

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 1.       | Grundlagen des normalen Farbensehens . . . . .  | 13 |
| 1.1.     | Physikalische Reize . . . . .   | 13 |
| 1.2.     | Physiologische Grundlagen . . . . .   | 14 |
| 1.2.1.   | Prärezeptorielle Modifikationen des physikalischen Reizes . . . . .   | 14 |
| 1.2.2.   | Photorezeptoren . . . . .   | 14 |
| 1.2.2.1. | Photosensible Pigmente . . . . .  | 14 |
| 1.2.2.2. | Häufigkeit und Verteilung der 3 Zapfentypen . . . . .   | 15 |
| 1.2.2.3. | Trichromatisches Funktionsprinzip . . . . .   | 16 |
| 1.2.2.4. | Sonderstellung des Blau-Mechanismus . . . . .   | 16 |
| 1.2.2.5. | Stäbchen-Zapfen-Interaktionen . . . . .   | 17 |
| 1.2.3.   | Neurale Verarbeitung von Farbinformationen . . . . .  | 18 |
| 1.2.3.1. | Allgemeine Betrachtungen . . . . .  | 18 |
|          | – farbantagonistische Systeme – nicht-farbantagonistische Systeme   |    |
|          | – räumliche Organisation – zeitliche Organisation   |    |
| 1.2.3.2. | Mikroelektrophysiologische Untersuchungsergebnisse . . . . .  | 20 |
|          | – retinale Verschaltungen – Ebene der Rezeptoren (I. Neuron) –  |    |
|          | Ebene der Bipolaren (II. Neuron) – Ebene der retinalen Ganglienzellen (III. Neuron) – Ebene des Corpus geniculatum laterale (IV. Neuron) – Ebene des visuellen Cortex |    |
| 1.3.     | Psychologische und psychophysikalische Grundlagen . . . . .   | 27 |
| 1.3.1.   | Charakteristika der Farbempfindung . . . . .  | 27 |
| 1.3.1.1. | Farbton . . . . .   | 27 |
| 1.3.1.2. | Sättigung . . . . .   | 28 |
| 1.3.1.3. | Helligkeit . . . . .  | 29 |
| 1.3.2.   | Anzahl der wahrnehmbaren Farben . . . . .   | 30 |
| 1.3.3.   | Farbvalenz . . . . .  | 30 |
| 1.3.4.   | CIE-Normfarbtafel . . . . .   | 31 |
| 1.3.5.   | Veränderungen der Farbempfindungen unter verschiedenen Sehbedingungen . . . . .   | 33 |
| 1.3.6.   | Beziehungen zwischen physikalischen, psychophysikalischen und psychologischen Grundbegriffen . . . . .  | 33 |
| 2.       | Klassifikationen erworbener Farbsehstörungen . . . . .  | 35 |
| 2.1.     | Klassifikation nach KÖLLNER . . . . .   | 35 |
| 2.2.     | Klassifikationen nach der Farbtonunterscheidung und der relativen spektralen Hellempfindlichkeit . . . . .  | 37 |
| 2.2.1.   | Klassifikation nach JAEGER und GRÜTZNER . . . . .   | 37 |
| 2.2.2.   | Verriest-Klassifikation . . . . .   | 38 |
| 2.2.2.1. | Verriest-Typen erworbener Farbsehstörungen . . . . .  | 39 |
| 2.2.2.2. | Beziehungen zu kolorimetrischen Ergebnissen . . . . .   | 40 |
|          | – tri-, di- und monochromatische Stadien erworbener Farbseh-  |    |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
|           | störungen – Absorptions-, Alterations- und Reduktionssysteme (v. Kriessche Mechanismen)   |           |
| 2.2.3.    | Erweiterungen der Verriest-Klassifikation . . . . .   | 41        |
| 2.3.      | Klassifikation nach der Funktion der drei primären Farbsehmechanismen nach MARRÉ und MARRÉ . . . . .  | 42        |
| 2.4.      | Klassifikation postgenikulärer erworbener Farbsehstörungen .  | 45        |
| 2.5.      | Offene Fragen gegenwärtiger Klassifikationen . . . . .  | 45        |
| <b>3.</b> | <b>Charakteristika erworbener Farbsehstörungen . . . . .</b>  | <b>46</b> |
| 3.1.      | Definition und Vorkommen . . . . .  | 46        |
