

1 Der Aufbau des menschlichen Auges

## Farben sehen

Wenn du schläfst, kannst du im Traum Bilder wie in einem Film ablaufen sehen. Siehst du dann auch Farben? Viele Menschen sagen, dass sie farbig träumen – und das bei geschlossenen Augen.

### Licht – durch die Pupille auf die Netzhaut

Alle Gegenstände, die uns umgeben, werfen Licht zurück. Wenn du zum Beispiel einen Apfel anschaut, fällt das Licht, das er zurückwirft, durch die **Pupille** ins Innere

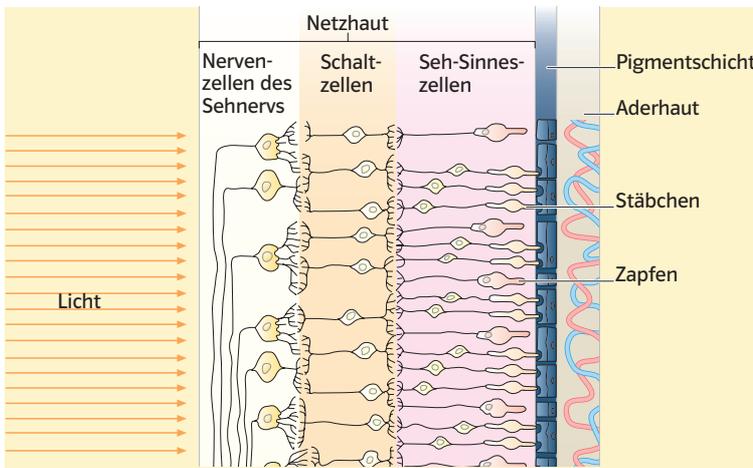
deines Auges (▷ B1). Über die **Linse** und den **Glaskörper** gelangt es bis auf die **Netzhaut**. Die dunkle **Pigmentschicht** dahinter „schluckt“ störendes Streulicht.

### Stäbchen und Zapfen

Die Netzhaut besteht aus verschiedenen Zellen (▷ B2). Die Seh-Sinneszellen liegen unmittelbar vor der Pigmentschicht. Es gibt zwei Typen von Seh-Sinneszellen: Die **Stäbchen** sind sehr lichtempfindlich. Sie sind für das Hell-Dunkel-Sehen zuständig. Die **Zapfen** sind viel weniger lichtempfindlich als die Stäbchen. Sie reagieren auf die verschiedenen Wellenlängen des Lichts und sind für das Farbsehen zuständig.

### Impulse – von der Netzhaut zum Gehirn

Stäbchen und Zapfen enthalten Seh-Farbstoffe, die durch Licht-Reize zerfallen. Dabei werden **elektrische Impulse** erzeugt. Die elektrischen Impulse werden über die Schaltzellen an die Nervenzellen des Sehnervs weitergeleitet (▷ B2). Über den Sehnerv gelangen die elektrischen Impulse ins Gehirn, wo sie verarbeitet werden. Erst das Gehirn erzeugt ein farbiges Bild – zum Beispiel das Bild eines Apfels.



2 Aufbau der Netzhaut

Ist der Seh-Farbstoff in einer Seh-Sinneszelle vollständig zerfallen, kann die Seh-Sinneszelle nicht mehr auf Licht-Reize reagieren. Der Seh-Farbstoff muss zuerst wieder neu aufgebaut werden. Erst danach ist die Seh-Sinneszelle wieder empfindlich.

### Licht und Lichtspektrum

Das Sonnenlicht setzt sich aus Licht verschiedener Wellenlängen zusammen. Zerlegt man es in die einzelnen Wellenlängen, erhält man das **Lichtspektrum** (> B3): Unterschiedliche Wellenlängen nehmen wir als unterschiedliche Farben wahr. Diese Farben nennt man **Spektralfarben**. Sie lassen sich zum Beispiel bei einem Regenbogen beobachten. Alle Wellenlängen zusammen nehmen wir als Weiß oder Grau wahr. Wie kommt das zustande?

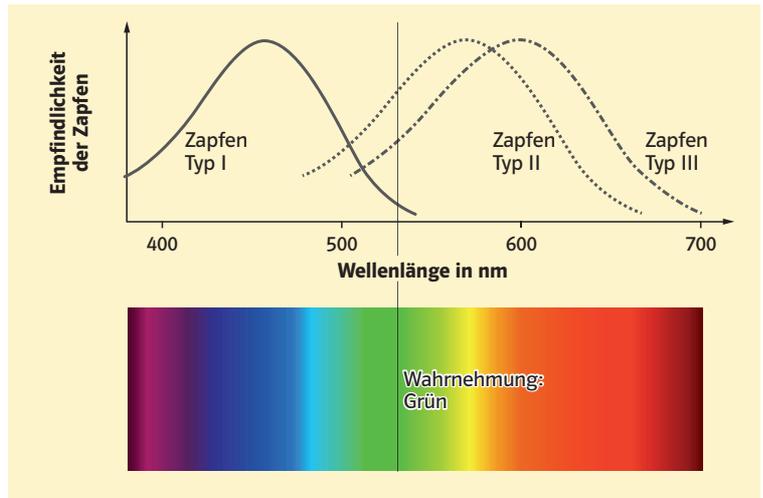
### Drei Zapfen-Typen zum Farbsehen

Man unterscheidet drei Zapfen-Typen. Sie enthalten verschiedene Seh-Farbstoffe und sind für unterschiedliche Wellenlängen empfindlich (> B3). Das Farbsehen ergibt sich aus der unterschiedlichen Erregung der drei Zapfen-Typen: Ist zum Beispiel der Zapfen-Typ II stark erregt, der Zapfen-Typ III etwas schwächer und der Zapfen-Typ I sehr schwach, nehmen wir Grün wahr (> B3). Sind alle drei Zapfen-Typen gleich stark erregt, sehen wir abhängig von der Lichtstärke Weiß oder Grau.

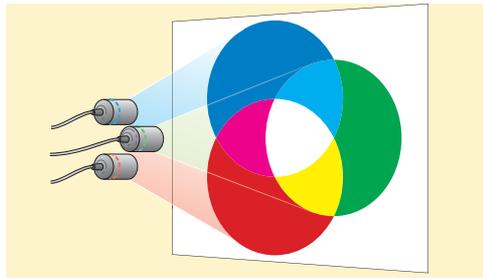
### Komplementär-Farben

Der Farbeindruck Weiß lässt sich auch mit Licht der Spektralfarben Rot, Grün und Blau erzeugen (> B4). Man nennt diese Farben deshalb **Grundfarben**. Mischt man zwei Grundfarben, so ergibt sich eine neue Farbe. Diese Mischfarbe ergibt zusammen mit der dritten Grundfarbe wieder Weiß. Zwei Farben, die zusammen Weiß ergeben, bezeichnet man als **Komplementär-Farben**.

**In der Netzhaut des Auges gibt es drei Zapfen-Typen. Aus der Kombination der Impulse der verschiedenen Zapfen-Typen erzeugt das Gehirn ein farbiges Bild.**



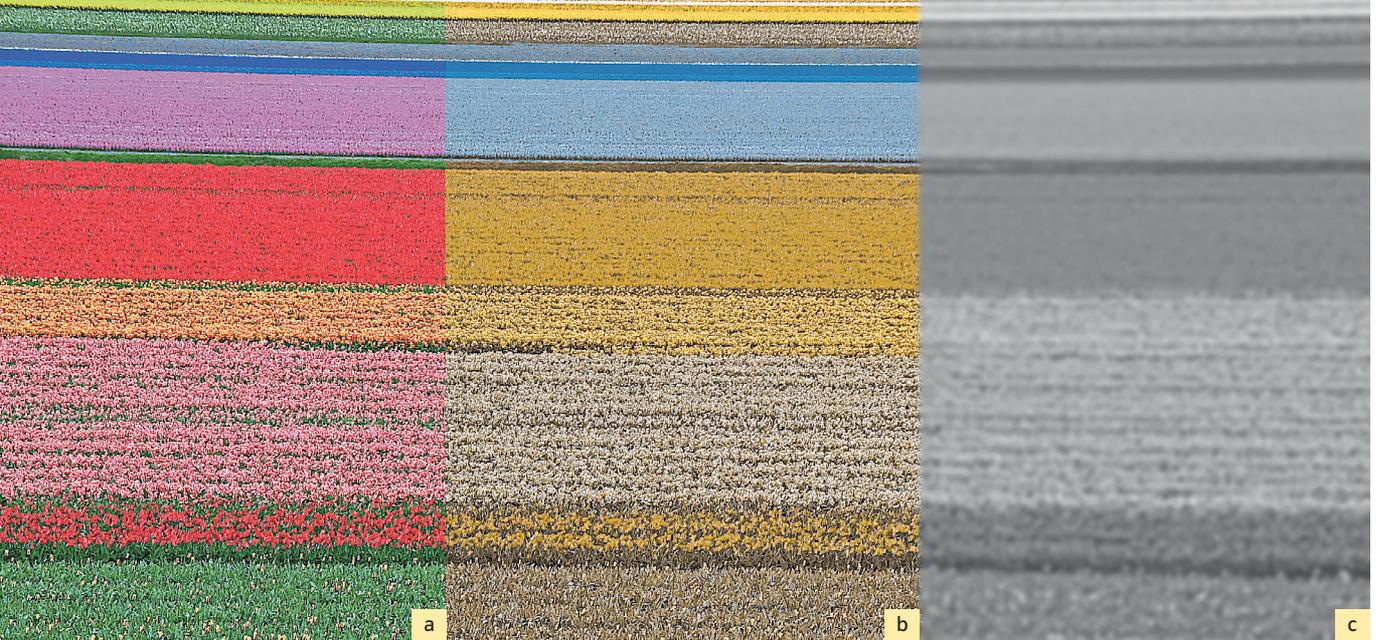
3 Lichtspektrum und Empfindlichkeit der Zapfen-Typen



4 Licht mischen: Drei Grundfarben oder zwei Komplementär-Farben ergänzen sich zu Weiß.

## AUFGABEN

- 1 ○ Nenne die Seh-Sinneszellen und ihre Funktion.
- 2 ● Beschreibe die Vorgänge im Auge und im Gehirn, die beim Sehen eines Apfels ablaufen.
- 3 ● Im Alltag sagt man zum Beispiel „Der Apfel ist grün“ oder „Das Licht ist rot“. Erkläre, was eigentlich damit gemeint ist.
- 4 ● Die drei Zapfen-Typen werden folgendermaßen erregt: Zapfen-Typ III mittel, Zapfen-Typ II schwach, Zapfen-Typ I gar nicht. Lies aus Bild 3 ab, welcher Farbeindruck entsteht.
- 5 ● Nenne die Komplementär-Farbe zur Grundfarbe Blau und erläutere, was man unter Komplementär-Farben versteht.
- 6 ● Formuliere eine Hypothese, warum Menschen im Traum Farben sehen können.



1 Buntet Tulpenfeld (a): Menschen mit Rot-Grün-Sehchwäche (b) oder mit völliger Farben-Blindheit (c) sehen es anders.

## Gestörte Farb-Wahrnehmung

Ein wunderschöner Frühlingstag: Der Himmel ist strahlend blau, im Garten blühen bunte Blumen, das Laub der Bäume ist leuchtend grün. Stell dir vor, du könntest diese Farben nicht sehen.

### Farb-Sehchwäche

Für das Farbsehen sind die Zapfen in der Netzhaut des Auges zuständig (► S.109). Funktioniert ein Zapfen-Typ nicht richtig, entsteht eine Farb-Sehchwäche. Am häufigsten ist die **Rot-Grün-Sehchwäche** (► B 1b). Sie tritt bei Männern viel häufiger auf als bei Frauen und kann bei betroffenen Personen unterschiedlich stark ausgeprägt sein. Im Alltag machen sich Farb-Sehschwächen meist kaum bemerkbar. Es gibt aber einige Berufe, bei denen das Farbsehen wichtig ist. Wer zum Beispiel Busfahrer, Pilot oder Polizist werden möchte, muss einen Farb-Sehtest machen.

### Farben-Blindheit

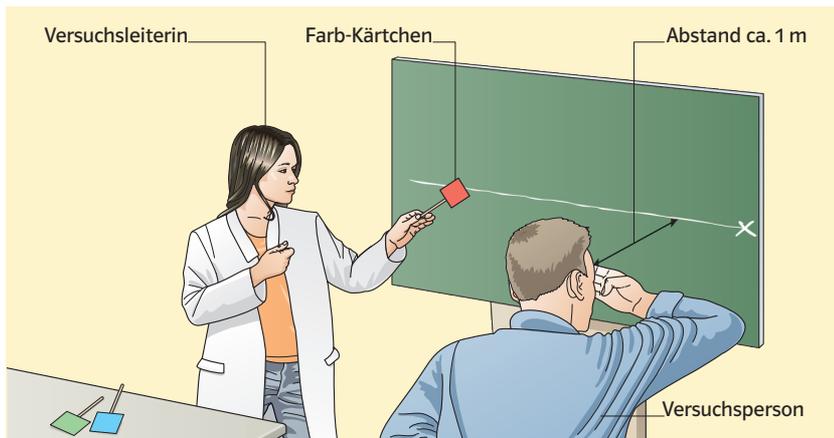
Wenn alle drei Zapfen-Typen nicht funktionieren, tritt völlige **Farben-Blindheit** auf. Daneben kann auch eine Gehirnschädigung zu Farben-Blindheit führen. Betroffene nehmen nur Schwarz-Weiß und

Grautöne wahr. Außerdem sehen sie sehr schlecht und sind extrem lichtempfindlich. Das führt zu verschiedenen Schwierigkeiten und Einschränkungen im alltäglichen Leben.

**Wenn ein Zapfen-Typ nicht richtig funktioniert, entsteht eine Farb-Sehchwäche. Am häufigsten ist die Rot-Grün-Sehchwäche. Fallen alle drei Zapfen-Typen aus, ist völlige Farben-Blindheit die Folge.**

## AUFGABEN

- 1 ○ Erläutere die Begriffe Rot-Grün-Sehchwäche und Farben-Blindheit.
- 2 ● Rot ist eine Warnfarbe im Straßenverkehr. Begründe, warum Menschen mit Rot-Grün-Sehchwäche dennoch meist gut im Straßenverkehr zurechtkommen.
- 3 ● Menschen mit Rot-Grün-Sehchwäche können Violett und Türkis oft nicht unterscheiden. Finde eine Erklärung dafür.



1 Zu Versuch B

## Farbig oder grau?

### A Alle Katzen grau ...

Bei diesem Versuch untersuchst du die Farb-Wahrnehmung bei verschiedenen Lichtstärken. Dazu muss sich der Arbeitsraum völlig abdunkeln lassen.



#### Du brauchst

4 DIN-A4-Bögen farbiges Tonpapier (rot, gelb, grün und blau), Schere, Klebeband, dimmbare Lampe (möglichst mit Skala am Dimm-Schalter)

#### Versuchsanleitung

- Schneide aus jedem der Tonpapier-Bögen einen 30 cm hohen Buchstaben aus.
- Klebe die vier Buchstaben an die Wand oder an die Tafel.
- Drehe den Dimm-Schalter der Lampe auf die niedrigste Stufe und schalte die Lampe ein.
- Verdunkle den Raum vollständig.

- Erhöhe nun die Lichtstärke ganz langsam.
- Notiere, ab welcher Lichtstärke du die Buchstaben sehen kannst und wann und in welcher Reihenfolge die verschiedenen Farben erscheinen.

- a) Beschreibe die Versuchsergebnisse.
  - b) In manchen Bekleidungsstätten herrscht Dämmerlicht. Erläutere, welchen Nachteil das hat.
- Lies den Abschnitt „Stäbchen und Zapfen“ auf Seite 108. Erkläre dann das Sprichwort „Nachts sind alle Katzen grau“.
- Formuliere eine Vermutung, warum bestimmte Farben schon bei geringerer Lichtstärke erkennbar sind als andere.

### B Sehen im Randbereich



#### Du brauchst

3 Bögen Tonpapier (rot, blau, grün), Schere, Kleber, 3 Holz-Stäbchen, Kreide, Digitalkamera

#### Versuchsanleitung

- Schneide aus den Tonpapier-Bögen je ein quadratisches Kärtchen mit 3 cm Kantenlänge aus. Klebe je ein Kärtchen an das Ende eines Holz-Stäbchens.
- Ziehe in der Mitte der Wandtafel einen waagerechten Kreidestrich. Markiere dessen rechtes Ende mit einem Kreuz.
- Eine Versuchsperson stellt sich in 1 m Entfernung vor das Kreuz. Stelle das Kreuz auf deren Augenhöhe ein ( $\triangleright$  B1).
- Die Versuchsperson hält sich das rechte Auge zu und fixiert das Kreuz mit dem linken Auge.
- Führe nun eines der Farb-Kärtchen entlang des Kreidestriches vom linken Rand der Wandtafel langsam nach rechts. Die Versuchsperson ruft „1“, sobald sie das Farbkärtchen, „2“, wenn sie dessen Farbe, oder „3“, sobald sie andere Veränderungen wahrnehmen kann. Markiere die Stellen mit Kreide.
- Wiederhole den Versuch mit den anderen Kärtchen.

- a) Beschreibe das Ergebnis. Mache ein Foto davon.
  - b) Fertige ein Versuchsprotokoll an.
  - c) Werte das Versuchsergebnis aus. Lies dazu Material 1 auf Seite 114. Notiere Merksätze, die die Lage der Seh-Sinneszellen in der Netzhaut beschreiben.



1 Die Farben des Frühlings ...

## Mit Auge und Gehirn

### A Nachbilder

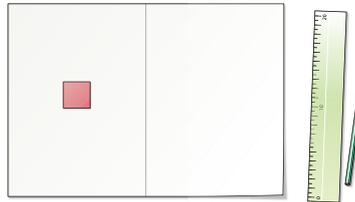


#### Du brauchst

1 weißes DIN-A4-Blatt, Lineal, Bleistift, 3 Bögen farbiges Tonpapier (rot, blau und grün), Schere

#### Versuchsanleitung

- a) Lege das weiße DIN-A4-Blatt quer vor dich hin und unterteile es mit einer senkrechten Linie in 2 Hälften (▷ B 2).
- b) Schneide aus jedem der Tonpapier-Bögen ein Quadrat aus (Kantenlänge 3 cm).
- c) Lege das rote Quadrat in die Mitte der linken Hälfte des weißen Blattes (▷ B 2) und schau es etwa 15 Sekunden lang an.
- d) Schau dann auf die rechte Hälfte des weißen Blattes.



2 Zu Versuch A

- 1
  - a) Beschreibe deine Beobachtung.
  - b) Lege eine Tabelle mit den Spalten „Bild“ und „Nachbild“ an. Notiere darin die Farbe des Quadrates und die beobachtete Farbe des Nachbildes.
  - c) Verfahre genauso mit den übrigen Quadraten.
- 2
  - Nimm Bild 4 auf Seite 109 zu Hilfe und formuliere den Zusammenhang zwischen Bild und Nachbild.

- 3
  - Lies den Text auf Seite 108/109 ab dem Abschnitt „Impulse – von der Netzhaut zum Gehirn“. Erkläre, wie Nachbilder entstehen.

### B Farb-Sehschwäche nachweisen

- 1
  - Lies auf Seite 110 nach und erlähre, wodurch eine Farb-Sehschwäche entsteht.
- 2
  - a) Die häufigste Farb-Sehschwäche ist die Rot-Grün-Sehschwäche. Entwickle einen Versuch, mit dem du die Rot-Grün-Sehschwäche nachweisen könntest.
  - b) Beschreibe die geplante Vorgehensweise und das erwartete Ergebnis.
- 3
  - a) Schau dir Material 2 auf Seite 114 an. Kannst du die Zahlen erkennen?
  - b) Erlähre, warum es wichtig ist, dass Zahlen und Umgebung auf den Farbtafeln die gleiche Graustufe haben.
- 4
  - a) Teste einige deiner Mitschüler mit den Farbtafeln und notiere die Ergebnisse.
  - b) Erlähre, warum es Menschen mit Rot-Grün-Sehschwäche schwerfällt, die Zahlen zu lesen.
- 5
  - Vergleiche den Farbtafel-Test mit deinem Versuch aus Aufgabe 2. Begründe mögliche Unterschiede.

### C Gleich oder doch verschieden?

- 1  a) Schau dir die Bilder von Material 3 auf Seite 114 an. Vergleiche die grauen Flächen in den beiden oberen Bildern miteinander. Notiere deine Eindrücke.
  - b) Verfahre genauso mit den roten Flächen in den beiden unteren Bildern.
- 2  a) Lies den Text von Material 3 auf Seite 114 durch.
  - b) Erkläre deine Ergebnisse aus Aufgabe 1.
- 3  Entwickle einen Versuch, mit dem du zeigen kannst, dass die beiden Grautöne und die beiden Rottöne in den Bildern tatsächlich gleich sind. Notiere, wie du vorgehst.
- 4  Notiere einen Merksatz, der die Kontrast-Verstärkung beschreibt.

### D Kontrast-Verstärkung nachweisen



#### Du brauchst

4 DIN-A4-Bögen farbiges Tonpapier (rot, gelb, grün und blau), Schere, Digitalkamera



3 Materialien für Versuch D

### Versuchsanleitung

Entwickle Versuche, mit denen du zeigen kannst, dass die Umgebungsfarbe die Farbwahrnehmung beeinflusst. Experimentiere dazu mit dem verschiedenfarbigen Tonpapier.

- 1  a) Beschreibe genau, wie du vorgehen möchtest.
  - b) Führe die Versuche durch.
- 2  a) Dokumentiere alle deine Versuche mit Fotos. Tipp: Fotografiere bei guter Beleuchtung genau von oben.
  - b) Drucke die Fotos der besten Versuche aus.
- 3  a) Lies dir den Text von Material 3 auf Seite 114 durch.
  - b) Erstelle ein Info-Plakat zu deinen Versuchen. Verwende auch deine Fotos dazu.
- 4  Fertige eine genaue Versuchsbeschreibung an, damit andere Schüler deine Versuche wiederholen können.

### E Die besten Augen der Welt?

- 1  a) Lies dir Material 4 auf Seite 115 durch.
  - b) Liste die besonderen Seh-Fähigkeiten der im Material genannten Tiere untereinander auf. Beginne so: „Viele Insekten können ...“

- 2  Ergänze deine Liste aus Aufgabe 1 b): Schreibe dazu, welchen Vorteil die besondere Seh-Fähigkeit den Tieren jeweils verschafft.
- 3  Menschen haben drei Zapfen-Typen zum Farbsehen, Rinder sogar nur zwei. Ist das ein Nachteil? Begründe deine Einschätzung.



4 Rinder haben nur zwei Zapfen-Typen.

### F Unser Gehirn sieht mit!

Sinneseindrücke werden im Gehirn nicht isoliert abgespeichert, sondern mit Bildern, Wörtern, Erinnerungen usw. verknüpft.

- 1  Schau dir Bild 1 an. Schreibe alles auf, was dir zum Thema „Die Farben des Frühlings“ einfällt.
- 2  a) Schau dir Material 5 auf Seite 115 an. Arbeite mit einem Partner zusammen: Nenne ihm der Reihe nach die Farben der Schrift. Lies nicht den Text vor!
  - b) Beschreibe das Problem, das du bei Aufgabe 2a) hattest.
  - c) Erkläre das Versuchsergebnis.

1

► Seite 111, B 3



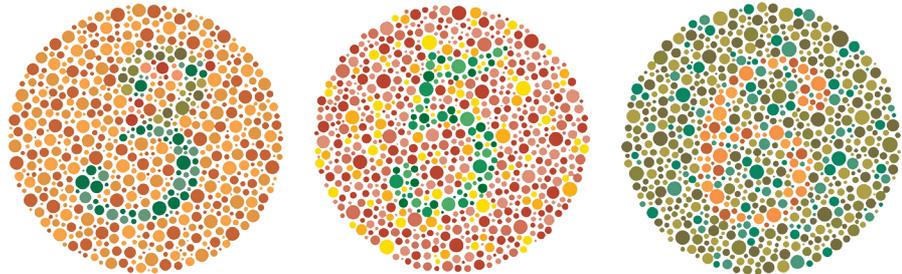
### Ungleiche Verteilung: Die Seh-Sinneszellen in der Netzhaut

In der Netzhaut liegen rund 120 Millionen Stäbchen und 6 Millionen Zapfen. Die Stäbchen bewirken das Hell-Dunkel-Sehen, die Zapfen das Farbsehen. Stäbchen und Zapfen sind ungleich über die Netzhaut verteilt: Ganz außen im Randbereich der Netzhaut gibt es nur Stäbchen. Nach innen nehmen die Stäbchen ab und die Zapfen nehmen zu. Im gelben Fleck gibt es nur Zapfen. Er ist die Stelle des schärfsten Sehens. Der blinde Fleck ist die Austrittsstelle des Sehnervs. Dort gibt es überhaupt keine Seh-Sinneszellen.

2

► Seite 112, B 3

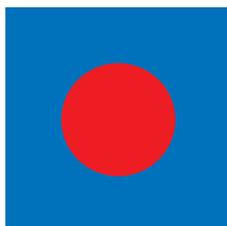
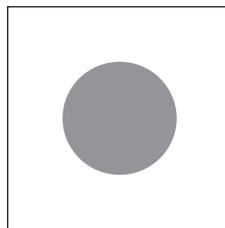
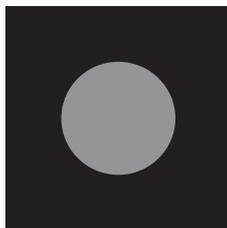
## Test: Rot-Grün-Sehschwäche



Mit solchen Farbtafeln testet der Augenarzt, ob eine Rot-Grün-Sehschwäche vorliegt. Damit der Test funktioniert, müssen die Zahlen und ihre Umgebung unterschiedliche Farben, aber die gleiche Graustufe haben.

3

► Seite 113, C 1, 2, D 3



### Kontrast-Verstärkung: Umrisse besser erkennen

Die Nervenzellen in der Netzhaut sind miteinander verschaltet. Sie leiten die elektrischen Impulse von den Seh-Sinneszellen nicht nur weiter, sondern verarbeiten sie schon. Dabei können elektrische Impulse verstärkt oder abgeschwächt werden. Auf diese Weise wird der Kontrast zwischen den Farben verstärkt. Ergebnis: Die Wahrnehmung eines bestimmten Grautons oder einer Farbe ist nicht immer gleich, sondern von der Farbe der Umgebung abhängig. Die Kontrast-Verstärkung bewirkt, dass wir die Umrisse von Gegenständen deutlicher unterscheiden können.

## Die Meister des Farbsehens?

Heuschrecken-Krebse leben räuberisch in tropischen Meeren. Sie sind besonders farbenprächtigt. Man nimmt an, dass ihre schillernden Muster der Verständigung mit Artgenossen dienen. Zugleich haben diese Tiere außergewöhnliche Augen: Sie haben bis zu zwölf verschiedene Zapfen-Typen, deren Funktion allerdings nicht geklärt ist. Wie diese Tiere sehen, kann man sich als Mensch mit nur drei Zapfen-Typen überhaupt nicht vorstellen. Nur ein Heuschrecken-Krebs kann wohl die ganze Schönheit und Farbenpracht eines Artgenossen ermessen!

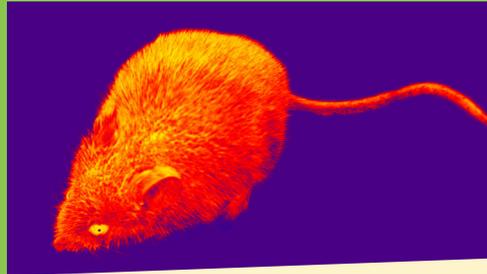
Die ganze Farbenpracht des Heuschrecken-Krebses?



Viele Insekten haben immerhin einen vierten Zapfen-Typ, der für ultraviolettes Licht empfindlich ist. Im Gegensatz zu uns können sie UV-Licht also sehen. Viele Pflanzen haben spezielle UV-Markierungen auf ihren Blüten, mit denen sie bestäubende Insekten anlocken.

Auch viele Raubvögel können UV-Licht sehen. Dadurch wird für sie zum Beispiel Mäuse-Urin sichtbar. Katzen wiederum sehen Infrarotlicht. Für sie leuchten Mäuse im Dunkeln.

Bei Nacht:  
Etwa so sieht die Katze ihre Beute.



4

► Seite 113, E1

## Seh-Zentrum oder Sprach-Zentrum: Wer gewinnt?

violett **BLAU** grün **ORANGE**  
**GELB** rot **BLAU** violett **ROT**  
**blau** **ORANGE** gelb **VIOLETT**  
**GRÜN** blau **ORANGE** violett  
orange **ROT** rot **BLAU** gelb

5

► Seite 113, F2

### Aufgabenlösungen

1 Die Stäbchen sind sehr lichtempfindlich. Sie sind für das Hell-Dunkel-Sehen zuständig, also für Schwarz und für Grauwerte. Die Zapfen sind viel weniger lichtempfindlich. Sie sind für das Farbsehen zuständig. Es gibt drei verschiedene Typen von Zapfen.

2 Das von der Oberfläche des Apfels reflektierte Licht fällt durch die Hornhaut und die Öffnung der Iris (Pupille), die Linse und den Glaskörper auf die Netzhaut an der Rückwand des Auges. Durch die Licht-Reize zerfallen die Seh-Farbstoffe in den Stäbchen und Zapfen. Dabei entstehen elektrische Impulse, die über die Schaltzellen und den Sehnerv zum Gehirn weitergeleitet werden. Im Gehirn werden die Impulse verarbeitet und es entsteht das farbige Bild eines Apfels.

3 Der Apfel reflektiert Licht verschiedener Wellenlängen. Dieses Licht reizt die verschiedenen Seh-Sinneszellen in ganz bestimmter Weise. Es werden spezielle elektrische Impulse erzeugt und zum Gehirn weitergeleitet. Erst das Gehirn erzeugt - abhängig von den eintreffenden elektrischen Impulsen - ein bestimmtes farbiges Bild. Die Wahrnehmung entsteht im Gehirn. Der Apfel ist also nicht grün, er reflektiert Licht bestimmter Wellenlängen. Das Licht ist nicht rot, es hat vielmehr eine bestimmte Wellenlänge, die bewirkt, dass im Gehirn der Eindruck „Rot“ entsteht.

4 Man nimmt ein leuchtendes Rot wahr.

5 Die Komplementärfarbe zu Blau ist Gelb. Es ist die Mischfarbe aus Rot und Grün, den anderen beiden Grundfarben. Mischt man Blau und Gelb ergibt sich wieder Weiß. Dies lässt sich aus Bild 4 auf Seite 109 ablesen. Als Komplementärfarben bezeichnet man zwei Farben, die zusammen Weiß ergeben.

6 Damit man im Traum Farben sehen kann, muss der Farbeindruck im Gehirn gespeichert sein, denn die Augen sind ja geschlossen und es entsteht kein Sinnesreiz. Im Traum arbeitet das Gehirn selbstständig.

### Aufgabenlösungen

1 Wenn ein Zapfen-Typ nicht richtig funktioniert, entsteht eine Farb-Sehschwäche. Menschen mit Rot-Grün-Sehschwäche können Farben nur eingeschränkt sehen. Blau und Gelb sehen sie ähnlich wie Normalsichtige, Rot- und Grüntöne wirken gelblich, Violett wirkt bläulich (> SB Seite 110, B 1b). Menschen mit kompletter Farbenblindheit sehen nur Grautöne und außerdem unscharf (> SB Seite 110, B 1c).

*Hinweis:* Zapfen von Typ III gibt es nur bei Primaten. Andere Säugetiere sind rot-grün-blind.

2 Menschen mit Rot-Grün-Sehschwäche haben Schwierigkeiten, Rot, Gelb und Grün zu unterscheiden. Diese Farben sind aber z. B. bei einer Ampel immer in bestimmter Weise angeordnet. Man kann sich also auch an deren Position orientieren. Auch Straßenschilder erkennt man nicht nur an der Farbe, sondern auch an der Form.

3 Türkis ist eine Mischfarbe aus Grün und Blau, Violett ist eine Mischfarbe aus Rot und Blau. Menschen mit Rot-Grün-Sehschwäche sehen jeweils nur den blauen Anteil „normal“. Sowohl Rot als auch Grün erscheint gelblich. Deshalb erscheinen für sie die beiden Farben mehr oder weniger gleich.

AKTION: **Farbig oder grau?** S. 111

## A Alle Katzen grau ...

### Versuch

Besonders geeignet für diesen Versuch ist eine Halogenlampe mit einem Schieberegler. Man kann dort eine Skala aufkleben, so dass man Beleuchtungswerte ablesen kann.

Versuchsdauer: Der eigentliche Versuch dauert etwa 5 Minuten, die Vorbereitungszeit variiert. Allerdings sollte man den Versuch mehrfach wiederholen und gegebenenfalls variieren.

Variationen: Je nach Hintergrundkontrast (dunkle Tafel / weiße Wand) erscheinen helle oder dunkle Symbole unterschiedlich schnell. Je nachdem, wie lange man in völliger Dunkelheit wartet, bis man den Versuch durchführt, erhält man auch unterschiedliche Ergebnisse, denn die Stäbchen brauchen ca. 10 Minuten, um beim Wechsel in Dunkelheit ihre maximale Leistungsfähigkeit zu erreichen.

### Aufgabenlösungen

- 1 a) Zunächst kann man die Buchstaben erkennen, die einen großen Kontrast zum Hintergrund haben. Anfangs erkennt man nur die Form, dann erst die Farben. Farben mit größerer Leuchtkraft (Rot, Orange, Hellgrün) sieht man früher als Blau, Violett, Dunkelgrün usw.  
b) Bei Dämmerlicht kann man bestimmte Farben, besonders dunkle, gedeckte Farben nicht gut unterscheiden.

2 Nachts, also bei geringer Lichtstärke, werden nur die sehr lichtempfindlichen Stäbchen gereizt. Dadurch kann man nur Grauwerte erkennen. Nachts sind also nicht nur alle Katzen, sondern auch alle anderen Dinge grau.

3 Hellere Farben, wie zum Beispiel Gelb, werfen mehr Licht zurück und reizen daher die Seh-Sinneszellen stärker, so dass bei schwachem Licht eher ein Sinnesreiz ausgelöst wird.

## B Sehen im Randbereich

### Versuch

Mit diesem Versuch kann gezeigt werden, dass das Farbsehen im Zentrum der Netzhaut besser und in der Peripherie schlechter ist. Führt man ein von der Seite aus zur Mitte des Sehfelds, so nimmt die Versuchsperson zunächst eine Bewegung, dann die Form und danach die Farbe wahr. Auch die Farbwahrnehmung kann unterschiedlich sein. Normalerweise sollte zunächst blau und gelb, dann rot und grün wahrgenommen werden.

Hinweis: Die erfolgreiche Durchführung dieses Versuchs setzt voraus, dass die Versuchsperson sich auf das Kreuz an

der Tafel konzentriert. Nimmt man an der Peripherie des Sehfeldes eine Bewegung wahr, dann will man „reflexhaft“ zu dieser Bewegung sehen. Es ist sehr schwer, dann weiter auf das Kreuz zu sehen. Gegebenenfalls kann man einen weiteren Schüler zur Kontrolle der Augenbewegung der Versuchsperson einsetzen (Standort an der Tafel, rechts neben dem Kreuz).

Versuchsvarianten: Man kann den Versuch mit weiteren Täfelchen in z. B. Grautönen (Kontrollversuch) oder anderen Farben durchführen. Auch die Form lässt sich variieren. Interessant können auch Versuche zur Kontrastwahrnehmung mit zweifarbigen Kärtchen sein (schwarz/gelb, blau/gelb, rot/grün usw.).

### Aufgabenlösungen

- 1 a) Wie oben beschrieben sollten von links nach rechts folgende Wahrnehmungen festgestellt werden: Bewegung – Form – Blau – Gelb – Rot/Grün  
c) Am Rand des Sehfelds sieht man zuerst unscharf, dann scharf, aber keine Farben. Dort befinden sich nur Stäbchen. Die Dichte der Stäbchen nimmt vom Rand zur Mitte hin zunächst zu. Noch weiter zur Mitte hin kann man dann auch Farben sehen. Dafür sind die Zapfen zuständig. Die Dichte der Zapfen nimmt zum Gelben Fleck hin zu, die Dichte der Stäbchen wieder ab. Im Gelben Fleck gibt es keine Stäbchen. Anscheinend gibt es am Rand mehr Zapfen vom Typ I und zur Mitte hin mehr Zapfen von Typ II und III (> SB Seite 109, B 3).

## A Nachbilder

### Aufgabenlösungen

- 1 a) Man sieht auf dem weißen Blatt ein grünes Quadrat.  
b)

Bild	Nachbild
rot	grün
blau	gelb
grün	rot

- 2 Die Nachbilder haben immer die Komplementärfarbe zum ursprünglichen Quadrat.

3 Nachbilder beruhen darauf, dass sich in den Seh-Sinneszellen lichtempfindliche Farbstoffe befinden, die beim Auftreffen von entsprechendem Licht zerfallen und einen elektrischen Impuls aussenden. Danach müssen sie zunächst wiederhergestellt werden. Trifft nun für längere Zeit Licht derselben Wellenlänge auf die Zapfen, dann wird der betreffende Farbstoff weitgehend abgebaut. Schaut man dann auf ein weißes Blatt, müssten durch das weiße Licht, das alle Wellenlängen enthält, alle Sinneszellen gleichermaßen gereizt werden. Weil aber ein Farbstoff fehlt, fallen auch die entsprechenden elektrischen Impulse aus. Es werden nur die übrigen Wellenlängen wahrgenommen, sodass ein Nachbild in der Komplementärfarbe entsteht.

