

deren Beleuchtung, einer punktförmigen Lichtquelle, über die Netzhaut zu bewegen, werden die Schatten dieser im Auge unbeweglichen Strukturen wahrgenommen. Wird ein heller Lichtfleck beispielsweise seitlich über die Lederhaut bewegt, treffen die Schatten der Netzhautblutgefäße auf seitlich der Gefäße liegende Sinneszellen und man kann dann die Schatten als astförmig verzweigtes Gebilde, der entoptischen Netzhautaderfigur oder Purkinjeschen Aderfigur, erkennen. Diese Wahrnehmung hält aber nur so lange an, wie das Licht zur diaskleralen Beleuchtung bewegt wird. Halten wir das Licht auf der Sklera an, dann verblaßt das Bild nach spätestens einer Sekunde durch Lokaladaptation bei unveränderter diaskleraler Retinabelichtung, um nach Wegnahme des Skleralichtes nochmals kurz hervorzutreten (Details siehe unten).

Mit dem Phänomen des stabilisierten Netzhautbildes ist man auch konfrontiert, wenn man z. B. auf einen gleichmäßig wechselnd schwarz-weiß-geflistem Steinfußboden starrt. Dann passiert es, daß die Konturwahrnehmung der gleichmäßigen Fliesen in Sekunden schnelle verschwindet. Dieses ist so auffällig und momentan beunruhigend, daß man automatisch mit der Äußerung höchsten Erstaunens den Kopf schüttelt. Sofort ist das Bild der schwarz-weißen Fliesen wieder da. Ganz offensichtlich ist hier durch das Starren und durch die Situation die Dynamik von Erregung und Hemmung der Netzhautrezeptoren faktisch aufgehoben worden und für einen Moment ein stabilisiertes Netzhautbild entstanden. Es sind Bedingungen, die dem noch zu besprechenden Troxler-Phänomen gleich zu stellen sind und unter denen die Wahrnehmung des Sehraumes spontan ausgelöscht

werden kann [192]. Die stabilisierten Netzhautbilder treten hauptsächlich dann auf, wenn sie einäugig dargeboten werden. Wird in beiden Augen auf korrespondierenden Netzhautstellen ein gleichartiges Bild stabilisiert, so kann der Seheindruck ebenso – wie oben im Museumsbesuch aufgeführt – schwinden, was aber deutlich weniger gut funktioniert als einäugig [133].

Eigengrau

Definition: Unter Eigengrau oder „optischem Rauschen“ versteht man eine dunkle Grauempfindung, die bei geschlossenen Augen ohne jede Lichtreizung – auch in völlig dunkler Umgebung – wahrgenommen wird. Das Eigengrau liegt nicht genau in der Mitte zwischen Schwarz und Weiß, sondern nähert sich mehr dem Schwarz. Ursache ist die Eigenaktivität der Netzhaut. Dabei kommt es auch ohne äußere visuelle Reize zum Auftreten von Ruheentladungen visueller Neurone der Retina. Mitbeteiligt ist auch das weitere visuelle System bis zum visuellen Kortex. Das Eigengrau macht sich auch bei offenen Augen in einem total verdunkelten Raum dadurch bemerkbar, daß der Raum nicht tiefschwarz, sondern dunkelgrau erscheint.

Purkinje sprach 1819 [188] von „wandelnden oder wallenden Nebelstreifen“, andere von „Lichtchaos“ [37]. Im Eigengrau sieht man leichte nebelartige Bewegungserscheinungen, manchmal violett in den ersten Phasen der Dunkeladaptation, eventuell auch mit Erythroopsie (Rotsehen) je nach der Vorblendung. Die Nebelerscheinungen im Dunkeln

und Halbdunkeln sind als Korrelat eines labilen Gleichgewichtes mit wechselnder Ruhetätigkeit der beiden hell- und dunkelmeldenden Neuronensysteme zu verstehen [119].

Troxler-Phänomen

Definition: Als Troxler-Phänomen wird die Beobachtung bezeichnet, daß alle Objekte, die man kontinuierlich fixiert, bald ihre Farben und Umrise verlieren und schließlich um so früher im Eigengrau verschwinden, je weiter sie vom Fixierpunkt entfernt und je peripherer sie liegen (Abbildung 2.21). Wie nach der hohen Neuronendichte zu erwarten, ist die Zeit der lokalen Adaptation im Bereich der Fovea am längsten und nimmt parafoveal rasch ab [134].