| 3.2.      | Stellung und Abgrenzung . . . . .   | 46        |
| 3.3.      | Unterschiede zwischen angeborenen und erworbenen Farbsehstörungen . . . . .   | 47        |
| 3.4.      | Konzepte erworbener Farbsehstörungen . . . . .  | 48        |
| 3.5.      | Abhängigkeit erworbener Farbsehstörungen von der Fixation .   | 48        |
| 3.5.1.    | Pathologische Exzentrisation der Fixation . . . . .   | 48        |
| 3.5.2.    | Abhängigkeit des Farbsehens vom Fixationsmodus . . . . .  | 49        |
| 3.5.3.    | Bezugssysteme für die Beurteilung erworbener Farbsehstörungen   | 50        |
| 3.5.3.1.  | Bezugssystem „normales Farbsehen des jeweiligen Fixationsareals“ . . . . .  | 50        |
| 3.5.3.2.  | Bezugssystem „normales Farbsehen bei foveolarer Fixation“ . .   | 51        |
| 3.5.4.    | Klinische Beurteilung erworbener Farbsehstörungen unter Bezug auf das „normale Farbsehen bei foveolarer Fixation“ . . . . .   | 51        |
| 3.5.4.1.  | Erworbene Farbsehstörungen bei Augen mit foveolarer Fixation  | 51        |
| 3.5.4.2.  | Erworbene Farbsehstörungen bei Augen mit exzentrischer Fixation . . . . .   | 51        |
|           | – erworbene Rot-Grün-Störungen bei exzentrischer Fixation – erworbene Blau-Gelb-Störungen bei exzentrischer Fixation – warum entwickeln bei exzentrischer Fixation Stargardtsche Dystrophien Rot-Grün-Störungen, aber senile Makuladegenerationen Blau-Gelb-Störungen? – Unterschiede zwischen Retina- und Optikuskrankungen mit exzentrischer Fixation |           |
| 3.6.      | Pathologische Änderung des Adaptationszustandes (Skotopisation) bei erworbenen Farbsehstörungen . . . . .   | 55        |
| 3.6.1.    | Verriest-Mechanismus der Skotopisation . . . . .  | 55        |
| 3.6.2.    | Differenzierung zwischen pathologischer Exzentrisation und Skotopisation . . . . .  | 55        |
| 3.6.3.    | Pathologische Exzentrisation und Skotopisation bei Retina- und Optikuskrankungen . . . . .  | 56        |
| 3.7.      | Abhängigkeit erworbener Farbsehstörungen von der Tiefenlokalisierung des Krankheitsprozesses . . . . .  | 57        |
| 3.8.      | Kombiniertes Konzept: Lokalisation – Fixation – Farbsehstörung . . . . .  | 58        |
| 3.9.      | Progression und Regression erworbener Farbsehstörungen . . .  | 59        |
| <b>4.</b> | <b>Klinische Tests zur Untersuchung erworbener Farbsehstörungen . . . .</b>   | <b>60</b> |
| 4.1.      | Pseudoisochromatische Tafeln . . . . .  | 60        |
| 4.1.1.    | Pseudoisochromatisches Prinzip . . . . .  | 60        |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 4.1.2.   | Problematik der Blau-Gelb-Tafeln . . . . .   | 62 |
| 4.1.3.   | Typen pseudoisochromatischer Tafeln . . . . .  | 62 |
| 4.1.4.   | Durchführung der Untersuchung . . . . .  | 62 |
| 4.1.5.   | Sammlungen mit Blau-Gelb-Tafeln . . . . .  | 62 |
| 4.1.5.1. | American Optical Company Plates (AO H-R-R-Tafeln) . . . . .  | 62 |
| 4.1.5.2. | Tokyo Medical College Test (TMC Test) . . . . .  | 63 |
| 4.1.5.3. | Velhagen-Tafeln . . . . .  | 63 |
| 4.1.5.4. | Rabkin-Tafeln . . . . .  | 63 |
| 4.1.5.5. | Farnsworth Tritan-Tafel (F <sub>2</sub> -Plate) . . . . .  | 64 |
| 4.1.5.6. | City University Color Vision Test . . . . .  | 64 |
| 4.1.5.7. | Standard-Pseudoisochromatic-Plates (SPP Test) . . . . .  | 65 |
