

Der visuelle Sinn und das Augentraining

Gehirntraining oder Gehirnjogging am Computer ist hochaktuell und als fester Bestandteil des persönlichen Fitness-Trainings beinahe schon etabliert. Daher gibt es auch unzählige Angebote. Was aber unterscheidet blosses Spielen vom echten Gehirntraining? Das ist für Sie gar nicht so leicht zu erkennen.

Ein wichtiges Kriterium ist, daß es bei einer Aufgabe keine "Lösung" geben darf, die sie bei weiterer Nutzung unbrauchbar macht. Darunter fallen alle rätselartigen Übungen. Es darf auch keinen "Lösungsweg" geben, den man einmal erarbeitet oder erkannt hat und dessen Anwendung sicher und schnell zur Lösung führt. Darunter fallen alle Knobeleien und auch z.B. Sudoku. Zum großen Teil trifft das auch auf die typischen Aufgaben der sogenannten IQ-Tests zu. Das alles trainiert das Gehirn nur wenig, weil nur eine einmalige Anstrengung erforderlich ist (die Lösung oder den Lösungsweg finden). Rätsel und Knobeleien sind im Grunde gar nicht so schlecht, nur muß jemand dahinter stehen, der laufend neues Material erfindet. Da die Grundschemata aber begrenzt sind, geht das auch nur eine bestimmte Zeit. Das wäre dann so, als ob man einen bestimmten Weg joggt und anschließend feststellt, daß man nun nicht mehr joggen muß, weil man schon gejoggt hat.

Gehirntrainingsübungen müssen also bei jedem Training anders sein, so daß eben gerade kein Lerneffekt eintreten kann. Ein Beispiel: Beim sogenannten Schimpansen-Test (der so heißt, weil die besser abschneiden als Menschen) erscheinen in schachbrettartigen Feldern Zahlen für einige wenige Sekunden (Schimpansen reicht 1 Sekunde). Anschließend sind die Felder in der richtigen Reihenfolge der Zahlen anzuklicken. Hier hilft kein Lösungsweg und kein Trick. Man muß sich einfach die Zahlen und ihren Platz merken. Die Situation ist natürlich wegen der Zufallswahl immer neu. Wenn man also besser geworden ist, so ist das Bild-, Zahlen- und Raumgedächtnis einfach besser geworden. Das ist genau der Trainigseffekt, der beabsichtigt ist.

Spaß machen muß es auch, sonst tut man es nicht. Und darauf legen wir bei der Gestaltung unserer Übungen großen Wert. Damit es auch noch sportlich wird, haben wir ein Punktesystem und virtuelle Belohnungen realisiert. Aber eigentlich kommt es darauf nicht an. Auch sagen die Punkte nur sehr grob etwas über Ihren Fortschritt aus. Wichtig ist, daß man es regelmäßig tut. Das ist wie bei jeder "sportlichen" Betätigung.

Wir denken uns die Übungen aus, indem wir wichtige Gehirnfunktionen aussuchen und uns fragen, wie man diese mit einem spielerischen Training fördern kann. So sind auch die Übungen für das Augentraining entstanden, das besser "Sehtraining" heißen sollte. Es hat nichts mit dem bekannten Sehschärfetraining zu tun, sondern zielt auf die Fitness des gesamten visuellen Systems, von der Augenlinse und den Rezeptoren bis in die visuellen Verarbeitungsbereiche unseres Gehirns. Das visuelle System ist übrigens das wichtigste Teilsystem und nimmt (wenn man das Lesen auch noch dazu nimmt), den größten Teil unseres bewußten und unbewußten Gehirns ein.

Wir haben fünf Übungen vorgesehen, in denen es um Farbsehen, Formsehen, Bewegungssehen, räumliches Sehen und das Gesichtsfeld geht. Diese fünf Gruppen sind die wesentlichen funktionalen Komponenten des visuellen Systems.

Bei den **Farben** geht es um die feine Unterscheidung von Farbtönen und Helligkeiten. In den beiden höheren Schwierigkeitsgraden wird das Sehen durch Muster und weitere Farben abgelenkt, was diese Übung teilweise sehr schwer macht. Auch wenn die Farbnuancen im Vordergrund stehen, geht es auch um das Erkennen von Formen wie in der zweiten Übung.

Beim **Formsehen** sollen Sie in einem detailreichen Bild eine bestimmte, vorgegebene Form entdecken. Diese Übung überschneidet sich insofern mit dem Farbsehen, als die Farbe der jeweiligen Form mit dem Hintergrund verschmilzt. Diese Übung ist häufig sehr schwierig, weil ein sehr interessanter Aspekt unserer visuellen Systems auftaucht. Da die Grundbilder häufig konkrete Gegenstände darstellen, ergänzt das Gehirn "falsche" Stellen automatisch durch eine sinnvolle "Korrektur" des Bildes. Damit sehen Sie die gesuchte Form nur, wenn Sie sich auf die Form sehr konzentrieren. Sie müssen den Automatismus quasi bewußt ausschalten.

Fünf Übungen für den Sehsinn

Das **Bewegungssehen** fördert Ihre Konzentration auf einen Gegenstand in einer Reihe von vielen, ebenfalls bewegten, gleichartigen Gegenständen. Als Beispiel haben wir den Flug vieler Leuchtäfer gewählt. Hier trainieren Sie Feinbewegung Ihres Auges und die Antizipation der Bewegung als Teil unseres Sehapparates, der auch Flugbahnen vorausahnen (extrapolieren) kann. (Ohne diese Fähigkeit könnten wir keine Ballsportart betreiben.)

Für das **Raumsehen** nutzen wir keine 3D-Darstellung, sondern setzen auf das Wissen (und das Training) unseres Sehapparates bezüglich räumlicher Gegebenheiten. Auch hier eine kleine Überschneidung zum Bewegungssehen, aber mit einem großen Schwerpunkt auf Antizipation der Flugbewegung eines Balles im Raum. Das ist sozusagen eine Trockenübung auf dem Weg zum Squash-Champion.