Troxler wies 1802 [236] darauf hin, daß über ein Papier verstreut aufgezeichnete Flecken – besonders bei schwacher Beleuchtung – verschwinden, wenn man sie anhaltend fixiert. Aus neurophysiologischer Sicht wurde dieses Troxler-Phänomen als ein Ausgleich von Entladungen des D- und B-Systems und als Hervortreten von Ruheentladungen visueller Neurone der Netzhaut, des Corpus geniculatum laterale und des visuellen Kortex, das heißt als Hervortreten des Eigengraus interpretiert [119]. Schon Purkinje [188] zitierte Troxler aus Schmidts und Himlys ophthalmologischer Bibliothek [236] und erkannte den Zusammenhang des Troxler-Phänomens mit dem Eigengrau:

„Gleich beim ersten Versuche drang sich mir der Gedanke auf, ob sich nicht diese Erscheinung auf die oben ... beschriebenen wallenden

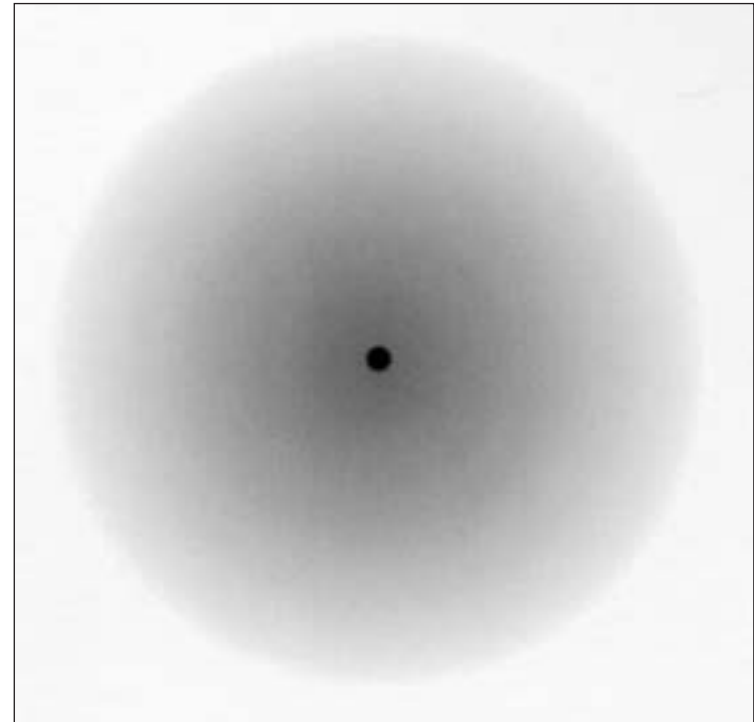


Abbildung 2.21 Dies ist eine einfache Demonstration für den Troxler-Effekt. Fixieren Sie bitte einäugig den schwarzen Punkt in der Mitte. Schon nach kurzer Zeit verschwindet der darumliegende graue Hof, um bei Augen- oder Kopfbewegungen sofort wieder aufzutauchen.