| 4.1.5.8. | Dvorine-Tafeln . . . . .   | 65 |
| 4.1.5.9. | FVS Test . . . . .   | 65 |
| 4.2.     | Farbfleck-Legetests . . . . .  | 66 |
| 4.2.1.   | Prinzip und Wirkungsweise . . . . .  | 66 |
| 4.2.2.   | Farnsworth-Munsell 100-Hue Test . . . . .  | 66 |
|          | Testaufbau   |    |
|          | Testdurchführung und Dokumentation   |    |
|          | Bewertung der Ergebnisse   |    |
|          | Befunde bei erworbenen Farbensehstörungen  |    |
|          | Hinweise zur Anwendung des Tests   |    |
| 4.2.3.   | Farnsworth Dichotomous Test for Color Blindness Panel D-15<br>(Standard Panel D-15 Test) . . . . . | 75 |
|          | Testaufbau, Testdurchführung und Dokumentation   |    |
|          | Bewertung der Ergebnisse   |    |
|          | Ergebnisse bei erworbenen Farbensehstörungen   |    |
|          | Hinweise zur Anwendung des Tests   |    |
| 4.2.4.   | Lanthony Panel D-15 Désaturé Test . . . . .  | 81 |
|          | Testaufbau, Testdurchführung und Dokumentation   |    |
|          | Bewertung der Ergebnisse   |    |
|          | Ergebnisse bei erworbenen Farbensehstörungen   |    |
|          | Hinweise zur Anwendung des Tests   |    |
| 4.2.5.   | Lanthony New Color Test (NCT) . . . . .  | 83 |
|          | Testaufbau   |    |
|          | Testdurchführung und Dokumentation   |    |
|          | Bewertung der Ergebnisse   |    |
|          | Befunde bei erworbenen Farbensehstörungen  |    |
|          | Hinweise zur Anwendung   |    |
| 4.2.6.   | Roth 28-Hue Test . . . . .   | 87 |
|          | Testaufbau, Testdurchführung und Dokumentation   |    |
|          | Bewertung der Ergebnisse   |    |
|          | Ergebnisse bei erworbenen Farbersehstörungen   |    |
|          | Hinweise zur Anwendung   |    |
| 4.2.7.   | Seki-Ohta 40-Hue Test . . . . .  | 89 |
| 4.2.8.   | Lanthony 40-Hue Test . . . . .   | 89 |
| 4.2.9.   | Lanthony Blue-Vert Test . . . . .  | 89 |
| 4.2.10.  | Lightness Discrimination Test von VERRIEST, UVIJLS, ASPINALL<br>und HILL (LDT) . . . . .           | 89 |
| 4.3.     | Anomaloskope . . . . .   | 90 |
| 4.3.1.   | Anomaloskop nach NAGEL Modell I . . . . .  | 91 |
| 4.3.1.1. | Aufbau . . . . .   | 91 |
| 4.3.1.2. | Durchführung der Untersuchung . . . . .  | 91 |
| 4.3.1.3. | Dokumentation . . . . .  | 92 |
| 4.3.1.4. | Normalwerte . . . . .  | 93 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 4.3.1.5.  | Befunde bei erworbenen Farbensehstörungen . . . . .   | 94         |
|           | – Pseudoprotanomalie – erweiterte absolute und relative Einstellbreite bei angenommener Mittelnormgleichung   |            |
| 4.3.2.    | Anomaloskop nach NAGEL Modell II, Tritoskop nach TRENDELENBURG und Tritanomaloskop nach JAEGER . . . . .  | 99         |
| 4.3.3.    | Pickford-Nicolson-Anomaloskop . . . . .   | 100        |
| 4.3.4.    | Anomaloskop AN-59 . . . . .   | 100        |
| 4.3.5.    | Besançon Anomalometer . . . . .   | 101        |
| 4.3.6.    | Richters Spektrottest . . . . .   | 102        |
| 4.3.7.    | Moreland-Anomaloskop . . . . .  | 103        |
| 4.3.8.    | Neuentwicklungen . . . . .  | 103        |
| 4.4.      | Sonstige klinische Tests . . . . .  | 103        |
| 4.4.1.    | Stereokampimeter nach HARTZ . . . . .   | 103        |