Beim **Gesichtsfeld** geht es um die Herausforderung des Gehirns auch die Bereiche zu bearbeiten, die nicht im Scharfsehfocus der Rezeptoren liegen. Diese Außenbereiche sind sehr sensitiv auf Bewegungen, bilden aber Gegenstände nur unscharf ab. Der evolutionäre Sinn ist klar: Man soll frühzeitig eine Annäherung bemerken, um dann den Focus schnell darauf richten zu können – zum Abwehren oder zum Einfangen. Diesen wichtigen Aufmerksamkeitsbereich zu trainieren, ist auch im Alltag nicht ohne Bedeutung.

Wenn Sie mehr über das visuelle System und dessen Leistungen wissen wollen, lesen Sie einfach weiter. Wir schildern den Stand des Wissens und was wir noch nicht wissen und was wir vermutlich nie wissen können. Zumindest nicht mit dem heutigen evolutionären Stand unseres Gehirns.

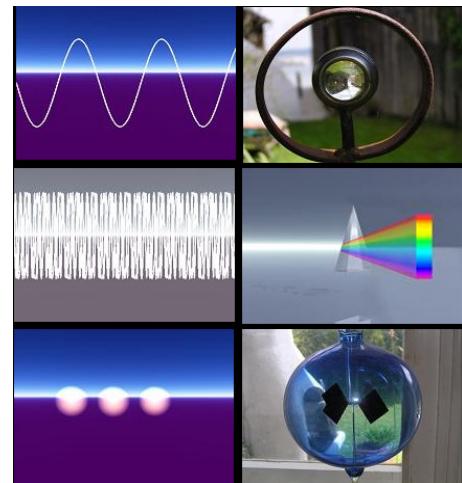
Was ist Licht?

Licht ist so selbstverständlich, daß wir eigentlich gar nicht darüber nachdenken. Licht ist die nötige Voraussetzung überhaupt etwas zu sehen und Licht und Farben wecken in uns Empfindungen und angenehme oder unangenehme Erinnerungen. Wir erkennen ohne physikalisches Hintergrundwissen, daß es Objekte gibt, die selber leuchten und Objekte, die man nur sieht, wenn sie angeleuchtet werden. Und wir gehen selbstverständlich davon aus, daß das, was wir sehen, genau der realen Welt entspricht. Und wie selbstverständlich gehen wir auch davon aus, daß andere diese Welt genauso sehen.

Daß das alles nicht so selbstverständlich ist, wollen wir hier aufzeigen und Sie ein wenig nachdenklich machen über den wunderbaren Apparat, den die Evolution "erfunden" hat und den wir visuelles System nennen.

Wir wissen heute natürlich, daß Licht aus elektromagnetischen Wellen besteht. Was wir heute nicht wissen – und das gilt auch für die hervorragendsten Fachleute – ist, was elektromagnetische Wellen "sind". Man kann Sie nicht anfassen, man kann sie selbst eigentlich auch nicht sehen, sondern nur ihre Wirkung und trotzdem sind sie da und pflanzen sich fort – mit Lichtgeschwindigkeit und auch im leeren Raum. Sie sind so eine Art Energie. Obwohl dieser Begriff anschaulich erscheint, müssen wir Sie leider enttäuschen. Was Energie wirklich "ist", weiß nämlich auch keiner.

Was wir erstaunlicherweise aber wissen, ist, wie sich elektromagnetische Wellen "verhalten". Wir können Sie sogar erzeugen und wieder auffangen. Und wir können unglaubliche Dinge damit machen: Fernsehen und Radio hören, über Funk reden oder navigieren (GPS!), telefonieren, uns durchleuchten oder Brathähnchen grillen. Dabei nutzen wir eine Eigenschaft aus, die sie haben: Sie verhalten sich wie Wellen (deswegen heißen sie auch so). Sie werden gebeugt, gebrochen, gestreut oder reflektiert wie die Wellen auf dem Wasser.



Komischerweise haben Sie auch Eigenschaften wie einzelne Teilchen (sie heißen dann z.B. Photonen). Ohne diese Eigenschaft würde der Lichtmotor nicht funktionieren oder es gäbe keinen Strom aus Photozellen.

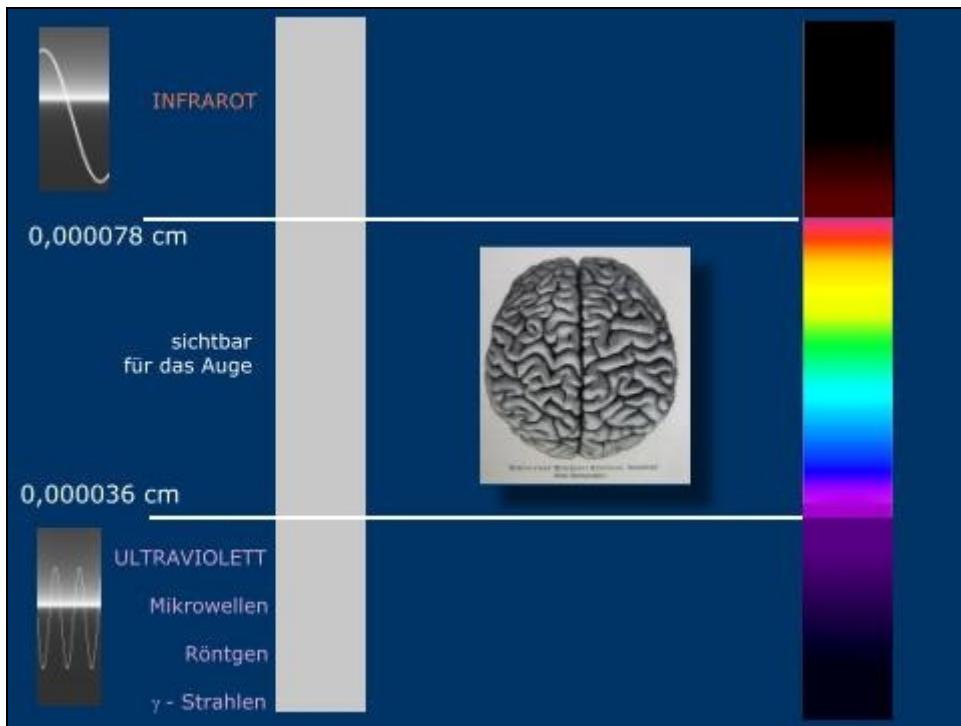
Daß das überhaupt nicht zusammenpaßt, wissen die Physiker. Aber erklären können Sie es bis heute nicht richtig und begreifen können wir alle das ohnehin nicht.

