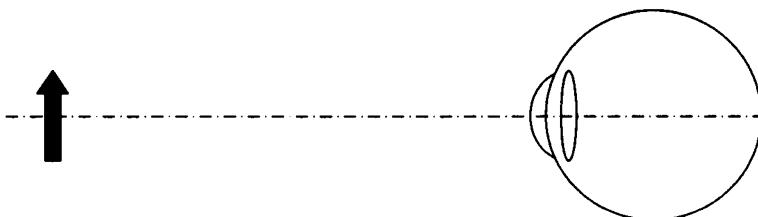
linke Hirnhemisphäre rechter Teil der Welt, rechte Hirnhemisphäre linker Teil der Welt.

Übungsaufgabe 8

Tragen Sie in die unten angeführte Zeichnung ein, wie die optische Information (↑) auf der Netzhaut erscheint. (Siehe „Lösungen zu den Übungsaufgaben“)

Übungsaufgabe 8

Abb. 14: Abbildung auf der Netzhaut

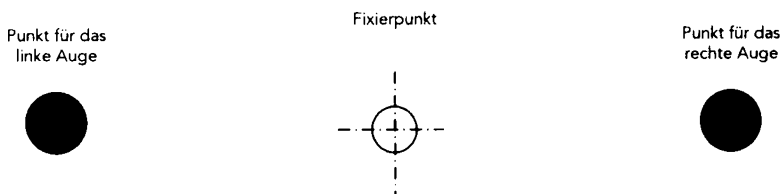


Übungsaufgabe 9

Dass man Objekte, deren Abbildung auf den blinden Fleck trifft, tatsächlich nicht sieht, kann man auch ganz leicht am untenstehenden Beispiel überprüfen. Schließen Sie ein Auge und blicken mit dem anderen fest auf den Fixierpunkt in der Mitte. Wenn Sie nun die Entfernung zur Vorlage variieren, verschwindet bei einem bestimmten Abstand (ca. 20 cm) der schwarze Punkt.

Übungsaufgabe 9

Abb. 15: Versuch zum „Blinden Fleck“ (aus KEBECK 1997)



Zum Sehen gehört jedoch mehr, als die Lichtimpulse umzuwandeln und an das Sehzentrum im Gehirn weiterzuleiten. Das Wahrgenommene wird mit abgespeicherten Informationen verglichen und interpretiert. Diese Interpretation ist von unseren Vorerfahrungen, aber auch von gewissen Gesetzmäßigkeiten der Wahrnehmung abhängig. Dies macht zwar die Wahrnehmung unschärfer, doch hilft es auch, uns in einer reizüberfluteten Umwelt zurechtzufinden.

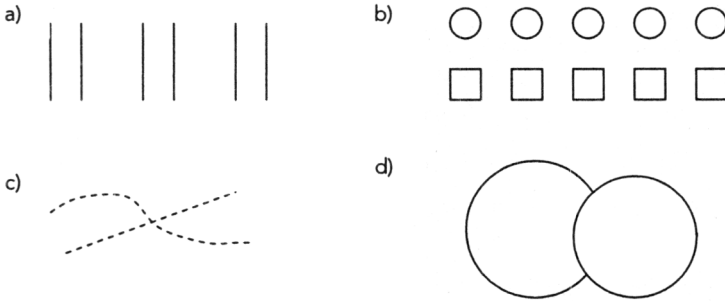
Interpretation des Wahrgenommenen

2.2.2 Gestaltgesetze und Formwahrnehmung

Bei der Organisation von Objekten zu Einheiten folgen wir bestimmten Gesetzen. Diese Gesetze werden nach der **Gestalt-Psychologie**, deren Anhänger sie zuerst formuliert haben, Gestaltgesetze genannt.

Gestaltgesetze

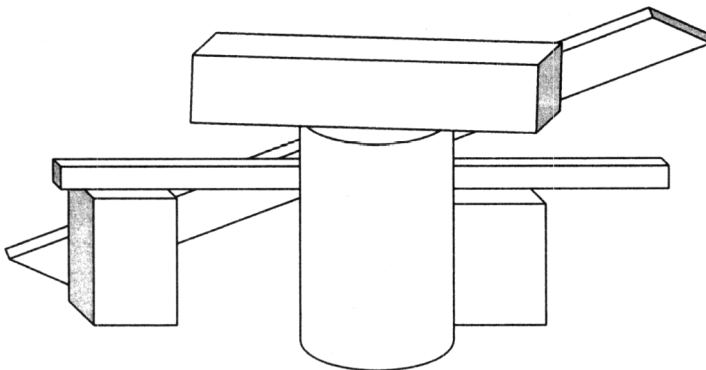
Abb. 16: Beispiele für Gestaltgesetze



Einige Gestaltgesetze sind in Abbildung 16 dargestellt. Das Gesetz der Nähe (a), das Gesetz der Ähnlichkeit (b), das Gesetz des glatten Verlaufs bzw. der guten Kurve (c) und das Gesetz der Geschlossenheit bzw. der guten Gestalt (d). (vgl. dazu auch GOLDSTEIN 1997, S. 168 ff.)

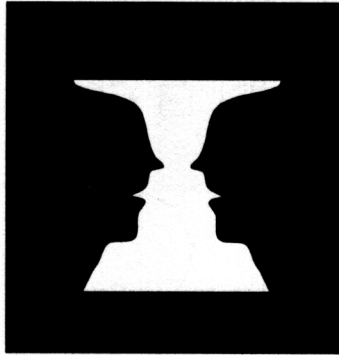
In Abbildung 17 verlaufen die verschiedenen Linien zwar kreuz und quer, dennoch gliedern wir sie u.a. nach bestimmten Gestaltgesetzen, um so zur Wahrnehmung einer Reihe von einzelnen Objekten zu gelangen.

Abb. 17: Anwendung der Gestaltgesetze



Unser visuelles System besitzt weiters die Fähigkeit, bestimmte Elemente als Figuren aufzufassen und das übrige visuelle Feld als Hintergrund erscheinen zu lassen.

Abb. 18: Figur-Grund



**Figur-Grund-
Unterscheidung**

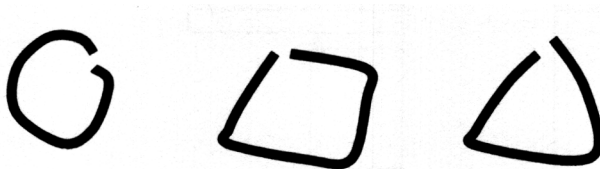
Eher als Figur wahrgenommen werden symmetrische und konvexe Figuren, kleine Flächen, vertikale und horizontale Orientierungen sowie bedeutungsvolle Gegenstände. Die Unterscheidung von Figur und Grund lässt zu einem Zeitpunkt jedoch immer nur eine Interpretation zu, etwas ist entweder Figur oder Grund, nicht aber beides zugleich. Die Fähigkeit der Figur-Grund-Unterscheidung ist eine grundlegende Voraussetzung für eine sichere und schnelle Orientierung.

**eher als Figur
wahrgenommen**

Von Hand gezeichnete Figuren oder die Handschriften, die oft sehr unterschiedlich aussehen, können dennoch meist mehr oder weniger problemlos identifiziert werden. Diese Tendenz zur „guten Gestalt“ wird als **Prägnanztendenz** bezeichnet.

Prägnanztendenz

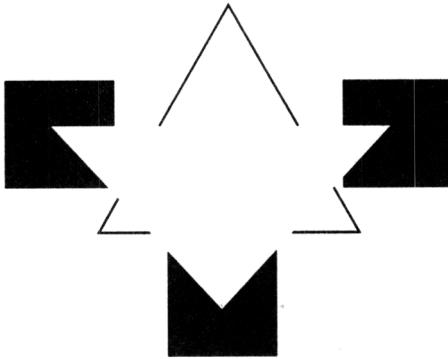
Abb. 19: Prägnanzeffekt



Figuren, Formen etc. müssen nicht immer gleich oder vollständig sein, um erkannt zu werden. Auch dies deutet darauf hin, dass Wahrnehmung ein aktiver Verarbeitungsprozess ist. Besonders deutlich wird dies bei sogenannten „**Scheinkonturen**“.

Scheinkonturen

Abb. 20: Scheinfigur



COREN (1972) hat die Wahrnehmung solcher subjektiven Figuren auf spezifische Hinweisreize der Tiefenwahrnehmung (Überlagerung) zurückgeführt. Aussparungen und Unterbrechungen werden als durch die Scheinkontur überlagerte Bereiche der Hintergrundelemente interpretiert, die als in Wirklichkeit geschlossene Formen gedeutet werden. Da die Scheinkontur daher vor den übrigen Elementen liegen muss, wird sie als Figur wahrgenommen. Sie erscheint deshalb auch gegenüber objektiv gleich hellen Umgebungen als heller.

Neben verschiedenen Wahrnehmungsmechanismen wird unsere Wahrnehmung auch durch kulturelle Einflüsse, Erfahrungen etc. gelenkt (vgl. dazu auch ZWIMPFER 1994).

Übungsaufgabe 10

Betrachten Sie die beiden Figuren in Abbildung 21 und ordnen Sie diesen dann die Begriffe „Maluma“ und „Takete“ zu.

Abb. 21: Zwei Figuren: Maluma und Takete (aus FELSER 1997)



Übungsaufgabe 10

Die meisten Personen nehmen ohne zu überlegen eine spontane Zuordnung vor. Offenbar wird der Laut „Maluma“ in Verbindung mit „weich, sanft, rund“ und der Laut „Takete“ mit „scharf, hart, eckig“ gebracht.

Auch Schriften erzeugen bestimmte Assoziationen wie „verträumt“ oder „würdevoll, ernst“. Schriften, die früher verwendet wurden, wirken alt und bunte Schrifttypen verspielt bzw. wenig ernsthaft. Solche würden wir sicher nicht in einer Todesanzeige verwenden. Die in diesem Text verwendete Schrift wiederum wirkt auf uns sachlich und modern. (vgl. FELSER 1997, S. 287)

**Assoziationen bei
Schriften**

2.2.3 Visuelle Mustererkennung

Aufgabe der Mustererkennung ist die Identifizierung von Objekten. Muster werden als komplexe (d.h. aus mehreren Elementen wie Linien, Punkten, Winkeln etc. zusammengesetzte) Reize aufgefasst. Typische Beispiele sind Buchstaben und Ziffern. Beim Menschen ist die Mustererkennung sehr flexibel, wir können Schriften trotz oft relativ starker Abweichung oder unvollständiger Abbildung immer wieder identifizieren.

**Erkennen von
Buchstaben,
Wörtern und Ziffern**

Eine Grundannahme der Mustererkennung ist der **Schablonenabgleich (template-matching)** bzw. die **konzeptgesteuerte Mustererkennung** (vgl. ANDERSON 1996, S. 45 ff.) Diese Wahrnehmungstheorie beruht auf der Annahme, dass ein Vergleich des visuellen Reizes mit einem im Gedächtnis bereits vorhandenen Datenmuster stattfindet. Diese Datenmuster stammen aus früheren Wahrnehmungen und stellen Schablonen für bestimmte Figuren dar. Dabei werden Objekte in ihrem üblichen Kontext besser bzw. schneller wahrgenommen.

**konzeptgesteuerte
Mustererkennung**

Ein Beispiel für eine konzeptgesteuerte Wahrnehmung ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Den Dalmatiner auf dem Foto erkennen viele Versuchspersonen erst dann, wenn sie zuvor informiert werden, dass ein Hund abgebildet ist.

