



Mouches volantes - Glaskörpertrübung oder Nervensystem? Fliegende Mücken als wahrnehmbarer Aspekt des visuellen Nervensystems

Seit Jahrhunderten versuchen Gelehrte, eine Erklärung für die beweglichen Punkte und Fäden im Gesichtsfeld zu finden. Schon früh dachte man sich die Ursache im Auge und verstand das Phänomen als eine Störung oder Degeneration irgendwo zwischen Pupille und Netzhaut - heute gelten Mouches volantes als Trübung des Glaskörpers. Genaue Beobachtungen aber enthüllen geordnete Strukturen und lassen die Degenerationsthese fragwürdig erscheinen. Im Nervensystem des Sehens befinden sich ähnliche Strukturen - was zur Vermutung führt, dass die fliegenden Mücken dort ihren Ursprung haben. Eine „Ansicht“ in vier Teilen.

Teil 2: Mouches volantes als rezeptive Felder von Neuronen des visuellen Nervensystems

Zweifel an der heutigen medizinischen Deutung der Mouches volantes (**MV**) sowie eine Herangehensweise, die bewusst vom beobachtenden Subjekt ausgeht, geben anderen möglichen Erklärungen und Vorstellungen über MV Raum. Zum Beispiel jener Vorstellung, dass MV ein direkt wahrnehmbarer Aspekt des visuellen Nervensystems sind. Eine solche Behauptung kann genauso wenig direkt bewiesen werden, wie die mechanisch-augenheilkundliche Interpretation ([siehe Teil 1](#)). Aber auch hier gibt es Hinweise und Argumente, die sie zumindest plausibel erscheinen lassen.

Die sinnvolle Ordnung der Mouches volantes

Wie in Teil 1 festgestellt, wurden MV in der europäischen Medizingeschichte durchwegs als „Störung“ oder Degenerationserscheinung begriffen. Diese Interpretation scheint seine Ursache darin zu haben, dass keine Ordnung in den MV festgestellt werden konnte. Demnach entstehen MV dann, wenn ursprünglich gut funktionierende und strukturierte Bestandteile des Sehsystems sich plötzlich chaotisch entwickeln bzw. degenerieren. Im allgemeinen menschlichen Verständnis aber kann etwas, das jede Ordnung und Struktur vermissen lässt, kaum ein sinnvoller und bedeutsamer Teil eines Systems sein.

Aber trifft die Chaosthese auf die MV wirklich zu? Oder anders gefragt: Erscheint uns nicht nur das chaotisch, dessen Ordnung wir (noch) nicht durchschaut haben? Genaue subjektive Beobachtungen der MV enthüllen differenzierte strukturelle Elemente. Manche der MV mögen zunächst als Trübungen und diffuse Schlieren erscheinen, besonders jene, die sehr nahe, gross und unscharf sind. Wenn jedoch die Konzentration gelingt, werden MV schärfer und enthüllen klare Formen: Wie in Teil 1 beschrieben, handelt es sich um Kreise bzw. Kugeln, entweder vereinzelt, oder innerhalb einer länglichen Membran zu Fäden zusammengefasst; diese Kreise sind konzentrisch, haben also eine doppelte Membran, die sie zweiteilt: Mouches volantes zeichnen sich durch einen Kern und einen Umkreis aus. Genauere Beobachtungen enthüllen hier zwei gegensätzliche Arten von MV-Kugeln: Es gibt Kugeln, die einen transparenten Umkreis aufweisen und einen dunklen Kern, und solche, die ein dunkles Umfeld haben und einen hellen oder transparenten Kern.