Was sind Farben?

Farben gibt es nicht – in der wirklichen Welt. Elektromagnetische Wellen unterscheiden sich nur in ihrer Wellenlänge. (Die Wellenlänge ist der Abstand zwischen zwei Wellenbergen oder Wellentälern.). Sie pflanzen sich im Vakuum alle mit der gleichen Lichtgeschwindigkeit fort (mit etwa 300.000 km / sec) und sind zum Beispiel in der Luft am Boden um 0,28% langsamer. Radiowellen, vor allem die früher benutzten Lang-, Mittel- oder Kurzwellen sind relativ lang. Etwas kürzer sind die UHF-Wellen des Fernsehens, dann kommen die Wellen z.B. der Microwelle oder des Radars. Es folgt ein Bereich, den unser Auge wahrnehmen kann und den wir deshalb Licht nennen. Darüber kommen etwa die Röntgenstrahlen oder die gefährlichen Gammastrahlen.

Was aber sind die Farben? Unser Auge hat Rezeptoren für unterschiedliche Bereiche der Wellenlängen, die wir sehen – also des Lichts. Das ist erst einmal nur eine Einteilung des sichtbaren Bereichs in einige Stufen und hat mit Farben noch nichts zu tun. Diese Signale kommen in unserem Gehirn lediglich auf verschiedenen Kanälen an. Und jetzt kommt das Wunderbare und höchst Erstaunliche: Unser Gehirn macht daraus

Begriffe, nämlich die Farben und verknüpft sie mit dem Abstraktionszentrum und dem Sprachzentrum. Wie das funktioniert, kann bis heute keiner erklären.



Aber wir können untereinander Farben kommunizieren mit den Worten rot, gelb, grün, blau oder lila oder allen möglichen Zwischentönen. Genau genommen können wir durch nichts beweisen, daß unser Gegenüber unter den Farben das Gleiche versteht. Es ist zwar anzunehmen, daß es so ist, weil die Kommunikation ziemlich reibungslos funktioniert. Aber sicher können wir nicht sein.

Wir nennen die Bereiche unterhalb und überhalb der sichtbaren Wellenlängen Infrarot und Ultraviolet. Das hat aber nur praktische Gründe, weil die größte Wellenlänge, die wir sehen können, Rot heißt und die kürzeste Violett. Mit diesen Farben hat aber Infrarot und Ultraviolet nichts zu tun. Unser Gehirn hat für diese Farben nichts vorgesehen, weil wir auch keinen Sensor dafür haben (außer daß die Haut warm wird bzw. braun oder verbrannt). Bienen können nachweislich im ultravioletten Bereich sehen. Wie sie es sehen und was sie sehen, entzieht sich aber völlig unserem Vorstellungsvermögen. Wir brauchen aber gar nicht so weit denken: Wer z.B. die relativ häufige Rot-Grün-Blindheit hat, der hat keine Vorstellung von diesen Farben. Und die, die Rot und Grün unterscheiden können, haben keine Vorstellung, was der Rot-Grün-Blinde eigentlich sieht. Und es dem anderen erklären, können wir auch nicht.

Oder versuchen Sie einmal, sich eine andere Farbe nur auszudenken. Wir meinen nicht ein Mischprodukt aus den uns bekannten Farben, sondern eine grundsätzlich neue Farbe. Es geht nicht: Unser Gehirn kann das nicht. Aber es gibt andere Einteilungen in der Welt (z.B. die Bienen oder die Enten sehen anders, vielleicht auch Hunde und Katzen, aber das so genau weiß man das nicht). Dies zu erforschen ist besonders schwierig, eben weil unser Gehirn dafür keinen "Sinn" hat.

Es liegt sehr nahe - geradezu mit einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit - daß sich das Farbempfinden evolutionär entwickelt hat. Der Vorteil im Zusammenhang mit dem Sehsinn ist klar: Der Sehsinn ist die optimale Möglichkeit, den Raum und dessen Hindernisse präzise zu orten, die Farben betonen die Art und Eigenschaft des Gesehenen. So ist es zum Beispiel nicht verwunderlich, daß wir Grüntöne am Feinsten unterscheiden können und Rot am Größten. Nahrungspflanzen haben feine Farbunterschiede, Rot kommt höchstens bei Steinen, Blüten oder Blut vor. Eine feine Unterscheidung ist hier nicht so wichtig.

Das, was uns dabei am meisten zu denken gibt, ist die Tatsache, daß sich die Evolution eine physikalische Eigenschaft von Oberflächen zunutze gemacht hat, nämlich die Absorption und Reflektion von elektromagnetischen Wellen. Wann befinden wir, daß ein Gegenstand wie ein Blatt "grün" ist? Er wird von der Sonne bestrahlt – direkt oder vom gestreuten Licht z.B. durch die Wolken. Dieses Licht enthält alle Wellenlängen. Das Blatt "verschluckt" (absorbiert) die meisten

Wellenlängen und nutzt ihre Energie für die Photosynthese. Nur grün verschluckt es nicht, sondern reflektiert es wieder – keiner weiß warum. Aber das ist ausgesprochen praktisch: Wir sehen nur das reflektierte Licht und das Blatt erscheint damit grün. Daß es auch anders aussehen kann, sehen wir, wenn es mit einem anderen Licht beleuchtet wird. Ist das Licht zum Beispiel rot, erscheint das Blatt nahezu schwarz, weil es kein grün zum Reflektieren gibt.

Dies ist ein nachdenklich machendes Beispiel dafür, wie Evolution arbeitet. Wer weiß, was sich die Evolution hätte "einfallen" lassen, wenn es diese Absorptions- und Reflektions-eigenschaften nicht gäbe?

"Und wär' das Aug' nicht sonnengleich, die Sonne würd' es nie erblicken." Ziemlich klug war diese Erkenntnis von Goethe, obwohl er von Darwin's Evolutionstheorie gerade noch nichts wissen konnte (er starb 1832, die Theorie ist von 1858). Er erkannte aber einen kausalen Zusammenhang zwischen Auge und Sonne. Dabei wollen wir die Frage, was zuerst war, hier nicht erörtern. Wir gehören aber zu denen, die sich ziemlich sicher sind, daß es die Sonne mit ihrem Licht schon länger gibt als den Menschen.