Abb. 22: Beispiel für eine konzeptgesteuerte Wahrnehmung (aus KEBECK 1997)



konzeptgesteuerte Mustererkennung

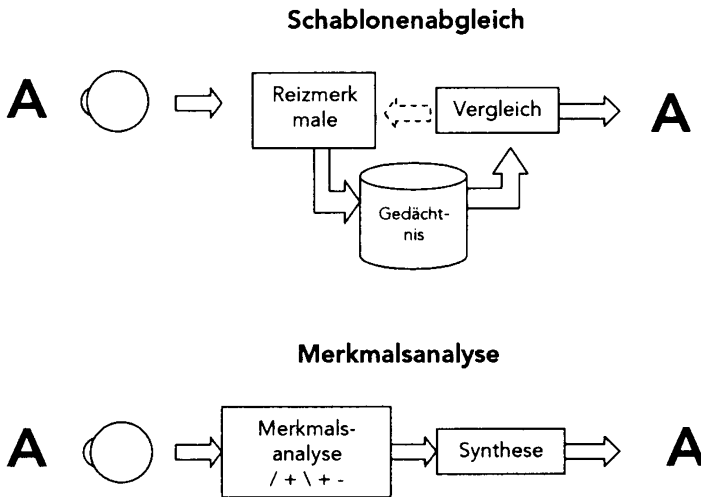
Eine weitere Grundannahme in der Wahrnehmungspsychologie ist, dass die Mustererkennung auf einer **Merkmalsanalyse** beruht (vgl. ANDERSON 1996, S. 47 f.). Dies bedeutet, jeder Reiz wird als Kombination elementarer Merkmale angesehen. Beispielsweise wird der Buchstabe A als Kombination zweier geneigter Striche und eines waagerechten Striches aufgefasst. Zwar handelt es sich genau genommen hier auch um Schablonen (Mini-Schablonen), jedoch sind die Merkmale einfacher strukturiert. Neben den Merkmalen als solche ist auch ihre Beziehung untereinander von Bedeutung. So sind entscheidende Merkmale des A, dass sich die beiden geneigten Striche an der Spitze treffen und der waagerechte Strich die beiden schneidet.

Merkmalsanalyse

In den meisten Wahrnehmungsprozessen scheinen Schablonenabgleich

und Merkmalsanalyse simultan abzulaufen und miteinander zu interagieren.

Abb. 23: Merkmalsanalyse und Schablonenabgleich (nach KEBECK 1997)



Meist treten Objekte jedoch nicht isoliert, sondern im Kontext auf. So können bei der Buchstabenerkennung Merkmalsinformationen durch den Wortkontext und bei der Worterkennung durch den Satzkontext ergänzt werden. Zux Bexspxel xanx max jexen xrixtex Buxhsxabxn exnex Saxzex duxch xin x erxetxen xnd xan xanx ihx imxer xocx lexen – xenx auxh mxt exwax Müxe (nach LINDSAY u. NORMAN, 1981). Auch beim Erkennen von Gesichtern und Szenen können Merkmalsinformationen durch Kontextinformationen ergänzt werden.

Kontextinformationen

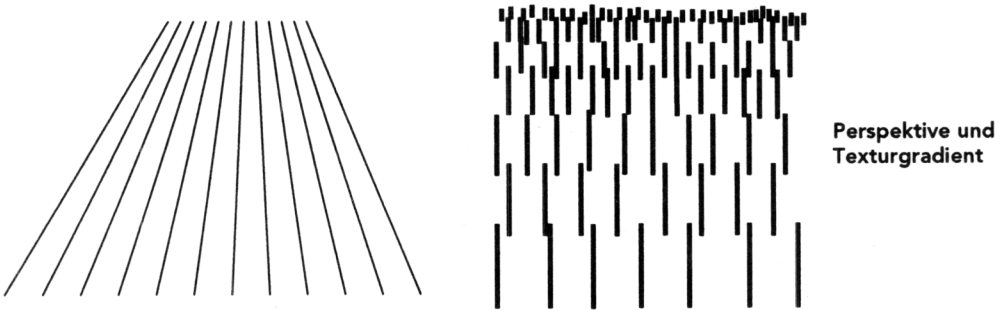
2.2.4 Tiefenwahrnehmung

Um die Umwelt visuell als räumlich wahrzunehmen, obwohl sie sich auf der Netzhaut zweidimensional abbildet, bedient sich das visuelle System

Hinweisreize

sogenannter **Hinweisreize**. So scheinen Gegenstände mit steigender Entfernung vom Betrachter zusammen zu rücken. GIBSON (1973) hat diesen Hinweis als **Texturgradienten** bezeichnet. Obwohl es sich bei der Darstellung in Abbildung 24 um ebene Flächen handelt, führt die Veränderung in der Textur zum Eindruck von Tiefe.

Abb. 24: Beispiele für Perspektive und Texturgradienten



Ein anderer Hinweisreiz für die räumliche Wahrnehmung ist die **Stereopsie**, die sich auf die Tatsache bezieht, dass beide Augen ein leicht unterschiedliches Bild der Welt erreicht. 3-D-Brillen, die z.B. für dreidimensionale Fernsehsendungen verwendet werden, beruhen auf diesem Prinzip. Sie filtern jedem Auge ein etwas unterschiedliches Bild aus der zweidimensionalen Darbietung am Bildschirm heraus.

Stereopsie

Ein dritter Hinweisreiz ist die sogenannte **Bewegungsparallaxe**. Bewegen wir den Kopf, so bewegen sich nahe Objekte schneller über die Netzhaut als weiter entfernte Objekte.

Bewegungsparallaxe

Weitere Hinweisreize sind z.B. **Überlagerung** (wird ein Objekt teilweise durch ein anderes überlagert, so wird es als dahinterliegend wahrgenommen), die **Helligkeit** von Objekten, **Schatten**, die **Luftperspektive** (weit entfernte Gegenstände verschwimmen zunehmend, sie weisen weniger scharfe Konturen und weniger klare Details auf) und die **gewohnte Größe (Größenkonstanz)**.

Überlagerung

Helligkeit

Schatten

Luftperspektive

gewohnte Größe

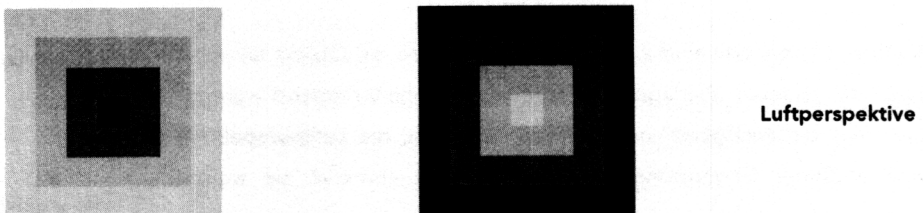
Der Mechanismus der Größenkonstanz sorgt dafür, dass wir Objekten ihre gewohnte Größe zuschreiben. In Abbildung 25 scheinen die unterschiedlich großen Worte „Größenkonstanz“ auf einen Fluchtpunkt hin zu laufen – dies werten wir als Tiefenhinweis. Unterschiedlich große Worte „Größenkonstanz“ auf unserer Netzhaut müssen von unterschiedlichen Entfernungen stammen.

Abb. 25: Beispiele für den Hinweisreiz „Größenkonstanz“



Der Effekt der Luftperspektive wird durch die in der Luft enthaltenen Schwebeteilchen bedingt, die den Blick durch das Medium Luft bei zunehmender Distanz immer stärker beeinträchtigen und dadurch Objekte weniger klar erscheinen lassen. Dieser Effekt ist jedoch nicht konstant, sondern vom Anteil der Schwebeteilchen – d.h. der Luftverschmutzung – abhängig. In Abbildung 26 wird beim ersten Bild der Eindruck erweckt das dunkle Zentrum sei vorne, beim zweiten Bild erscheint das helle Zentrum hinten.

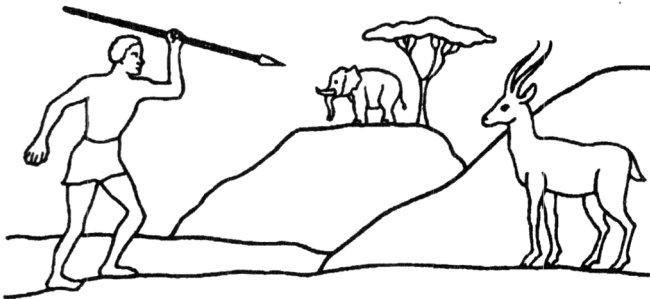
Abb. 26: Beispiele für den Hinweisreiz „Luftperspektive“



Die Wahrnehmung von Räumlichkeit in einem zweidimensionalen Bild mittels verschiedener Hinweisreize wie Größenkonstanz, Überlagerung, Texturgradient etc. scheint durch Erfahrung bedingt zu sein. Dabei spielen kulturelle Einflüsse, die eine solche individuelle Erfahrung erst ermöglichen, offenbar eine zentrale Rolle. Wie stark unsere Wahrnehmung insbesondere von der kulturell vermittelten Erfahrung abhängt, zeigt eine interkulturelle Studie von HUDSON (1960), die er in Südafrika durchgeführt hat.

**Wahrnehmung
als kultureller
Lernprozess**

Abb. 27: Bildvorlage im Experiment von HUDSON (1960)



HUDSON verwendete in seinem Experiment Bildvorlagen, die diverse Hinweisreize für die Tiefenwahrnehmung (Größe der dargestellten Objekte, Überlagerung und Zentralperspektive) beinhalteten (siehe Abbildung 27). Um zwischen zweidimensionaler und räumlicher Interpretation unterscheiden zu können, wurden die Versuchspersonen neben der räumlichen Anordnung der dargestellten Objekte auch nach den dargestellten Handlungen gefragt. Vor allem die mit Abbildungen unvertrauten Mitglieder relativ isoliert lebender Stämme deuteten die Bilder zweidimensional. So gaben sie z.B. an, der Mann in Abbildung 27 richte seinen Speer auf den Elefanten, da dieser ihm näher sei als die Antilope. HUDSON schloss aus den Ergebnissen seiner Untersuchung, dass die Tiefenwahrnehmung von zweidimensionalen Bildern das Ergebnis eines kulturellen Lernprozesses sei.

Aber nicht nur die Fähigkeit zur räumlichen Wahrnehmung von zweidimensionalen Bildern, sondern die Tiefenwahrnehmung als solche ist wahrscheinlich von kulturellen Lernprozessen abhängig. TURNBULL hat bei seinen Studien unter den im Urwald lebenden Pygmäen beobachtet, dass diese z.B. auf offener Fläche einige tausend Meter weit entfernt grasende Büffel als Insekten interpretierten (vgl. ZIMBARDO 1983, S. 310 f.).

In vielen Situationen hat unser Wissen jedoch keinen Einfluss auf die Wahrnehmung. Oft bleiben Wahrnehmungstäuschungen auch dann bestehen, wenn wir ihre objektiven Eigenschaften kennen. Wir können durch unsere Erfahrung die dabei entstehenden subjektiven Eindrücke nicht korrigieren (siehe Kapitel Wahrnehmungstäuschungen).

2.2.5 Farbwahrnehmung

2.2.5.1 Physiologische Grundlagen

Von den Rezeptoren in der Retina sind nur die Zapfen in der Lage, unterschiedliche Farben zu kodieren. Nachtaktive Tiere, in deren Netzhaut ausschließlich Stäbchen vorhanden sind, sehen keine Farben. In unserer Netzhaut befinden sich drei unterschiedliche Arten von Zapfen, α -, β - und γ -Rezeptoren, die auf unterschiedliche Wellenlängen besonders stark reagieren. Es handelt sich dabei um die Grundfarben Rot, Grün und Blau. Die Retina enthält also nicht für jede Farbe entsprechende Rezeptoren, sondern erfasst diese als Kombinationen verschiedener Anteile dieser drei Farben. Bei der additiven Farbmischung ist es möglich, durch die Kombination der drei Primärfarben Rot, Grün und Blau jeden beliebigen Farbton zu erzeugen.