## B Farb-Sehschwäche nachweisen

### Aufgabenlösungen

- 1 Eine Farb-Sehschwäche entsteht, wenn ein oder zwei Zapfen-Typen nicht oder nur eingeschränkt funktionieren.
- 2 Individuelle Lösungen, z. B. kann mit Farbkärtchen, die sortiert werden müssen, gearbeitet werden.
- 3 b) Wären die Graustufen unterschiedlich, dann könnte eine Person mit einer Farb-Sehschwäche die Zahlen trotzdem sehen, denn sie wären dunkler oder heller als die umgebenden Punkte.
- 4 b) Die Punkte unterscheiden sich nur durch ihre Farbwerte. Für jemanden mit einer Farb-Sehschwäche haben die Punkte ganz ähnliche Farben. So wirken rote und grüne Punkte eher gelblich und sind daher nicht mehr zu unterscheiden.

- 5 Arbeitet man mit Farbkärtchen (oder anderen farbigen Dingen), dann haben diese wahrscheinlich keinen einheitlichen Grauwert. So erscheinen sie Menschen mit Farb-Sehschwäche durchaus unterschiedlich, wenn auch teilweise farblos oder verfälscht.

## C Gleich oder doch verschieden?

### Aufgabenlösungen

- 1 a) Die grauen Flächen haben den gleichen Grauwert. Trotzdem erscheint die graue Fläche auf schwarzem Grund heller als auf weißem.  
b) Die roten Flächen sind gleich. Trotzdem erscheint die rote Fläche auf blauem Grund heller und leuchtender als auf gelbem.

2 b) Die Nervenzellen in der Netzhaut leiten elektrische Impulse nicht nur weiter, sie verarbeiten sie schon und verstärken sie oder schwächen sie ab. Deshalb ist die Wahrnehmung eines Grautons oder einer Farbe nicht immer gleich, sondern von der Farbe der Umgebung abhängig.

3 Individuelle Lösungen. Man könnte zum Beispiel mit einem Blatt Papier arbeiten, in das im entsprechenden Abstand zwei Löcher geschnitten sind. Damit ließen sich die Hintergründe abdecken.

4 Die Nervenzellen in der Netzhaut verstärken elektrische Impulse oder schwächen sie ab. Dadurch wird der Kontrast zwischen Farben verstärkt. Die Kontrast-Verstärkung bewirkt, dass wir die Umrisse von Gegenständen deutlicher wahrnehmen können.

## D Kontrast-Verstärkung nachweisen

### Versuch

Basierend auf Versuch C und Material 3 entwickeln die Schüler neue individuelle Varianten. Dabei kann man mit unterschiedlichen Farbkombinationen oder Größen der Farbkärtchen arbeiten. Je kleiner die Farbkärtchen, desto stärker sollte der Verstärkungseffekt sein. Man kann auch mehrere Farbkärtchen in verschiedenen Größen aufeinander legen.

*Hinweis:* Es müssen nicht unbedingt Kreise ausgeschnitten werden. Für den Versuch eignen sich auch Quadrate. Ein interessanter Effekt tritt auch auf, wenn man einen farbigen Streifen auf einen zweifarbigem Hintergrund legt.

## E Die besten Augen der Welt?

### Aufgabenlösungen

1 b) Heuschrecken-Krebse haben außergewöhnliche Augen mit bis zu 12 verschiedene Zapfen-Typen. Deren Funktion ist allerdings nicht vollständig geklärt. Viele Insekten können ultraviolettes Licht sehen. Sie sehen spezielle Markierungen auf Blüten. Auch viele Raubvögel können ultraviolette Licht sehen. Dadurch sehen sie zum Beispiel Mäuseurin. Katzen können infrarotes Licht sehen.

2 Heuschrecken-Krebse: möglicherweise besseres Erkennen von farbigen Mustern, Kommunikation mit anderen Heuschrecken-Krebsen  
Insekten: vereinfachte Futtersuche  
Raubvögel: Hinweise auch Beutetiere  
Katzen: sehen Beutetiere auch in völliger Dunkelheit

3 Weder Menschen noch Rinder haben einen Nachteil, denn die Ausstattung der Augen ist an die jeweilige Lebensweise angepasst. Rinder fressen ausschließlich grüne Pflanzen. Für sie ist der Geruchssinn wichtig. Ihre Augenstellung erlaubt einen Rundumblick. Auf diese Weise können Sie mögliche Feinde früh sehen. Menschen sind Allesfresser. Sie müssen zum Beispiel erkennen können, ob Früchte reif sind oder Fleisch schlecht geworden ist. Für Menschen und andere Primaten ist es deshalb wichtig, Rot und Grün unterscheiden zu können.

## F Unser Gehirn sieht mit!

### Aufgabenlösungen

1 Individuelle Lösungen, z. B.: bunte Blumen, grünes Gras, hellgrünes Laub usw.  
*Hinweis:* Es sollte in der Nachbesprechung herausgestellt werden, dass zu den Farben des Frühlings auch Verknüpfungen zu Gerüchen, Geräuschen und Gefühlen hergestellt werden.

2 b) Das Problem ist, dass sich das automatisch gelesene Wort „aufdrängt“. Weil der Text aber aus Wörtern für (andere) Farben besteht, ergibt sich ein Konflikt, der nur durch höchste Konzentration zu lösen ist.

c) Die Farbwahrnehmung und das Erkennen geschriebener Wörter geschieht in verschiedenen Bereichen des Gehirns. Beide Wahrnehmungen konkurrieren miteinander. Das erfassen eines geschriebenen Wortes geht sehr schnell und schwer „abzuschalten“.