

• Was zu tun ist

Man betrachte die homogen weiße Fläche des Leuchtschirms einäugig durch ein ca. 0,5 mm weites *Pinhole*, das man dicht vor die Pupille hält und per Hand (die man dazu auf die Wange aufstützt) mit 3-6 Hz auf einer Kreisbahn vom Radius 2-3mm bewegt.

• Was zu sehen ist

Dank der Verschiebung ihrer Schatten erkennt man nicht nur die grobe "Purkinjesche Aderfigur", sondern auch den Verlauf selbst der feinsten *Blutkapillaren*, die den Bereich der Foveola aussparen (Bild 1, Pfeil), und dazwischen eine "lederartige Struktur" (v. Campenhausen: Die Sinne des Menschen, Abb. 85, 1993). Bei genauem Hinsehen nimmt man ein mehr oder weniger regelmäßiges *Muster aus winzigen hellen Pünktchen mit zartem dunklen Saum* wahr.

Klappt man ein transparentes *Vergleichsmuster* vor den Leuchtschirm und blickt dann durch das im Kreis bewegte *Pinhole*, lassen sich Größe und Abstand der Pünktchen im *Abgleichverfahren* ermitteln: Aus einem Sehabstand von knapp einem Meter stimmt die Raumfrequenz beider Punktmuster annähernd überein. Hieraus folgt, dass die Musterelemente auf der Netzhaut einen Abstand von etwa 15µm haben.

• Wie entsteht dieses entoptische Pünktchenmuster?

Im Foveabereich besteht die Netzhaut *nur aus den Sehzellen*, die etwa 15µm groß sind und (etwas höhen-gestaffelt) dicht nebeneinander liegen (Bild 2). Da sie transparent sind, muss das sichtbare Pünktchenmuster durch eine Komponente des Zellkörpers erzeugt werden, deren *Brechungsindex* von dem der Umgebung abweicht. Hierfür kommt nur der *Zellkern* in Betracht: Er hat einen höheren Brechungsindex als das Cytoplasma und wirkt daher als *lichtbündelnde Kugellinse*. Wir schließen daraus, dass es sich bei dem Pünktchenmuster um "Schatten" der eigenen *Sehzellkerne* handeln muss.

• Anwendungen in der Ophthalmologie

Obwohl sich das Perzept selbstverständlich nicht fotografieren lässt, kann es der *Selbstdiagnose einer beginnenden Makuladegeneration* dienen. Auch das Einwachsen zusätzlicher Kapillaren in den Foveabereich, das durch mangelnde Durchblutung bei Diabetikern induziert wird, lässt sich frühzeitig erkennen.

• Automatisierung des Verfahrens mit einem einfachen Mikroskop

Ein ähnliches Bild entsteht - ohne Präparat! - im Sehfeld eines Durchlichtmikroskops mit geeigneter Optik (Bild 3), bei dem in der unteren Brennebene des Kondensors eine exzentrisch rotierende Aperturblende montiert ist, so dass der abbildende Strahlenkegel aus ständig wechselnden Richtungen auf die Netzhaut fällt.

Daten des Demonstrationsmikroskops:

Okular 5x, Objektiv 4/0,12, Kondensorapertur 0,32, Durchmesser des exzentrisch rotierenden Pinholes 0,5 mm, Durchmesser der Kreisbahn des Pinholes 7,5 mm, Antrieb durch Glockenanker-Gleichstrommotor (Durchmesser 6 mm, Fa. Conrad, D-92240 Hirschau), Drehzahl 180 bis 360 rpm.

Damit das Bild der rotierenden Aperturblende stets innerhalb der Augenpupille bleibt, stütze man das Gesicht mit der Hand am Mikroskoptubus auf starre unbewegt auf die Mitte des Sehfeldes!

Unter den angegebenen Bedingungen rotiert der Knotenpunkt des abbildenden Strahlenkegels in der Augenpupille auf einer Kreisbahn von ca. 2 mm Durchmesser und kippt dabei um etwa 6 Grad. Bei dem mittleren Abstand zwischen der lichtempfindlichen Schicht und den Sehzellkernen von 150 µm (Bild 2) verschieben sich deren Schatten somit um ca. 16 µm, was vier Zapfenbreiten entspricht.