**unterschiedliche
Arten von Zapfen**

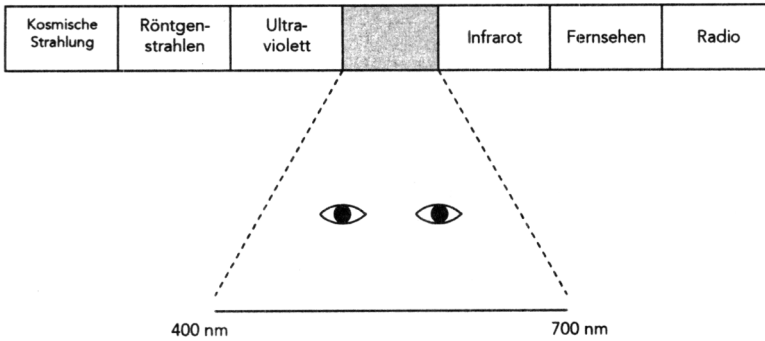
additive Farbmischung

Schließt man das sichtbare Wellenspektrum zu einem Kreis, so erhält man den **Farbenkreis**. Die **Komplementärfarben** (z.B. Rot-Grün und

**Farbenkreis,
Komplementärfarben**

Gelb-Blau) liegen sich im Farbkreis gegenüber (vgl. dazu FISCHER 1994 sowie HAJOS 1991).

Abb. 28: Spektrum der elektromagnetischen Wellen



Um verschiedene Empfindungsphänomene erklären zu können, wird angenommen, dass die Informationen der drei Rezeptoren in zwei Komplementärfarbensysteme (Rot-Grün und Gelb-Blau) zusammengefasst werden (vgl. KEBECK 1997, S. 56 f. u. GOLDSTEIN 1997). Zu einem gegebenen Farbton erzeugt unser Auge nach dieser Theorie immer simultan dessen Komplementärfarbe, wenn diese objektiv fehlt. Die Gegenfarbe entsteht durch **laterale Hemmung** erst im Auge des Betrachters.

laterale Hemmung

Blicken wir z.B. auf eine weiße Fläche, die von einer grünen Fläche umgeben ist, so erscheint die innere Region nicht mehr weiß, sondern zeigt einen schwachen Farbton, der der Komplementärfarbe (hier Rot) entspricht. Die Zellen rufen durch **laterale Hemmung** diesen sogenannten **Simultankontrast** hervor. Eine Verschiebung des Gleichgewichts im Rot-Grün System der Region hat den Farbeindruck Rot zur Folge. Bietet man eine Farbfläche jedoch vor komplementärfarbigem Hintergrund, so führt dieser ursprünglich negative Effekt nun zur Erhöhung der Farbwirkung der entsprechenden Fläche.

Simultankontrast = wechselseitiger Einfluss

Verwendung des Simultankontrastes

Übungsaufgabe 11

Zeichnen Sie am Computer nebeneinander vier Quadrate mit den Farben Gelb, Blau, Orange und Grün. Legen Sie darüber nun jeweils einen roten Kreis. Ob-

Übungsaufgabe 11

wohl der Kreis eine einheitliche Farbe besitzt, entstehen deutlich unterschiedliche Rottöne. Die Veränderung des Farbtones kommt durch einen **Simultankontrast** zustande, bei dem die Umgebungsfarben in den Kreis ihre Gegenfarben induzieren, die sich dann mit dem Rot mischen. Auf dem komplementären Grün wird der Rotton zur vollen Leuchtkraft gesteigert.

Der sogenannte **Nacheffekt** (Sukzessivkontrast) bei der Farbwahrnehmung entsteht, wenn das Auge für eine längere Zeit einer Farbe ausgesetzt wird. Betrachten wir beispielsweise längere Zeit einen grünen Kreis und blicken dann auf eine weiße Fläche, so entsteht der Eindruck eines schwachen roten Kreises. Das Komplementärfarbensystem Rot-Grün ist nicht mehr im Gleichgewicht. Die Farbe Rot dominiert für kurze Zeit in der betreffenden Netzhautregion und lässt so einen roten Kreis entstehen, der objektiv nicht existiert.

**Nacheffekt =
Sukzessivkontrast**

Übungsaufgabe 12

Zeichnen Sie am Computer auf einem schwarzen Hintergrund untereinander drei ca. 12 cm breite und 3 cm hohe Rechtecke in den Farben Weiß, Türkisblau und Blau. Betrachten Sie nun etwa 30 Sekunden lang diese Rechtecke und blicken Sie anschließend auf einen weißen Hintergrund. Zu welcher Nation gehört die Flagge, die Sie nun sehen?

Übungsaufgabe 12

weiß
türkisblau
blau

Nicht alle Phänomene in der Farbwahrnehmung lassen sich durch physiologische Mechanismen erklären. Auch hier haben kognitive sowie andere psychologische Prozesse maßgeblichen Einfluss auf die Wahrnehmung.

2.2.5.2 Psychologische Wirkung

Objekte, die einen typischen Farbton aufweisen, werden unter Rückgriff auf den im Gedächtnis gespeicherten prototypischen Farbton wahrgenommen. **Gedächtnisfarben** führen dazu, dass wir z.B. Tomaten häufig in einem intensiveren Rot wahrnehmen, als sie tatsächlich sind und dass

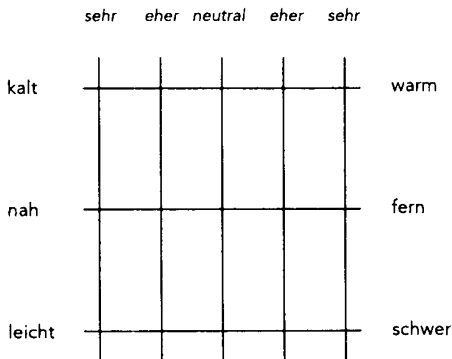
Gedächtnisfarben

wir eine Wiese auch noch bei Dämmerung in der Farbe Grün zu sehen glauben.

Übungsaufgabe 13

Zeichnen Sie im folgenden Diagramm ein, wie Sie die beiden Farben Blau und Rot empfinden (empfinden Sie Rot z.B. eher kalt oder eher warm bzw. empfinden Sie Blau eher leicht oder schwer usw.) und verbinden Sie anschließend die Punkte für die Farbe Rot sowie die Punkte für die Farbe Blau miteinander. (Siehe Text und „Lösung zu den Übungsaufgaben“)

Übungsaufgabe 13



Farben werden nicht nur physikalisch wahrgenommen, sondern haben auf den Betrachter auch eine emotionale Wirkung. So wirken langwellige Farben (z.B. Gelb, Orange, Rot) auf uns eher warm, kurzwellige (z.B. Blau, Grün-Blau, Blauviolett) eher kühl. Die warme bzw. kalte emotionale Wirkung von Farben hängt mit der Erfahrung zusammen und lässt sich dadurch erklären, dass mit Rot, Gelb und Orange Feuer und Sonne assoziiert wird sowie Wasser, Eis und Schnee mit der Farbe Blau in Verbindung gebracht werden, ebenso erscheinen auch die Schatten des Sonnenlichts blau. In kalten Ländern, wo man sich nach Wärme sehnt, hat Rot eine positive Bedeutung, in Russland z.B. ist Rot gleichbedeutend mit „wertvoll“ und „schön“. Die „rote Ecke“ war der Ehrenplatz für die Ikonen. Mit warmen Farben werden auch Gemütlichkeit, Geborgenheit und Zuneigung verbunden, mit kalten Farben Frische und Sauberkeit. (vgl. EDELMANN 1993, S. 114 sowie HELLER 1998)

**warme Farben,
kalte Farben**

Farben können auch die Illusion von Perspektive und somit von Raum schaffen. Eine Farbe wirkt umso näher, je wärmer sie ist und umso entfernter, je kälter sie ist. Weiters wirken intensive Farben näher als blasser Farben (vgl. ZWIMPFER 1994).

**perspektivische
Wirkung von Far-
ben**

Übungsaufgabe 14

Zeichnen Sie am Computer ein großes blaues Quadrat und legen Sie darüber ein kleineres grünes Quadrat. Darüber dann ein noch kleineres rotes Quadrat. Daneben zeichnen Sie genau dieselben Quadrate nur mit umgekehrter Farbreihenfolge. Beobachten Sie nun die Nah- und Fernwirkung der beiden Bilder.

Übungsaufgabe 14

Wir verbinden Farben mit Entfernungen, weil sich diese durch Entfernungen verändern. Je weiter ein Gegenstand entfernt ist, desto blasser und bläulicher wirkt er, da er von mehr Luftschichten überdeckt wird. Deshalb wirken kräftige Farben näher als blasser und blaue Objekte scheinen weiter entfernt zu sein als rötliche.

In einem Betrieb der Elektroindustrie beschwerten sich einige Frauen über das Gewicht der schwarzen Kisten, die sie tragen mussten. Der Arbeitgeber wurde gebeten, kleinere Kisten zu beschaffen. Die Kisten wurden jedoch lediglich hell angestrichen, was die Frauen nicht bemerkten (vgl. VILMAR u. KIBLER, 1982, S. 204). Gleiche Gegenstände wirken in unterschiedlichen Farben verschieden schwer. Objekte in hellen Farben erscheinen uns leichter als Objekte in dunklen Farben.

**schwere Farben,
leichte Farben**

Farben lösen in uns oft unbewusste Reaktionen aus. Dies ist die Folge von Erfahrungen, die wir verinnerlicht haben. Neben Wärme und Kühle, Nähe und Ferne sowie Leichtigkeit und Schwere haben Farben noch weitere psychologische Wirkungen. (vgl. HELLER 1998 sowie FRIELING 1980)

HELLER (1998) hat mittels einer Umfrage bei beinahe 1.900 Frauen und Männern aller Altersgruppen die Wirkung von Farben untersucht. Die drei beliebtesten Farben sowohl bei Männern wie bei Frauen sind Blau

(36% Frauen und 40% Männer), Rot (20% Frauen und Männer) sowie Grün (12% Frauen und Männer). Die drei unbeliebtesten Farben sind bei Frauen Braun mit 29%, Orange mit 14% sowie Violett mit 10% Ablehnung und bei Männern Braun mit 24% sowie Violett und Rosa mit jeweils 12% Ablehnung.

Die Zuordnung von Farben zu Begriffen aus verschiedensten Gefühls- und Erfahrungsbereichen brachte u.a. folgende Ergebnisse (vgl. HELLER 1998):

Zuordnung von Farben

Rot

Die Liebe (90%), die Erotik (44%), die Leidenschaft (61%), Wut/Zorn (60%), Aggressivität (58%), die Sexualität (53%), die Hitze (51%), die Gefahr (48%), die Energie (44%), die Begierde (39%), das Verbotene (37%), das Verführerische (37%), die Nähe (33%), die Aktivität (32%).

Blau

Die Ferne (65%), die Kühle (51%), das Vertrauen (44%), das Männliche (43%), die Sportlichkeit (40%), die Harmonie (34%), die Sympathie (32%), die Treue (31%).

Grün

Das Giftige (68%), die Erholung (63%), die Hoffnung (59%), das Beruhigende (56%), das Natürliche (53%), das Saure (50%), die Lebendigkeit (42%), das Herbe (41%), das Gesunde (34%), die Jugend (33%), die Ruhe (32%).

Gelb

Die Eifersucht (54%), der Neid (53%), das Saure (50%), der Geiz (34%), die Verlogenheit (31%).

Braun

Die Faulheit (48%), das Altmodische (45%), die Gemütlichkeit (44%), das Biedere (39%), das Spießige (37%), das Aromatische (36%), das Mittelmä-

ßige (31%), das Angepasste (31%), das Unsympathische (31%).

Schwarz

Das Böse (69%), die Magie (62%), die Macht (56%), das Schwere (53%), die Brutalität (47%), das Harte (51%), die Leere (44%), das Konservative (43%), der Lärm (32%), das Verbotene (32%).

Weiß

Die Reinheit (88%), die Unschuld (86%), die Neutralität (63%), die Wahrheit (48%), das Gute (47%), die Ehrlichkeit (45%), das Leichte (42%), das Salzige (41%), die Frömmigkeit (37%), das Zarte (36%), das Neue (35%), die Funktionalität (34%), das Leise (32%), die Sachlichkeit (32%).

Silber

Die Schnelligkeit (39%).

Gold

Das Teure (66%), die Pracht (58%), die Angeberei (37%).