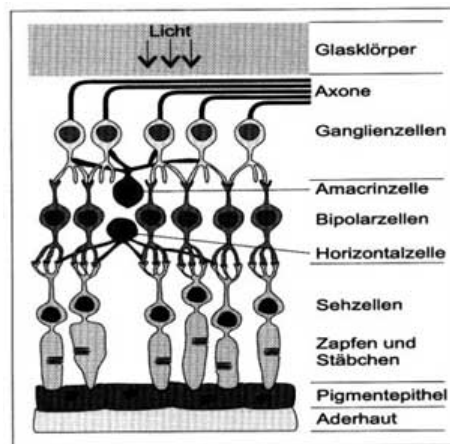
Die zwei gegensätzlichen Arten von MV-Kugeln. ([Quelle](#))

Gibt es im visuellen Nervensystem nun Entsprechungen dieser Eigenschaften der MV? Tatsächlich können wir in der Netzhaut und im Verarbeitungsprozess der neuronalen Signale in den Sehbahnen Strukturen finden, wie wir sie in den MV antreffen.

Charakteristiken des neuronalen visuellen Systems

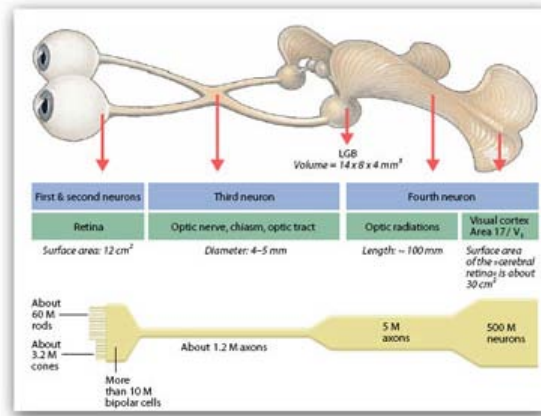
Beginnen wir mit der Netzhaut, diesem weniger als 0.5 mm dicken Häutchen an der hinteren Augenhaut. Embryogenetisch und funktionell gesehen ist die Netzhaut ein Teil des Gehirns. Hier werden die Lichtimpulse aufgenommen, verarbeitet und als elektrische Signale an die Sehzentren im Hirn weitergeleitet. Die Netzhaut besteht aus mehreren Schichten von Zellen; je nach Exaktheit der Beschreibung lassen sich bis zu 12 Schichten unterscheiden, meistens wird von 7-10 Schichten ausgegangen.

In diesen Schichten gibt es drei Arten von Zellen: Nervenzellen (Neuronen), Gliazellen (Stützgewebezellen) und Gefäßzellen. Gliazellen und Gefäßzellen sorgen für Stabilität, Blutzufuhr und für den Stoffwechselprozess in der Netzhaut. Interessanter für uns ist die Funktionsweise der Nervenzellen, von denen es verschiedene Arten gibt: Wenn Licht von Aussen in das Auge gelangt, dann durchquert es erst einmal sämtliche Schichten der Netzhaut. Ganz hinten bzw. aussen treffen die Photonen auf die erste Art von Neuronen, die Photorezeptoren. Es gibt zwei Arten von Photorezeptoren, die ca. 120 Mio. längeren Stäbchen, die rund 90% aller Photorezeptoren ausmachen und v.a. in der Nacht aktiv sind; und die ca. 6 Mio. zugespitzten kleineren Zapfen, die das Farbsehen ermöglichen. Die Lichtenergie aktiviert in diesen Zellen chemische Prozesse, die eine Änderung des elektrischen Potentials an den Membranen bewirkt. Dieses kann erhöht (Hyperpolarisation, erhöht das Ruhepotential) oder erniedrigt (Depolarisation, erhöht das Aktionspotential) werden. Diese Veränderung wird synaptisch weitergegeben und an den signal empfangenden, fein verästelten Fortsätzen (Dendriten) der zweiten Art von Nervenzellen registriert, den Bipolarzellen. Die meisten Bipolarzellen erhalten ihre Informationen von den Zapfen, nur ca. 20% erhält sie von den Stäbchen. Sie geben ihre Information an den dritten Neuronentyp weiter, die Ganglienzellen. Im Durchschnitt nimmt jede Ganglienzelle die Informationen von ca. 100 Stäbchen oder von 4-6 Zapfen entgegen. Photorezeptoren, Bipolar- und Ganglienzellen werden durch zwei weitere Neuronen miteinander verbunden, nämlich durch Amakrinzellen und Horizontalzellen, die für den lateralen (seitlichen) Informationsaustausch unter den Neuronen sorgen und auf diese Weise den Wahrnehmungsvorgang koordinieren, modulieren und integrieren.