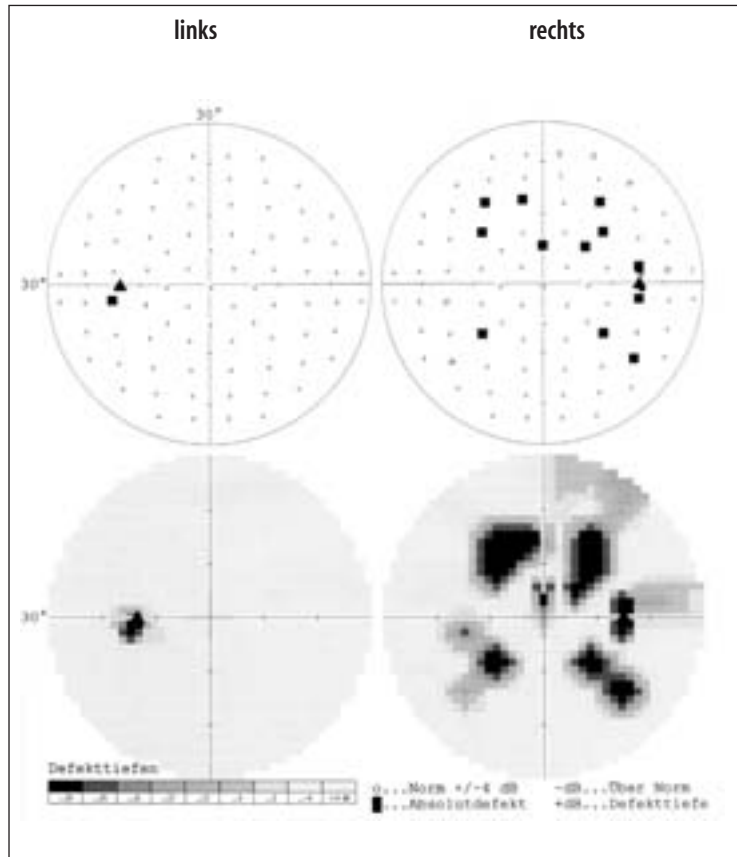
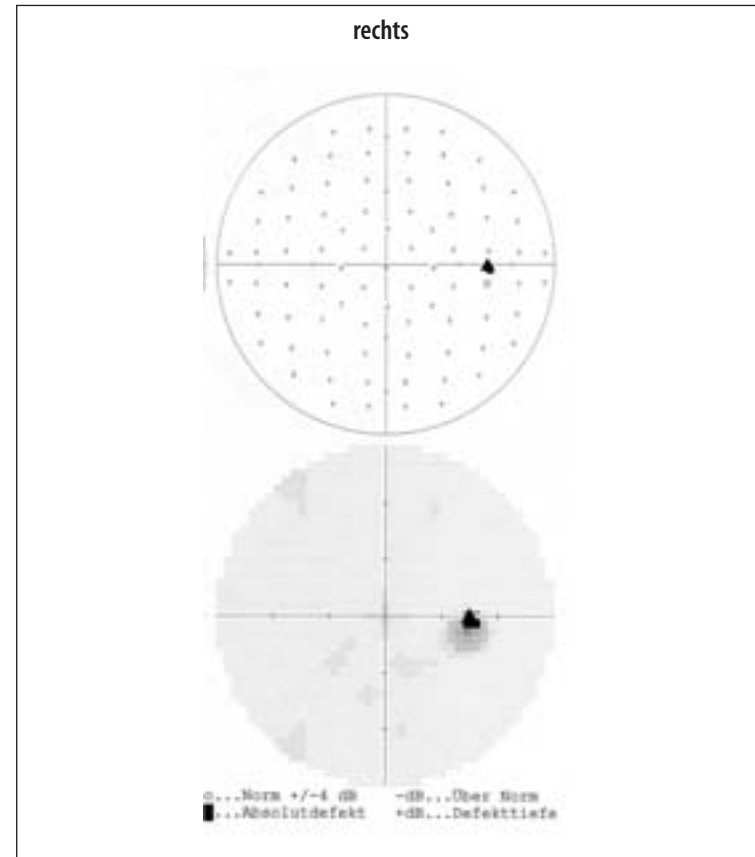


Abbildung 2.22 Typisches Troxler-Phänomen mit Flecken im statischen Gesichtsfeld (links, rechts), ohne daß am rechten Auge durch einen pathologischen Befund die Ausfälle zu erklären gewesen wären. Der 66jährige Patient hatte entoptisch ein Fliegengitter rechts bemerkt und zeigte den Beginn einer hinteren Glaskörper-



abhebung, die auch im weiteren Verlauf ohne Komplikation blieb. Alle späteren Gesichtsfelder nach Tagen oder Monaten waren unauffällig (rechtes Gesichtsfeld), Rodenstock Peristat 433.