Offenbar haben Farben häufig recht unterschiedliche Bedeutungen, zum Teil sogar sich scheinbar widersprechende, wie z.B. Liebe und Wut/Zorn bei Rot oder das Giftige und das Lebendige bei Grün. Auch verbinden wir mit jedem Gefühl in der Regel mehrere Farben, entscheidend ist der Kontext, in dem wir eine Farbe wahrnehmen (vgl. HELLER 1998, S. 13 ff.). Grüne Früchte wirken unreif (so z.B. auch der Grünschnabel!), ins Grüne fahren verbinden wir hingegen mit einem angenehmen Gefühl. Blau passt gut zu Frischem und Kühlem, bei Nahrungsmitteln ruft diese Farbe jedoch Abneigung hervor.

die Bedeutungen widersprechen sich teilweise

Auch bei einer **kreativen Farbgestaltung** gilt es einige Grundregeln zu beachten. Damit eine ungewöhnliche Farbgestaltung akzeptiert wird, muss sie **verständnisgerecht**, **materialgerecht** sowie **verbrauchsgerrecht** sein. (vgl. HELLER 1998, S. 42 f.)

kreative Farbgestaltung: verständnis-, material- und verbrauchsgerrecht

Verschiedene Farben haben in bestimmten Zusammenhängen eine verinnerlichte Bedeutung. So bedeutet bei Wasserhähnen ein rotes Symbol Warmwasser und ein blaues Symbol Kaltwasser und bei Signaleinrichtungen hat ein rotes Licht eine Stop- oder Warnfunktion. Hier neue Farben einführen zu wollen, würde zu Verwirrung bzw. Missverständnissen führen und sicher nicht als kreative Farbgestaltung angesehen werden.

verständnisgerechte Farbgestaltung

Je vertrauter für uns die Farbe eines Produktes ist, desto natürlicher und materialgerechter wirkt diese. Ein grüner Pullover wirkt natürlich, auch wenn es sich dabei um grün gefärbte Wolle handelt. Ebenso wirkt ein grüner Lodenmantel natürlich, obwohl es auch keinen grünen Loden gibt. Grün gefärbte Haare wirken jedoch künstlich und fallen auf. Je unüblicher eine Farbe für ein bestimmtes Produkt ist, desto künstlicher wirkt sie und umso mehr fällt sie auf. Bei Modeartikeln oder in der Werbung (Lila Kuh) wird dies oft bewusst eingesetzt.

materialgerechte Farbgestaltung

Ungewöhnliche Farben werden bei

- **billigen** Produkten,
- **kurzlebigen** Produkten sowie
- bei Produkten **ohne persönlichen Bezug**

verbrauchsgerechte Farbgestaltung

eher akzeptiert. Die Farbe des neuen Autos ist wichtiger, als die Farbe des Einwegfeuerzeuges.

Mit der Beziehung zwischen Farben und Formen hat sich der Maler Wassily KANDINSKY besonders auseinandergesetzt (vgl. 1955). Seiner Theorie zufolge korrespondieren Farben mit bestimmten Formen, das bedeutet, Farben werden durch bestimmte Formen in ihrer Wirkung verstärkt oder abgeschwächt. Zur Untermauerung dieser These ließ er seine Studenten am Bauhaus die drei geometrischen Grundformen Dreieck, Quadrat und Kreis mit der ihrer Meinung nach passenden Grundfarbe füllen. Die weitaus größte Zahl der Studenten ordnete dem Dreieck das Gelb, dem Quadrat das Rot sowie dem Kreis die blaue Farbe zu und bestätigte damit KANDINSKYs Theorie der Wesensverwandtschaft von Farbe und Form.

2.2.6 Einflussfaktoren in der sozialen Wahrnehmung

Neben den Gestaltgesetzen, den Hinweisreizen zur Tiefenwahrnehmung etc. wird unsere Wahrnehmung noch von einer Reihe anderer Faktoren beeinflusst. Insbesondere gilt dies für die soziale Wahrnehmung. Wir interpretieren das Gesehene auf der Grundlage unseres Vorwissens sowie gefärbt durch unsere persönlichen und kulturellen Wertvorstellungen, Einstellungen und Interessen.

Vorwissen, Wertvorstellung, Interesse

Zwei gravierende Beurteilungsfehler in der Wahrnehmung, die unbewusst auftreten, sind der **Haloeffekt** (Hofeffekt) und die Stereotypie. Der Haloeffekt ist die Tendenz, eine liebenswürdige oder intelligente Person auch in anderer Hinsicht positiv zu bewerten oder z.B. einer sich distanziert verhaltenden Person, negative Eigenschaften zuzuschreiben. Dies gilt auch für andere Sachverhalte wie z.B. das tragen von gepflegter Kleidung oder bestimmter Statussymbole. Männern mit Rolex-Uhren oder BMW-Fahrern werden oft bestimmte Eigenschaften zugeschrieben. In alten Western konnten z.B. die „bad guys“ recht einfach an ihren schwarzen Hüten erkannt werden, John Wyhne trug selbstverständlich einen hellen Hut. **Stereotypen** sind vorgefasste Meinungen, welche Eigenschaften bestimmte Gruppen von Menschen (z.B. Serben, Politiker, Frauen etc.) besitzen. (vgl. ZIMBARDO 1983, S. 429 ff.)

Haloeffekt

Stereotypen

Weiters gibt es auch angeborene Wahrnehmungsbeeinflussungen. Kindliche Formen wie ein rundes großes Gesicht mit großen Augen, kurze Extremitäten (**Kindchenschema**) wirken als emotionaler Schlüsselreiz und sprechen den Pflegeinstinkt an, wobei wir spontan freundliche und liebevolle Gefühle empfinden. Die Spielzeugindustrie hat sich das Kindchenschema bei Puppen und Plüschtieren zu Nutze gemacht, wobei verschiedene Einzelmerkmale des Kindchenschemas vielfach stark übertrieben werden. Auch in der Werbung werden oft Kinder mit großen dunklen Augen sowie kleine Tiere als Aktivierungstechnik eingesetzt bzw. mit den beworbenen Produkten in Verbindung gebracht.

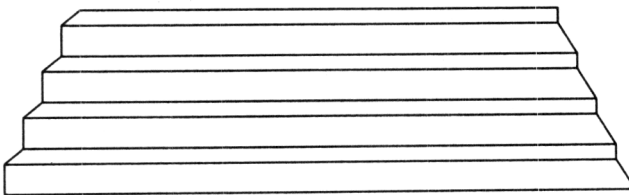
Kindchenschema

2.2.7 Wahrnehmungstäuschungen

Oft gibt es Situationen, in denen unser Wissen keinen Einfluss auf die Wahrnehmung ausübt. Viele Figuren sehen phänomenal subjektiv ganz anders aus als es den objektiven Gegebenheiten entspricht. Die Wahrnehmungstäuschung, also die Abweichung der subjektiven von den objektiven Verhältnissen, bleibt hier auch dann bestehen, wenn wir die „wirklichen“ Eigenschaften der Vorlagefigur kennen. Einige dieser Wahrnehmungstäuschungen sollen im Folgenden unter der Berücksichtigung ihrer möglichen bzw. vermuteten Ursachen dargestellt werden.

Manche dreidimensionalen Konstruktionen sind zwar auf dem Papier möglich, nicht jedoch in der Realität. Dennoch lassen wir uns davon immer wieder täuschen und versuchen diese Phantasiekonstruktionen als reale Gegenstände zu interpretieren.

Abb. 29: Imaginäre Treppe



Die Täuschungsphänomene können unter anderem erklärt werden durch

- **Halluzinationen,**
- **physiologische Ursachen,**
- **funktionale Korrekturmechanismen** sowie
- **Assimilations- und Kontrasteffekte.**

Visuelle **Halluzinationen** entstehen durch Medikamente, Krankheit, Übermüdung oder **sensorische Deprivation**. Der künstliche Entzug von sensorischen Reizströmen (sensorische Deprivation), die dem Menschen

Halluzinationen

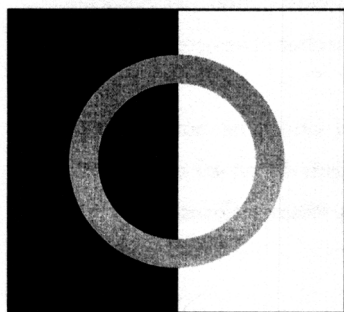
**sensorische
Deprivation**

sonst stetig zufließen, führt neben dem Verlust des Zeitgefühls, der Einschränkung der Denkfähigkeit etc. auch zu Halluzinationen. Die sensorische Deprivation wird oft als modernes Folterinstrument eingesetzt.

Zu den **physiologisch begründeten** Täuschungen zählen die laterale Hemmung (Simultankontrast) bzw. der Nacheffekt (Sukzessivkontrast).

physiologische Ursachen

Abb. 30: Simultankontrast

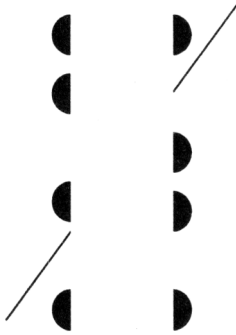


Legt man einen Bleistift auf die Grenze zwischen dem schwarzen und weißen Rechteck, so erscheint die linke Hälfte des grauen Ringes heller als die rechte. Dieser Effekt, dem wir ständig unterliegen, sodass er gar nicht mehr als Täuschung betrachtet wird, hilft uns Flächen stärker voneinander abzugrenzen.

Ebenfalls auf die laterale Hemmung kann die Überschätzung von Winkeln zurückgeführt werden (vgl. KEBECK 1997, S. 146 f.). Bei einem spitzen Winkel wird die Netzhautregion innerhalb des Winkels stärker gehemmt als die äußere, wodurch der Eindruck eines größeren Winkels entsteht. So erscheinen bei der POGGENDORFF-Täuschung die beiden schrägen Linien gegeneinander versetzt. Durch Auflegen eines Lineals kann aber leicht festgestellt werden, dass es sich um zwei Teile einer unterbrochenen geraden Linie handelt. Wir haben jedoch subjektiv den Eindruck, das rechte Teilstück sei zu hoch, um als Verlängerung der Linie links unten gesehen werden zu können.

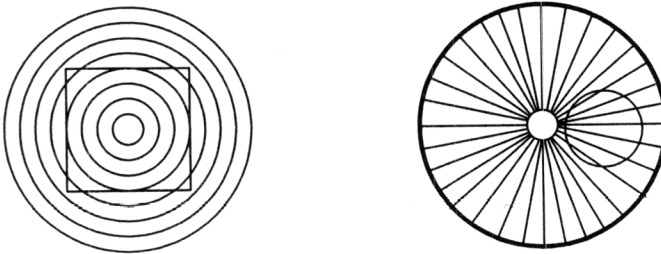
Überschätzung von Winkeln

Abb. 31: POGGENDORFF-Täuschung bei amodalen Konturen (nach KEBECK 1997)



Ein weiteres Beispiel für die durch laterale Hemmung erklärbare Verzerrung der Winkel ist die ZÖLLNERSche Täuschung. Bei diesen Figuren treten „verbogene“ Linien auf, die durch Überschneidung mit anderen Linienelementen bzw. durch die dabei entstehenden Winkel verursacht werden.

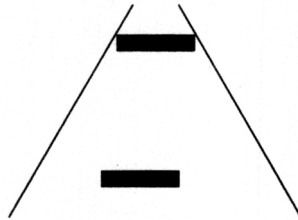
Abb. 32: ZÖLLNERSche Täuschung



Korrekturmechanismen helfen uns bei reduzierten Informationen, die Realität als adäquat wahrzunehmen und sind daher funktional. So fehlt uns bei Bildvorlagen zwar die räumliche Tiefe, dennoch nehmen wir diese durch diverse Hinweisreize dreidimensional wahr. Die Hinweisreize können jedoch bei entsprechend gestalteten Vorlagen auch zu Täuschungen führen.

Korrekturmechanismen

Abb. 33: PONZO-Täuschung (welcher Balken ist länger?)



