Visuelle Wahrnehmung wahrgenommen

Abschiedssymposium für Michael Bach in Freiburg – Teil 1

Vergleicht man die Augenheilkunde mit einem Konzertsaal, dann ist der Augenarzt (hier sind die Augenärztinnen inbegriffen) der Frontmann. Im Kontakt mit den Patienten ist er der Solist – selbst wenn er in einer Gemeinschaftspraxis tätig ist. Doch wie der Solist im Konzertsaal ist auch der Augenarzt auf sein „Back-Office" angewiesen. Wenn's dort nicht läuft, steht er schnell – im wahren wie im übertragenen Sinn – im Dunkeln. Zum Back-Office gehören freilich nicht nur Orthoptistinnen, Medizinische Fachangestellte und Sekretärinnen, sondern eine Vielzahl weiterer Unterstützer außerhalb der eigenen Praxis oder Klinik. Denn Augenheilkunde spielt sich nicht nur an der Spaltlampe oder am Operationstisch ab, Augenheilkunde ist auch nicht nur ein Tätigkeitsfeld der Augenärzte – mit der Augenheilkunde im weitesten Sinne beschäftigt sich vielmehr ein große Zahl weiterer Berufsgruppen wie z. B. Pharmakologen, Pharmazeuten, Chemiker, Biologen, Psychologen und Physiker. Physiker wie Prof. Dr. rer. nat. Michael Bach, der drei Jahrzehnte die Sektion „Funktionelle Sehforschung / Elektrophysiologie" an der Universitätsaugenklinik Freiburg im Breisgau leitete und sich Mitte September 2015 mit dem Symposium „Vom Licht zur Wahrnehmung" in den „Ruhestand" verabschiedete. Michael Bach hat in Freiburg nicht nur mitgeholfen, bei Tausenden von Patienten in kniffligen Fällen die richtige Diagnose zu finden – seine Beschäftigung mit allen Aspekten des Sehens führte auch dazu, dass er über 250 Arbeiten in hochrangigen Zeitschriften veröffentliche. Zudem entwickelte er den Computer-Sehtest „FrACT" (michaelbach.de/fract.html) sowie eine Internet-Sammlung mit 120 interaktiven Demonstrationen von Sehphänomenen und optischen Täuschungen (michaelbach.de/ot/), die ein üppiges „Klickkonto" aufweist.

Foto: Andreas Jedynak

Strahlender Abschied: Prof. Dr. rer. nat. Michael Bach, der drei Jahrzehnte die Sektion „Funktionelle Sehforschung / Elektrophysiologie" an der Universitätsaugenklinik Freiburg im Breisgau leitete, beim Symposium „Vom Licht zur Wahrnehmung"

Zu seinem Abschiedssymposium hatte M. Bach eine Reihe von Konwissenschaftlern und Weggefährten eingeladen – zwei Augenärzte waren auch dabei... Sie alle haben aus ihren Vorträgen den aus ihrer Sicht interessantesten Aspekt herausgegriffen – oder ein Fazit gezogen und dies für die ZPA-Leser niedergeschrieben. *Reinhard Kaden*

Biologische Bewegung – oder: Was läuft denn da?

von Michael Bach, Freiburg

Das Sehsystem des Menschen kann aus eingeschränkter Information eine reiche innere Welt rekonstruieren. Ein Beispiel für die erfolgreiche Konstruktion auf der Basis geringer Information ist Johanssons „Biologische Bewegung" [2]. Dabei werden Bewegungen von Lebewesen durch stark reduzierte Figuren – z. B. durch wenige Punkte – repräsentiert. Die Punkte in Abbildung 1 fügen sich beim Betrachten nicht unbedingt zu einer klaren Gestalt. Sobald sie sich aber in den richtigen Bahnen bewegen, springt geradezu ins Auge, dass da ein Mensch läuft, wie man on-line sehen kann: <http://michaelbach.de/ot/mot-biomot/>. Johanssons Entdeckung löste viele Studien aus. So wurden z. B. kontinuierliche Zwischengrößen von „Superfrau" über neutral zu „Supermann", wie man hier http://michaelbach.de/ot/mot-walkers/ ausprobieren kann. Uns interessierte nun, ab welchem Alter Kinder diese Filme dem charakteristischen Gang von Frauen oder

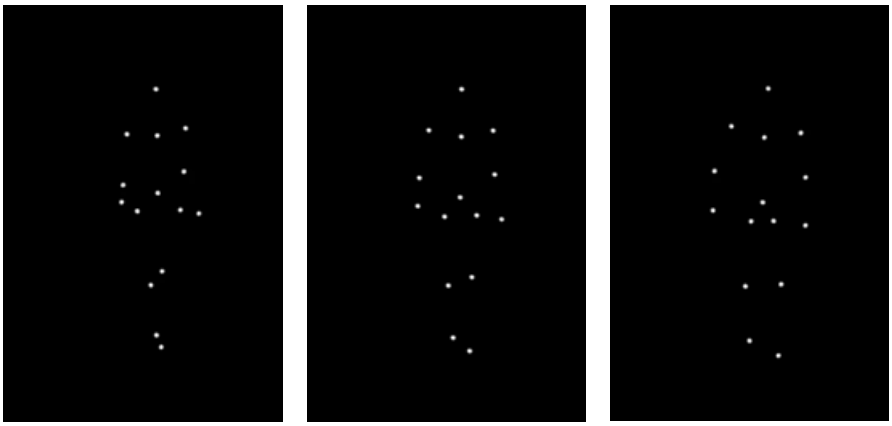


Abbildung 1: Lichtpunktbilder von Menschen. Markante Körperstellen (Kopf, Gelenke etc.) wurden mit Lichtern markiert, auf dunklem Hintergrund sind nur die Markierungen erkennbar. Als statisches Bild kaum erkennbar, springt als Film ein laufender Mensch ins Aug (links weiblich, Mitte neutral, rechts männlich). <http://michaelbach.de/ot/mot-walkers/>.

Männern zuordnen können. Bei Untersuchungen von 82 Kindergartenkindern (38 Mädchen, 44 Jungen) im Alter von 3–7 Jahren gaben alle bis auf eines bei Präsentation eines neutralen Biological-motion-Läufers an, dass da ein Mensch laufe [1]. Ab 4 Jahren beurteilten alle Kinder korrekt die Laufrichtung rechts-links. Die Frage, ob da ein Mann oder eine Frau laufe, beantworteten die Kinder erst ab 6 Jahren überzufällig korrekt.

1. *Bach M, Frommherz V, Lagrèze W, Troje N (2015)* Biological motion: At what age do we recognize boys and girls? J Vis 15:492. doi: 10.1167/15.12.492
2. *Johansson G (1973)* Visual perception of biological motion and a model for its analysis. Perception & Psychophysics 14: 201–211. doi: 10.3758/BF03212378

Funktionelle Kernspintomographie: Okulomotorisches Training nutzt bei Zentralskotom durch AMD

von Mark W. Greenlee, Regensburg

Um die Wirkung eines okulomotorischen Trainings bei Patienten mit altersbedingter Makuladegeneration (AMD) und absoluten Zentralskotomata beidseits festzustellen, wurden die Antworten bei funktioneller Kernspintomographie (fMRT) im visuellen Kortex untersucht [1]. Die Patienten (n=9) absolvierten ein okulomotorisches Training von 6 Monaten Dauer, bei dem die optimale Form der exzentrischen Fixation erprobt wurde, sowie ein Sham-Training (auditives Gedächtnistraining) von weiteren 6 Monaten Dauer in einem Cross-Over-Design. Während des okulomotorischen Trainings nahmen die Patienten an 3 fMRT-Untersuchungen teil, um trainingsspezifische Veränderungen in der Antwortbereitschaft des visuellen Kortex zu bestimmen. Das Sham-Training wurde von 2 weiteren fMRT-Scans begleitet. So entstanden insgesamt 5 fMRT-Messungen im Abstand von jeweils 3 Monaten. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die AMD-Patienten vom okulomotorischen Training profitierten: Signifikante Verbesserungen zeigten sich bei der exzentrischen Fixationsstabilität, beim Nahvisus sowie bei der Lesegeschwindigkeit. Es gab eine signifikante positive Korrelation zwischen der trainingsinduzierten Veränderung in der Hirnaktivierung und der Veränderung in der Fixationsstabilität in retinotopen visuellen Kortexarealen V1, V2 und V3.