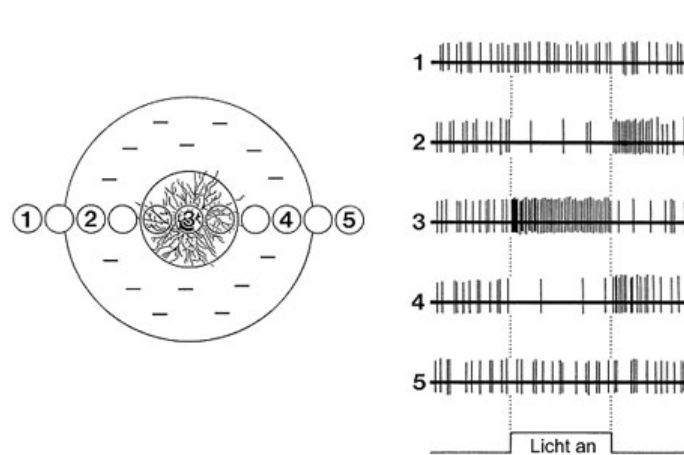
Die vereinfachte schematische Darstellung der Beziehung der verschiedenen Nervenzellen in den Netzhautschichten. *Quelle:* Wörterbuch Biologie, hg. v. Gertrud Scherf, München: Deutscher Taschenbuch Verlag 1997 [Elektronische Ausgabe: Digitale Bibliothek, Bd. 140, Berlin: Directmedia 2006]

Während Photorezeptoren und Bipolarzellen ein graduell abgestuftes Membranpotential entwickeln und weiterleiten, werden diese vielfältig verrechneten Signale in den Ganglienzellen summiert. Wenn sie eine bestimmte Schwelle der Intensität überschreiten, lösen sie nach dem „Alles-oder-nichts-Prinzip“ ein Aktionspotential aus; d.h. die Ganglienzellen feuern bei genügend „Zündstoff“ durch ihre weiterleitenden Fortsätze (Axone) durch den Sehnerv bis in den Äusseren Kniehöcker (Corpus geniculatum laterale) im Hirn. Im Kniehöcker werden die visuellen Inputs an die vierte Art von Neuronen, die verschiedenen kortikalen Nervenzellen, übertragen, die sich in den visuellen Zentren des Gehirns finden lassen. Die Informationen werden über Nervenfaserbündel v.a. an den primären visuellen Kortex (V1) gesendet, dann auch an andere visuelle Zentren (V2, V3, V4 und V5).



Schematische Darstellung der Sehbahn und ihren neuronalen Komponenten (LGB = lateral geniculate body = äusserer Kniehöcker). *Quelle:* Schiefer, Ulrich; Wilhelm, Helmut; Hart, William (Hg.): *Clinical Neuro-Ophthalmology. A Practical Guide*, Berlin/Heidelberg: Springer 2007, S. 19.