Die **Assimilations-** und **Kontrasteffekte** bewirken, dass tatsächlich bestehende Unterschiede zwischen einzelnen Elementen in einer Figur entweder übersehen oder überbewertet werden. Die MÜLLER-LYER-Täuschung wird z.B. damit erklärt, dass die Pfeilspitzen an den Enden der Linien in die Schätzung der Streckenlängen einbezogen werden.

**Assimilations-
und Kontrasteffekte**

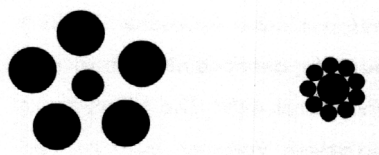
Abb. 34: MÜLLER-LYER-Täuschung



Als **Quantitätskontrast** wird das Größenverhältnis von Flächen bezeichnet. Objekte verschiedener Größe beeinflussen sich gegenseitig wie dies in Abbildung 35 der Fall ist. Trotz gleichem Durchmesser erscheint der linke innere Kreis kleiner als der rechte.

**Quantitäts-
kontrast**

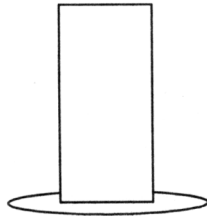
Abb. 35: Quantitätskontrast (Welcher innere Kreis ist größer?)



Vertikale Linien erscheinen uns länger als horizontale, auch ist unser Sichtfeld in der horizontalen Dimension viel weiter ausgeprägt als in der vertikalen. Dies kann dadurch erklärt werden, dass sich Menschen von Anfang an auf horizontaler Ebene bewegt haben und sich daher die Optik vorwiegend in die Breite orientiert hat, denn die Gefahrenzone lag hauptsächlich seitlich. Bei Vögeln und Fischen besteht keine Differenzierung zwischen der Horizontalen und Vertikalen. (vgl. FRUTIGER 1998, S. 25)

**vertikale Linien
wirken länger**

Abb. 36: Horizontal-Vertikal-Täuschung

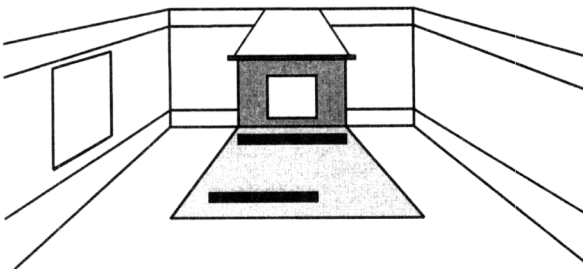


Übungsaufgabe 15

Welche Wahrnehmungstäuschungen sind in Abbildung 37 enthalten?
(Siehe „Lösungen zu den Übungsaufgaben“)

Übungsaufgabe 15

Abb. 37: Wahrnehmungstäuschungen (nach GILLAM 1986)



Auch im Bereich der Bewegungswahrnehmung finden wir eine Reihe von Täuschungen. Leuchten z.B. zwei Lichtquellen kurzzeitig nacheinander auf, so nehmen wir nicht zwei sukzessiv aufleuchtende statische Lich-

ter wahr, sondern einen sich bewegenden Lichtpunkt. Diese Scheinbewegung wurde vom Gestaltpsychologen WERTHEIMER **Phi-Phänomen** genannt und findet heute in Kino und Fernsehen Verwendung.

Phi-Phänomen

Eine andere Art von Scheinbewegung kennen wir z.B. von Zugreisen. Oft waren wir schon enttäuscht, wenn wir glaubten unser Zug fährt ab, jedoch ein anderer Zug am Nachbargleis gerade den Bahnhof verlässt. Hier handelt es sich um eine sogenannte **induzierte Bewegung**. Geringe Richtungsänderungen innerhalb unseres Gesichtsfeldes können wir nur schwer feststellen, deshalb kann es bei langsamen Relativbewegungen zu Verwechslungen kommen.

induzierte Bewegung

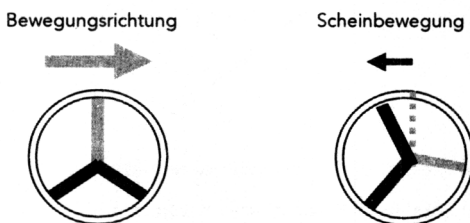
Auch beim **autokinetischen Phänomen** handelt es sich um eine Scheinbewegung. Blicken wir in einem abgedunkelten Raum längere Zeit auf einen hellen Punkt, so scheint dieser Punkt sich mit der Zeit zu bewegen. Erklärt wird dieses Phänomen durch das Fehlen eines Bezugsrahmens, woran sich die ständig bewegenden Augen orientieren können.

autokinetisches Phänomen

Oft haben wir bei einem Western den Eindruck, die Speichenräder der Postkutsche bewegen sich rückwärts. Hervorgerufen wird diese Täuschung durch eine falsche Korrespondenz. Bewegt sich eine Speiche zwischen zwei Bildern im Film relativ weit und befindet sich eine nachfolgende Speiche im zweiten Bild kurz vor der zuvor beobachteten Speiche, so folgern wir, die Speiche hat sich langsam in die entgegengesetzte Richtung bewegt.

Wagenradeffekt

Abb. 38: Der Wagenradeffekt



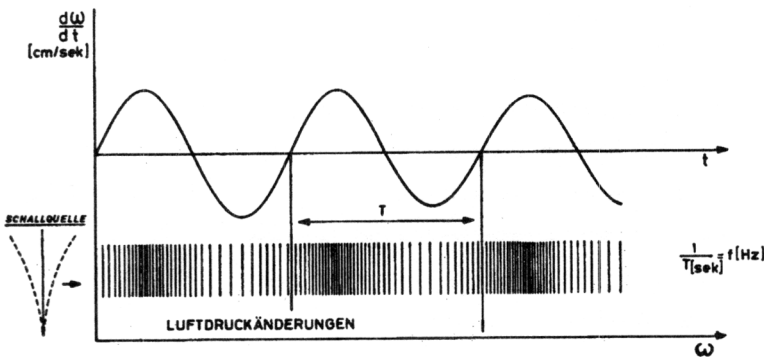
2.3 Auditive Wahrnehmung

2.3.1 Physikalische Grundlagen

Anders als die elektromagnetischen Wellen des Lichtes benötigt der Schall ein Medium (physikalischen Träger) für seine Ausbreitung, üblicherweise handelt es sich dabei um Luft. Ein Geräusch entsteht durch die Erzeugung von Druckwellen (Luftdruckänderungen), wobei die Luftteilchen eine der Schallquellenbewegung analoge Hin- und Herbewegung ausführen. Schallwellen breiten sich in Luft mit einer Geschwindigkeit von ca. 340 m/s aus; zum Vergleich: im Wasser beträgt die Schallgeschwindigkeit etwa 1500 m/s.

Schall benötigt ein Medium

Abb. 39: Schematische Darstellung von Schallschwingungen (aus HAJOS 1991)



Der Unterschied zwischen dem unverdichteten Ausgangszustand und dem Zustand der maximalen Verdichtung wird als **Amplitude** der Schallwelle bzw. als **Schalldruck** bezeichnet und entspricht der **Lautstärke** des Schallereignisses. Je höher die Amplitude, desto größer der Schalldruck und um so lauter das Geräusch. Der Schalldruck und damit die Lautstärke nehmen mit der Entfernung von der Schallquelle ab.

Amplitude = Lautstärke

Das zweite wichtige Merkmal des Schalls ist die **Frequenz (f)**. Dabei handelt es sich um die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, ihre

Frequenz = Tonhöhe

Maßeinheit ist das Hertz (1 Hertz (Hz) = 1 Schwingung pro Sekunde). Die Frequenz ist der reziproke Wert der **Periodendauer T** , der Zeit, die ein Teilchen für die volle Schwingung benötigt. Höhere Frequenzen werden auf dem Schallweg stärker absorbiert, weshalb z.B. ein naher Donner im ganzen Frequenzspektrum kracht und ein ferner nur noch tief grollt.

Periodendauer

Die meisten Geräusche bzw. Töne bestehen aus sehr komplexen Schallwellen. Alle Schallarten lassen sich jedoch als Summe von sinusförmigen Schwingungen darstellen (**FOURIER-Transformation**).

FOURIER-Transformation

Übungsaufgabe 16

Stellen Sie am Computer folgende Funktion dar:

$$Y = \sin x + \frac{1}{3} \sin(3x) + \frac{1}{5} \sin(5x) + \frac{1}{7} \sin(7x)$$

Welche Kurvenform wird durch die Aufsummierung dieser vier Sinuskurven erzeugt? (Siehe „Lösungen zu den Übungsaufgaben“)

Übungsaufgabe 16

Die relativ geringe Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls ermöglicht es uns, den sogenannten **DOPPLER-Effekt** direkt wahrzunehmen. Nähert sich z.B. ein pfeifender Zug oder ein hupendes Auto, so erscheint uns der Ton höher und bewegt sich das Fahrzeug wieder fort, tiefer als es der erzeugten Frequenz entspricht. Die Schwingungen werden beim Näherkommen komprimiert und beim Entfernen gedehnt.

DOPPLER-Effekt

2.3.2 Auditive Informationsverarbeitung

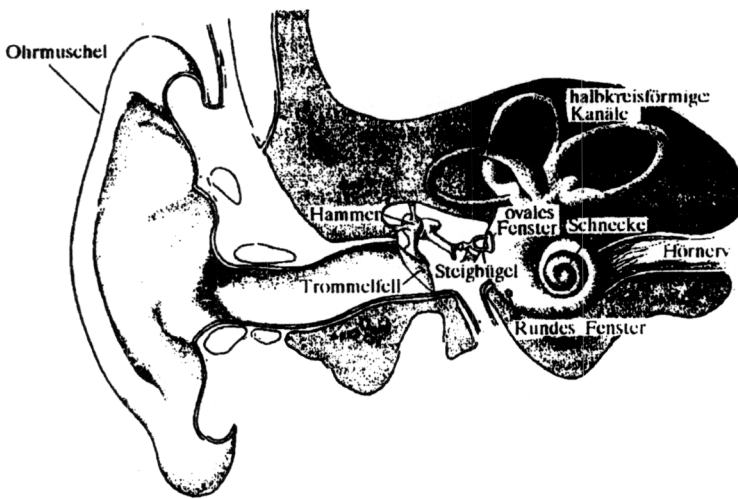
Die Sinnesorgane für auditive Reize sind die Ohren. Das Ohr wird in drei Hauptabschnitte geteilt, das Außenohr (Ohrmuschel und Gehörgang), das Mittelohr (Trommelfell mit den Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel) sowie das Innenohr (ovales Fenster, Schnecke und rundes Fenster). Schallwellen werden durch die Ohrmuschel eingefan-

gen und an den Gehörgang weitergeleitet. Das **Trommelfell** am Ende des Gehörganges wird in Schwingung versetzt und gibt diese Schwingungen über die drei **Gehörknöchelchen** an das **ovale Fenster** und von dort an die **Schnecke** weiter, wo die Umsetzung der mechanischen Schwingung in Nervenimpulse stattfindet. (vgl. GOLDSTEIN 1997, S. 320 ff.)

Trommelfell

Gehörknöchelchen, ovales Fenster, Schnecke

Abb. 40: Schematische Darstellung des Ohrs (aus KEBECK 1997)



Die mechanische Weiterleitung der Schallschwingungen durch die Gehörknöchelchen hat vor allem zwei Funktionen: Zum einen werden die Schwingungen um etwa das 30fache verstärkt, zum anderen sind die Gehörknöchelchen durch die Veränderung ihrer Anordnung in der Lage, sehr große Schalldrücke abzufangen und ihre Wirkung auf das ovale Fenster stark zu reduzieren (vgl. KEBECK 1997, S. 90).

Wird das ovale Fenster in Schwingung versetzt, so führt dies zu einer Bewegung der Flüssigkeit in der Schnecke, wobei die Membran des runden Fensters für einen Druckausgleich sorgt. Als Rezeptoren dienen **Haarzellen**, die die mechanischen Bewegungen in elektrische Impulse umwandeln und über den Hörnerv an die auditiven Regionen des Cortex weiterleiten.