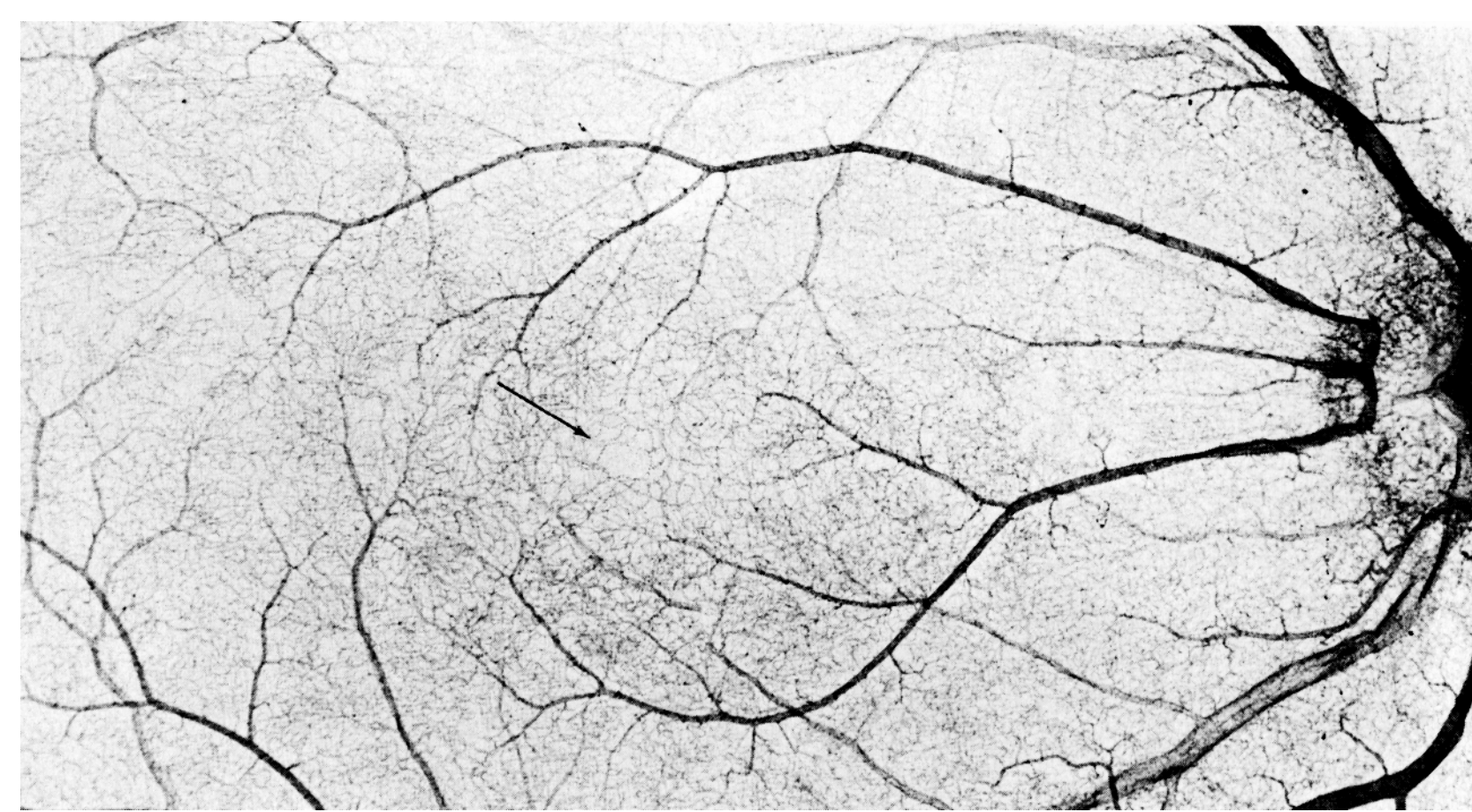


Bild 1: Verlauf der Blutgefäße, die bei dem (inversen) Auge des Menschen vor der lichtempfindlichen Schicht der Retina liegen. Aus Weiss L (Ed.): *Cell and Tissue Biology*. Urban & Schwarzenberg, München 1988, S. 1101 (Vgr. 21x)