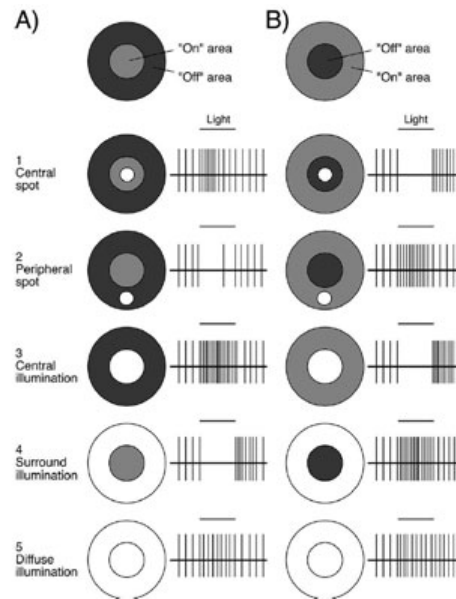
Für eine neurologische Interpretation der MV ist nun interessant zu wissen, dass jedes Neuron nach den Photorezeptoren ein so genanntes „rezeptives Feld“ hat. Damit ist ein definierter Bereich im Sehfeld gemeint, aus dem Nervenzellen Lichtsignale erhalten. Jedes Neuron antwortet also auf Stimuli, die von Stäbchen oder Zapfen stammen, die innerhalb dieses rezeptiven Feldes liegen. Das Besondere an diesen Feldern ist ihre Form und ihre antagonistisch-polare Organisation: Rezeptive Felder von Bipolar- und Ganglienzellen sind kreisrunde konzentrische Felder, die sich durch ein Zentrum und eine Umgebung auszeichnen. In Fachkreisen spricht man von einem „center-surround antagonistic receptive field“ (CSARF). Das Zentrum entspricht dabei ungefähr dem dendritischen Radius der Nervenzelle.



Dendritenbaum und konzentrisches rezeptives Feld einer ON-Zentrum-Ganglienzelle. Zu unterschiedlichen Zeitpunkten wurde mit kreisförmigen Lichtreizen an den Retinaorten (1-5) stimuliert und die Lichtantwort der Ganglienzelle mit einer Mikroelektrode gemessen. Die zu den jeweiligen Retinaorten (1-5) gehörenden Entladungsraten (1-5) wurden rechts aufgetragen. Der zeitliche Ablauf der Lichtreizung ist unten rechts gezeigt. Ein Lichtreiz an der Stelle 3 erhöht die Entladungsrate während des Einschaltens und verringert die Entladungsrate während des Ausschaltens. An den Stellen 2 und 4 wird die Entladungsrate während des Einschaltens verringert und während des Ausschaltens erhöht. Lichtreize an den Stellen 1 und 5 rufen keine meßbare Veränderung der Entladungsrate hervor. Das rezeptive Feld (großer Kreis) retinaler Ganglienzellen besteht aus einem erregendem Zentrum (kleiner Kreis) und einem hemmenden Umfeld (großer Kreis mit Minuszeichen gefüllt) auf. Lichtreize im Zentrum erhöhen die Entladungsrate, während Lichtreize im Umfeld die Entladungsrate verringern. *Quelle:* Flores-Herr, Nicolas: *Das hemmende Umfeld von Ganglienzellen in der Netzhaut des Auges* (Dissertation), 2001, auf: <http://deposit.ddb.de>.

Dabei gibt es zwei Arten von Neuronen, die sich funktional und auch morphologisch unterscheiden lassen: solche, die auf die Beleuchtung des Zentrums ihres rezeptiven Feldes reagieren (On-Zentrum) und solche, die auf die Beleuchtung ihres Umfeldes reagieren (On-Peripherie bzw. Off-Zentrum). Werden Photorezeptoren im Zentrum eines rezeptiven Feldes einer On-Zentrum-Bipolarzelle beleuchtet, lösen sie eine Erregung (Depolarisation) an der Zellmembran aus; die Zelle gibt diese Information an die entsprechende On-Ganglienzelle weiter, bei der sich wiederum die Entladungsrate (Aktionspotentiale pro Zeiteinheit) erhöht. Wird dagegen das Umfeld der On-Bipolarzelle beleuchtet, wird die Zelle gehemmt (Hyperpolarisation), d.h. die Entladungsrate verringert sich. In der Off-Zentrum-Bipolarzelle verhält es sich genau umgekehrt: Die Beleuchtung des Zentrums bewirkt eine Hyperpolarisation der Zellmembran und hemmt die Zelle, während sie durch die Beleuchtung des Umfelds depolarisiert, d.h. erregt wird; in der entsprechenden Ganglienzelle wird die Entladungsrate im ersten Fall verringert, im zweiten erhöht. Sowohl Bipolar- wie Ganglienzellen enthalten ihre Inputs nicht nur von den Photorezeptoren (vertikaler Weg), sondern auch lateral von Amakrin- und Horizontalzellen (horizontaler Weg). Diese vermitteln Signale im Umfeld eines rezeptiven Feldes, d.h. ausserhalb des dendritischen Baumes einer Nervenzelle, und bewirken auf diese Weise die jeweils gegenteilige Reaktion der Nervenzelle bei der peripheren Beleuchtung. Sie sind somit Bestandteil des Zentrum-