**Rezeptoren =
Haarzellen**

Bietet man dem Ohr hintereinander einen kurzen Ton und verringert die Pausen, so nehmen wir ab einem bestimmten Zeitpunkt einen durchgehenden Ton wahr. Das Ohr benötigt eine sogenannte **Einschwingzeit** von etwa 0,25 Millisekunden ab der erst Unterschiede festgestellt werden können (vgl. WEBERS 1989, S. 114).

Einschwingzeit

2.3.3 Lautstärke und Tonhöhe

Das menschliche Ohr reagiert innerhalb eines sehr großen Bereiches auf Schalldruck. Das Verhältnis zwischen dem niedrigsten und dem höchsten registrierbaren Druck beträgt etwa 1 : 5 000 000. Das Zustandekommen eines Gehöreindrucks setzt u.a. voraus, dass ein bestimmter **Mindestschalldruck** auf das Ohr einwirkt, bei dem die Haarzellen überhaupt erst eine Reizung erfahren. Bei 1000 Hz wurde dieser Schwellwert bei einem Schalldruck von etwa $2 \cdot 10^4 \mu\text{bar}$ ermittelt. Ab einer bestimmten Lautstärke empfinden wir diese als schmerzhaft. Das kommt dadurch zu Stande, dass bei einem derart hohen Schalldruck das Gelenk zwischen Amboss und Steigbügel seitlich ausknickt. Das Ausknicken stellt einen Überlastschutz für das Innenohr dar.

Mindestschalldruck

$$p_0 = 2 \cdot 10^4 \mu\text{bar}$$

Der Hörbereich ist nach unten durch die durchschnittlich niedrigste gerade noch wahrnehmbare und nach oben durch die höchste ohne Schmerzgefühl zu ertragende Lautstärke begrenzt. Er umfasst einen sehr großen Schalldruckbereich von etwa sechs Zehnerpotenzen, was eine logarithmische Darstellung nahelegt. Dies empfiehlt sich zusätzlich auch wegen des **FECHNERSchen Gesetzes** das besagt, dass das Lautstärkeempfinden dem Logarithmus des Schallpegels proportional ist (vgl. HAJOS 1991, S. 27 f. und WEBERS 1989, S. 102 f.).

**Psychophysiker
Gustav FECHNER
 $E \sim \log p$**

Als Bezugspunkt für den Schalldruckpegel gilt der eben merkliche Schwellwert von $2 \cdot 10^4 \mu\text{bar}$. Für den praktischen Gebrauch wurde das

logarithmierte Verhältnis aber zu klein empfunden und daher mit 20 (Schallintensität mit 10, daher die Einheit **Dezibel**) multipliziert. Somit wird der Schalldruckpegel folgendermaßen errechnet:

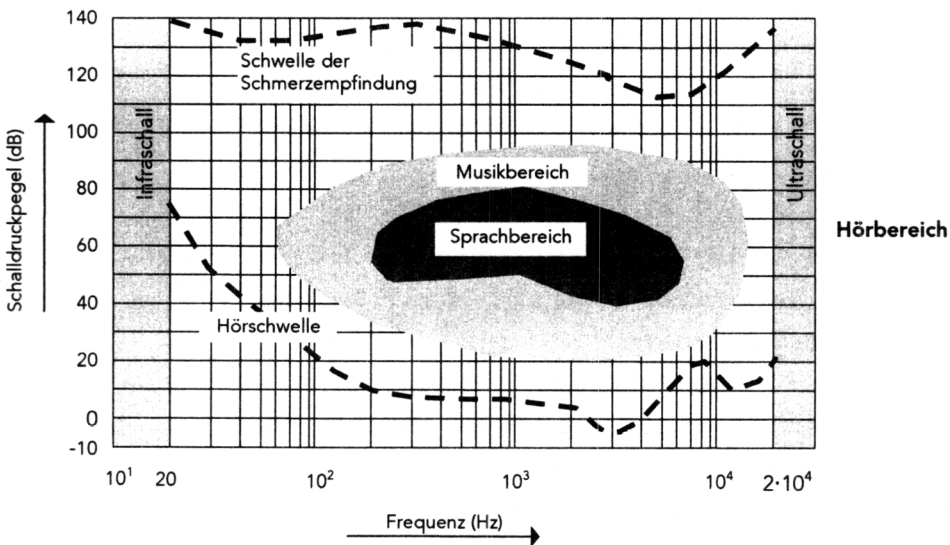
$$L = 20 \cdot \log \frac{p_i}{p_0}$$

- L = Schalldruckpegel in dB (Dezibel)
- p_0 = Schwellwert $2 \cdot 10^{-4}$ μ bar
- p_i = bestimmter Schalldruck

Die logarithmische Einheit wird **Dezibel** (nach Alexander Graham BELL) genannt.

Dezibel = Dezi-BELL

Abb. 41: Der Hörbereich



Eine wichtige Eigenschaft des menschlichen Gehörs ist die Fähigkeit, seine Empfindlichkeit dem gerade herrschenden mittleren Schallpegel anzupassen, ähnlich wie das Auge bei verschiedenen Helligkeitsgraden. Einmal können dadurch gleichmäßige Hintergrundgeräusche zurückgedrängt werden und weiters kann sich das Gehör an verschiedene Wiedergabepegel innerhalb bestimmter Grenzen anpassen. Das Gehör bil-

det aus den Reizeinwirkungen ein Bezugssystem, an dem sich die einzelnen Urteile wie laut oder leise, aber auch hell oder dunkel bzw. hoch oder tief orientieren (vgl. DICKREITER 1987, S. 113).

Mit der Anpassung verbunden ist der **Verdeckungseffekt**. Ein Ton, der für sich alleine gut hörbar ist (z.B. leises Sprechen), kann durch weitere Geräusche (z.B. Kirchenglocken) vollständig überlagert werden. Dieser Verdeckungseffekt wird als **akustische Maskierung** bezeichnet und z.B. zur Datenreduktion bei der Mini-Disk verwendet. Hier werden zur Verringerung der Datenmenge verdeckte Töne erst gar nicht aufgenommen.

Verdeckungseffekt = akustische Maskierung

Mini-Disk

Verdeckungserscheinungen gelten nicht nur für gleichzeitig auftretende Schallereignisse, sondern auch für zeitlich aufeinanderfolgende Signale. Die **Nachverdeckung** lässt Töne, die auch bei simultaner Darbietung verdeckt werden, nach Abschalten des lauten Signals eine kurze Zeit lang unhörbar bleiben. Die Zeitspanne der Nachverdeckung hängt von der Signalart sowie Signaldauer ab und liegt im Bereich von einigen ms bis einige 10 ms (vgl. DICKREITER 1987 S. 114).

Nachverdeckung

Ein zweites wesentliches Merkmal neben der Lautstärke ist die **Tonhöhe** bzw. die Frequenz des akustischen Signals. Der hörbare Frequenzbereich liegt beim Menschen ca. zwischen 20 Hz und 20 kHz und wird als Tonfrequenzbereich bezeichnet. Frequenzen, die darunter liegen nehmen wir als Erschütterungen oder bei quasistationären Vorgängen, z.B. bei einer Talfahrt mit dem Auto, sogar direkt als Druckänderung im Ohr wahr. Der hörbare Frequenzbereich ist v.a. vom Alter abhängig. Während in jüngeren Jahren Frequenzen bis 20 kHz gehört werden, sinkt diese Grenze im Alter bis unter 10 kHz (vgl. WEBERS 1989 S. 94 f.).

Tonhöhe = Frequenz

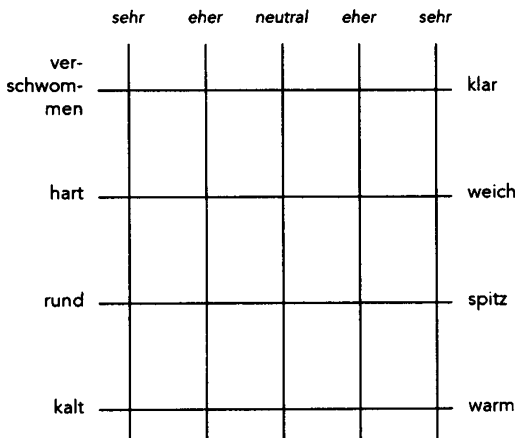
Lediglich ein Teil des Frequenzbereiches wird für Sprache und Musik verwendet, wobei die Einzeltöne in der Regel Mischöne sind (siehe Abbildung 41). Wie bereits in den physikalischen Grundlagen erwähnt, ist jeder nichtsinusförmige Ton aus einer Summe von Sinussignalen zu-

sammengesetzt und zwar aus einer Grundwelle plus verschiedener Oberwellen. Die Tonhöhe wird durch die Grundwelle bestimmt, ist diese nicht vorhanden, so bildet das Gehör einen Tonhöhereindruck, der dem fehlenden Grundton entspricht (vgl. DICKREITER 1989, S. 114).

Tonhöhe wird durch Grundwelle bestimmt

Übungsaufgabe 17

Zeichnen Sie im folgenden Diagramm ein, wie Sie tiefe und hohe Töne empfinden. Empfinden sie einen tiefen Ton z.B. eher klar oder eher verschwommen, eher hart oder eher weich etc. Verbinden Sie anschließend die Punkte für hohe Töne sowie für tiefe Töne miteinander, sodass sich zwei Linienvläufe ergeben. (Siehe „Lösungen zu den Übungsaufgaben“)



Übungsaufgabe 17

Höhere Töne erscheinen uns schärfer, spitzer, schneidender, klarer, kälter und härter, während tiefere Töne schwerer, voluminöser, verschwommener, wärmer und weicher wirken. Um die Bedeutungsstruktur von Schallereignissen näher zu beschreiben werden im Allgemeinen Polaritätslisten verwendet.

Wirkung von verschiedenen Frequenzen

KLEINEN fand drei wesentliche Dimensionen zur Beschreibung von Klängen: Helligkeit (dunkel-hell), Volumen (voll-leer) und Rauigkeit (stumpf-glatt). Diese Dimensionen sind bei kulturvergleichenden Studien in unterschiedlichen Ländern übereinstimmend gefunden worden. (vgl. KEBECK 1997 S. 215)

Wie bei den meisten Sinneswahrnehmungen gilt auch beim Tonhöheempfinden, dass dieses nicht linear mit der Frequenz steigt, sondern mit dem Änderungsverhältnis. So ruft ein Frequenzanstieg von 100 Hz auf 120 Hz die gleiche Änderungsempfindung hervor wie ein Anstieg von 3000 Hz auf 3600 Hz. Das bedeutet, die Tonhöheempfindung ändert sich mit dem Logarithmus der Frequenz (**FECHNERSches Gesetz**). Aus diesem Grund wird auch bei graphischen Darstellungen von Frequenzabhängigkeiten für die Frequenz ein logarithmischer Maßstab gewählt (siehe Abbildung 41).