1. *Rosengarth K, Keck I, Brandl-Rühle S, Frolo J, Hufendiek K, Greenlee MW, Plank T (2013)* Functional and structural brain modifications induced by oculomotor training in patients with age-related macular degeneration. Front Psychol 4: 1–21; doi: 10.3389/fpsyg.2013.00428

Objektive Sehschärfeschätzung: VEP macht‘s möglich

von Sven P. Heinrich, Freiburg

Erscheint die „subjektive“ gewöhnliche Visusprüfung nicht verlässlich, etwa wegen mangelnder Mitarbeit des Patienten, kann diese durch eine „objektive“ Visusschätzung ergänzt werden. Meist werden dabei unterschiedlich feine Sehreize gezeigt, und ein physiologischer Parameter wird gemessen. Wir setzen hierfür oft das visuell evozierte Potential (VEP) ein. Verschwindet bei zunehmender Feinheit der Reize die VEP-Antwort, so ist die Auflösungsgrenze überschritten, welche in ein Visusäquivalent umgerechnet werden kann. Andere physiologische Parameter, die sich in Abhängigkeit von der Auflösbarkeit eines Reizes verändern, kommen ebenfalls infrage, die meisten jedoch bislang nur experimentell. So können z. B. das Muster-Elektroretinogramm, kognitive ereigniskorrelierte Potentiale im EEG, funktionelle Magnetresonanztomographie, Hautwiderstand, die Pupillengröße oder verschiedene Arten von Augenbewegungen gemessen werden. Jedes Verfahren hat seine spezifischen Vor- und Nachteile, die bei Auswahl und Ergebnis-Interpretation bedacht werden müssen.

Kann man Zufall sehen?

von Peter Brugger, Zürich

Um es gleich vorwegzunehmen: Nein! „Zufall“ bezeichnet die Abwesenheit jeglicher Ordnung und kann damit nicht direkt wahrgenommen werden. Er muss erschlossen werden aus dem Fehlen von Mustern. Wir sind aber geneigt, auch in Zufallsmustern Bedeutung zu sehen. Ein Blick auf die Menschheitsentwicklung zeigt, warum dem so ist: In der Savanne überleben konnte nur, wer den Säbelzahntiger trotz seiner Streifentarnung hinter den Gräsern entdeckt hatte. Wer bloßen Zufall wähnte, wurde gefressen und konnte seine Gene nicht weitergeben. Der umgekehrte Fehler – im zufälligen Wiegen des Savannengrases einen Tiger zu sehen – wurde von der Evolution weniger hart bestraft: Stetes Wegrennen vor Tigern, die gar nicht vorhanden sind, mag auf die Dauer ermüden, hält aber fit für den Notfall. In unserer modernen Zeit gilt Ähnliches. Ständiges Deuten von zufällig miteinander Verbundenem führt vielleicht zu Verirrungen wie der Astrologie oder zum Glauben an außersinnliche Wahrnehmung (Abbildung 2), lässt uns aber auch neue Gesetzmäßigkeiten entdecken, welche die Forschung weiterbringen. Das Sehen von Bedeutung, wo andere bloß Zufall vermuten, nimmt immer auch das Risiko in Kauf, vielleicht einmal zu viel zu sehen.