Nebelstreifen reduzieren lassen, und es wurde mir leicht mich sogleich ins Klare zu setzen. Ich verteilte auf einem schwarzen Grunde auf gleiche Weise mehrere Papierschnitzchen, wehrte alles Seitenlicht vom Auge ab, und fixierte nun das mittlere; nach einer kurzen Zeit fingen die lichten Flecke zu verschwinden an; ich wartete noch etwas bis die Erscheinung ihr Maximum erreichte, blies dann die Papierschnitzchen weg, und siehe da, die wohlbekannten Nebelstreifen erschienen vor dem Auge in voller Bewegung, und wallten und verschwanden nach ihrer Weise. Hierher gehörte auch das Verschwinden und Wiederaussehen der Lettern, wenn man während dem Lesen schläfrig wird, denn dann ist für die Erscheinung der Nebelkreise die beste Zeit.“ [188]

In dieser Beschreibung von Purkinje zeigt sich der Troxler-Effekt deshalb besonders eindrucksvoll, weil wegen des geringen Beobachtungsabstandes im Netzhautbild keine scharfen Konturen entstehen können. Bei fließenden Übergängen reichen die unwillkürlichen kleinen Augenbewegungen nicht aus, um den Troxler-Effekt zu verhindern [14, 36]. In der täglichen Praxis zeigt sich das Troxler-Phänomen häufig bei der automatisierten, statischen Perimetrie (Abbildung 2.22), während mit der kinetischen Perimetrie dieses kaum registriert wird. Sie wird deshalb mit der statischen Perimetrie besser erfaßt, weil bei ihr eine um die Bewegung der Testmarke reduzierte Reizqualität vorliegt. Wird ein kleines Objekt in der Mitte fixiert und ein peripheres diffuses beobachtet, stellt der Beobachter fest, daß das periphere Objekt nach wenigen Sekunden verschwindet, während das fixierte noch sichtbar ist. Je matter das periphere Objekt ist, um so leichter ver-

schwindet es. Auch kleine Testpunkte bei der statischen Perimetrie werden jetzt nicht erfaßt, die bei der kinetischen Perimetrie als gleichwertige Testmarke sofort durch ihre Bewegung auffallen.

Einmal in der Gesichtsfeldperipherie verschwundene Objekte tauchen bei Bulbusbewegungen sofort wieder auf (Abbildung 2.21). Diese hohe Empfindlichkeit gegenüber Bewegungen im peripheren Gesichtsfeld hat für viele Tiere einen hohen biologischen Wert. Doch Lokaladaptation in der Netzhautperipherie findet auch auf gleichförmige Bewegung oder regelmäßig wiederkehrende Reize hin statt, wie etwa bei der Autofahrt. Es ist also nicht so, daß hier unbedingt jegliche Art von Bewegung zur Rezeptorenaktivität führt. Bedeutungslose Reize unterliegen auch hier einer Lokaladaptation, also einer Art Troxler-Effekt. Nur neue Ereignisse dort führen sofort zu einem Mechanismus, daß diese wieder aufmerksam registriert werden [221].

Patienten mit Symptomen des Troxler-Phänomens

Bei Patienten mit funktionellen Sehstörungen, deren Ursache in Erschöpfungszuständen, Ermüdung oder psychischen Belastungen liegen können, und bei denen sich bei der statischen Perimetrie scheinbare, nicht reproduzierbare Ausfälle wie in Abbildung 2.22 ergeben, spricht vieles dafür, daß die Ursache in einer verkürzten Lokaladaptation liegt [134]. Solche Patienten sprechen von rascher Ermüdbarkeit ihrer Augen, beschreiben Nebelschwaden oder Flecken im Sinne von kleinen Skotomen im Gesichtsfeld (Abbildung 2.22), die kommen und gehen. Sie machen die Erfahrung, daß ihr Sehvermögen kurzer Belastung ausreichend standhält, aber nach längerer Beanspru-

chung teilweise oder auch ganz zusammenbricht. Kurzfristiges Schließen der Lider, Reiben der Augen und nicht der visuellen Aufnahme dienende Augenbewegungen können das Sehen offensichtlich vorübergehend in den alten Funktionszustand versetzen.