**FECHNERSches
Gesetz**
 $E \sim \log f$

Übungsaufgabe 18

Versuchen Sie, ein Musikstück Ihrer Wahl mit dieser Polaritätenliste zu beurteilen. Kreuzen Sie in den durch die Adjektivpaare gebildeten Skalen die Ihrem Gefühl nach entsprechenden Ausprägungen an und verbinden Sie diese Punkte zu einem „Polaritätenprofil“ (nach KEBECK 1997).

nervös	1—2—3—4—5—6—7	gelassen
unangenehm	1—2—3—4—5—6—7	angenehm
gespannt	1—2—3—4—5—6—7	gelöst
schlecht	1—2—3—4—5—6—7	gut
wachsam	1—2—3—4—5—6—7	schläfrig
hässlich	1—2—3—4—5—6—7	schön
rastlos	1—2—3—4—5—6—7	träge
belastet	1—2—3—4—5—6—7	unbelastet
aktiv	1—2—3—4—5—6—7	passiv
ärgerlich	1—2—3—4—5—6—7	vergnülich
ungemütlich	1—2—3—4—5—6—7	gemütlich
unerträglich	1—2—3—4—5—6—7	erträglich
lebhaft	1—2—3—4—5—6—7	verträumt
hastig	1—2—3—4—5—6—7	besonnen
uninteressant	1—2—3—4—5—6—7	interessant
erschöpft	1—2—3—4—5—6—7	frisch
unruhig	1—2—3—4—5—6—7	ruhig
unkonzentriert	1—2—3—4—5—6—7	konzentriert

Übungsaufgabe 18

2.3.4 Sprache und Musik

2.3.4.1 Sprachwahrnehmung

Die Sprache gehört zu den komplexesten und gleichzeitig für uns bedeutsamsten akustischen Reizen. Ein großes Problem bei der Spracherkennung ist das Erkennen der Gliederung von Objekten. Zwar scheinen zwischen den gesprochenen Wörtern deutlich abgegrenzte Pausen zu liegen, aber meist ist das eine Täuschung, da wir mit der eigenen Sprache vertraut sind und die einzelnen uns bekannten Wörter selbst voneinander abgrenzen. Dies wird besonders deutlich, wenn wir eine fremde Sprache hören, sie erscheint uns oft als ein fortlaufender Strom von Lauten ohne erkennbare Wortgrenzen.

Eine Sprache weist nicht die strukturellen Einheiten der Schrift (Silben, Wörter etc.) auf, sondern ist aus einer begrenzten Zahl von Lautelementen, den sogenannten **Phonemen**, zusammengesetzt. Ein Phonem stellt so etwas wie das Grundvokabular von Sprachlauten dar und ist als die kleinste sprachliche Einheit definiert, deren Veränderung zu einer Änderung der Bedeutung einer Äußerung führen kann. Das Wort *Rippe* z.B. gliedert sich in die Phoneme (r), (i), (p) und (e). Ersetzen wir das Phonem (r) durch (l), so erhalten wir Lippe, mit (a) anstelle von (i) erhalten wir Rappe und mit (l) anstelle von (p) erhalten wir Rille. (vgl. ANDERSON 1996, S. 52 ff.)

Phonem

Die Phoneme sind jedoch nicht in der gleichen Weise voneinander getrennt wie Buchstaben, auch bestehen zwischen verschiedenen Sprechern oft erhebliche Unterschiede bei denselben Phonemen und weiters wird das Klangmuster durch den Kontext der anderen Phoneme mitbestimmt. Auf Grund der Komplexität der Sprache wird davon ausgegangen, dass die Sprachwahrnehmung spezielle Mechanismen umfasst, die über die allgemeinen Mechanismen der akustischen Wahrnehmung hinausgehen (vgl. ANDERSON 1996, S. 54 ff. und KEBECK 1997, S. 104).

Ein theoretischer Ansatz versteht die Sprachwahrnehmung als ein Pro-

zess der **Merkmalsanalyse**. Danach basiert diese auf der Grundlage eines sehr guten Auflösungs- und Differenzierungsvermögens des auditiven Systems. So wie Buchstaben können auch die Phoneme als aus einzelnen Merkmalen (z.B. Anstiegs- und Übergangszeiten, Amplitudenverläufen etc.) bestehend aufgefasst werden, wobei sich die Merkmale darauf beziehen, wie ein Laut erzeugt wird. Zu den Merkmalen gehören das Konsonanzmerkmal (Konsonant-Vokal), die Stimmhaftigkeit (stimmhaft-stimmlos) und der Artikulationsort.

Merkmalsanalyse

Die Phoneme unterscheiden sich auf Grund ihrer unterschiedlichen artikulatorischen Erzeugung. Der theoretische Ansatz der **kategorialen Wahrnehmung** geht nun davon aus, dass wir die akustischen Reize als einzelnen Kategorien zugehörig wahrnehmen. Dabei neigen wir dazu, Stimuli derselben Kategorie als gleich zu bezeichnen, auch wenn feststellbare Unterschiede vorhanden sind. Dies erklärt, warum wir die zwischen verschiedenen Sprechern oft vorhandenen Unterschiede bei denselben Phonemen richtig zuordnen können.

kategoriale Wahrnehmung

Stimuli treten im **Kontext** auf und wir nutzen dies, um die Mustererkennung zu steuern. Häufig verarbeiten wir uneindeutige oder unvollständige Sprachreize interpretierend und fügen fehlende Informationsanteile meist automatisch und unbewusst von uns aus ein. Mit diesem Ansatz lässt sich auch gut die Fähigkeit erklären, in einer kontinuierlichen Abfolge von Lauten problemlos einzelne Wörter zu unterscheiden. Die Wahrnehmung der Wörter beruht demnach vollständig auf der Interpretation der akustischen Information.

Kontextinformation

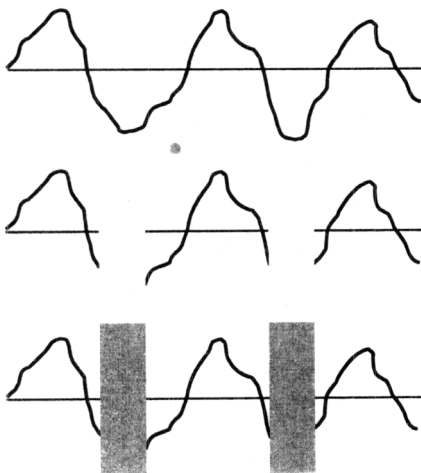
2.3.4.2 Musikwahrnehmung

Wie bei der visuellen Informationsverarbeitung interpretiert offensichtlich auch das auditive System aktiv die Umweltreize und bildet sie nicht

einfach ab. Dabei gelten ebenfalls verschiedene **Gestaltgesetze**. Wird z.B. wie in Abbildung 42 ein durchgehender Ton durch völlige Stille unterbrochen, so nehmen Versuchspersonen eine deutliche Pause wahr, wird der Ton jedoch durch Rauschen unterbrochen, haben sie den Eindruck, dass der Ton unter dem Rauschen fortgesetzt wird (vgl. HASEBROOK 1995, S. 45).

Gestaltgesetze

Abb. 42: Gestaltgesetze beim Hören (nach HASEBROOK 1995)



Gestaltgesetz der guten Fortsetzung

Besonders deutlich wird die Interpretation physikalischer Reize durch das auditive System beim subjektiven Erleben von Musik. Eine **Melodie** besteht in der Regel aus einer strukturierten Abfolge von Tönen. Töne unterscheiden sich von Geräuschen vor allem dadurch, dass sie über einen eindeutig wahrnehmbaren Grundton verfügen und - außer bei reinen Sinussignalen - eine Reihe von Obertönen besitzen, die in einem ganzzahligen Vielfachen zum Grundton stehen. Der Grundton, der von der tiefsten vorhandenen Frequenz der Grundschiwingung abhängt, bestimmt die subjektiv empfundene **Tonhöhe**. Eine Melodie besteht aus verschiedenen Grundtönen, wobei jedes Instrument und auch die menschliche Stimme verschiedene weitere höhere Schwingungen (Obertöne) erzeugen, die wir als typische **Klangfarbe** wahrnehmen. Durch die

Melodie = strukturierte Abfolge von Tönen

Tonhöhe = Grundton

Obertöne = Klangfarbe

variierenden Klangfarben der Instrumente und der menschlichen Stimmen entstehen sehr unterschiedliche akustische Eindrücke, auch wenn die gleiche Melodie in der gleichen Tonart und Tonhöhe gespielt bzw. gesungen wird.

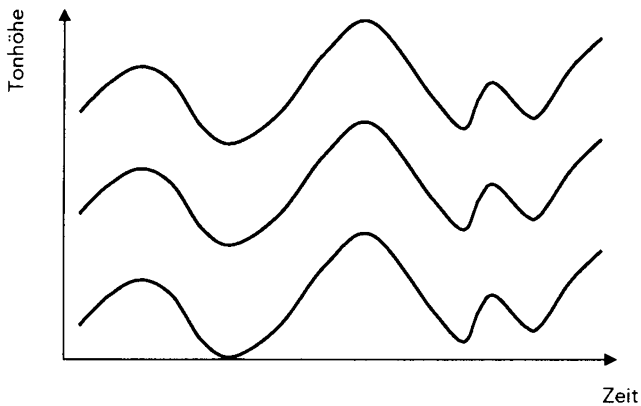
Das Empfinden einer Klangfarbe ist jedoch nicht das Ergebnis einer einfachen Summation der Teilkomponenten, sondern ein Bewertungsvorgang. Dabei ist neben den Amplituden der Obertöne auch das Verhältnis ihrer Frequenzen zur Frequenz des Grundtones von ausschlaggebender Bedeutung.

Zwar kommen als Grundtöne in einer Melodie eine Vielzahl unterschiedlicher Frequenzen in Frage, wir empfinden jedoch nur eine bestimmte Anzahl als zusammenpassend. Töne, die in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen wirken für uns harmonisch, wobei das Verhältnis 1:2 das charakteristische Intervall, die **Oktave** ist. Innerhalb der Oktave werden zwölf Abstufungen, das sind halbe Töne, unterschieden. Der dreizehnte besitzt genau die doppelte Frequenz wie der erste und erscheint diesem sehr viel ähnlicher zu sein wie den anderen. Wir nehmen ihn sogar als den gleichen Ton, nur in einer höheren Lage wahr. Innerhalb der zwölf Abstufungen sind zwei Kombinationen mit jeweils sieben Tönen in bestimmten Intervallabständen heute am gebräuchlichsten, es sind dies die Dur- sowie die Moll-Tonleiter. Melodien, die aus Tönen bestehen, deren Intervallabstände diesen Tonleitern entsprechen, wirken auf uns harmonisch.

**Oktavabstand =
doppelte Fre-
quenz**

Die Ordnungsprinzipien, aber auch die verwendeten Töne selbst sind sowohl kultur- wie epochenabhängig. So erscheint z.B. vielen Mitteleuropäern eine türkische Melodie auf dem Saiteninstrument Suz gespielt als nicht harmonisch bzw. lehnen ältere Menschen oft neuere Melodien ab.

Abb. 43: Transponierbarkeit von Melodien



Transponierbarkeit = Gestalt-eigen-schaft

Eine Melodie wird jedoch nicht durch die absolute Höhe ihrer Töne, sondern ausschließlich durch die Abfolge sowie Zeitdauer der einzelnen Töne und Pausen bestimmt. Die Melodie ändert sich nicht, wenn sie z.B. einen halben Ton höher gespielt wird, die Gestalt bleibt erhalten. Diese **Transponierbarkeit** von Melodien ist nach dem Gestaltpsychologen Christian von EHRENFELS (1859 - 1932) eine besondere Gestalt-eigen-schaft.

Rauhigkeit kennzeichnet Schallereignisse, die eine starke zeitliche Strukturierung besitzen. Ein Ton wirkt umso rauher, je schneller sich die Amplitude ändert, wobei die Rauhigkeit bei etwa 70 Schwankungen pro Sekunde am größten ist (vgl. DICKREITER 1987, S. 115).

Rauhigkeit

Im Gegensatz zu Melodien, können die meisten Menschen Tonhöhen ohne Referenzton nicht identifizieren. Nur wenige Menschen, die über ein sogenanntes „**absolutes Gehör**“ verfügen, sind in der Lage isoliert dargebotene Töne korrekt zu bestimmen.

absolutes Gehör

Die Untersuchungen zum Einfluss von Musik auf die individuelle Leistung zeigen, dass bei monotonen Beschäftigungen Musik zu empfehlen ist, die zu einem angenehmen Klima führt, kaum ins Bewusstsein ein-

Hintergrund-musik

dringt sowie in Rhythmik und Tempo auf ein optimales Erregungsniveau abgestimmt ist (vgl. GRANDJEAN 1967). Eine mittlere Hintergrundlautstärke führt zu Aktivitätssteigerungen, während ein zu geringer bzw. zu starker Lautstärkepegel eine leistungsmindernde Wirkung hat. Dies gilt auch für übliche Hintergrundgeräusche. So mussten z.B. in Großraumbüros wegen deutlicher Leistungsrückgänge zum Teil Schallisierungen wieder entfernt werden, um eine „normale“ Geräuschkulisse herzustellen (vgl. NEUMANN u. TIMPE 1976, S. 92).