Das Auge

Wie war das also vermutlich im Rahmen der Evolution? Da die meisten Stufen bei Lebewesen auch heute noch existieren, ist das gar nicht so schwer nachzuempfinden.

Erst waren es ein paar Zellen, die lichtempfindlich waren. Das heißt, sie haben mit einem elektrischen Signal ans Nervensystem Licht gemeldet nach dem Motto: Mach daraus, was Du willst, aber hier ist es hell. Im nächsten Schritt, als das Nützliche dieser Funktion schon verinnerlicht war (im zentralen Nervensystem, vulgo Gehirn), war eine Wölbung dieses Bereichs nach innen aus Schutzgründen von Vorteil. Vermutlich hat sich dann – ziemlich unnütz erst – ein Rand aus Haut gebildet. Als dieser Rand versehentlich größer wurde, hatte er nur noch eine winzige Öffnung. Und hier gab es eine Überraschung. Plötzlich war es nicht nur hell oder dunkel, sondern es gab eine echte Abbildung der Außenwelt, scharf und mit allen Kontrasten. (Das kann man nachmachen mit der sogenannten Lochkamera). Da mußten dann schnell viel mehr und kleinere Zellen her, die diese Information ans Gehirn sendeten und das Gehirn begann, sich mit den Vorteilen des echten Abbilds vertraut zu machen. Das war die Geburt des heutigen visuellen Sinnes. Doch das Unglaubliche geht weiter.

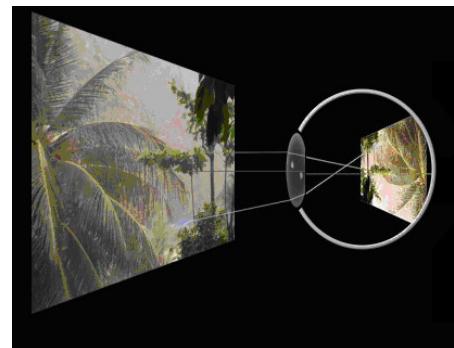
Ein großer Nachteil des kleinen Lochs war, daß ein Sandkorn, einmal hineingeraten, nicht wieder herauskam und den Sehsinn immer mehr verdirb. Aber die Evolution ist trickreich: Ein Stückchen Haut, erst milchig, dann klar und durchsichtig, löste das Problem.

Es gab noch ein Problem: Scharf war das Bild nur, wenn es von einem Objekt mit einem bestimmten Abstand vom "Auge" stammte. Dieser Abstand wird – wie wir aus der geometrischen Optik wissen, allein vom inneren Abstand des "Lochs" von den Rezeptorzellen bestimmt. Er heißt Brennweite. Wenn die klare Abdeckung zufällig aber über eine unterschiedliche Dicke verfügte, veränderte sich die Brennweite.

Die klare Haut wurde zur Linse. Und vieles wurde nach und nach dazu entwickelt: Eine Irisblende gegen Helligkeitsschwankungen, eine Verformungsmöglichkeit der Linsenoberfläche, um die verschiedensten Abstände scharf abzubilden. Und die Verfeinerung der Rezeptoren eben insbesondere zur Unterscheidung der Wellenlängen, der Farben.

Es sollte noch erwähnt werden, daß die Evolution durchaus auch andere Wege gehen kann und es auch anders getan hat. Das Facettenauge der Insekten hat vielleicht keine so feine Auflösung, ist aber auch keine schlechte Lösung. Da ist sozusagen der Sensor gleich ganz vorne angebracht und benötigt keine Linse.

Aber es bleibt dabei. So unglaublich das Auge auch ist, es sendet "nur" elektrische Signale ans Gehirn. Die wirkliche



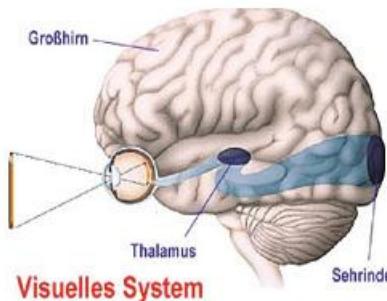
Verarbeitung muß erst dort geschehen. Daß das Bild auf den Rezeptoren (der sogenannten Netzhaut) verkehrt herum ankommt stört das Gehirn bei der Verarbeitung überhaupt nicht. Wir "sehen" natürlich das richtige Bild.

Erwähnen sollten wir noch zwei Eigenschaften der Rezeptorenbereiche. Ein kleiner Bereich im Zentrum ist mit einer hohen Rezeptorendichte ausgestattet. Hier ist auch der "Nachleuchteffekt" sehr hoch. Das ermöglicht eine scharfe Abbildung des Gegenstands und eine relative Unempfindlichkeit gegen Änderungen (ohne dieses Nachleuchten könnten wir keine Filme sehen, sondern würden statt einer kontinuierlichen Bewegung nur einzelne Bilder erkennen). In den Außenbereichen ist das Bild recht unscharf und das Nachleuchten sehr gering. Hier wird tatsächlich eine Änderung des Gegenstands viel präziser bemerkt. Sie können das übrigens ganz leicht selbst testen. Sehen Sie sich z.B. eine Leuchtstofflampe genau an. Sie werden ein gleichmäßiges Licht sehen. Aus dem Augenwinkel betrachtet, erkennen Sie aber sofort die Helligkeitsschwankungen, die durch den mit 50 Hertz (Schwingungen pro Sekunde) wechselnden Strom erzeugt werden.

Wenn Sie jetzt ein (großes) Bild ansehen und finden, daß die Abbildung überall sehr scharf ist, wissen Sie jetzt, daß das nur eine Leistung Ihres Gehirns ist. Die Abbildung auf der Netzhaut ist nur im kleinen Bereich scharf. Das scharfe Gesamtbild macht Ihr Gehirn, nachdem Sie das ganze Bild mit den Augen "abgescannt" haben. Und weil es annimmt, daß der Teil des Bildes, den Sie vorher als scharf erkannt haben, auch noch scharf bleibt, wenn Sie ihn nicht mehr fokussieren. Klingt ein wenig verschraubt, ist aber tatsächlich so.