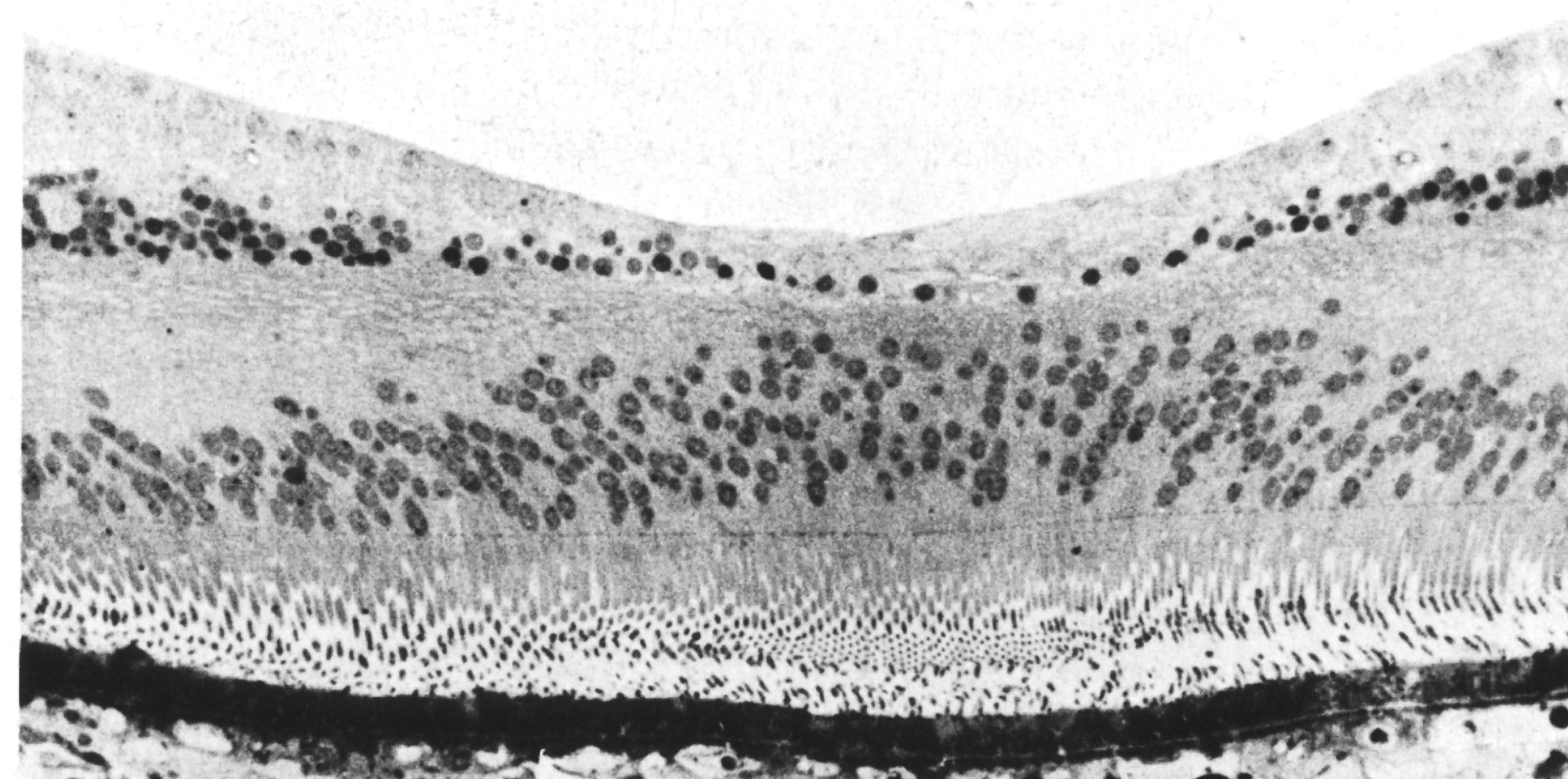
