

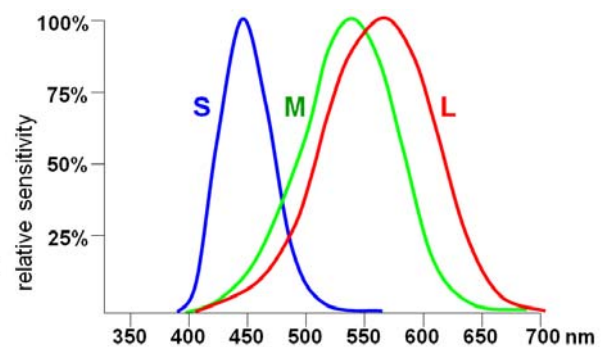
## Farbblindheit und Farbfehlsichtigkeit

Unter Farbblindheit versteht man einen Defekt an der Netzhaut, bei dem mindestens einer von drei Farbrezeptoren betroffen ist. Etwa 0,4% der Frauen und 8% der Männer sind von einer solchen Farbblindheit bzw. Farbfehlsichtigkeit betroffen. Farbblindheit ist genetisch vererbt, ist keine Krankheit sondern ein Defekt, es gibt keine Behandlungsmöglichkeiten und keine Besserungsaussichten. Verantwortlich dafür ist das X-Chromosom, welches rezessiv geschlechtsgebunden vererbt wird. Somit kann ein Urgroßvater seine Farbblindheit über seine Tochter an seinen Enkelsohn weitervererben. Bei Frauen liegt die Rate von einer Farbfehlsichtigkeit derart niedrig, da bei Mädchen das fehlerhafte X-Chromosom korrigiert wird. Bei Buben ist das nicht möglich. Mädchen sind meistens nur von Farbstörungen betroffen, wenn beide Elternteile eine Farbfehlsichtigkeit haben, und daher das fehlerhafte X-Chromosom nicht korrigiert werden kann.

Ein normalsichtiger Mensch sieht mit drei verschiedenen Farbrezeptoren und gehört daher zur Kategorie *Trichromasie*. Bei dieser Art, dem normalen Farbsehen, sind in der Fovea hauptsächlich Rot- und Grün-Zapfen untergebracht. Außerhalb des gelben Flecks sind Stäbchen und mehrheitlich Blau-Zapfen zu finden.



Verteilung der Zapfen auf der Retina



Sensitivitätskurve bei Trichromasie

### Arten von Farbfehlsichtigkeit

Die Arten der Farbblindheiten werden aufgrund der fehlenden Rezeptoren (Zapfen) auf der Netzhaut (Retina) bestimmt. Grundsätzlich gibt es drei verschiedene Kategorien:

#### *Monochromasie (~0.001%)*

##### ► Stäbchen-Monochromasie

Bei einer Stäbchen-Monochromasie gibt es auf der Netzhaut keinerlei Zapfen. Diese Variante wird oft auch als Achromatopsie (totale Farbblindheit) bezeichnet. Es ist nicht möglich farbig zu sehen. Es kann lediglich zwischen Graustufen unterschieden werden. Diese entstehen durch den Helligkeitswert, den die Farben besitzen. Ein Monochromat kann ca. 500 Helligkeitsabstufungen unterscheiden. Da keinerlei Stäbchen in der Fovea sind und die Zapfen generell fehlen, ist es auch nicht möglich scharf zu sehen.



links: normales Sehen, rechts: Monochromasie  
Fovea beinhaltet keine Zapfen (und keine Stäbchen)



### ▶ Zapfen-Monochromasie

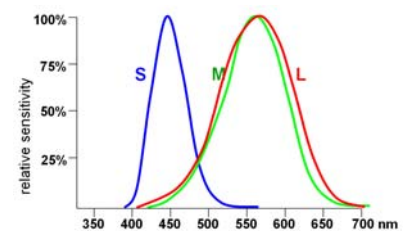
Bei dieser Fehlsichtigkeit gibt es auf der Netzhaut sowohl Stäbchen als auch Zapfen, aber im Vergleich zu einem normalsichtigen Menschen nur eine Art von Zapfen (Farbrezeptoren). Durch diesen einen Zapfentyp hat man die Möglichkeit, Muster unter guten Lichtverhältnissen zu erkennen, sehen jedoch in der Dunkelheit wie Personen mit einer Stäbchen-Monochromasie. Hat man nur eine Art von Zapfen, ist es nicht möglich Farbe zu sehen. Man sieht alles in Grautönen (Schwarz-Weiß in verschiedenen Helligkeitsabstufungen).