Sehen ist also viel mehr als nur das optische Abbild der Umgebung. Sehen dient einem überlebenswichtigen Zweck. Und der heißt zum Beispiel: Nirgends anstoßen, nie herunterfallen, einen gefährlichen Gegner rechtzeitig erkennen oder etwas zum Essen zu finden. Und nur für diese Zwecke wertet unser Gehirn das Bild aus. Der visuelle Apparat ist nicht dazu da, die Wirklichkeit zu erkennen, sondern sich in ihr zurechtzufinden (stammt von Konrad Lorenz, dem Miterfinder der evolutionären Erkenntnistheorie). Insofern ist das Gesehene und die "wirkliche" Umgebung durchaus etwas Verschiedenes. Auch wenn wir uns das nicht vorstellen können. Wir kommen aber gleich noch auf diesen Aspekt mit eindrücklichen Beispielen.

Sehen ist mehr



Schon Kant hat erkannt (Verzeihung!), daß in unserer Vorstellung von der Welt einige Grundbedingungen angeboren sind (er nennt das die *a priori*, also von Anfang an bestehend). Das sind: Der dreidimensionale Raum, die Zeit und die Kausalität. Heute, spätestens seit Einstein, wissen wir, daß das zwar stimmt, aber daß diese *a priori* nur ein Teil der Wirklichkeit sind oder besser nur eine nützliche Vereinfachung. Darüber mehr an anderer Stelle.

Sehen und Raum

Im dreidimensionalen Raum bewegen wir uns und diese 3D – Vorstellung ist so erfolgreich und bewährt, daß man sie als real annehmen muß, zumindest als Teil der Wirklichkeit. Es gibt auch kein Beispiel für eine uns zugängliche andere Welt (auch nicht 2D!). Trotzdem existiert noch mehr als nur der uns bekannte 3D-Raum, das wissen wir mittlerweile aus der Astrophysik und der Quantenphysik. Im ganz Großen und ganz Kleinen stimmen also die *a priori* nicht, wenn man sie mit der Wirklichkeit gleich setzt. Als Hypothese (unbewiesene Annahme) für unser Leben sind sie aber hervorragend geeignet.

Nur eine kleine Seitenbemerkung: So richtig 3D ist unsere Welt gar nicht. Um Räume zu erkennen, benötigen wir Grenzflächen zwischen Objekten und die sind 2D. Ohne diese Abgrenzungen können wir den Raum gar nicht erkennen. Tauchen Sie in Gedanken in einem trüben Wasser. Sie haben keine Ahnung von Art und Größe des Raums, in dem Sie sich bewegen. Oben und unten erkennen Sie höchstens indirekt durch die Wirkung der Schwerkraft. Und ein räumliches Sehen würde Ihnen gar nichts nützen. Auch Ihre Hand im trüben Wasser sehen und fühlen Sie nur, weil sie eine Oberfläche, eine Grenzfläche besitzt.

Mit Grenzflächen ist das räumliche Sehen aber eine großartige Sache. Man kann plötzlich Entfernung einschätzen und voraussehen, wie man sich zu einem Ort bewegen sollte. Die Evolution hat das Problem mit dem Zweitauge hervorragend gelöst. Die Bilder sind nur um einen kleinen Winkel verschieden. Zusammen mit ein bißchen Hin- und Herbewegung reicht das aus, um zu erkennen, was nahe und was fern ist.

Das System ist aber noch viel raffinierter. Zusammen mit einem riesigen Wissen von Gegenständen und deren Größe wird das räumliche Sehen perfektioniert.

Aber auch fehleranfällig, wie wir gleich zeigen werden. Alles in allem: Wieder einmal eine unglaubliche Leistung unseres Gehirns, das sich den "optischen Sensor" Auge zunutze macht.

Abbildung oder Realität?

Das Sehen im obigen Sinn ist schon ziemlich perfekt, hat aber eine Reihe von Schwächen im Alltag. Und diese Schwächen hat das Gehirn nach und nach immer besser ausgeglichen. Wir wollen ein paar Beispiele dieser Fähigkeiten geben. Fähigkeiten, die uns völlig selbstverständlich erscheinen, die aber alles andere als trivial sind. Man nennt diese Fähigkeiten auch Konstanzphänomene. Weil Sie etwas vorgaukeln, was gar nicht so ist. Sie sind aber sehr, sehr wichtig, um das Leben einigermaßen einfach zu machen.

Die Orientierungskonstanz etwa lässt unser Gehirn nicht verzweifeln, wenn wir den Kopf zur Seite neigen. Keiner würde auf die Idee kommen, daß das Wasser ein derartiges Gefälle hat. Zusammen mit unserem Sinn für das Gleichgewicht und dem gelernten allgemeinen Weltwissen korrigiert unser Gehirn das sofort zu einem konstanten Bild der Umgebung. Das Bild auf der Netzhaut ist natürlich jeweils völlig anders.

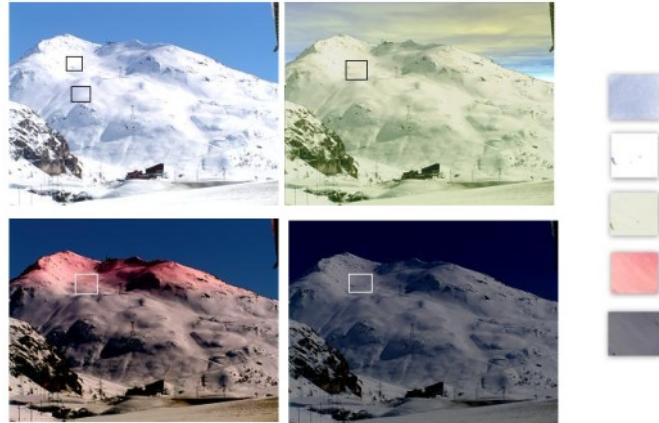


Ein weiteres Phänomen ist die Farbkonstanz. Befassen wir uns kurz mit der "Farbe" weiß. Jeder weiß, was weiß ist. Aber richtiges Weiß auf der Netzhaut kommt nicht so oft vor. Vordergründig würde man sagen, weiß ist, wenn alle Farben gleichmäßig im Licht enthalten sind und alle Wellenlängen von der Oberfläche reflektiert werden. Wird zum Beispiel vom Gegenstand alles Rot, Gelb, Blau und Lila geschluckt (absorbiert) und grün reflektiert, sieht er eben grün aus. Schwarz ist die Farbe, bei der alle Wellenlängen absorbiert werden.