2.3.5 Räumliches Hören

In wesentlich stärkerem Maße als die visuelle Raumwahrnehmung von den unterschiedlichen Informationen zweier Augen abhängt (neben einer Reihe von Hinweisreizen), ist die auditive Raumwahrnehmung auf das Vorhandensein zweier Ohren angewiesen. Mit nur einem Ohr können Schallquellen kaum im Raum lokalisiert werden. Das **Richtungshören** erlaubt uns auch die Konzentration auf eine interessierende Schallquelle, so dass Nebengeräusche viel weniger registriert werden als es ihrem tatsächlichen Schalldruck am Ohr entspricht. Davon kann man sich leicht überzeugen, wenn z.B. eigene Konzertwahrnehmungen mit Rundfunkübertragungen verglichen werden. Die Wiedergabe ist durch Nebengeräusche, wie Husten und Stühleknarren, in hohem Maße gestört, obwohl man selbst solche Störgeräusche im Saal als viel weniger störend wahrnimmt.

Richtungshören

Die Lokalisation der Schallquelle wird durch Unterschiede der Signale an beiden Ohren ermöglicht. Dabei treten zwischen den beiden Ohrsignalen **Laufzeitunterschiede**, **Intensitätsunterschiede** sowie **Klangfarbenunterschiede** auf.

_Laufzeit _Intensität _Klangfarbe

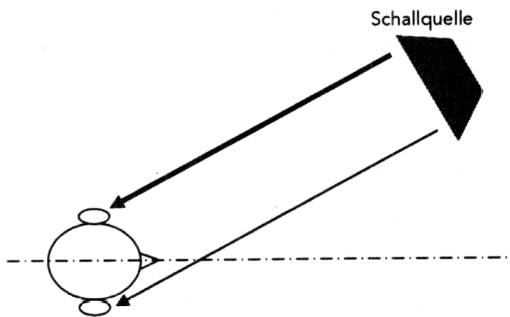
Ein Signal trifft in dem der Schallquelle zugewandten Ohr früher ein, als

im anderen Ohr. Bereits ein **Laufzeitunterschied** von 0,03 Millisekunden, dies entspricht einem Winkel von ca. 3° , ist für das Schätzen der Richtung ausreichend. Bei etwa 0,6 Millisekunden nehmen wir die Schallquelle genau seitlich im rechten Winkel wahr. Die Unterscheidung, ob ein Signal von vorne oder hinten eintrifft, wird uns durch die Richtungswirkung beider Ohren ermöglicht. (vgl. DICKREITER 1987, S. 118 f.)

Laufzeitunterschied

Durch die Form der Ohrmuschel wird Schall, der aus verschiedenen Richtungen eintrifft, unterschiedlich reflektiert. Insbesondere bei höheren Frequenzen entstehen große Unterschiede, wenn sich die gleiche Schallquelle vor oder hinter, über oder unter dem Ohr befindet. GARDNER u. GARDNER (1973) konnten in einem Experiment nachweisen, dass das räumliche Ortungsvermögen stark beeinträchtigt wird, wenn die Unregelmäßigkeiten in den Ohrmuscheln durch Wachs ausgefüllt und damit Reflexionen weitgehend unterbunden werden.

Abb. 44: Laufzeit- und Intensitätsunterschiede



Die Schallenergie nimmt quadratisch mit der Entfernung ab. Bei Schallquellen, die sich in unmittelbarer Nähe des Kopfes befinden, hat der Abstand zwischen den Ohren einen relativ großen Anteil an der Gesamtstrecke des Schalls, so dass die **Amplitudendifferenz** entsprechend deutlich ausfällt, daher wird sie auch als Information über die Entfernung der Schallquelle genutzt. Bei größeren Entfernungen ist dieser Unterschied jedoch sehr gering, hier überwiegt der Einfluss der **Schattenwirkung**. Bei hohen Frequenzen nimmt die Intensität eines Tones bei dem

Intensitätsunterschiede durch

- Weglänge
- Schatten

Ohr, das weiter von der Schallquelle entfernt ist, ab, da dort ein sogenannter Schatten entsteht. Bei niederen Frequenzen kann dieser Schatten nicht auftreten, was dazu führt, dass wir Schallquellen, die sich nicht in unserer unmittelbaren Nähe befinden bei Frequenzen unterhalb von ca. 300 Hz nicht mehr orten können. Deshalb ist es wichtig, Höhenlautsprecher richtig zu platzieren, während Basslautsprecher auch irgendwo stehen können.

Eine Unterscheidung zwischen von vorne oder hinten von oben oder unten einfallenden Schall erfolgt auch dadurch, dass sich der Kopf unbewusst stets in Bewegung befindet. Aus den sich dabei ergebenden Änderungen der Laufzeit- und Intensitätsunterschiede kommen wir zu einer genauen Richtungsentscheidung.

Die durch Beugungseffekte hervorgerufenen frequenzabhängigen Intensitätsunterschiede haben auch eine Veränderung der **Klangfarbe** zur Folge. Hierbei ist jedoch im Gegensatz zur Schallortung durch Laufzeit- oder Intensitätsunterschiede die Kenntnis der Klangfarbe bei frontalem Schalleinfall Voraussetzung (vgl. DICKREITER 1987, S. 120).

Klangfarbe

Obwohl wir z.B. in geschlossenen Räumen **Reflexionen** ausgesetzt sind, können wir im Allgemeinen die Schallquelle richtig orten und nehmen die reflektierten Schallwellen nicht als Originalschall wahr. Dies gilt jedoch nur für Signale, deren Zeitunterschiede in der Größenordnung der Einschwingzeit des Ohres liegen. Bei Verzögerungszeiten bis zu etwa 30 Millisekunden gilt das „Gesetz der ersten Wellenfront“, auch **Precedence-Effekt** genannt. Wenn eine bestimmte Schallwelle das Ohr erreicht hat, werden innerhalb eines kurzen Zeitraumes nachfolgende identische Wellen unterdrückt, so dass der primäre, direkt von der Schallquelle kommende Schall die Wahrnehmung und damit die räumliche Ortung bestimmt. Dabei kann der Pegel des nachfolgenden Schalls sogar bis zu 10 dB höher liegen (vgl. WEBERS 1989 S. 115 f.).

Reflexion

Precedence-Effekt

Erst ab Laufzeitunterschieden von 40 Millisekunden bemerken wir all-

mählich vorhandene Schallreflexionen, lokalisieren aber immer noch den zuerst eintreffenden Schall. Bei Verzögerungszeiten ab etwa 50 Millisekunden empfinden wir das reflektierte Signal als zeitlich verzögert sowie räumlich getrennt und nehmen es als **Echo** wahr (vgl. WEBERS 1989 S. 116).

Echo

Indirekte Schallwellen in Form von **Nachhall** sind für die auditive Wahrnehmung eines Raumes von zentraler Bedeutung. Das Ausmaß der Schallreflexionen und die dabei auftretenden Verzögerungszeiten bestimmen die „Akustik“ eines Raumes.

Nachhall

Übungsaufgabe 19

Schalten Sie Ihre Stereoanlage auf mono damit beide Lautsprecher dasselbe Signal liefern und stellen Sie sich so zwischen die Boxen, dass beide Signale die gleiche Laufzeit benötigen. Das Schallereignis, z.B. die Stimme eines Sprechers, wird nun in der Mitte zwischen den beiden Lautsprechern lokalisiert. Bewegen Sie den Kopf langsam nach links oder rechts, so wird eine Schallquelle plötzlich vollkommen dominant, das Signal scheint nur noch aus dieser Richtung zu kommen.

**Selbstversuch
zum Precedence-
Effekt**

An der Wahrnehmung der Schalleinfallrichtung sind also drei verschiedene Faktoren beteiligt wobei deren Beitrag jedoch von der Frequenz bzw. den Frequenzanteilen des Signals abhängt. Experimentelle Ergebnisse sprechen dafür, dass die Lokation vor allem bei niedrigen Frequenzen durch die Laufzeitunterschiede, bei hohen Frequenzen auch durch die Intensitätsunterschiede zu Stande kommt, was zur Formulierung einer „**Duplextheorie**“ der auditiven Lokalisation geführt hat (vgl. KEBECK 1997, S. 102). Demnach können wir diejenigen Signale am besten lokalisieren, die sowohl tiefe wie hohe Frequenzanteile besitzen (z.B. Knack- oder Schlaggeräusche), da hier auf Laufzeit- und Intensitätsunterschiede zurückgegriffen werden kann.

Duplextheorie

Im Gegensatz zur Richtungswahrnehmung kann die **Entfernung** einer Schallquelle bei einohrigem Hören mit fast der gleichen Sicherheit fest-

**Schallquellenent-
fernung**

gestellt werden wie bei zweiohrigem Hören. Aber auch die Wahrnehmbarkeit der Entfernung ist ähnlich wie das Richtungshören auf verschiedene Einflüsse zurückführbar. In geschlossenen Räumen wird mit größer werdendem Verhältnis von indirektem Schall (**Nachhall**) zum direkten Schall der Eindruck einer größeren Entfernung erweckt. Im Freien sind für das Entfernungsempfinden auch **Klangfarbenänderungen** verantwortlich. Dies kommt dadurch zu Stande, dass der Anteil höherer Frequenzen mit der Entfernung abnimmt, der Schall erhält dadurch einen zunehmend dumpferen Charakter. Ein typisches Beispiel dafür ist das Donnern eines weitentfernten Gewitters, im Gegensatz zum Donner heller Klangfarbe bei nahem Einschlag. Ist die **Lautstärke** einer Schallquelle aus der Erfahrung bekannt, so kann durch Lautstärkeänderungen auf Entfernungen geschlossen werden. Wichtig ist diese Fähigkeit, wenn es darum geht, eine Entfernungsänderung durch die Lautstärkeänderung abzuschätzen. Ein anschwellender Ton wird auch dann stets als näherkommend und ein abnehmender Ton als sich entfernender empfunden, wenn diese Lautstärkeänderungen künstlich hervorgerufen sind (vgl. WEBERS 1989, S. 123 f).

_Nachhall

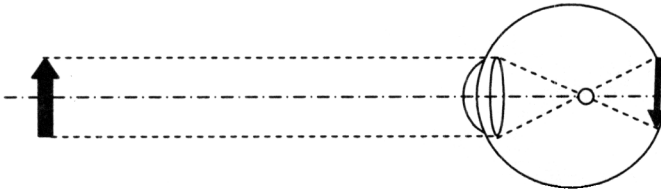
_Klangfarbe

_Lautstärke

Lösungen zu den Übungsaufgaben

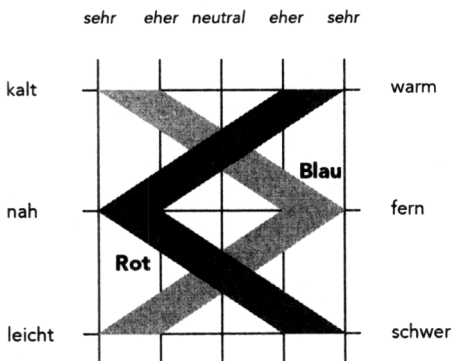
Übungsaufgabe 8

Abb. 35: Abbildung auf der Netzhaut



Übungsaufgabe 13

Häufig werden folgende Empfindungen in Zusammenhang mit den Farben Rot und Blau angegeben:



Übungsaufgabe 15

- PONZO-Täuschung: Die beiden Balken vor dem Kamin erscheinen verschieden groß.
- MÜLLER-LYER-Täuschung: Die vordere Teppichkante wirkt kürzer als die Rückwand.
- POGGENDORFF-Täuschung: Die Wandleisten ober dem Kamin scheinen nicht auf gleicher Höhe zu sein.

Übungsaufgabe 16

Ein Rechtecksignal.

Übungsaufgabe 18

Häufig werden folgende Empfindungen in Zusammenhang mit hohen sowie mit tiefen

Tönen angegeben:

