

Lichtbeugung im Raumgitter der Netzhaut des Auges und Fresnel-Nahfeld-Interferenzen transformieren das sichtbare Spektrum in den RGB-Raum.

Norbert Lauinger, Wetzlar

Institut für Optosensorik

<mailto:norbert@lauinger-web.de>

Die Interpretation der äußeren Körnerschicht der Retina des menschlichen Auges als diffraktives hexagonales zelluläres Raumgitter führt zur Berechnung der Fresnel-Nahfeld-Interferenzen. Sie ergibt die Identität der vier Resonanzwellenlängen mit den Gipfelwellenlängen der spektralen Hellempfindlichkeitskurven der Zapfen und Stäbchen. Die Optik programmiert die Fotopigmente.

1 Einführung

Die Netzhaut des Auges ist ein kortikales zelluläres Flächenepithel, das nach seiner Invagination in den Augenbecher dessen hinteren Raum auskleidet. Als Gehirnschicht verfügt es zunächst über ca. 1 Mio Ganglien-Zellkörper, aus denen sehr früh die Sehnerven auswachsen. Durch Zellteilungen wird aus dieser inneren Körnerschicht eine zweite Schicht mit einer größeren Zahl kleinerer Zellkerne ausgebildet, die mittlere Körnerschicht der Bipolaren. Diese wiederum produziert die dritte äußere Körnerschicht mit ca. 116 Mio noch kleineren Zellkörpern. Aus ihr wachsen ab dem 7. vorgeburtlichen Monat die ca. 110 Mio Stäbchen und 6 Mio Zapfen in den bis dahin freien Raum zwischen der äußeren Grenzmembran der Retina und dem Pigmentepithel aus. Mit diesen drei Körnerschichten entspricht die kortikale Retina dem Prinzip der schichtweisen Informationsverarbeitung, wie sie für die nachfolgenden kortikalen visuellen Zentren (CGL und V1) belegt ist. Bargmann [1] hat das Ergebnis in Abb.1 für die Retina dokumentiert.

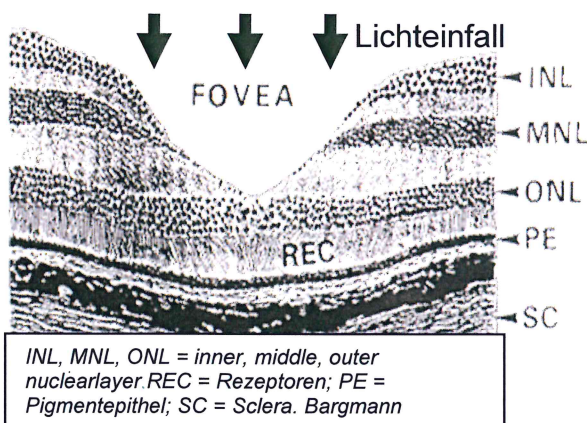


Abb. 1: Die drei Körnerschichten der Retina.

Selbst in der Fovea bleibt die äußere Körnerschicht den dort allein vertretenen Zapfen lichtwärts vorgelagert. Die Differenzierung der drei Schichten, die bis kurz vor der Geburt vorrangig

vor der Fotorezeptoren-Ausbildung betrieben wird, hat Blechschmidt [2] in Abb.2 dargestellt.

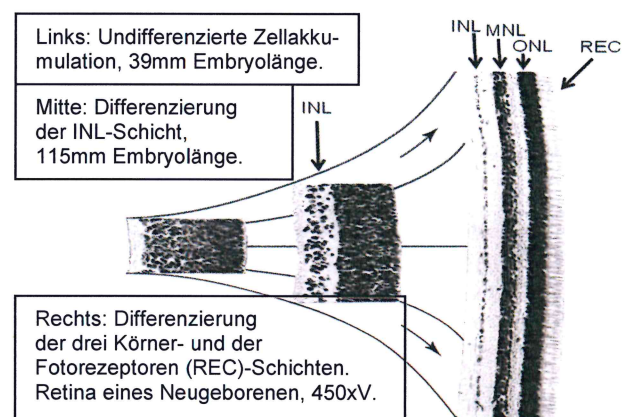


Abb. 2: Die vorgeburtliche Differenzierung der Körnerschichten

Die Zellkörper aller drei Schichten sind für Licht völlig transparent. Optisch stellen sie Phasengitter dar mit Brechungsindex-Differenzen zwischen Kern und Schale. In der äußeren Zellkörperschicht stellen sie in mehrschichtiger hexagonaler Dichtestpackung diffraktive Gitter-Elemente dar, deren Größe kurz oberhalb der sichtbaren Wellenlängen liegt. Die äußere Körnerschicht stellt somit ein Raumgitter dar. Da den inneren und mittleren Körnerschichten Funktionen zugesprochen werden können, die vor dem Erwerb des Farbsehens bedeutsam waren (Ortsfrequenzfilterung, Tiefenkarte, log-polare Objektklassifizierung [3]), kommt der äußeren Körnerschicht die evolutionär wohl zuletzt entwickelte Funktionalität der Farbverarbeitung zu. Für sie wird die Fresnel-Nahfeld-Raumgitterberechnung vorgelegt.

2 Die Fresnel-Nahfeld-Raumgitteroptik-Berechnung des RGB-Farben-(Tages-) Sehens.

Der auf den senkrechten Lichteinfall reduzierte Doppelkegel-Richtungskosinus wird zunächst in seinen Cos-Gliedern mit hexagonalen Gitterkonstanten $g_x : g_y : g_z = 2 : \sqrt{3} : 1$ für das Beugungsordnungstriple $h_1 h_2 h_3 = 111$ - die Grundwelle, auf

die das resonanzfähige Raumgitter gestimmt wird – formuliert. Dabei wird nicht die von-Laue-Fernfeld-Fassung mit $\cos\alpha = h_1\lambda/g_x$ usw. gewählt, sondern mit $\cos\alpha = h_1g_x/s$ ($s = k\lambda$) (k = ganze Zahl) die zu ihr reziproke Fresnel-Fassung. Hieraus resultieren die zwei identischen Gleichungen (1a) und (1b), die anzeigen, dass resonanzfähige Wellenlängen dem räumlichen Pythagoras und dem kristalloptischen Resonanzfaktor $\nu\lambda$ [4] entsprechen müssen. Für die Grundwelle 111 werden diese Bedingungen erkennbar erfüllt ($s_{111} = 4$).

$$\left(\frac{h_1g_x}{s_{111}}\right)^2 + \left(\frac{h_2g_y}{s_{111}}\right)^2 + \left(\frac{h_3g_z}{s_{111}}\right)^2 - \frac{2h_3g_z}{s_{111}} =$$

$$(0.25 + 0.1875 + 0.0625) - 0.5 = 0.5 - 0.5 = 0 \quad (1a)$$

$$\nu_{111}\lambda_{111} = \frac{2h_3g_zs_{111}}{h_1^2g_x^2 + h_2^2g_y^2 + h_3^2g_z^2} = 0.25 \times 4 = 1 \quad (1b)$$

Um nun die konkrete Größe der Grundwelle λ_{111} zu ermitteln, gilt es zu berücksichtigen, dass die Gitterkonstante g_y in der hexagonalen Geometrie streng an g_x gebunden ist, sodass nur die Gitterkonstanten g_x und g_z frei resonanzfähige Größen sind. Diese bilden die abgewinkelte Resonator-Sender-Antenne mit

$$s_{h1h3} = s_{11} = \sqrt{g_x^2 + g_z^2} = \sqrt{5}$$

Mit der Transformation von s_{111} auf λ_{111} in Gleichung (1b) ergibt sich $s_{111}\lambda_{111} = 4\lambda_{111}$ und $\lambda_{111} = s_{11}/s_{111} = \sqrt{5}/4 = 0.559\mu\text{m(R)}$ in Gleichung (2).

$$\lambda_{111} = \frac{2h_3g_zs_{111}\lambda_{111}}{h_1^2g_x^2 + h_2^2g_y^2 + h_3^2g_z^2} = \frac{2 \times 1 \times 1 \times 4\lambda_{111}}{4 + 3 + 1}$$

$$= \frac{2s_{11}}{8} = \frac{\sqrt{5}}{4} = 0.559\mu\text{m} \quad (2)$$

Neben der R-Grundwelle treten mit $h_1h_2h_3=123$ und $h_1h_2h_3=122$ nur zwei Oberwellen unter den vierundzwanzig $h_1h_2h_3$ -Tripeln 111-333 auf: $\lambda_{123} = 0.537\mu\text{m(G)}$ und $\lambda_{122} = 0.447\mu\text{m(B)}$. Die drei Resonanz-Wellenlängen entsprechen den Gipfelwellenlängen der spektralen Hellempfindlichkeitskurven der Zapfen [5] und stellen das RGB-Tripel dar. Benachbarte Wellenlängen werden gedämpft. Eine Neuinterpretation des Sehens bedarf aber auch einer Erklärung des Dämmerungssehens [6], [7].