### Dichromasie

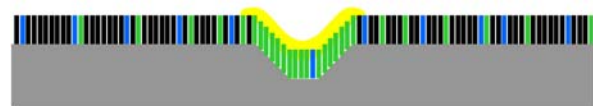
Bei Dichromasie sind auf der Retina entweder nur zwei Arten von Zapfen vorhanden oder es existieren alle drei, jedoch funktioniert ein Zapfentyp nicht. Dadurch verringert sich das Farbsehen auf einen 2-dimensionalen Bereich. Je nachdem welche Rezeptoren fehlen bzw. defekt sind spricht man von: Protanopie, Deutanopie und Tritanopie. Die ersten beiden werden auch als Rot-Grün-Blindheit und Tritanopia als Gelb-Blau-Blindheit bezeichnet.

#### ▶ Protanopie – fehlende/defekte L-Zapfen

In dieser Variante ist es nicht möglich, eintreffende Photonen mit den L-Zapfen (rote Farbtöne) zu verarbeiten. Das hat zur Folge, dass Rot und Grün nicht unterschieden werden können, mit einer etwas höheren Empfindlichkeit Richtung Grün. Blaue Farbtöne werden einigermaßen normal gesehen, während Grün und Rot zu einer Farbe verschmelzen, die man sich als gräuliches Gelb vorstellen kann. Diese Art von Farbblindheit ist sehr geschlechtsbezogen und fast ausschließlich bei Männern (1%) zu finden.

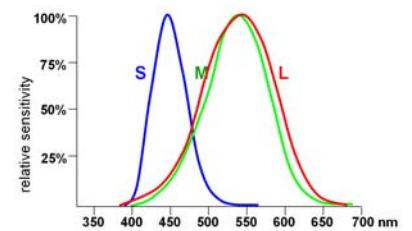


links: Trichromasie, rechts: Protanopie

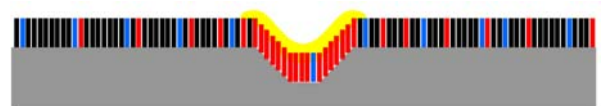


#### ▶ Deutanopia – fehlende/defekte M-Zapfen

Durch die fehlenden M-Zapfen ist es nicht möglich, das Licht mit Mittelwellen (grüne Farbtöne) getrennt zu verarbeiten. Das hat zur Folge, dass Rot und Grün nicht unterschieden werden können, mit einer etwas höheren Empfindlichkeit Richtung Rot. Blaue Farbtöne werden einigermaßen normal gesehen, während Grün und Rot zu einer Farbe verschmelzen, die man sich als bräunliches Gelb vorstellen kann. Auch diese Art von Farbblindheit ist sehr geschlechtsbezogen und fast ausschließlich bei Männern (1%) zu finden.

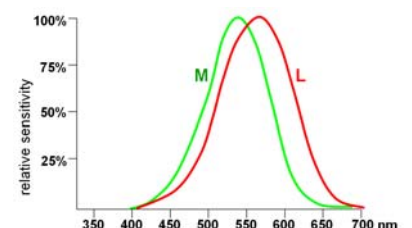


links: Trichromasie, rechts: Deutanopie

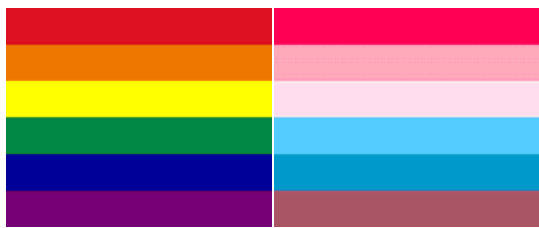


#### ▶ Tritanopie – fehlende/defekte S-Zapfen

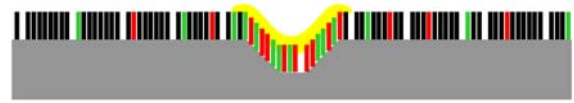
Die dritte Art der Dichromasie entsteht durch das Fehlen der S-Zapfen, welche das Licht kurzer Wellenlänge verarbeiten (blaue Farbtöne). Tritanopen können Blau nicht von Grün und Gelbgrün nicht von Grau unterscheiden. Diese Variante ist äußerst selten zu finden. Weniger als



0,1% der Männer und Frauen haben diese Farbblindheit.



links: Trichromasie, rechts: Tritanopie



Verteilung der Zapfen auf der Retina

### **Anomale Trichromasie** (abweichende Trichromasie)

Bei einer abweichenden Trichromasie sind auf der Retina wie bei der normalen Trichromasie alle Zapfenarten vorhanden. Jedoch treten hier aufgrund von verschiedenen Anomalien bei einzelnen Zapfenarten veränderte spektrale Empfindlichkeitskurven auf. Daher werden Farben anders als bei der Mehrheit der Menschen wahrgenommen, meist unter Verringerung des unterscheidbaren Farbspektrums. Auch hier wird wieder aufgrund der betroffenen Zapfenzellen unterschieden:

#### ► *Protanomalie*

Die L-Zapfen sind hier leicht modifiziert. Die L-Sensitivitätskurve (Rot) ist hier etwas in den kurzwelligeren Bereich verschoben, als es bei einer normalen Retina der Fall ist. Geht das so weit, dass sich die L- und M-Sensitivitätskurve überdecken, so kann nicht mehr zwischen den Farben Rot und Grün unterschieden werden. Sind diese nicht komplett überlagert, ist es nur schwerer möglich zwischen den Farben Rot und Grün zu unterscheiden. Wesentlich mehr Männer (1%) als Frauen sind davon betroffen. Sowohl Protanomalie als auch Deutanomalie wird durch das X-Chromosom übertragen.