Luminous spots

Definition: Luminous spots sind kleine helle Kügelchen mit manchmal dunklem Zentrum, die sich schnell auf einer geschwungenen Bahn bewegen und beim Blick gegen helle, insbesondere blaue Flächen im zentralen und parazentralen Gesichtsfeld in größerer Zahl gesehen werden. Es handelt sich dabei um entoptisch sichtbare Leukozytenbewegungen in den Netzhautkapillaren. Versucht man einzelnen Körperchen nachzuschauen, dann verschwinden sie sofort, weil dann mit dem gefäßfreien Raum der Fovea fixiert wird.

Schaut man z. B. in den blauen Himmel, dann kann man bei erhöhter Aufmerksamkeit im zentralen und perizentralen Gesichtsfeld eine Fülle von kurzfristig auftauchenden Pünktchen beobachten. Es handelt sich dabei um in den Netzhautkapillaren mit dem Blut strömende helle Blutkörperchen (Abbildung

2.23). Bei dem Zelltyp, der dieses Phänomen erzeugt, soll es sich um Leukozyten handeln [37]. Diese Körperchen erscheinen als kleine helle Kügelchen mit manchmal dunklem Zentrum gegen einen relativ dunkleren, obwohl noch hell erleuchteten Hintergrund. Sie haben häufig helle kurze Schwänzchen ähnlich wie Kometen. Die Körperchen bewegen sich schnell und folgen den retinalen Kapillarschlingen. In der Mitte der Fovea, dort wo keine Kapillaren sind, kommen die Körperchen nicht vor, und Druck auf das Auge verringert ihre Bewegung. Um die fliegenden Körperchen („flying corpuscles“) optimal zu erkennen, muß das Licht blau sein, weil dieses vom Hämoglobin absorbiert

wird. Bei der Passage der Erythrozyten, die das Blau in den Netzhautkapillaren absorbieren, kann folglich keine Netzhauterregung ausgelöst werden, und die Erythrozyten bleiben unsichtbar. Andererseits absorbieren Leukozyten kein kurzwelliges Licht. Es erfolgt ein blitzartiges Aufleuchten hinter dem Leukozyten, wenn dieser eine Kapillare durchströmt. Erklärt wird dieses durch den starken Beleuchtungsstärkesprung vor den Rezeptoren, wobei auch ein kurzer Nachbildeffekt noch eine Rolle spielt [20, 215]. Versuche mit Normalpersonen und Leukämie-Patienten, von denen das Phänomen verstärkt wahrgenommen wird, unterstreichen, daß Leukozyten der Auslöser sein müssen [19, 215]. Ery-

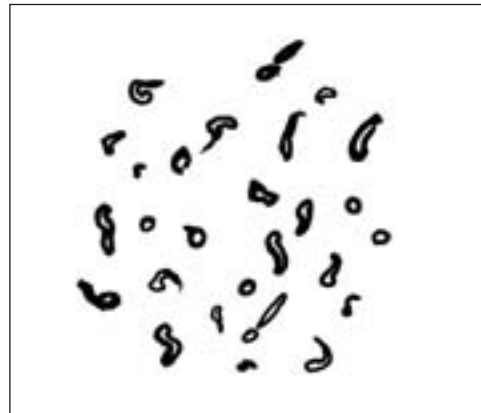


Abbildung 2.23 Luminous spots beim Blick gegen den bedeckten oder auch freien Himmel. Geschwindigkeit der Körperchen 0,5 mm/sec [147].

throzyten müßten dunkle Schatten werfen [37]. Weiterhin stützt die Zahl der fliegenden Körperchen die Theorie, daß es sich um ein Phänomen durch die Leukozyten handeln muß. Denn bei einem Normalverhältnis von Erythrozyten zu Leukozyten von durchschnittlich 650 : 1 (4,5 Millionen: 7.000) bis 1010 : 1 (5,2 Millionen: 5.000) müßte sich beim Blick in azurblauen Himmel ein wahres Feuerwerk in unseren Augen abspielen, wenn die Erythrozyten die Netzhauterregung hinter den Kapillaren erzeugten.



