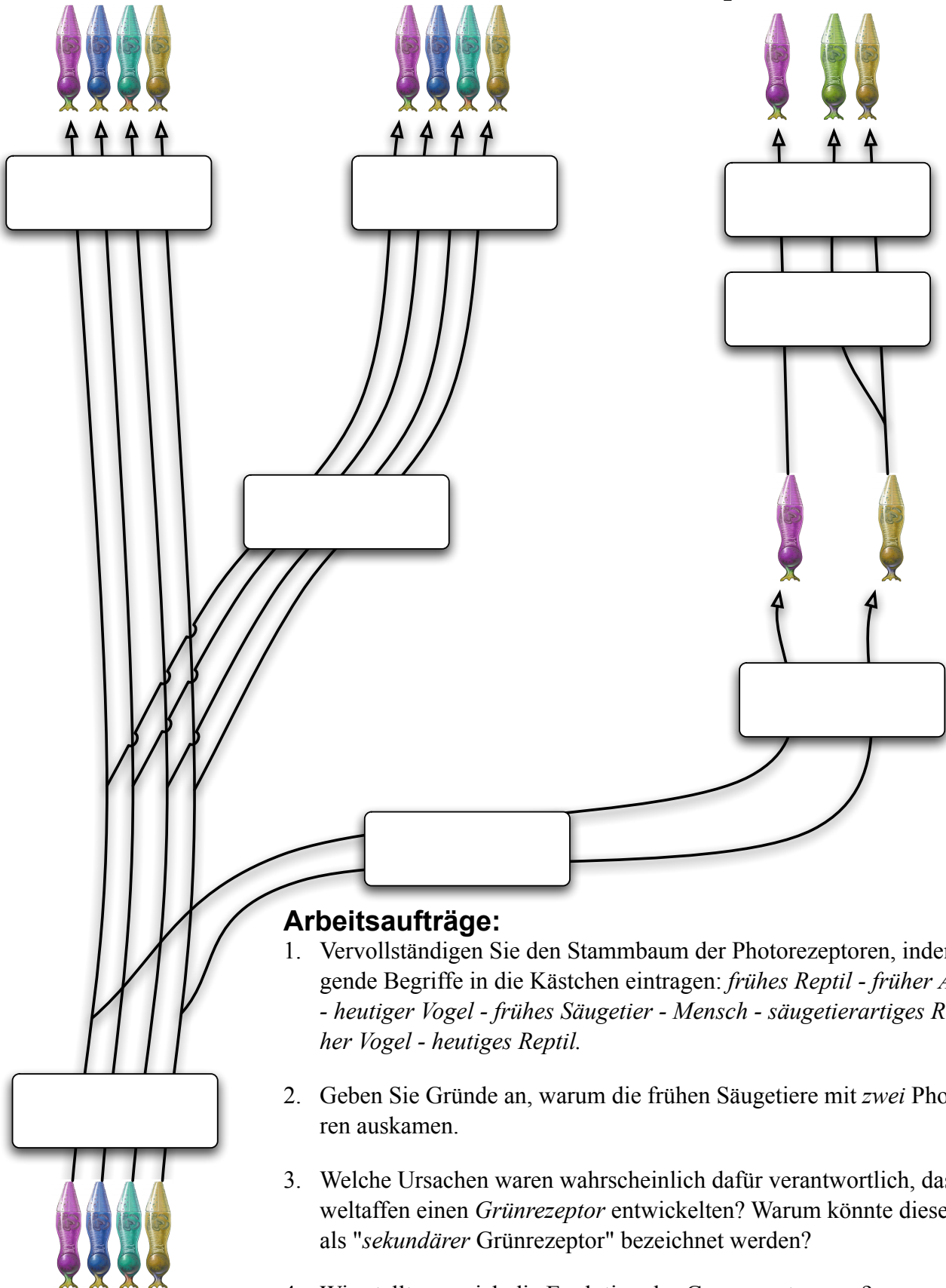


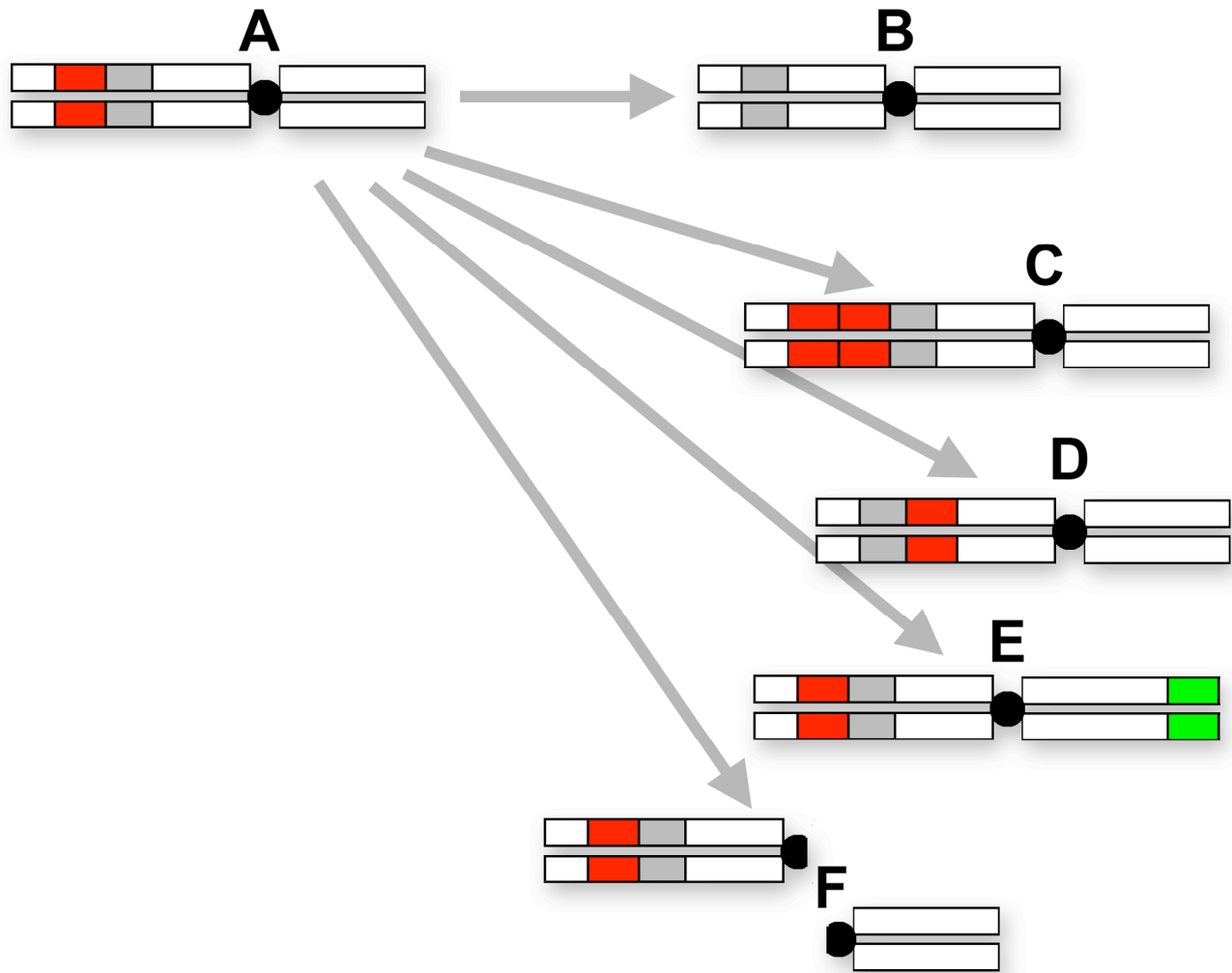
Stammbaum der Photorezeptoren



Arbeitsaufträge:

1. Vervollständigen Sie den Stammbaum der Photorezeptoren, indem Sie folgende Begriffe in die Kästchen eintragen: *frühes Reptil - früher Altweltaffe - heutiger Vogel - frühes Säugetier - Mensch - säugetierartiges Reptil - früherer Vogel - heutiges Reptil.*
2. Geben Sie Gründe an, warum die frühen Säugetiere mit *zwei* Photorezeptoren auskamen.
3. Welche Ursachen waren wahrscheinlich dafür verantwortlich, dass die Altweltaffen einen *Grünrezeptor* entwickelten? Warum könnte dieser Rezeptor als "*sekundärer Grünrezeptor*" bezeichnet werden?
4. Wie stellt man sich die Evolution des Grünrezeptors vor?

Chromosomen-Mutationen und Bildung des Grünrezeptors



Arbeitsaufträge:

1. Benennen Sie die fünf dargestellten Chromosomen-Mutationen B bis F korrekt: *Inversion* - *Deletion* - *Fission* - *Duplikation* - *Translokation*. Beschreiben Sie die Mutationen kurz.
2. Kennzeichnen Sie diejenige Chromosomen-Mutation, die bei der Evolution des Grünrezeptors eine wichtige Rolle gespielt hat.
3. Welche weiteren Schritte waren notwendig, damit im Anschluss an diese Mutation der Grünrezeptor entstehen konnte?

Evolution des Farbsehens bei den Wirbeltieren

Evolution der Wirbeltiere (Zahlen stark gerundet)