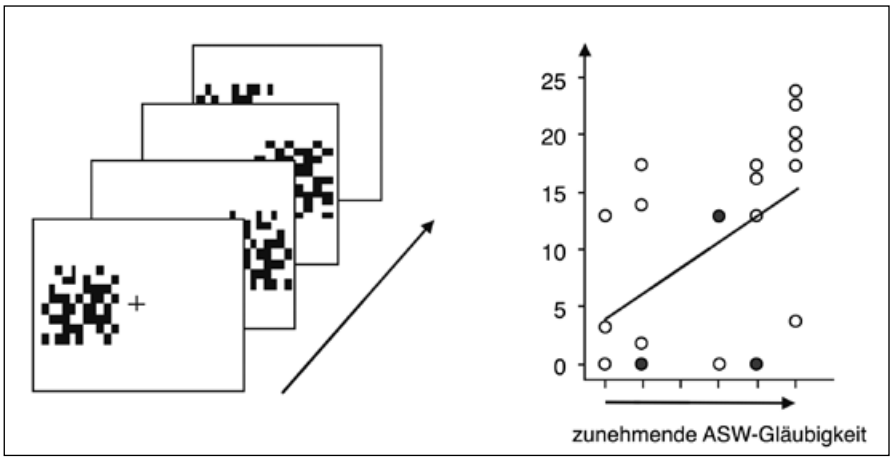


Abbildung 2: Links: 22 Probanden wurden für wenige Hundertstelsekunden Zufallsmuster gezeigt, entweder links oder rechts eines zentralen Fixationspunktes. Sie sollten einen Knopf drücken, wann immer sie eine bedeutungsvolle Information wahrzunehmen glaubten (total 40 Stimulationen). Rechts: Die Anzahl vermeintlich bedeutsamer Muster nahm mit zunehmendem Glauben an außersinnliche Wahrnehmung (ASW; Telepathie, Hellsehen und Präkognition) zu: Die vermeintliche Bedeutsamkeit von Alltagskoinzidenzen geht offenbar mit einer erhöhten Bereitschaft einher, auch visuellen Zufallsmustern einen Sinn abzugewinnen.

Nach *Brugger P, et al. (1993)* „Meaningful“ patterns in visual noise: effects of lateral stimulation and the obeserver's belief in ESP. Psychopathol 26: 261-165. Aus Brugger P (2007) Das gläubige Gehirn. Der Glaube an das Außersinnlich aus neuropsychologischer Sicht. In: Von Sinnen. Traum und Trance, Rausch und Rage aus Sicht der Hirnforschung (Hrsg: Matthiesen St, Rosenzweig R) S. 113-133. Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Mentis Verlages, Münster

Achiasmie und Albinismus: Sehnerven auf Abwegen

von Michael B. Hoffmann, Magdeburg

Der menschliche visuelle Kortex umfasst über 20 Areale, die sich durch ihre funktionelle Spezialisierung bei der Verarbeitung des visuellen Eingangs unterscheiden. Diese Areale sind im allgemeinen retinotop organisiert, das heißt benachbarte Orte im Gesichtsfeld sind auch in den visuellen Arealen an benachbarten Orten repräsentiert. Mit auf funktioneller Kernspintomographie (fMRT) basierter retinotoper Kartierung können diese Areale nichtinvasiv beim Menschen dargestellt werden [1]. Auch bei Probanden mit angeborenen Veränderungen des Chiasma opticum, das heißt einer zu starken Sehnervenkreuzung bei Albinismus oder einer zu schwachen bei Achiasmie, also bei feh-