Silberfischchen, Wasserflöhe, aufblitzende Sternchen – Wahrnehmung von Leukozyten

Versuchspersonen, die zum ersten Mal bewußt ihre Luminous spots wahrnehmen, beschreiben diese als helle Pünktchen, helle Stäbchen, Gekrissele, Mikroorganismen, wie man sie im Mikroskop sich bewegen sehen kann, Kaulquappen, kleine Fischchen, Silberfischchen, aufblitzende Sternchen, Wasserflöhe, kleine Schlangen in einem Schlangenfuhl oder Spermien. Versucht man einzelnen Körperchen nachzuschauen, dann verschwinden sie sofort, weil dann mit dem gefäßfreien Raum der Fovea fixiert wird.

Netzhautaderfigur

Normalerweise werden die vor den Sinneszellen der Netzhaut liegenden Blutgefäße nicht wahrgenommen, weil aufgrund der gleichbleibenden Beleuchtung ein stabilisiertes Netzhautbild besteht. Die direkt

unter den Gefäßen befindlichen Sinneszellen begeben sich sozusagen in Ruhefunktion. Wird aber das Auge anders als üblich – zum Beispiel durch eine kleine Taschenlampe, ein Retinoskop oder das Licht der Spaltlampe – beleuchtet, dann treffen die Schatten der Blutgefäße auf seitlich der Gefäße liegende Sinneszellen und lösen einen Seheindruck aus.

Normalbefund der Netzhautaderfigur

Die Netzhautgefäße werden als dunkle Stränge mit feinsten Verzweigungen auf rotem Hintergrund gesehen. Arterien und Venen können bei der entoptoskopischen Funktionsprüfung der Netzhautaderfigur nicht unterschieden werden. Die Gefäßschatten bewegen sich in der gleichen Richtung wie der Lichtfleck mit. Patienten schildern die Netzhautgefäßschattenfigur als Stränge, Risse, Würmer, Wurzeln, Zweige, Blattadern, Geäst, Adern, Flüsse einer Landkarte oder Sprünge in einem ausgetrockneten Flußbett. In einem solchen Geäst muß man sich zuerst einmal zurechtfinden und lernen, einzelne Abschnitte zu beobachten. Die Kreisfläche, in der die Aderfigur zu sehen ist, hat die Stelle des schärfsten Sehens (Fovea centralis) zum Mittelpunkt, während ein Teil der Sehnervenscheibe an der Außenlinie noch mit einbezogen wird (Abbildung 2.24). Von dort gehen die großen Gefäße aus. In der gefäßfreien Stelle des schärfsten Sehens (Fovea centralis) kann bei der entoptoskopischen Funktionsprüfung ein empfindliches Raster von etwa 100 Punkten räumlich etwas tiefer verlagert gesehen werden (Abbildung 2.25), das sich gegenläufig zur Aderfigur bewegt [57]. Dieses Raster hilft, die Stelle des schärfsten Sehens und damit die Mitte

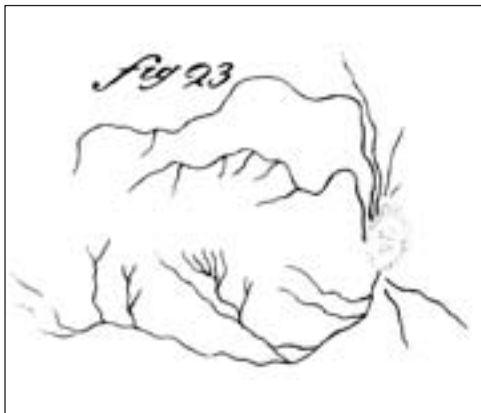
der Netzhautaderfigur zu finden. Bei der Darbietung von hochfrequenten Reizen über der Auflösungsgrenze – beispielsweise bei der Interferometrie mit dem Laser-Retinometer – werden gitterartige Muster in der Stelle des schärfsten Sehens wahrgenommen [139]; vergleiche unter Laser speckle.