Ordovizium (490 - 440 Millionen Jahre): Gepanzerte Fische gehören zu den ersten Wirbeltieren.

Silur (440 - 415 Millionen Jahre): Die Fische breiten sich in den Meeren aus und erobern das Süßwasser.

Devon (415 - 360 Millionen Jahre): Die ersten Knochenfische treten auf, unter anderen auch Quastenflosser und Lungenfische. Am Ende des Devons erobern die Wirbeltiere das Land, es treten die ersten Amphibien auf.

Karbon (360 - 300 Millionen Jahre): Die Amphibien breiten sich aus, und die ersten Reptilien entstehen. Damit werden die Wirbeltiere weitgehend unabhängig vom Wasser.

Perm (300 - 250 Millionen Jahre): Starke Ausbreitung der Reptilien. Am Ende des Perms entstehen erste Flugsaurier, die aber nicht mit den Dinosauriern verwandt sind.

Trias (250 - 200 Millionen Jahre): Entstehung der Dinosaurier und der Säugetiere.

Jura (250 - 145 Millionen Jahre): Die Dinosaurier erobern fast alle Lebensräume, während die Entwicklung der Säugetiere durch die Dinosaurier stark gehemmt wird. Die Säugetiere bleiben klein und unscheinbar und leben hauptsächlich in der Nacht, während die Dinosaurier tagaktiv sind. Aus bestimmten Dinosauriern entwickeln sich gegen Ende der Jura die Vögel.

Kreide (145 - 65 Millionen Jahre): Am Ende der Kreide sterben die Dinosaurier und viele andere Tiergruppen aus. Die Ursache hierfür ist noch umstritten.