#### ► *Deutanomalie*

Bei dieser Variante ist die M-Sensitivitätskurve (Grün) in Richtung des roten Endes des Farbspektrums verschoben. Dies ist die häufigste aller auftretenden Farbsehschwächen. Ungefähr 6% aller Männer und 0,4% der Frauen leiden an diesem Defekt. Wie bei der Protanomalie ist es auch hier nur viel schwerer möglich zwischen Rot und Grün zu unterscheiden.

#### ► *Tritanomalie*

Bei Tritanomalie ist die Sensitivitätskurve der S-Zapfen in den grünlichen Bereich des Spektrums gerückt. Tritanomalie ist eine sehr seltene Farbschwäche, nur ungefähr 0,01% der Menschen leiden darunter. Diese Farbschwäche wird nicht durch das X-Chromosoms genetisch vererbt.

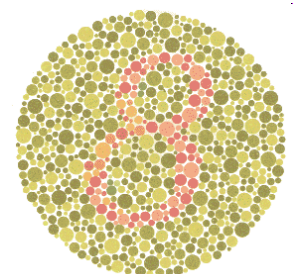
### **Farbfehlsichtigkeits-Tests**

Um festzustellen ob man Farbblind ist bzw. eine Farbschwäche hat gibt es verschiedene Tests. Klassische Tests werden mit gedruckten Farbtafeln durchgeführt, der bekannteste ist hier der Ishihara-Test, modernere Tests gibt es auch mit technischen Geräten und Computern, diese bezeichnet man oft als Anomaloskope.

#### ► *Ishihara* Farbfehlsichtigkeitstest (1917)

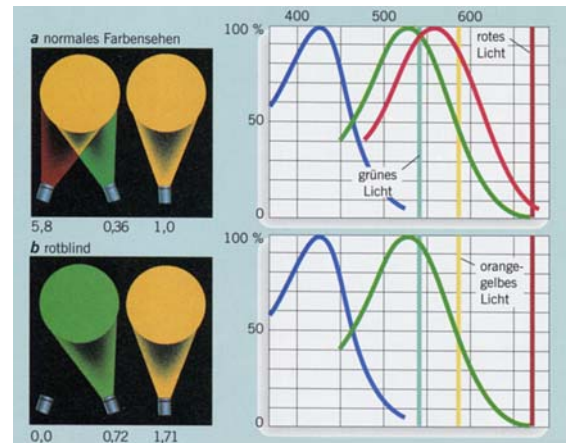
Dieser Test wurde vom japanischen Augenarzt Ishihara Shinobu entwickelt. Es werden dem Probanden verschiedene Testplatten gezeigt, auf denen je nach Farbblindheit verschiedene Dinge zu erkennen sind. So sind meist Zahlen oder Symbole in verschiedenen Farben gedruckt, die vom Probanden vom Hintergrund unterschieden werden können oder nicht. Prinzipiell gibt es vier verschiedene Arten solcher Testplatten:

- *transformation plates*: Betrachter mit Sehschwächen geben unterschiedliche Antworten.
- *disappearing digit plates*: nur Personen ohne Farbfehlsichtigkeit können eine Zahl erkennen.
- *hidden digit plates*: nur Personen mit Farbfehlsichtigkeit können eine Zahl erkennen.
- *qualitative plates*: diese Platten dienen zur Unterscheidung zwischen deutanen und protanen Farbschwächen.



### ► Anomaloskope

Um zum Beispiel einen Probanden auf eine Rot-Grün-Schwäche testen, sieht die Person durch ein Okular auf zwei kreisförmige Testfelder. Der linke Kreis besteht aus einer Mischung aus Rot und Grün, während der zweite Kreis aus reinem Gelb besteht. Die Aufgabe besteht darin, den linken Kreis gleich zu färben wie den rechten Kreis, indem die Rot- und Grünanteile eingestellt werden. Eine Person mit einer Grünschwäche (Deuteranomalie) wird mehr Grün dazumischen während eine Person mit einer Rotschwäche (Protanomalie) mehr Rot dazu mischt. Weiters gibt es auch Anomaloskope, die die Blau-Sehfähigkeit testen.



### Beispiel für Farbfehlsichtigkeit