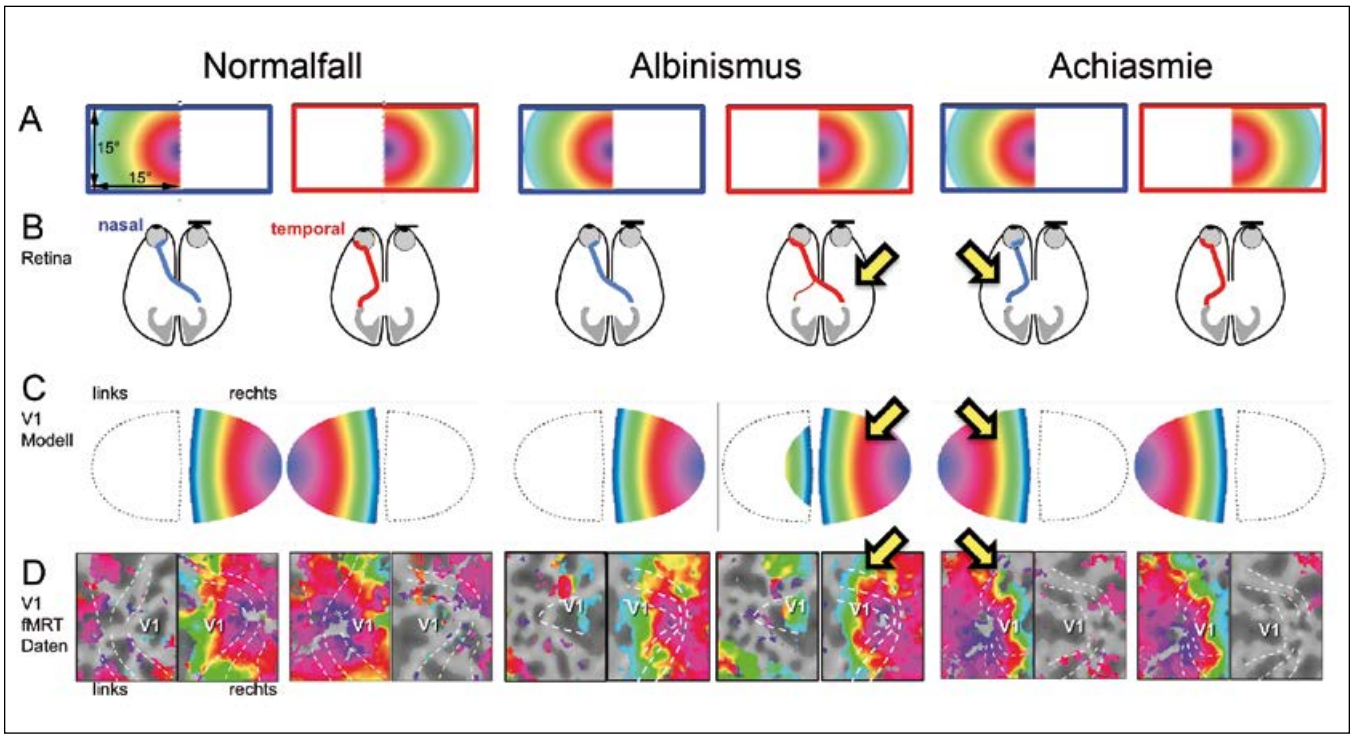


Abbildung 3: Vergleich der Exzentrizitätskarten für den Normalfall, Albinismus und Achiasmie. A: falschfarben-kodierte Darstellung der Exzentrizitäten im linken und rechten Gesichtsfeld. B: Schemata der Projektion von der Retina zum Corpus geniculatum laterale und dem primären visuellen Cortex für das linke Auge (das rechte Auge ist übersichtshalber ausgespart). Im Normalfall projiziert die nasale Netzhaut (blau) zur gegenüberliegenden Hemisphäre, während die temporale Netzhaut (rot) zur gleichseitigen Hemisphäre projiziert. Die Sehbahnabnormalitäten bei Albinismus und Achiasmie sind durch Pfeile hervorgehoben. Bei Albinismus projiziert ein Teil der temporalen Netzhaut zur gegenüberliegenden Hemisphäre und bei Achiasmie die nasale Netzhaut zur gleichseitigen Hemisphäre. Die Repräsentationen der Exzentriziäten im Gesichtsfeld auf dem primären visuellen Kortex sind in C im Modell und in D für die mit fMRT gemessenen Daten gezeigt. Im Normalfall dominieren die Exzentrizitätskarten kontralateral zum Reiz, bei Albinismus und Achiasmie dominieren sie aufgrund charakteristischer Sehbahnabnormalitäten kontralateral beziehungsweise ipsilateral zum gereizten linken Auge. So erhält der primäre visuelle Kortex bei Albinismus und Achiasmie zusätzlich zum normalen Eingang aus der gegenüberliegenden Gesichtsfeldhälfte einen abnormalen Eingang aus der gleichseitigen Gesichtsfeldhälfte (siehe Pfeile). Dabei sind sowohl der normale als auch der abnormale Eingang als geordnete Exzentrizitätskarten organisiert und zwar so, dass bei makroskopischer Betrachtung Gesichtsfeldorte, die spiegel-symmetrisch entlang des zentralen vertikalen Meridians im Gesichtsfeld liegen, kortikal aufeinander repräsentiert sind.