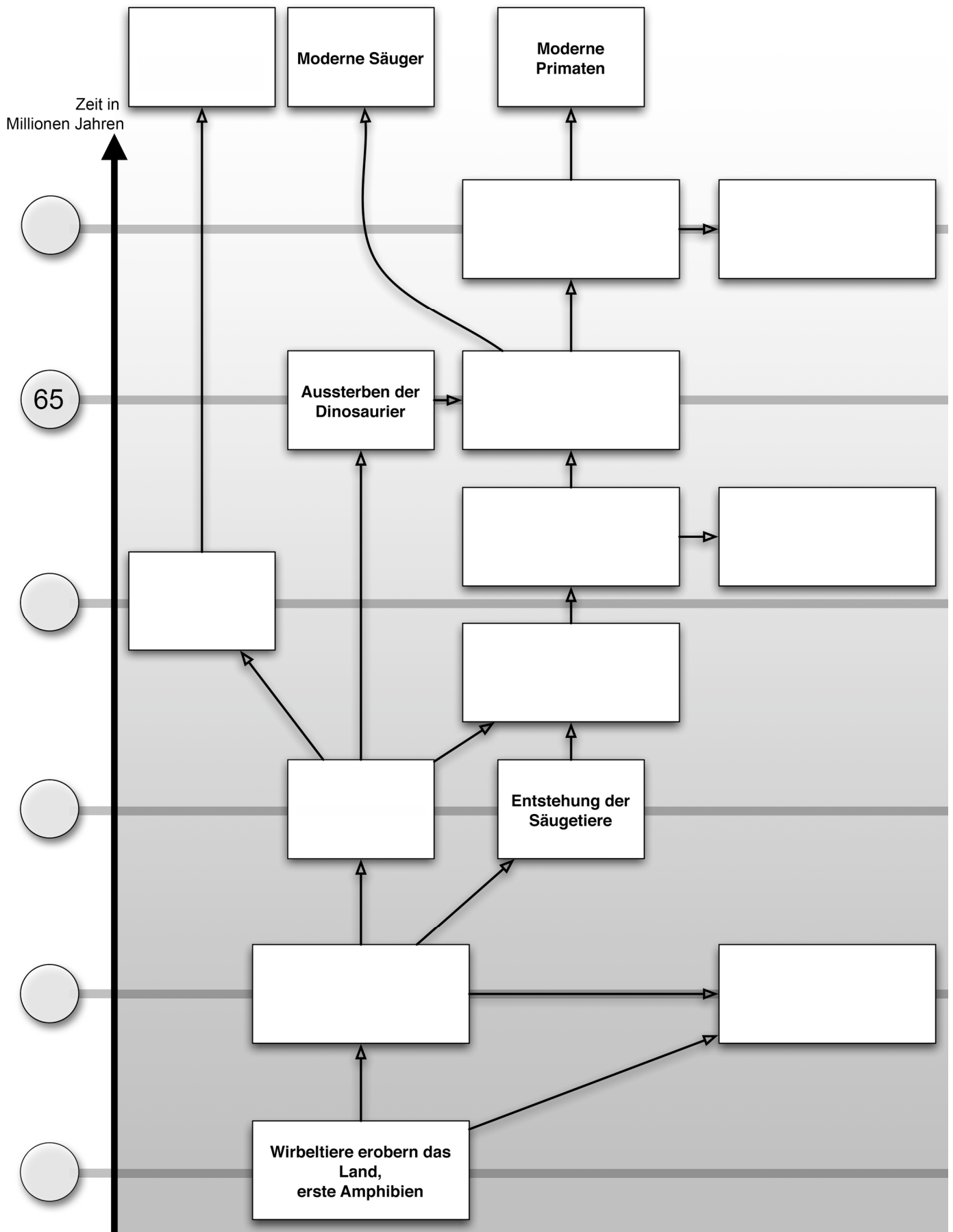
Tertiär (65 - 1,8 Millionen Jahre): Ausbreitung der Vögel und der Säugetiere. Durch das Aussterben der Dinosaurier und der Flugsaurier werden viele ökologische Nischen durch Säugetiere und Vögel neu besetzt. Am Ende des Tertiärs erobert eine Gruppe von Primaten die Bäume, aus dieser Gruppe entstehen später die Menschenaffen und die Menschen.

Quartär (1,8 - 0 Millionen Jahre): Entstehung des modernen Menschen

Arbeitsauftrag:

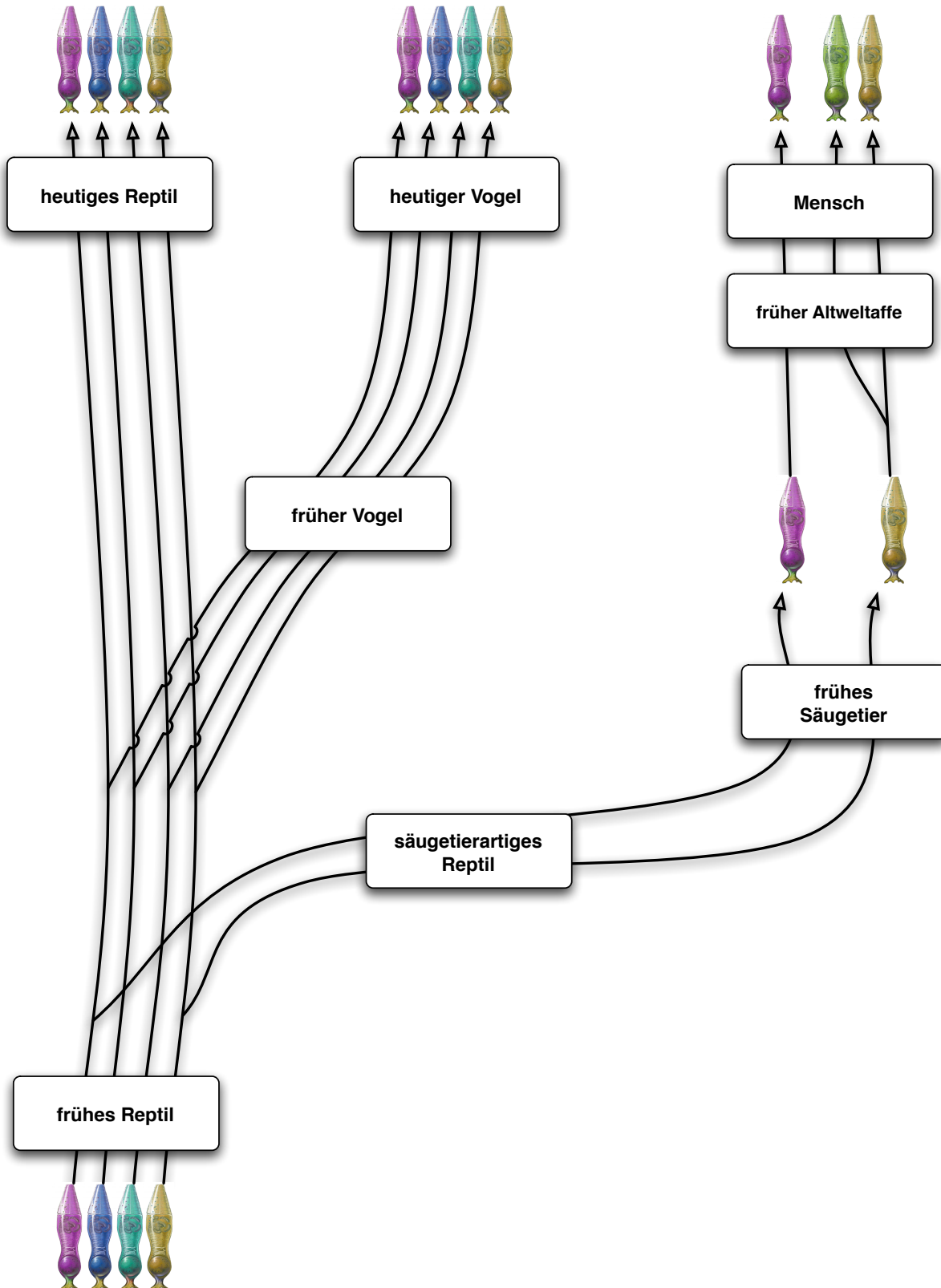
Werten Sie diesen Informationstext sowie den Abschnitt über die Evolution der Wirbeltiere im Spektrum-Artikel aus und vervollständigen Sie das Schema auf der nächsten Seite durch folgende Einträge sowie durch grob geschätzte Zeitangaben (Millionen Jahre):