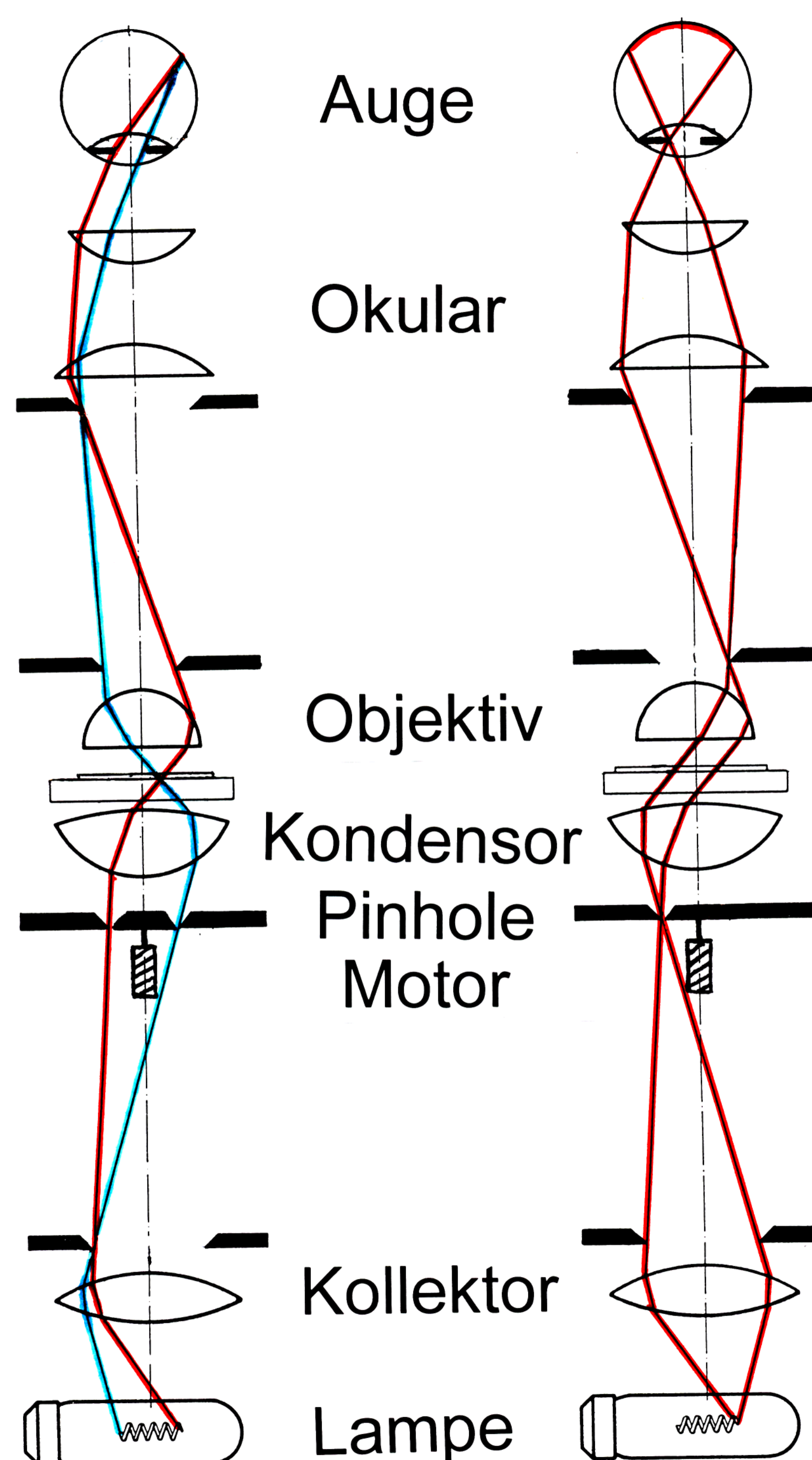