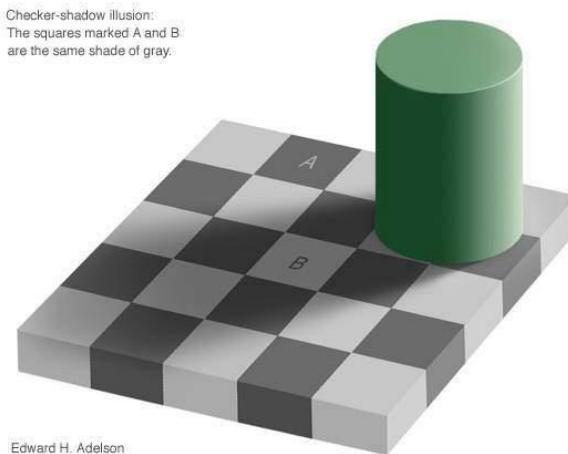
Ganz stimmt das mit dem Weiß nicht. Weiß ist nämlich einfach nichts anderes als der Wellenlängenmix der Sonne, wenn sie ungestört auf uns scheint. Das ist keineswegs eine gleichmäßige Intensität der einzelnen Farben, sondern ein spezifischer Wert unserer Sonne. Die Evolution hat unser Gehirn dazu gebracht, genau diesen Mix als neutrales Weiß zu definieren.

Aber unser Gehirn kann mehr. Das Licht der Sonne kommt nie gleichmäßig ungestört an. Am Abend etwa ist es röter, weil die kürzeren Wellen in der Luft gestreut werden und aufgrund des längeren

Wege durch die Atmosphäre nicht mehr ganz durchkommen (das ist übrigens der gleiche Grund, warum der Himmel blau aussieht). Bei Bewölkung sind die Farben diffus, weil Licht durch die Streuung an den Wassertropfchen in der Luft aus vielen Richtungen kommt (das ist der Grund, warum es dann keine Schatten gibt). Sehen Sie sich das Bild des Lagalp an, aufgenommen bei verschiedenen Lichtverhältnissen. Sie würden keinen Augenblick daran zweifeln, daß der Schnee weiß ist, obwohl er auf der Netzhaut so ankommt, wie auf den kleinen Rechtecken am rechten Bildrand.

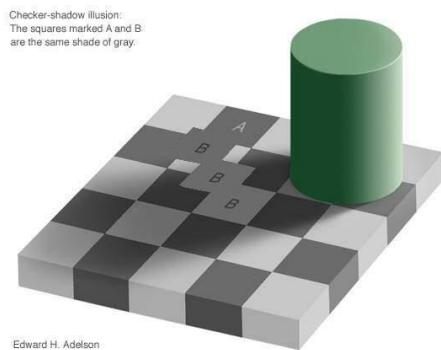


Es gibt da noch einen anderen Aspekt der Farbkonstanz, der sozusagen umgekehrt abläuft. Wir erkennen Farben auch im Zusammenhang mit dem Ortszusammenhang in dem sie stehen. Das beeindruckendste Beispiel ist die sogenannte Schachbrettillusion.



Sehen Sie sich dieses Bild genau an. Selbstverständlich sehen wir, daß bei B ein weißes Feld ist und bei A ein dunkelgraues. Klar, ist ja ein Schachbrett und der grüne Baustein wirft einen Schatten. Aber sehen Sie sich doch einmal das nächste Bild an. Tatsächlich und damit auch auf der Netzhaut sind die Flächen bei A und B vollkommen identisch gefärbt. Was kann das sein?

Nun, unser Gehirn weiß, was ein Schatten ist. Im Schatten wirkt alles dunkler. Um also die "richtige" Farbe zu erkennen, muß das Objekt im Schatten aufgehellt werden. Diesen Effekt können wir nicht steuern. Er spielt sich im unbewußten Bereich ab. Für diese Funktionen des Gehirns gibt es den Namen ratiomorph, das heißt: Etwas, was arbeitet wie der Verstand, aber nicht identisch ist mit dem bewußten Verstand. Die Forscher kommen immer mehr dahinter, daß das Ratiomorphe vielleicht viel mächtiger ist, als der bewußt gesteuerte Verstand.



Ganz interessant ist die Frage, was die richtige Einschätzung wäre. Objektiv gemessen, ist die Helligkeit bei A und B natürlich gleich. Andererseits würde in einem echten Raumkontext die ratiomorphe Lösung (A und B sind verschieden) völlig richtig sein. Entscheiden Sie selbst, wer Recht hat (die richtige Antwort ist: beide, es kommt auf die Frage an!)

Ein anderer, höchst interessanter "Irrtum" unseres Gehirns ist die bekannte und viel diskutierte Mondillusion.