- Ausbreitung der Säugetiere, Diversifikation, Spezialisierung
- Verlust von zwei Zapfentypen, Spezialisierung auf das Nachtsehen
- Moderne Vögel
- Wirbeltiere werden vom Wasser unabhängig, erste Reptilien
- Entstehung der Vögel - Moderne Primaten
- Primaten: Eroberung der Bäume, Anpassung an das Tagessehen
- Bildung eines dritten Zapfentyps zur Unterscheidung von Früchten und Blättern
- Rückzug der Säuger auf das Leben in der Nacht
- Säugetiere stehen im Schatten der Dinosaurier
- Entstehung der Dinosaurier
- Vier Zapfentypen ermöglichen gutes Farbsehen an Land und im Wasser



Lösung zu Arbeitsblatt 2-1

Aufgabe 1



Aufgabe 2

Die frühen Säugetiere entwickelten sich im Zeitalter der Dinosaurier. Um diesen gefährlichen Räubern zu entgehen, führten sie ein nachtaktives Leben. Die Augen der Säugetiere passten sich allmählich an das Nachtleben an, wobei die lichtempfindlichen Stäbchen immer wichtiger wurden und das Farbsehen an Bedeutung verlor. Der Besitz von vier Farbrezeptor-Typen brachte den Individuen keinen Vorteil mehr.

Aufgabe 3

Der Grünrezeptor der heutigen Säugetiere ist eine evolutionäre Neuentwicklung, er entstand unabhängig von dem ursprünglichen Grünrezeptor, den bereits die ursprünglichen Landwirbeltiere besaßen. Daher kann er auch als "sekundärer" Grünrezeptor bezeichnet werden.

Als Ursache für die Entwicklung dieses sekundären Grünrezeptors vermutet man die Lebensweise der damaligen Primaten. Die Altweltaffen, also die Affen auf dem afrikanischen und asiatischen Kontinent wurden tagaktiv - durch Dinosaurier drohte ja keine Gefahr mehr - und eroberte die Bäume als Lebensraum. Mit dem dichromatischen Farbsehen (Blaurezeptor + Rotrezeptor) konnten die Tiere zwar blaue Früchte vor dem Hintergrund der grünen Blätter erkennen, weil die Farbe Grün den Rotrezeptor recht stark erregt, aber die Unterscheidung von roten Früchten und grünen Blättern war stark erschwert. Durch den zusätzlichen Grünrezeptor wurde dieses wichtige Unterscheidungsvermögen stark verbessert. Auch konnten die Primaten mithilfe ihrer Rot- und Grünrezeptoren vermutlich besser zwischen verschiedenen Grüntönen unterscheiden und so auch leichter grüne Früchte in dem grünen Blätterwerk der Bäume entdecken.

Aufgabe 4

Das Gen für das Rot-Opsin ist auf dem X-Chromosom lokalisiert, und das Gen für das Grün-Opsin liegt in unmittelbarer Nähe ebenfalls auf dem X-Chromosom. Außerdem haben die beiden Gene eine sehr ähnliche Basensequenz. Beide Tatsachen - relative Nähe und fast identische Sequenz - legen die Vermutung nahe, dass das "Grün-Gen" durch Duplikation des "Rot-Gens" entstanden ist.

Nach dieser Genduplikation war das "Rot-Gen" weiterhin für das Rot-Opsin verantwortlich, während das neue "Grün-Gen" zunächst keinem Selektionsdruck unterlag. Mutationen in diesem Gen waren nicht schädlich, solange das Rot-Gen einwandfrei funktionierte. Durch eine zufällige Mutation des duplizierten "Rot-Gens" entstand dann irgendwann ein "Grün-Gen", das ein Opsin exprimierte, dessen Absorptionsmaximum nicht mehr im roten Bereich lag, sondern im grünen. Die Individuen mit einem solchen "Grün-Gen" hatten sicherlich einen starken Überlebensvorteil gegenüber den normalen Tieren mit zwei "Rot-Genen".

Lösung zu Arbeitsblatt 2-2

Aufgabe 1

B - **Deletion**. Ein Chromosomenabschnitt (rot gezeichnet) ist plötzlich nicht mehr vorhanden.

C - **Duplikation**. Ein Chromosomenabschnitt (rot gezeichnet) ist in doppelter Ausführung vorhanden.

D - **Inversion**. Ein Abschnitt (rot - grau) ist durch die Mutation umgedreht in das Chromosom A eingebaut (grau - rot).

E - **Translokation**. Ein Abschnitt eines anderen Chromosoms (grün) hat sich mit dem ursprünglichen Chromosom A vereinigt.

F - **Fission**. Das Chromosom A wurde in zwei kleinere Chromosomen geteilt.

Aufgabe 2

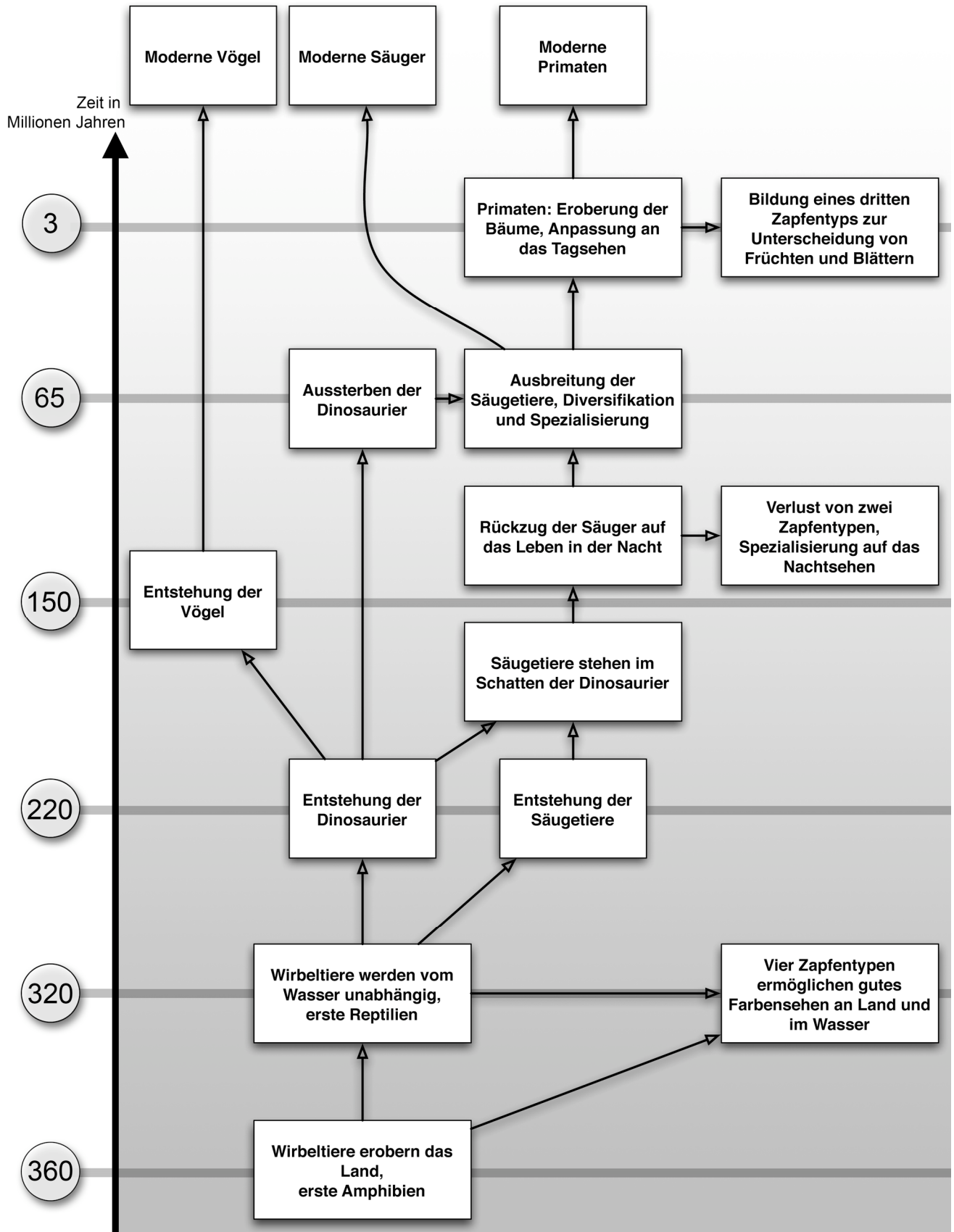
Die Duplikation (C) des Gens für das Rot-Opsin war Voraussetzung für die Entwicklung des entsprechenden Gens für ein Grün-Opsin.

Aufgabe 3

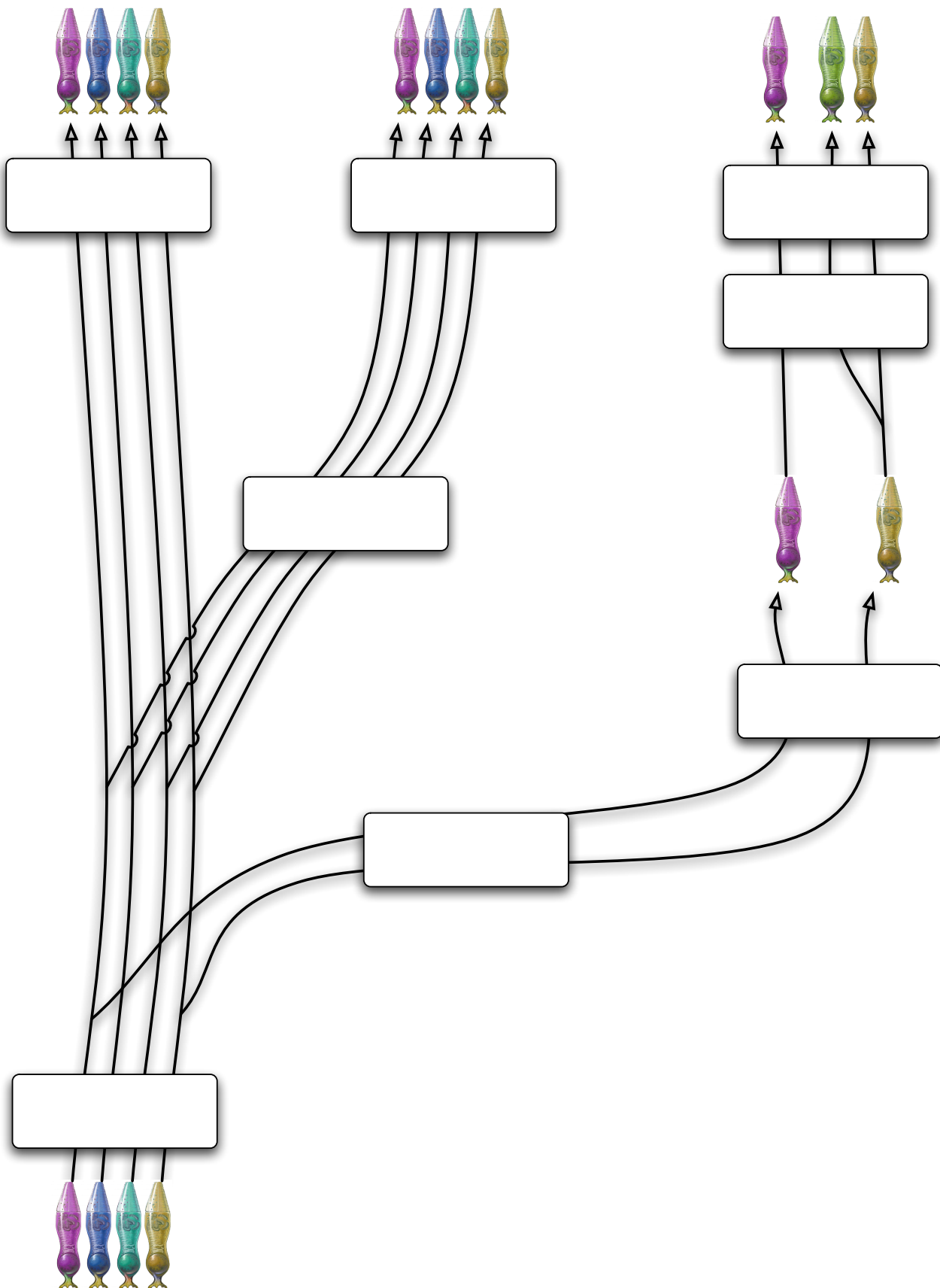
Nach der Duplikation des "Rot-Gens" besaßen die betroffenen Individuen zwei Gene für das Rot-Opsin. Sie hatten in ihrer Netzhaut immer noch zwei Zapfentypen: Blauzapfen und Rotzapfen und konnten damit dichromatisch sehen.

Erst durch eine Mutation in einem der beiden "Rot-Gene" konnte ein "Grün-Gen" entstehen. Allerdings durfte diese Mutation nicht allzu gravierend sein, damit die grundlegende Funktionsweise des Opsins weiterhin gewährleistet war. Eine Rastermutation oder ein Aminosäure-Austausch an einer wichtigen Stelle hätte sicherlich zu einem nicht mehr korrekt funktionierendem Opsin geführt. Ein Austausch von einer oder zwei Aminosäuren an nicht ganz so entscheidenden Stellen im Protein konnte aber sicherlich dazu führen, dass das Opsin zwar weiterhin als Opsin funktionierte, aber ein leicht verschobenes Absorptionsmaximum hatte - die Voraussetzung für die Ausbildung eines dritten Zapfentyps für das trichromatische Farbsehen.

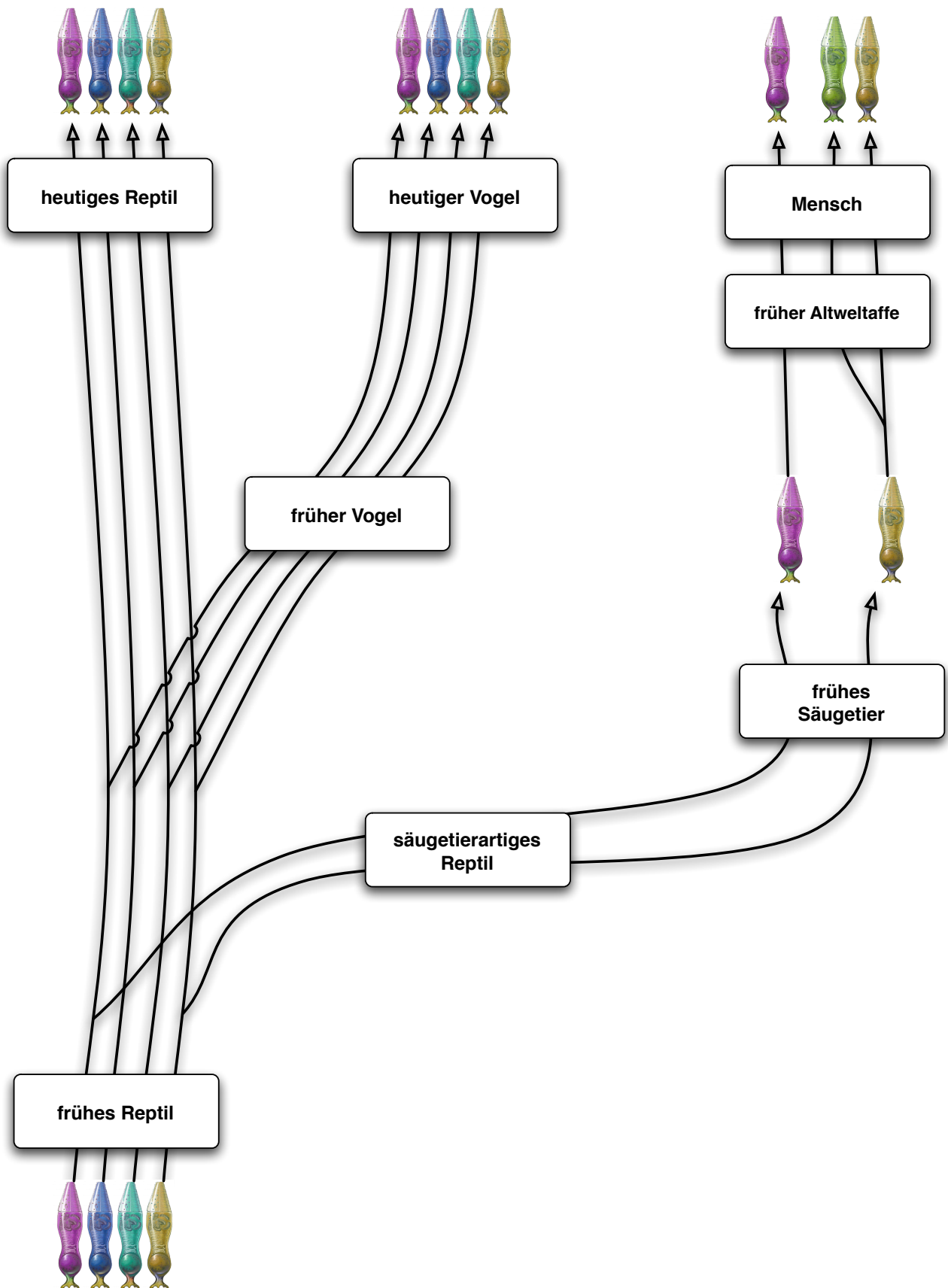
Lösung zu Arbeitsblatt 2-3



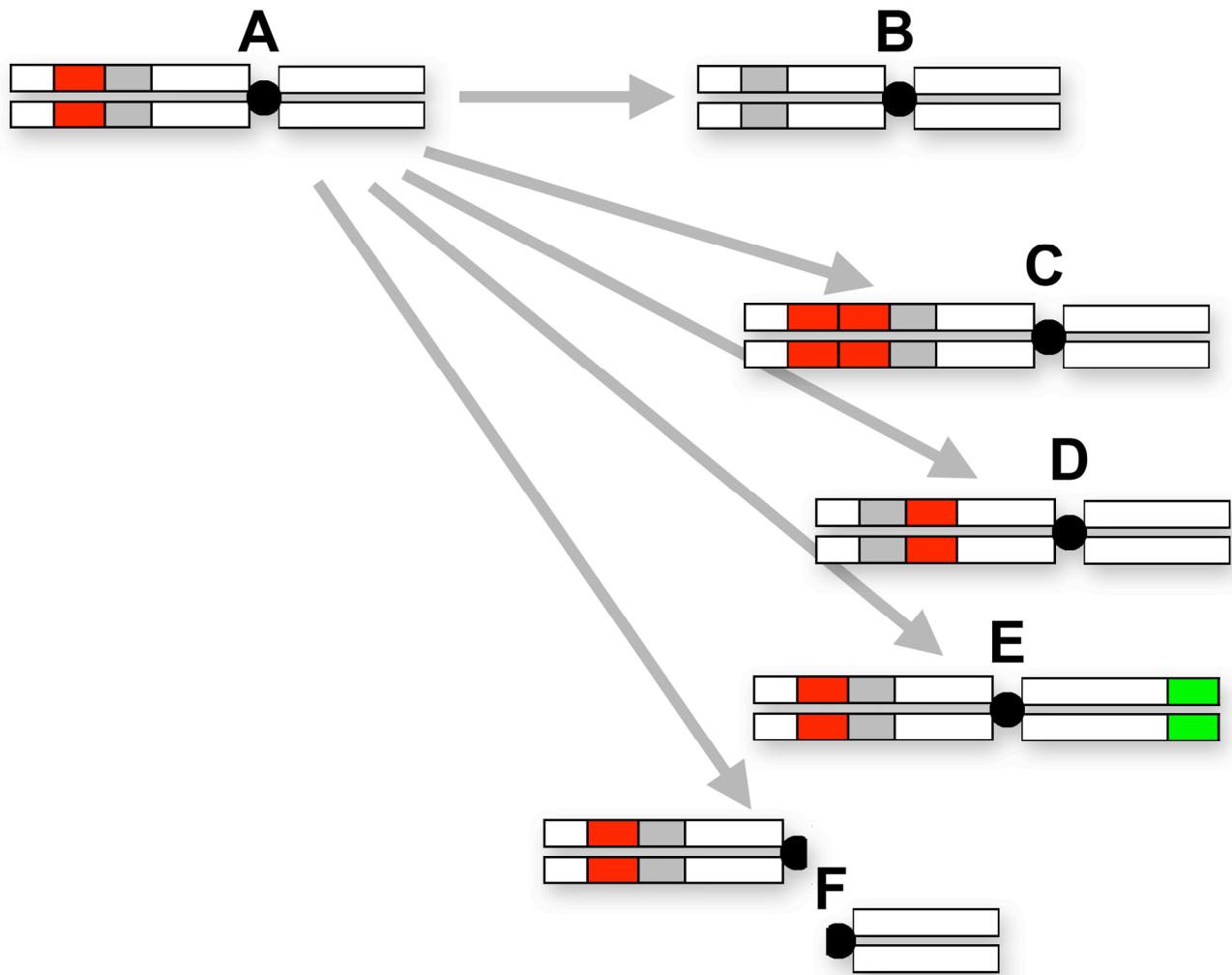
Folie 1 zu Arbeitsblatt 2-1



Folie 2 zu Arbeitsblatt 2-1