Bild 2: Querschnitt durch die Fovearegion des menschlichen Auges. Die Verteilung der angefärbten Zellkerne zeigt, dass dort nur die Sehzellen selbst als Schatten werfende Strukturen in Frage kommen. Erst außerhalb der Foveola kommen weitere Zellschichten hinzu. Aus Weiss L (Ed.): *Cell and Tissue Biology*. Urban & Schwarzenberg, München 1988, S. 1094 (Vgr. 37x)



• Was man dabei noch beobachten kann

1. Weg"fadern"

des zunehmend netzhautstabilen Schattenbildes:

Verringert man den Radius der Kreisbewegung des *Pinholes*, so verschwinden in der Wahrnehmung erst die Schatten der *Blutkapillaren* und dann die der *Sehzellkerne*, weil sie sich relativ zu der lichtempfindlichen Schicht zu wenig verschieben.

2. Führt das Sehsystem

eine "Mottle-Subtraktion" durch?

Mit zunehmender Seherfahrung nimmt man das Schattenmuster immer *deutlicher* wahr, und trotz der geringen Helligkeitskontraste kann es zu *negativen Nachbildern* kommen. Dies könnte ein Indiz dafür sein, dass unser Sehsystem das ihm wohlbekannte netzhautstabile Störmuster beim normalen Sehen "aktiv ignoriert" - quasi von den einlaufenden Bildsignalen abzieht, so wie dies per Software bei der Verarbeitung mikroskopischer Aufnahmen durch die Technik des "Video Enhanced Contrast" (VEC) geschieht.

3. Was wir nicht wahrnehmen,

obwohl es die Augen "sehen":

Schon Helmholtz hat das Phänomen beschrieben: Startt man entspannt auf die helle Fläche des Leuchtschirms (besser noch in den wolkenlosen blauen Himmel), erkennt man nach einigen Sekunden Hunderte von "tanzenden Pünktchen", die jeweils nur für kurze Zeit (200-400 ms) sichtbar sind. Sie legen bizarre Kurven mit mehreren Richtungswendepunkten zurück und überstreichen insgesamt einen Sehwinkel von jeweils etwa 2 Grad.

Der Psychiater Wilhelm Reich deutete sie irr-tümlicher Weise als "Orgon-Strahlen": als angeblich "kosmische Energie", die von allen Lebewesen "verschluckt" würde - denn man sieht sie *nicht* in der Nähe von Objekten wie z.B. Bäumen, deren Silhouette kontrastreich (!) gegen den Himmel steht.

Tatsächlich handelt es sich - wie schon früher vermutet - um die *Schatten einzelner Erythrocyten*, die durch die Netzhautkapillaren strömen, denn ihre Bahngeschwindigkeit erhöht sich, wenn man durch Pressen der Atmung den Blutdruck im Kopfbereich heraufsetzt (Kröling P: mündl. Mitt., Wolf R: *Skeptiker* 12:140-149, 1999). Und wenn man sie durch das ruhende *Pinhole* hindurch beobachtet und dieses anschließend exzentrisch rotieren lässt, wird der Verlauf der Kapillare sichtbar, durch die sie sich gerade hindurch gequetscht haben.

Bild 3 Links: abbildender "Lukenstrahlengang" im Mikroskop bei zwei verschiedenen Stellungen des *Pinholes*. Der beleuchtende Strahl von verschwindend kleiner Apertur - hier in einer Position rot und in der anderen blau dargestellt - fällt auf einen Punkt der Netzhaut aus ständig wechselnden Richtungen. Der Verkippungswinkel ist umgekehrt proportional zur Objektiv- und Okularvergrößerung sowie proportional zur Apertur des Kondensors. **Rechts:** Der "Pupillenstrahlengang" zeigt, dass das Sehfeld in jeder Stellung des *Pinholes* gleichmäßig hell bleibt.