Umgebungs-Antagonismus. Diese Art der Signalverarbeitung, die einen klar definierten Bereich erregt, die umgebenden Zellen aber hemmt, trägt zur Kontrastierung unseres Sehens bei: Auf diese Weise wird scharfes Sehen und die klare Unterscheidung zwischen dunklen und hellen Feldern möglich.



Werden die Nervenzellen entsprechend beleuchtet, erhöht oder verringert sich die Frequenz der Aktionspotentiale (senkrechte Linien). *Quelle: Goebel, Rainer u. a.: Visual System, in: Paxinos, Geroge; Mai, Jürgen K.: The Human Nervous System (2. Aufl.), San Diego: Academic Press 2004, S. 1284.*

Was Ganglienzellen also an die kortikalen Sehzentren weiterleiten, sind nicht die Stimulationen einzelner Photorezeptoren, sondern die Codes von rezeptiven Feldern, die räumlich summierten Erregungs- und Hemmungsprozesse, die in diesen Feldern ausgelöst wurden.

Mouches volantes als sehbarer Ausdruck von rezeptiven Feldern

Es ist interessant, dass das antagonistische Zentrum-Umgebungs-Prinzip der neuronalen Verarbeitung von visuellen Wahrnehmungen von Ewald Hering (1834-1918) in seiner Theorie der Gegenfarben (Opponententheorie) vorausgesagt worden ist: Hering war durch die Wahrnehmung der komplementärfarbenen Nachbilder inspiriert, als er annahm, dass die Farben immer in gegensätzlichen Prozessen (rot-grün, gelb-blau und schwarz-weiss) verarbeitet werden – die Beobachtung eines entoptischen Phänomens führte also zu treffenden Vorstellungen über die Organisation der neurophysiologischen Basis des Sehens.

Mehr noch als die negativen Nachbilder enthüllen MV dieses antagonistische neurale Prinzip: Wie die rezeptiven Felder sind MV kreisrunde konzentrische „Felder“, die sich aus einem Zentrum und einer Umgebung zusammensetzen. Zentrum und Umgebung verhalten sich dabei gegensätzlich zueinander. Zudem gibt es auch bei den Mouches volantes zwei Arten von Kugeln bzw. Feldern (innen hell – aussen dunkel; innen dunkel – aussen hell). Im Folgenden soll ein Vorschlag gemacht werden, wie MV und rezeptive Felder genauer aufeinander bezogen werden könnten. Dabei darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass jeweils mehrere Varianten vorstellbar sind, und dass die hier präsentierte Variante insofern eine Momentaufnahme ist, als sowohl das ophthalmologische Wissen über rezeptive Felder, als auch das seherische Wissen über MV in Zukunft neue Erkenntnisse liefern können.