Folie 1 zu Arbeitsblatt 2-2



A - ursprüngliches Chromosom

B - Deletion

C - Duplikation

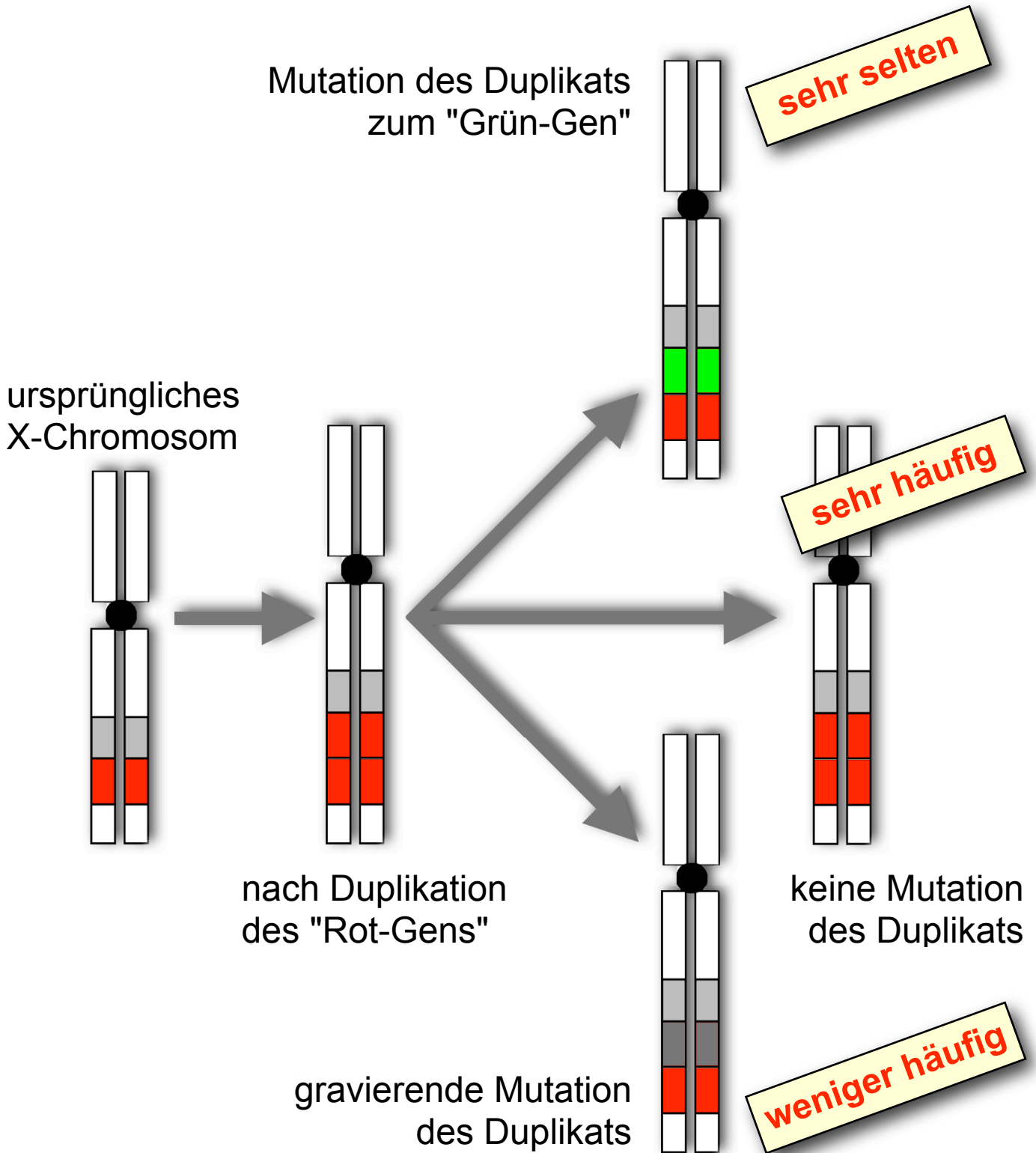
D - Inversion

E - Translokation

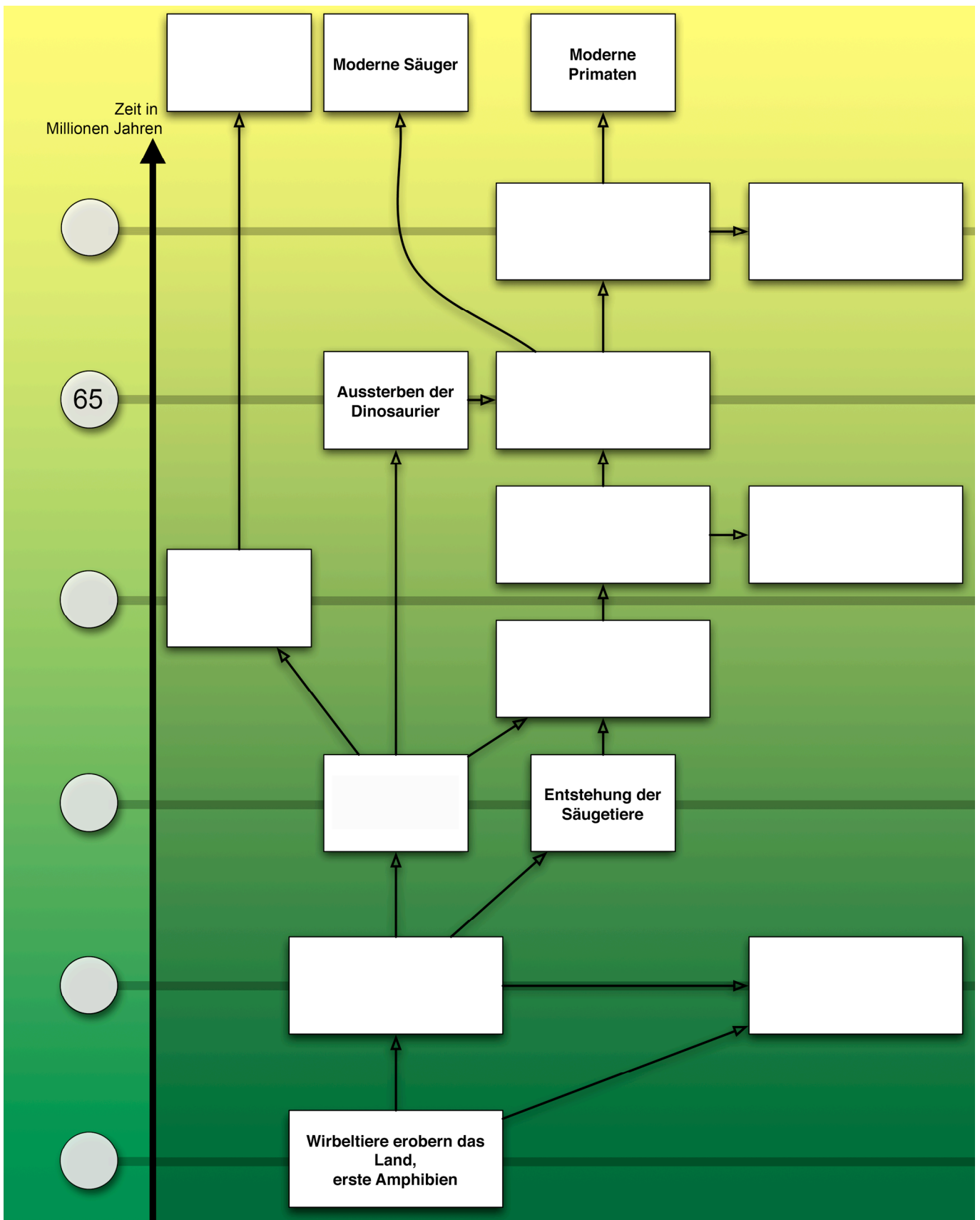
F - Fission

Duplikation des Gens für das Rot-Opisin führte zum Gen für das Grün-Opisin und somit zum trichromatischen Farbsehen.

Folie 2 zu Arbeitsblatt 2-2



Folie 1 zu Arbeitsblatt 2-3



Folie 2 zu Arbeitsblatt 2-3