lender Sehnervenkreuzung, wurde mit dieser Methodik ein Netzwerk retinotop organisierter Areale nachgewiesen [2]. Allerdings liegt hier in den einzelnen Arealen zusätzlich zur retinotopen Karte der gegenüberliegenden Gesichtsfeldhälfte eine retinotope Karte der gleichseitigen Hälfte vor. Erstaunlicherweise sind bei den Betroffenen dennoch wesentliche Aspekte der Sehfunktion weitgehend erhalten. Dies wird auf lokale kleinformatige Veränderungen innerhalb der kortikalen Karten der Sehwelt zurückgeführt, die die großformatigen fehlerhaften Verbindungen kompensieren. Das menschliche Sehsystem kommt also durch lokale Plastizität innerhalb der Sehrinde mit abnormalem Eingang zurecht und kann sich so an angeborene Veränderungen anpassen.

1. *Hoffmann MB, Kaule F, Grzeschik R, Behrens-Baumann W, Wolynski B (2011)* Retinotope Kartierung des menschlichen visuellen Kortex mit funktioneller Magnetresonanztomographie - Grundlagen, aktuelle Entwicklungen & Perspektiven für die Ophthalmologie. Klin Monatsbl Augenheilkd 228: 613–620
2. *Hoffmann MB, Dumoulin SO (2015)* Congenital visual pathway abnormalities – a window onto cortical stability and plasticity. Trends Neurosci 38: 55–65

Die Wahrnehmung kippt, obwohl das gesehene Bild unverändert bleibt

Jürgen Kornmeier und Michael Bach, Freiburg

Betrachten wir den Necker-Würfel (Abbildung 4a), wechselt unsere Wahrnehmung spontan und unvermeidlich zwischen den beiden in Abbildung 7b dargestellten Interpretationen, obwohl der Würfel selbst unverändert bleibt.

Um zu verstehen, was dabei im Gehirn vor sich geht, präsentierten wir in Experiment 1 wiederholt den Necker-Würfel für 800 Millisekunden (ms) und nachfolgend einen leeren Bildschirm für 400 ms. Auf diese Weise erfolgen Wahrnehmungswechsel meist mit Reizbeginn, was die zeitliche Analyse der zu Grunde liegenden Prozesse erleichtert. Unsere Probanden verglichen aufeinander folgende Würfel und zeigten per Tastendruck Wahrnehmungswechsel an, während wir bei ihnen das EEG aufnahmen. Nach dem gleichen Prinzip präsentierten wir in Experiment 2 die beiden eindeutigen Würfel-Varianten (Abbildungen 4b) in zufälligem Wechsel.