Purkinje-Baum: Geschichte der Netzhautaderfigur

Mit einem einfachen Hilfsmittel – einer kleinen, kräftigen Lichtquelle – gelingt es, die Gefäßschattenfigur der eigenen Netzhaut zu erkennen. Bereits 1818 hatte Jan Evangelista Purkinje (1787-1869) diesen Gefäßbaum beobachtet und in seiner Doktorarbeit „Beiträge zur Kenntnis des Sehens in subjektiver Hinsicht“, Prag 1819 [188], beschrieben. Das Bild der Netzhautgefäße im lebenden Auge war damit bereits ent-

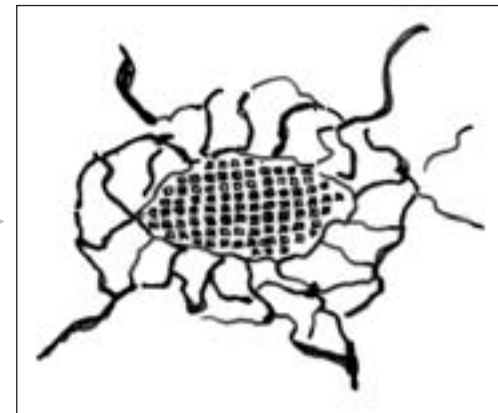
deckt worden, während die Ophthalmoskopie, also die Spiegelung des Augenhintergrundes, erst 1850 durch Hermann von Helmholtz erfolgte. Doch sogar schon vor Purkinje ist die Wahrnehmung der Netzhaut-Aderfigur von Steinbuch 1813 [225] beschrieben worden, wenn er auch ganz anders vorging. Er übte Druck auf ein Auge aus, während er auf eine weiße Wand sah, benutzte also keine Lichtquelle. Durch leichten Druck auf das Auge vergrößern sich offensichtlich die Schatten der Netzhautgefäße für einen Moment, so daß die Gefäße vorübergehend sichtbar werden können. Es werden bei diesem Versuch auch nur die größeren, dicken Gefäßstrukturen wahrgenommen. Purkinje [188] zitiert Steinbuch selbstverständlich.

Purkinje zu Ehren nennt man die Netzhautgefäßschattenfigur auch den Purkinje-Baum. Der Nachteil seiner Methode ist, daß es sich bei der



◀ *Abbildung 2.24 Purkinjes eigener Gefäßbaum seines rechten Auges [188]*

Abbildung 2.25 Zeichnung des Makulachagrins, das bei üblicher Lichtfleckbewegung auf der Lederhaut gesehen wird. Es dauert einige Zeit, bis man es genau in der Tiefe der Stelle des schärfsten Sehens wahrnimmt. Dieses Raster bewegt sich gegenläufig zur Bewegung der Aderfigur.



Gefäßschattenfigur um ein subjektives Erlebnis handelt. Photographieren kann man die Bilder nicht. Im Gegensatz dazu ist die Spiegelung des Augenhintergrundes ein objektives Verfahren. Was der Augenarzt spiegelt und sieht, läßt sich mit Hilfe einer Funduskamera photographieren.

Purkinje benötigte 1819 zur Wahrnehmung seiner Netzhautaderfigur neben einer hell erleuchteten Wand oder dem Tageshimmel nicht mehr als eine kleine Lochblende. Er schloß ein Auge und bewegte vor dem anderen die Lochblende hin und her. Durch die Bewegungen der Lichtquelle des Loches verschiebt sich der Schatten des Netzhautgefäßbaumes über den Rezeptoren, und der Purkinje-Baum wird sichtbar (Abbildung 2.30). Morgens beim Aufwachen, wenn noch keine Lokaladaptation auf irgendwelchen Netzhautteilen vorhanden ist, kann man bis über 10 Sekunden lang beim Blick auf die helle Zimmerdecke die Purkinjesche Aderfigur beobachten, insbesondere wenn man blinkert und so eine Flimmerfrequenz herstellt.

Abbildung 2.24 ist eine Zeichnung aus Purkinjes Doktorarbeit [188]. Er hat nur die großen Gefäße gezeichnet, die er bei der Anwendung einer Lochblende, die er der Sonne oder einer hellen Lichtquelle entgegen hielt und vor

einem Auge hin- und herbewegte, erkannte. Mit einer kräftig leuchtenden Entoptik-Leuchte, deren Lichtkegel man über die schläfenwärts gelegene Lederhaut führt (Abbildung 2.26, Abbildung 2.27 und



Abbildung 2.26 Lichtfleckbewegung auf der schläfenwärts gelegenen Lederhaut des rechten Auges, oben etwa 5 - 7 mm vom Hornhautrand entfernt, unten im Abstand von etwa 10 mm