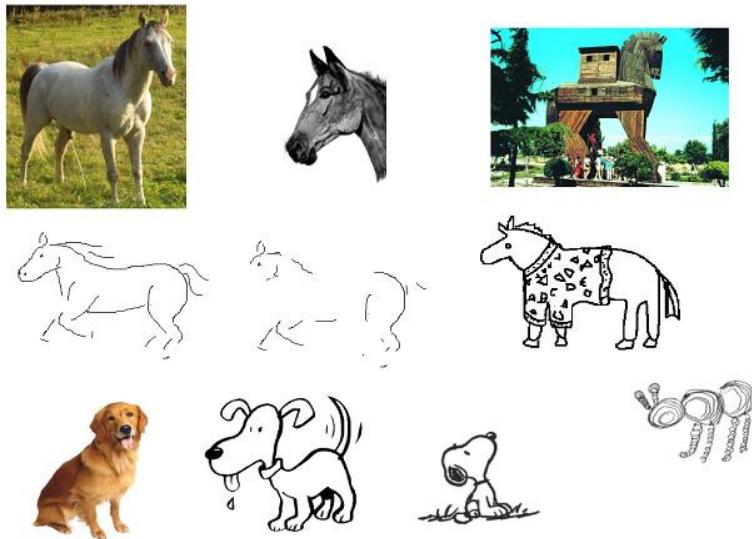


Riesengroß und romantisch erscheint am Abend der Vollmond am Horizont. Ist er dann einige Stunden später hoch am Himmel, hat er wieder eine normale Größe. Wir wissen natürlich, daß es derselbe Mond ist und daß er beim Aufgehen auch nicht näher ist. Es gibt eine Vielzahl von Erklärungen, aber nur eine ist richtig. Sie gefällt nicht allen, weil sie die Hoheit des bewußten Verstandes infrage stellt. Was sagt uns das Gehirn dazu, wieder einmal ohne daß wir es beeinflussen könnten? Nun, de facto ist die Erde eine Kugel und der sichtbare (blaue oder schwarze) Himmel wölbt sich de facto als kugelige Sphäre um die Erdkugel. Aber so sehen wir das nicht: Der Himmel ist oben, aber nicht so weit weg wie am Horizont, wo er auf die Erde trifft. Dieser Eindruck wird übrigens sehr stark, wenn am Himmel die typischen Schäfchenwolken sind. Dann ist er noch niedriger (wer in Schleswig-Holstein lebt, kennt das ganz genau). Er ist also schon gewölbt, aber eher wie eine stark abgeplattete Kugel. Wenn also der Mond am Horizont aufgeht, ist er auch da, wo der Horizont ist und damit viel weiter entfernt als oben in der Mitte des Himmels. Wer aber so weit entfernt ist, muß ziemlich groß sein. Daß es sich um eine tatsächliche Illusion handelt, wird enttäuschend klar, wenn man von dem wunderschönen Riesenmond ein Foto macht, um es stolz daheim zu zeigen. Auf dem Foto ist er leider völlig "normal". Sie können das übrigens auch sofort sehen, wenn Sie den Riesenmond durch ein Loch betrachten (z.B. durch die gekrümmten Finger). Seiner Umgebung beraubt, schrumpft er schlagartig auf normale Größe. Das Bild oben ist also damit im linken Teil als Montage entlarvt.

Um es vorweg zu nehmen: Wir wissen heute nicht im Entferntesten, wie das Gehirn Bilder speichert. Im Gegensatz zum Computer, wo ein Bild ganz präzise auf einen physikalischen Speicherbereich lokalisiert werden kann, gibt es so einen Platz im Gehirn ganz offensichtlich nicht. Das Gehirn macht das völlig anders. Herauszufinden, wie es wirklich geschieht, ist Aufgabe der Forschung und die kommt hierbei nicht richtig voran. Ein wesentlicher Aspekt ist wohl die Filterung von Bildinformationen, bevor das Bild "gespeichert" wird. Das Netzhautbild wird abgesucht nach bekannten Informationen durch Vergleich mit bisher Gesehenem und vor allem durch Vergleich mit gelernten Begriffen, die aus der Abstraktion entstanden sind. Dies ist der Mechanismus, der uns lehrt, was ein Baum oder ein Auto ist, ohne daß wir eine präzise Definition davon haben. Versuchen Sie doch einmal eindeutig zu beschreiben, was ein Baum ist. Es wird Ihnen grob gelingen (Wurzeln, Stamm, Äste, Blätter), aber nicht so, daß es in jedem Einzelfall zu einer eindeutigen Zuordnung kommt, der alle Menschen zustimmen würden.

Sehen und Gedächtnis

Für die Erkennung eines visuellen Objekts und dessen Zuordnung genügen oft schon wenige Merkmale, wie die folgenden Bilder zeigen:



Nur die äußerst rechte Kinderzeichnung hat zu wenige unterscheidende Merkmale, um eine Zuordnung leicht zu machen.

Daß sogar Hunde diese Fähigkeiten in den Grundzügen schon haben, hat einer meiner Dackel eindrucksvoll gezeigt (er hat im Gegensatz zu seinem Bruder immer gern ferngesehen und war schon als Welpe von "Ein Hund namens Beethoven" nachhaltig begeistert). Das wirklich Erstaunliche war, daß er nach einiger Zeit auch auf Zeichentrickfilmhunde, wie Snoopy, genauso durch Wedeln und Bellen reagiert hat, während ihn Zeichentrickmenschen oder –pferde völlig kalt gelassen haben.

Alle diese Betrachtungen führen uns nicht weiter bei der Frage, wie das Gehirn Bilder speichert. Aber sie zeigen uns, daß zwischen Realität und "Weltbild" im Gehirn doch mehr Unterschied ist, als wir uns vorstellen können. Dessen sollten wir uns bewußt sein, wenn wir vorschnell etwas für wahr halten.

Erzählen wir noch kurz, wie der Computer mit den Bildern umgeht. Das ist deswegen interessant, weil unsere technischen Lösungen alle ihren Ursprung in den biologischen Lösungen haben, aber dann – aufgrund der technologischen Gegebenheiten – etwas anders ausfallen. Mal besser, mal schlechter.

Wie der Computer Bilder macht

De Computer kann nur 0 und 1. Wie kommt es, daß wir dennoch so schöne Bilder auf dem Bildschirm sehen oder ausdrucken können?

Die digitale Kamera macht erst einmal Bilder so, wie es das Auge auch macht. Nur fällt das verkehrte Bild nicht auf eine biologische Netzhaut, sondern auf eine Schicht, die aus Millionen einzelner Elemente besteht, die lichtempfindlich ist und durch Filter die Intensität von drei Farben empfängt: Rot, Grün und Blau. (Es gibt auch noch andere Schemata, im Prinzip funktionieren aber alle gleich). Wenn bei Ihrer Kamera steht, sie habe 12 Mio Pixel Auflösung, so ist das genau diese Größe.