| 4.4.2.    | Umazume-Ohta Central Scotometric Plates (U-O-Test) . . . . .  | 104        |
| 4.4.3.    | Davidson-Hemmendinger Color Rule . . . . .  | 104        |
| <b>5.</b> | <b>Labormethoden zur Untersuchung erworbener Farbensehstörungen . . . . .</b>   | <b>105</b> |
| 5.1.      | Untersuchung komplexer Funktionen des Farbensehens . . . . .  | 105        |
| 5.1.1.    | Spektrale Farbtonunterscheidung ( $\Delta\lambda(\lambda)$ -Kurve) . . . . .  | 105        |
| 5.1.2.    | Spektrale Sättigungsunterscheidung . . . . .  | 109        |
| 5.1.3.    | Spektrale Neutralstreckenbestimmung . . . . .   | 110        |
| 5.1.4.    | Farbbenennungstest nach BOYNTON . . . . .   | 111        |
| 5.1.5.    | Erweiterte Rayleigh-Gleichungen . . . . .   | 112        |
| 5.1.6.    | Feldgrößeneffekt auf Farbengleichungen . . . . .  | 113        |
| 5.1.7.    | Stiles-Crawford-Effekt . . . . .  | 117        |
| 5.1.8.    | Spektrale Sensitivität . . . . .  | 117        |
| 5.1.8.1.  | Absolute spektrale Sensitivität . . . . .   | 117        |
| 5.1.8.2.  | Achromatische und chromatische Sensitivität, photochromatisches Intervall . . . . .   | 117        |
| 5.1.8.3.  | Relative spektrale Hellempfindlichkeitskurve ( $V(\lambda)$ -Kurve) . . . . .   | 117        |
| 5.2.      | Untersuchung einzelner Komponenten des Farbensehens . . . . .   | 119        |
| 5.2.1.    | Chromatische Dunkeladaptometrie . . . . .   | 119        |
| 5.2.2.    | Zuwachsschwellen-Technik . . . . .  | 121        |
| 5.2.2.1.  | Stiles' Zweifarben-Schwellen-Technik: Zuwachsschwellen-Technik mit monochromatischen Reizen auf monochromatischem Hintergrund . . . . .   | 122        |
| 5.2.2.2.  | Wald-Marré-Technik: Zuwachsschwellen-Technik mit monochromatischen Reizen auf breitbandigem chromatischen Hintergrund – Walds psychophysikalischer Nachweis der 3 Zapfensehpigmente – quantitative Bestimmung der Funktionstüchtigkeit der 3 primären Farbensehmechanismen bei erworbenen Farbensehstörungen – Normalwerte der 3 primären Farbensehmechanismen bei foveolarer und exzentrischer Fixation – Ergebnisse bei angeborenen Farbensehstörungen – Ergebnisse bei erworbenen Farbensehstörungen | 124        |
| 5.2.2.3.  | Sperling-Verriest-Technik: Zuwachsschwellentechnik mit monochromatischen Reizen auf achromatischem Hintergrund . . . . .  | 130        |
| 5.2.2.4.  | King-Smith-Technik: Zuwachsschwellen-Technik mit monochromatischen Reizen unterschiedlicher Frequenz auf achromatischem Hintergrund . . . . .   | 134        |
| 5.2.2.5.  | Transitorische Tritanopie . . . . .   | 135        |
| 5.3.      | Perimetrische Untersuchung erworbener Farbensehstörungen . . . . .  | 136        |
| 5.3.1.    | Klassische Farbperimetrie mit kinetischen Projektionsperimetern . . . . .   | 136        |
| 5.3.2.    | Moderne Formen der Farbperimetrie . . . . .   | 137        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 5.3.2.1.  | Perimetrische Untersuchung des skotopischen und des photopischen Systems . . . . . | 138        |
| 5.3.2.2.  | Perimetrische Untersuchung der 3 Farbsehmechanismen . . . . .                      | 138        |
| 5.3.2.3.  | Perimetrische Untersuchung der farbopponenten Systeme . . . . .                    | 139        |
| 5.3.2.4.  | Klinische Anwendung . . . . .  | 140        |