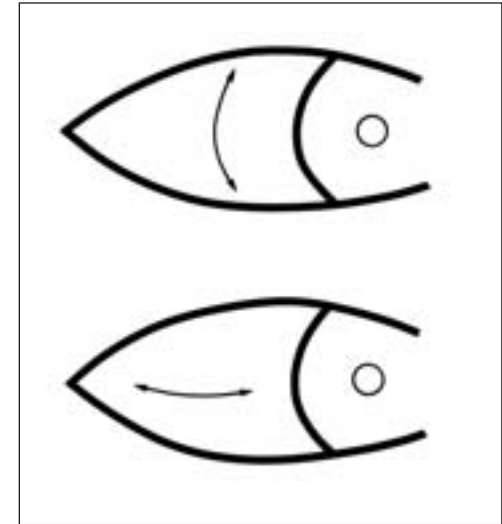


Abbildung 2.27 Lichtfleckbewegungen schematisch über der schläfenwärts gelegenen Lederhaut des rechten Auges, oben senkrechte Bewegungen, unten horizontale Bewegungen, auch kreisende Bewegungen sind möglich. Wird der Lichtfleck aus der Bewegung angehalten, so verlöscht die Netzhautgefäßschattenfigur, um bei erneutem Einsetzen der Bewegung über der Lederhaut sofort wieder zu erscheinen.

► Entoptische Wahrnehmungen

Abbildung 2.28), erkennt man auch die kleinsten Kapillaren um die Stelle des schärfsten Sehens (Abbildung 2.29).

Das Bild, das der Patient subjektiv bei der entoptoskopischen Funktionsprüfung der Netzhautaderfigur sieht, ähnelt demjenigen der Netzhautgefäße im Fluoreszenzangiogramm (Abbildung 2.29). Bei dieser Methode wird eine Fluoreszeinlösung in eine Armvene injiziert und Sekunden danach werden mit der Funduskamera einzelne Phasen des Fluoreszeinstroms in den Netzhautgefäßen fotografiert. Man sieht auf den Aufnahmen das vollständige Kapillarsystem der Netzhautge-

fäße, wie es bei der Spiegelung des Augenhintergrundes nicht zu erkennen ist, weil die Kapillaren in die Netzhaut eingebettet bei der Ophthalmoskopie unsichtbar bleiben. Subjektiv gelingt es, mit der Methode der Betrachtung der Netzhautaderfigur pathologische Netzhautprozesse nachzuvollziehen, wie sie der Untersucher sieht (Abbildung 2.34 – Abbildung 2.41, Abbildung 2.53, 2.54). Die Beschreibung der Methode folgt in „Diagnostik und Demonstration entoptischer Phänomene für die Praxis“ (S.92).



Abbildung 2.28 Vorgehen zur Wahrnehmung der Netzhautgefäßschattenfigur durch eine Hilfsperson

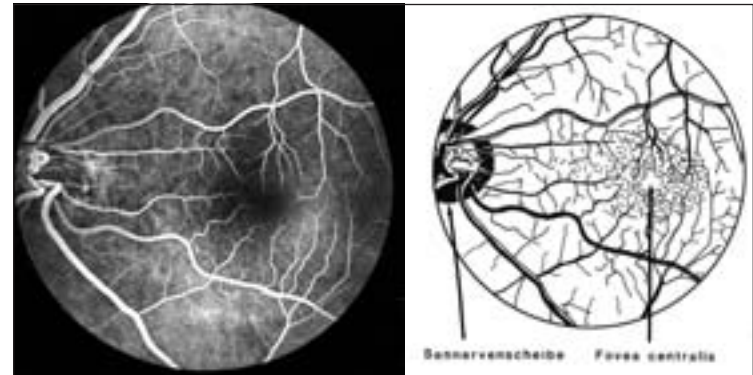


Abbildung 2.29 Fluoreszenzangiogramm des linken Auges des Autors dieses Buches, Angiogrammauszug und Zeichnung. Die Gefäßgabel oberhalb der Fovea centralis wird bei der entoptoskopischen Funktionsprüfung besonders deutlich erkannt. Der Bereich der sogenannten Makula ist größer als jener der Fovea centralis, und er kann vor allem nicht genau abgegrenzt werden.