3 Die Fresnel-Nahfeld-Raumgitteroptik-Berechnung des RG(B)-Dämmerungs-Sehens.

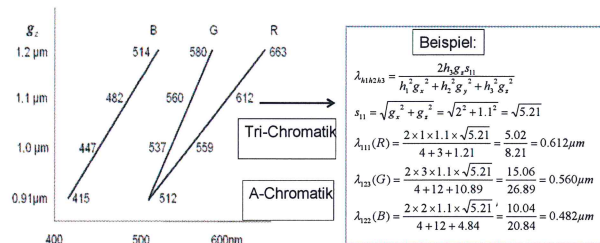
Die spektrale Hellempfindlichkeitskurve des Stäbchensehens hat ihren Gipfel bei 512nm. Eine Kürzung der 3. Gitterkonstanten g_z (von $1\mu\text{m}$ auf

$0.91\mu\text{m}$) führt zu einer Fusion der R- und G-Beugungsordnungen bei 512nm. Dabei verliert B seinen Einfluss, R + G bestimmen das Dämmerungssehen allein. Die Purkinje-Shift ist eine raumgitteroptisch-adaptive Shift.

4 Adaptive RGB-Chromatik und Öffnungswinkel γ der Beugungsordnungs-Lichtkegel.

Die 3. Gitterkonstante g_z gewährleistet nicht nur durch ihre Verkürzung die Purkinje-Shift, sondern führt durch ihre Verlängerung auch zu adaptiven längerwelligen RGB-Tripeln, wie die Abb.2 in einem R = 612nm-Beispiel zeigt.

Abb.3: Adaptiver Spielraum der 3. Gitterkonstanten g_z berechnet für RGB = 612/560/482nm.



Die Öffnungswinkel γ der Beugungsordnungs-Lichtkegel zur z-Achse sind stets für R am kleinsten, für B größer und für G am größten (R-B-G-Abfolge). Die Gitterkonstanten g_x und g_y bestimmen maßgeblich die γ -Winkel und liefern mit zunehmender Größe kleinere γ -Winkel. g_z verformt adaptiv die Raumgitterzelle zum langgestreckten, g_x und g_y zum abgeplatteten Rotationsellipsoid. Die Raumgitterzellen werden mit ihrer adaptiven Mikrogeometrie zum 'lebenden Kristall'. Die Informationsverarbeitung findet im 'reziproken Gitterraum' der Kristallphysik statt.

Literatur

- [1] Bargmann, W.: "Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen", Thieme-Verlag, Stuttgart (1967)
- [2] Blechschmidt, E.: "Die Entwicklungsbewegungen der menschlichen Retina zur Zeit der Irisentstehung.", *Ophthalmologica* **154**, S. 531-550 (1967)
- [3] Lauinger, N.: "The human Eye: an intelligent optical sensor" in IFSA-Publishing, Barcelona, Spain (2014) http://www.sensorsportal.com/HTML/BOOKSTORE/Human_Eye.htm (open source)
- [4] Ewald, P.P.: "Crystal Optics for visible light and x-rays", *Review of Modern Physics* **37**(1), S. 46-56 (1965)
- [5] Rushton, W.A.H.: "Visual Pigments and Color Blindness", *Scient. Amer.*, **232** (3) S. 64-74 (1975)
- [6] Lauinger, N.: "Space grating optical structure of the retina and RGB-color vision" in *Applied Optics*, **56** (4), S. 1261-1265 (2017)
- [7] Lauinger, N.: "Space-grating optical interpretation of human color and scotopic vision" in *IFSA-Publishing 'Advances in Optics', in Vorbereitung*, (2017).