| 5.4.      | Elektrophysiologische Untersuchung erworbener Farbsehstörungen . . . . .           | 141        |
| 5.4.1.    | ERG und erworbene Farbsehstörungen . . . . .                                       | 141        |
| 5.4.1.1.  | Ganzfeld-ERG . . . . .   | 141        |
| 5.4.1.2.  | Lokales ERG . . . . .  | 141        |
| 5.4.2.    | VECP und erworbene Farbsehstörungen . . . . .                                      | 142        |
| <b>6.</b> | <b>Diagnostik erworbener Farbsehstörungen . . . . .</b>                            | <b>145</b> |
| 6.1.      | Indikationen zur Untersuchung des Farbsehens . . . . .                             | 145        |
| 6.1.1.    | Vollständige Fallbeschreibung . . . . .  | 145        |
| 6.1.2.    | Prophylaxe . . . . .   | 145        |
| 6.1.3.    | Frühdiagnostik . . . . .   | 145        |
| 6.1.4.    | Differentialdiagnostik . . . . .   | 145        |
|           | Differentialdiagnostik zwischen Retina- und Optikuskrankungen                      |            |
|           | Differentialdiagnostik innerhalb der Retina- und Optikuskrankungen                 |            |
| 6.1.5.    | Verlaufskontrollen . . . . .   | 146        |
| 6.1.6.    | Beurteilung der Berufstauglichkeit . . . . .                                       | 146        |
| 6.2.      | Untersuchungsbedingungen . . . . .   | 148        |
| 6.2.1.    | Klinische Tests . . . . .  | 148        |
|           | Beleuchtung  |            |
|           | Testunterlage  |            |
|           | Farbige Kontaktlinsen  |            |
| 6.2.2.    | Labormethoden . . . . .  | 151        |
| 6.3.      | Testauswahl und Testbatterien . . . . .  | 152        |
| 6.3.1.    | Testbatterien für angeborene Farbsehstörungen . . . . .                            | 152        |
| 6.3.2.    | Testbatterien für erworbene Farbsehstörungen . . . . .                             | 152        |
| 6.3.2.1.  | Screening für erworbene Farbsehstörungen . . . . .                                 | 153        |
| 6.3.2.2.  | Qualitative und quantitative Diagnostik für erworbene Farbsehstörungen . . . . .   | 153        |
| 6.3.2.3.  | Testauswahl bei Kindern und bei geistig Retardierten . . . . .                     | 155        |
| 6.4.      | Interpretation der Untersuchungsergebnisse . . . . .                               | 155        |
| 6.4.1.    | Typische Befunde bei erworbenen Farbsehstörungen . . . . .                         | 155        |
| 6.4.1.1.  | Verriest-Typ III erworbene Blau-Gelb-Störung . . . . .                             | 155        |
| 6.4.1.2.  | Verriest-Typ I erworbene Rot-Grün-Störung . . . . .                                | 159        |
| 6.4.1.3.  | Verriest-Typ II erworbene Rot-Grün-Störung . . . . .                               | 160        |
| 6.4.2.    | Abgrenzung pathologischer Befunde von der Altersnorm . . . . .                     | 162        |
| 6.4.3.    | Befunde ohne sichere Achse . . . . .   | 163        |
| 6.4.4.    | Unterschiedliche und scheinbar widersprüchliche Testaussagen . . . . .             | 163        |
| 6.5.      | Chromatopsien . . . . .  | 164        |
| <b>7.</b> | <b>Literatur . . . . .</b>   | <b>167</b> |
| <b>8.</b> | <b>Abbildungsnachweis . . . . .</b>  | <b>181</b> |
| <b>9.</b> | <b>Sachwortverzeichnis . . . . .</b>   | <b>183</b> |