Der Intensitätswert wird als digitale Zahl zwischen 0 und 255 gespeichert. Wenn sie sich fragen, warum gerade 255, hier die Antwort: Erstens: die Zahl reicht völlig aus. Zweitens: Das Zahlensystem des Computers kennt ja nur die Ziffern 0 und 1. Wir haben mehr: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 und nehmen dann den von den Arabern erfundenen Trick mit der Null und den Stellen zuhilfe, um weiter zu zählen: 10 11 12 13 20 21100 und so fort. Mit nur zwei Ziffern geht das genauso:

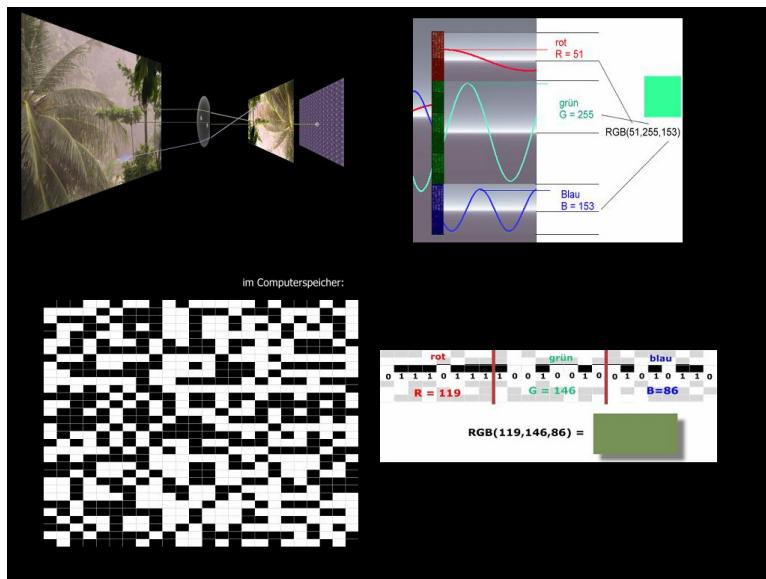
$$0 = 0, 1 = 1, 2 = 10, 3 = 11, 4 = 100, 5 = 101, 6 = 110, 7 = 111, 8 = 1000.$$

Die Stellenschritte, umgesetzt in unsere Zehnerwelt sind dann:

$$10 = 2, 100 = 4, 1.000 = 8, 10.000 = 16, 100.000 = 32, 1.000.000 = 64, 10.000.000 = 128 \text{ und}$$

$100.000.000 = 256$ bzw. $11.111.111 = 255$. Diese 8 Stellen nennt man in der Computerarchitektur 1 Byte, eine einzelne Ziffer (0 oder 1) ein Bit (= binary digit, binäre Ziffer).

Man benötigt also lediglich 3×8 Bit oder 3 Bytes jeweils für Rot, Grün und Blau um alle Farben darzustellen.

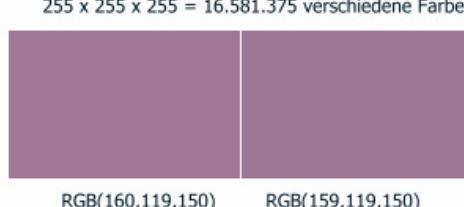


Hier ein paar typische Farben in der RGB-Welt. Das unterste Doppelbild zeigt, daß die Unterscheidbarkeit mehr als ausreichend ist, da man den Unterschied von 1 (beim Rotwert im Beispiel) in keinem Falle mehr erkennen kann.

R = Rot (red), G = Grün (green), B = Blau (blue)



$255 \times 255 \times 255 = 16.581.375$ verschiedene Farben



Ein so gespeichertes Bild kommt zurück auf den Bildschirm (gilt auch für den Drucker), indem wieder die Werte für Rot, Grün und Blau mit Ihrer Intensität ausgegeben werden. Wenn Sie den Bildschirm mit einer starken Lupe betrachten, können Sie das auch direkt sehen.



Das Bild, das der Computer an einer genau definierten Stelle speichert (z.B. entsprechen 3 Millionen Pixel 3 Millionen RGB-Werten, also 3×3 Millionen Bytes) ist aber das unverarbeitete Netzhautbild. Um darin irgendetwas zu "erkennen", wie Gegenstände oder Gesichter, bedarf es hoch komplizierter Softwareprogramme, die viele Tausende von Stunden Entwicklung kosten. Deren Leistung ist im Vergleich zu unserem Gehirn geradezu lächerlich – irgendwie ganz beruhigend.

Wir haben es schon kurz erwähnt, die künstliche Einteilung der sichtbaren elektromagnetischen Wellen in Farben ist ein großer Überlebensvorteil. Unser Gehirn hat aber noch etwas entwickelt, was uns nicht unmittelbar im evolutionären Licht verständlich ist: Den Sinn für Schönheit und generell für die bildende Kunst. Wahrscheinlich gibt es eine einleuchtende Erklärung für die Überlebens-Nützlichkeit dieser Entwicklung, mir fällt spontan keine ein.

**Was uns
Farben
noch
bedeuten**

Als schön empfinden wir etwas, was sich im natürlichen Gleichgewicht befindet. Diese Definition finden wir ganz gut, ohne allerdings zu wissen, ob sie ausreicht. Fest steht, daß wir ein natürliches System im ökologischen Gleichgewicht als schön empfinden.

Über die Wirkung von Farben haben sich viele Künstler Gedanken gemacht, allen voran Wassily Kandinsky oder Josef Albers oder Sergej Poliakoff. Ein paar Beispiele:



Kandinsky



Josef Albers



Sergej Poliakoff

All diesen Bildern ist gemeinsam, daß es nicht oder nur wenig auf die Form ankommt, sondern auf die psychologische Wirkung von Farben.

Es gibt dazu viele Theorien, aber letztlich muß jeder selbst fühlen, wie auf ihn die Farben wirken. Eine Wirkung auf das Innenleben oder die Seele ist aber sicher. Wir können uns dem nicht entziehen. Ein Beispiel sei im Folgenden gezeigt, das aussagen soll, welche Farben auf welchen Aspekt unseres Innenlebens wirken. Ob das generell so stimmt, möchte ich allerdings bezweifeln.

	meditativ, stärkt Gehirnaktivität
	beruhigend, entspannend, Stressabbau
	Harmonie, Ruhe, Ausgeglichenheit
	Heiterkeit, verbessert Konzentration
	Geborgenheit, Gemütlichkeit, Wärme
	Energie, Mut, Durchhaltevermögen

Zum Abschluß noch ein bemerkenswertes Beispiel für eine Sinnestäuschung von Prof. Akiyoshi Kitaoka, der sich intensiv mit der Verarbeitung von Bildern im Gehirn befasst hat. Lassen Sie es auf sich wirken. (Sollten Sie das am Bildschirm ansehen, dann seien Sie versichert: Es ist keine Computeranimation. Das machen Sie schon selbst).

Zum Abschluß noch ein sehr beeindruckendes Beispiel von Prof. Akiyuki Kitaoka, der unglaubliche Effekte mit seinen Zeichnungen zaubert und einen tiefen Einblick in unser ratiomorphes Denken erlaubt.