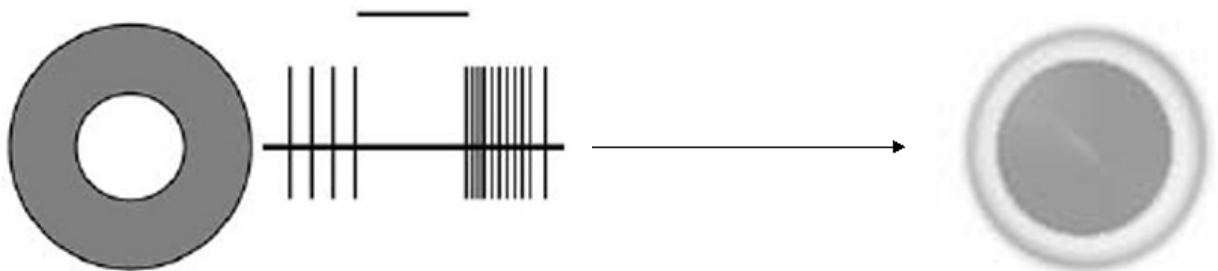
Zunächst ist die Frage zu stellen, welcher Typ von rezeptivem Feld welche MV-Art repräsentiert. Da sich die Zustände der MV verändern und somit auch ihr Aussehen (siehe Teil 1), kann diese Frage nur für jeweils einen spezifischen Zustand beantwortet werden. Ich betrachte hier noch ausschliesslich den entspannten Zustand, d.h. den Anfangszustand der MV beim Sehen. Mein Vorschlag ist folgender: Eine On-Zentrum-Zelle, die nicht feuert (volle Beleuchtung der Peripherie des rezeptiven Feldes), entspricht einer entspannten MV-Kugel mit dunklem Umfeld und transparentem Kern. Denn die Hemmung der Zelle kommt über das Umfeld zustande, welches in der entsprechenden MV-Kugel visuell als dunkles Umfeld wahrgenommen wird.





Das hemmende Umfeld der On-Zentrum-Nervenzelle wird visuell als dunkles MV-Umfeld übersetzt.

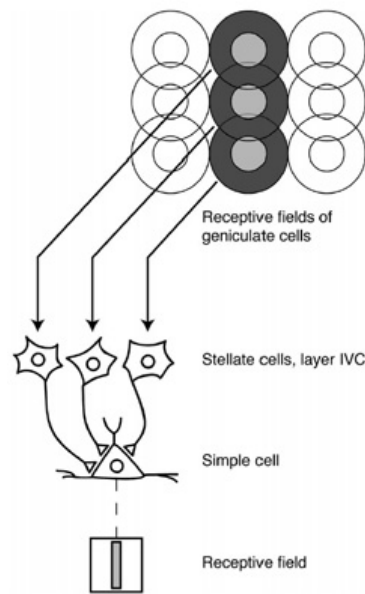
Entsprechend umgekehrt ist die Situation mit einer Off-Zentrum-Nervenzelle. Wird ihr Zentrum durch volle Beleuchtung gehemmt, so resultiert dies in der Wahrnehmung einer entspannten MV-Kugel, deren Kern dunkel, die Peripherie dagegen transparent ist.



Der hemmende Kern der Off-Zentrum-Nervenzelle bestimmt den dunklen MV-Kern.

Wenn es also denkbar ist, dass die MV-Kugeln eine Entsprechung der neuronalen Tätigkeit des visuellen Nervensystems haben, dann stellt sich als nächstes die Frage nach den Fäden: Wie kommen die komplexeren Fäden zustande? Haben wir es hier ebenfalls mit rezeptiven Feldern zu tun? Eine Antwort darauf könnte sein, dass nicht alle Neuronen im visuellen Nervensystem kreisrunde rezeptive Felder haben. Zunächst ist zu sagen, dass die kreisrunden rezeptiven Felder von Ganglienzellen über den Sehnerv ins Gehirn weitergeleitet und dort z.T. übernommen, z.T. modifiziert werden. Die Nervenzellen des Äusseren Kniehöckers haben rezeptive Felder mit ähnlichen Eigenschaften wie diejenigen der Netzhaut: konzentrische On-Zentrums- und Off-Zentrumsfelder. Die meisten Fasern des Äusseren Kniehöckers enden im Primären Visuellen Kortex (V1), der wie der Äussere Kniehöcker in verschiedene Schichten geteilt ist – heute geht man von 6 Hauptschichten aus. V.a. die Zellen der 4. Schicht (4C) erhalten die Informationen vom Äusseren Kniehöcker, und deren rezeptive Felder weisen ebenfalls ähnliche Eigenschaften auf.