Wird ein Wahrnehmungswechsel von außen ausgelöst (Experiment 2) finden wir ein spezifisches Muster von EEG-Signaturen. Ein sehr ähnliches Muster erscheint beim Wahrnehmungswechsel des Necker-Würfels (Experiment 1), allerdings mit einer zeitlichen Verzögerung von etwa 40 ms und einer zusätzlichen frühen Signatur über dem visuellen Kortex [1].

Unser Wahrnehmungssystem kann also visuelle Mehrdeutigkeit auf einer sehr frühen Verarbeitungsstufe (≈ 130 ms nach Reizbeginn) erkennen und schnell (innerhalb ≈ 40 ms) auflösen – vermutlich ein evolutionärer Vorteil in einer visuell komplexen und oft mehrdeutigen Welt.

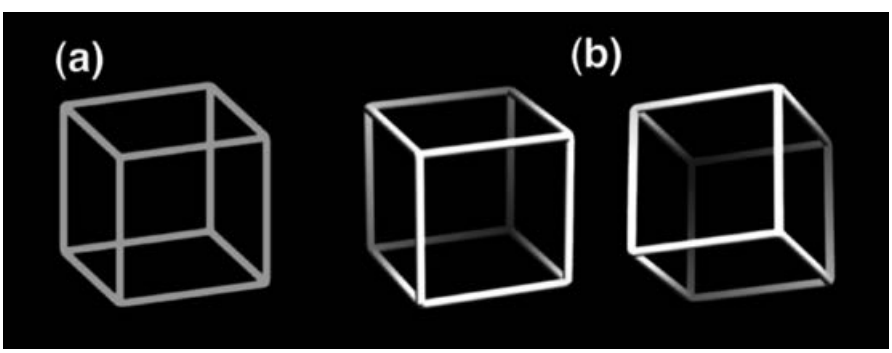


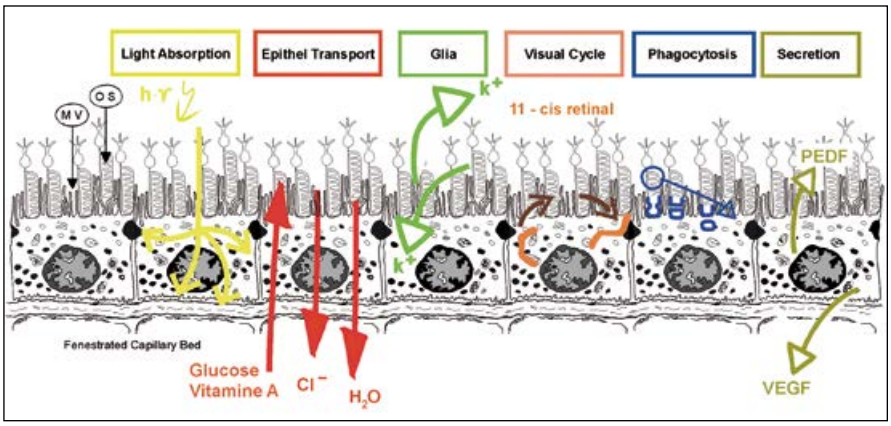
Abbildung 4: (a) Necker-Würfel [3]; (b) Eindeutige Würfelvarianten mit Zentralperspektive und Beleuchtungsmodell nach Kornmeier und Bach [2]

1. *Kornmeier J, Bach M (2012)* Ambiguous figures – what happens in the brain when perception changes but not the stimulus. Front Human Neurosci 6: 1–23
2. *Kornmeier J, Bach M (2004)* Early neural activity in Necker-cube reversal: Evidence for low-level processing of a gestalt phenomenon. Psychophysiol 41: 1–8
3. *Necker LA (1832)* Observations on some remarkable optical phaenomena seen in Switzerland; and on an optical phaenomenon which occurs on viewing a figure of a crystal or geometrical solid. Lond Edinb Philos Mag J Sci. 1: 329–337