Andere kortikale Bereiche jedoch haben Neuronen mit andersartigen rezeptiven Feldeigenschaften: deren Felder sind keine konzentrischen Kreise, sondern Streifen mit verschiedenartiger räumlicher Ausrichtung. D.h. diese Neuronen reagieren sehr deutlich auf Lichtstimuli, die sich durch lineare Eigenschaften auszeichnen (Linien, Spalte, Streifen etc.); zudem sind sie auf bestimmte Winkel und Ausrichtungen dieser Linien getrimmt („orientation selectivity“). Allerdings versteht man noch nicht genau, wie der Output der Neuronen im Kniehöcker, welche nach dem Prinzip der Zentrum-Umgebung organisiert sind, in die „orientation selectivity“ der V1-Neuronen übersetzt wird. Eine heute breit akzeptierte und einleuchtende Hypothese ist, dass die länglichen rezeptiven Felder im Kortex durch die verschmelzenden bzw. überlappenden Inputs von Zellen des Äusseren Kniehöckers zustande kommen; jene Zellen haben kreisrunde rezeptive Felder und enden im selben rezeptiven Feld einer entsprechenden V1-Nervenzelle.



Von MV-Kugeln zu MV-Fäden? Die Umwandlung von kreisrunden rezeptiven Feldern in längliche rezeptive Felder. *Quelle: Paxinos, Geroge; Mai, Jürgen K.: The Human Nervous System (2. Aufl.), San Diego: Academic Press 2004, S. 1287*

Auch die Fäden der MV, die aus aneinander gereihten Kugeln bestehen, könnten also als rezeptive Felder von Neuronen in kortikalen visuellen Sehzentren aufgefasst werden. Dies würde insofern Sinn machen, als die Fäden bereits eine komplexere Struktur aufweisen als die Kugeln, und die Repräsentation von komplexeren Formen allgemein den Neuronen in höheren visuellen Zentren zugeschrieben wird. Möglicherweise entspricht die unterschiedliche neuronale Örtlichkeit von kreisrunden und länglichen rezeptiven Feldern auch einem weiteren Merkmal der MV: Allgemein scheinen sich die Fäden in der Nähe des Betrachters zu sammeln, während sich die Kugeln über alle Entfernungen hinweg finden lassen; konzentrieren wir uns auf weiter entfernte Regionen – was in dieser Überlegung den rezeptiven Feldern in der Netzhaut entsprechen würde – können wir keine Fäden mehr sehen, nur noch Kugeln.

(Fortsetzung folgt ...)

In Teil 3 soll versucht werden, die dynamischen Aspekte (Grösse und Leuchtkraft) der MV mit der Aktivität der rezeptiven Felder in Einklang zu bringen.

In Teil 4 werden abschliessend folgende Fragen erörtert:

- *Mouches volantes, rezeptive Felder und Bewusstsein – warum können wir rezeptive Felder sehen?*
- *Die Beweglichkeit der MV und die stationären rezeptiven Felder*
- *Vitrektomie als Gegenargument*

Quellen und Literatur:

Literatur

- Bókkon, István: Phosphene phenomenon: A new concept, in: *BioSystems* 92 (2008): 168-174
- Bókkon István: Visual perception and imagery: A new molecular hypothesis, abstract auf: <http://bokkon-brain-imagery.5mp.eu/web.php?a=bokkon-brain-imagery&o=DLDNMtQiQD> (16.3.09)
- Flores-Herr, Nicolas: Das hemmende Umfeld von Ganglienzellen in der Netzhaut des Auges (Dissertation), 2001, auf: <http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=963919318>
- Franze, Kristian: Lichtleiter in der Netzhaut, in: *Spektrum der Wissenschaft* 10/2007, S. 16-19
- Greenlee, Mark W.; Tse, Peter U.: *Functional Neuroanatomy of the Human Visual System: A Review of Functional MRI Studies*, in: *Pediatric Ophthalmology, Neuro-Ophthalmology, Genetics* (hg. v. B. Lorenz und F.-X. Bourrat) (Essentials in Ophthalmology), Berlin/Heidelberg: Springer 2008 (S: 119-138)
- Greenstein, Ben; Greenstein, Adam: *Color Atlas of Neuroscience. Neuroanatomy and Neurophysiology*, Stuttgart/NY: Thieme 2000
- Quillen, David A.; Barber, Alistair, J.: *Anatomy and Physiology of the Retina*, in: Quillen, David, A.; Blodi, Barbara, A. (Hg.): *Clinical Retina*, American Medical Association (AMA) 2002
- Roth, M.; Trittibach, P.; Koerner, F.; Sarra, G.: *Pars-plana-Vitrektomie bei idiopathischen Glaskörpertrübungen*, in: *Klinische Monatsblätter der Augenheilkunde* Nr. 222, 2005, S. 728-732
- Schiefer, U; Hart, W.: *Functional Anatomy of the Human Visual Pathway*, in: Schiefer, Ulrich; Wilhelm, Helmut; Hart, William (Hg.): *Clinical Neuro-Ophthalmology. A Practical Guide*, Berlin/Heidelberg: Springer 2007, S. 19-28
- Tausin, Floco: *Mouches Volantes. Die Leuchtstruktur des Bewusstseins*. Bern: Leuchtstruktur Verlag 2004.
- Trick, Gary L.; Kronenberg, Alaina: *Entoptic Imagery and Afterimages*, in: Tasman, William; Jaeger, Edward A. (Hg.): *Duane's Ophthalmology*, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2007 [Elektronische Ausgabe]
- Weber-Varaszegi, V ; Senn, P ; Becht, V. N. ; Schmid, M. K.: „Floaterektomie“ – Pars-Plana-Vitrektomie wegen Glaskörpertrübungen, in: *Klinisches Monatsblatt Augenheilkunde* 225, 2008, S. 366-369

- Gareis, Oskar; Lang, Gerhard K.: Visual Pathway, in: Lang, Gerhard K.: Ophthalmology. A Pocket Textbook Atlas, Stuttgart/NY: Thieme 2007, S. 401-414
- Goebel, Rainer u.a.: Visual System, in: Paxinos, Geroge; Mai, Jürgen K.: The Human Nervous System (2. Aufl.), San Diego: Academic Press 2004, S. 1280-1305
- Kenridge, Robert; Heywood, Charles; Davidoff, Jules: Color Perception, in: Arbib, Michael A. (Hg.): Handbook of Brain Theory and Neural Networks, Cambridge/London: MIT Press 2003
- Park, Susanna S.: The Anatomy and Cell Biology of the Retina, in: Tasman, William; Jaeger, Edward A. (Hg.): Duane's Ophthalmology, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2007 [Elektronische Ausgabe]
- Plange, Hubertus: Muscae volitantes – von frühen Beobachtungen zu Purkinjes Erklärung, in: Gesnerus 47, 1990, S. 31-44
- Werblin, Frank; Roska, Botond: Wie das Auge die Welt verfilmt, in: Spektrum der Wissenschaft 5/08, S. 41-47
- Witkovsky, Paul: Functional Anatomy of the Retina, in: Tasman, William; Jaeger, Edward A. (Hg.): Duane's Ophthalmology, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2007 [Elektronische Ausgabe]

Links

- <http://www.mouches-volantes.com>
- <http://www.biokurs.de>
- <http://www.sinnesphysiologie.de>
- <http://de.wikipedia.org>



Zurück zum Mouches Volantes Newsletter: [*"Ganzheitlich Sehen"*](#)

Home: www.mouches-volantes.com

Weitere Websites: www.bewusstsein.ws / www.mystik.name