Retinales Pigmentepithel: Sine-qua-non für die Photorezeptoren

von Olaf Strauß, Berlin

Das retinale Pigmentepithel (RPE) bildet mit den Photorezeptoren eine funktionelle Einheit. Schon die Evolution von Lichtsinnesorganen begann mit der Kombination von einer pigmentierten und einer Lichtsinneszelle. In dieser Interaktion mit den Photorezeptoren erfüllt das RPE homöostatische Funktionen, wie Versorgung der Photorezeptoren mit den Nährstoffen Glukose, Fettsäuren und Retinol. Ebenso eliminiert das RPE Wasser aus dem subretinalen Raum, die durch einen transepithelialen Cl^--Transport angetrieben wird. Neben den homöostatischen Funktionen ist das RPE an der Sehfunktion beteiligt. Der retinale Zyklus regeneriert das im Sehprozess anfallende all-trans Retinal zu 11-cis Retinal, die Konstanthaltung der subretinalen K^+-Konzentration erhält die Erregbarkeit der Photorezeptoren und die tägliche Phagozytose erhält die Struktur der Photorezeptoren. Kommt es zu durch Gendefekte oder erworbene Veränderungen zu RPE-Funktionsdefekte, geht die Wahrnehmung verloren.



Entnommen aus: Strauß O (2005) The retinal pigment epithelium in visual function. Physiol Rev 85: 845

Abbildung 5: Funktionen des RPE

Optisch einwandfreies intraokulares multifokales System: Noch nicht in Sicht

von Wolfgang Wesemann, Köln

Bei allen multifokalen Intraokularlinsen ist das scharfe Netzhautbild von einem unscharfen Lichtschein umgeben, der den Kontrast stark herabsetzt. Dies zeigt sich in einem Film, der mit einem künstlichen Auge und einer Fernsehkamera als Netzhaut aufgenommen worden war. Aus optischer Sicht haben diese Linsen die Bezeichnung „Premium-Linsen“ demnach nicht verdient. Auch bei den anderen Verfahren zur chirurgischen Beseitigung der Alterssichtigkeit (Monovision, akkommodierende IOL, Lens Refilling, Kamra Inlay und die noch in der Entwicklung befindlichen elektronischen Mikrosysteme zur Wiederherstellung der Akkommodationsfähigkeit) gibt es noch zahlreiche Probleme. Auf ein optisch einwandfreies intraokulares System, das so gut wie eine einfache Lesebrille ist, muss man deshalb noch einige Jahre warten.

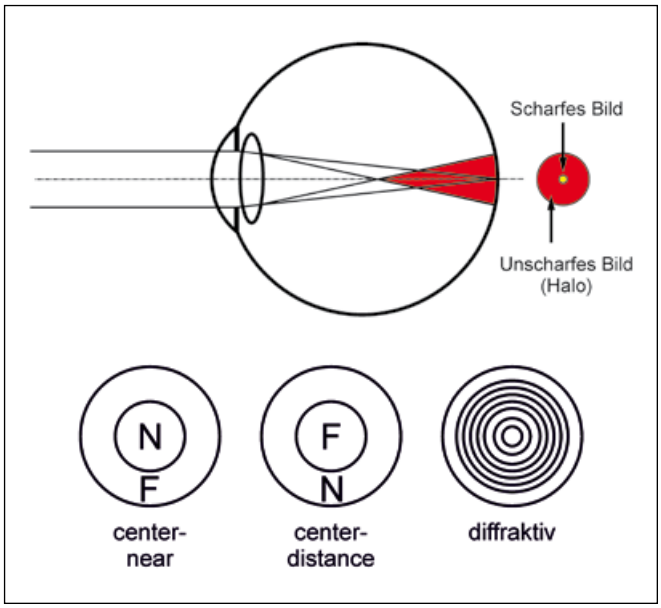


Abbildung 6: Bei multifokalen intraokularen Linsen ist ein scharfes Bild auf der Netzhaut stets von einem unerwünschten Halo umgeben, der die Bildqualität und den Kontrast beträchtlich herabsetzt.