

Beispielaufgabe 1

Wie Arten entstehen

Madagaskar ist eine Insel im Indischen Ozean, die vor der Ostküste Südafrikas liegt. Sie beherbergt eine einzigartige Tier- und Pflanzenwelt.

Eine Tiergruppe prägt das Bild von Madagaskar besonders: die Lemuren. Sie stellen ein Wahrzeichen von Madagaskar dar. Deshalb wird Madagaskar auch oft als das „Land der Lemuren“ bezeichnet.



Die wohl bekanntesten Vertreter der Lemuren sind die Kattas. Sie sind unverwechselbar an ihrem langen schwarz-weiß geringelten Schwanz zu erkennen.

Abb. 1: Ein **Katta** (©Stefano Pellicciari - stock.adobe.com).

Insgesamt gehören 5 verschiedene Familien mit über 90 Arten zu den Lemuren. Sie unterscheiden sich stark in Aussehen, Verhalten, Lebensweise und Nahrungsvorlieben.

Der Indri-Indri ist beispielsweise der größte Vertreter der Lemuren. Sein Gewicht kann bis zu 10 kg erreichen. Die kleinsten Lemuren sind die Mausmakis. Sie wiegen kaum mehr als 50 g.

Aufgrund dieser starken Unterschiede waren sich die Wissenschaftler lange Zeit nicht einig, ob es sich bei den Lemuren um eine monophyletische Gruppe handelt.

Anhand von DNA-Untersuchungen steht heute fest, dass es sich bei den Lemuren um ein Monophylum handelt: alle Lemurenarten **stammen von einer nachtaktiven Affenart ab.**

Das Beispiel der Lemuren zeigt, dass aus einer einzigen Art viele neue, recht unterschiedliche Arten entstehen können.



Wie aber entstehen Arten?

Ich soll nun also herausfinden...



Bevor diese Frage geklärt werden kann, muss man wissen, was eine Art ist.

Unter dem **biologischen Artbegriff** versteht man **alle Lebewesen, die sich untereinander fortpflanzen und fruchtbare Nachkommen hervorbringen können.**

Das zentrale Kriterium ist, dass die verschiedenen Arten durch Fortpflanzungsbarrieren voneinander getrennt sind. Sie sind **reproduktiv voneinander isoliert.**



Die wichtigen Merkmale einer Art sind...

Nachdem die Definition einer Art bekannt ist, kann man der anfangs gestellten Frage nachgehen, wie Arten entstehen.

Die Beobachtungen von Darwin beschreiben die **Grundvoraussetzung** für die Entstehung von Arten.



Darwin hatte beobachtet...

1. Lösungsschritt: Betrachtung von Unterschieden

Innerhalb einer Art **unterscheiden** sich die Individuen immer mehr oder weniger voneinander. Sie weisen verschiedenste Ausprägungen der charakteristischen Artmerkmale auf.

Unterschiedlichkeit der Individuen



Abb. 2: **Zwei Rotstirnmakis** (www.tanalahorizon.com).

Beispielsweise unterscheidet sich bei den Rotstirnmakis, die zu den Lemuren gehören, die Rottönung der Stirn. Auch in der übrigen Fellfärbung zeigen sich Unterschiede.



Die Unterschiede kann ich gut im Bild erkennen.

Außerdem stellte Darwin fest:

Viele **Eigenschaften** werden an die nächste Generation **vererbt**.

Vererbung von Eigenschaften

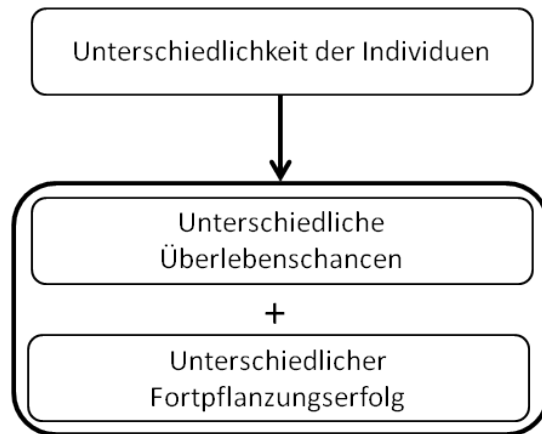
Die Unterschiede zwischen den Individuen einer Art sind also häufig genetisch bedingt. Diese genetische Unterschiedlichkeit wird als **genetische Vielfalt** bezeichnet.



Genetische Vielfalt ist...

Auf der Unterschiedlichkeit der Individuen und der Vererbung von Eigenschaften basiert die Entstehung von Arten.

Die unterschiedliche Ausprägung von Merkmalen kann dazu führen, dass sich für ein Individuum Vorteile oder Nachteile ergeben.



2. Lösungsschritt: Betrachtung der Überlebens- und Fortpflanzungschancen

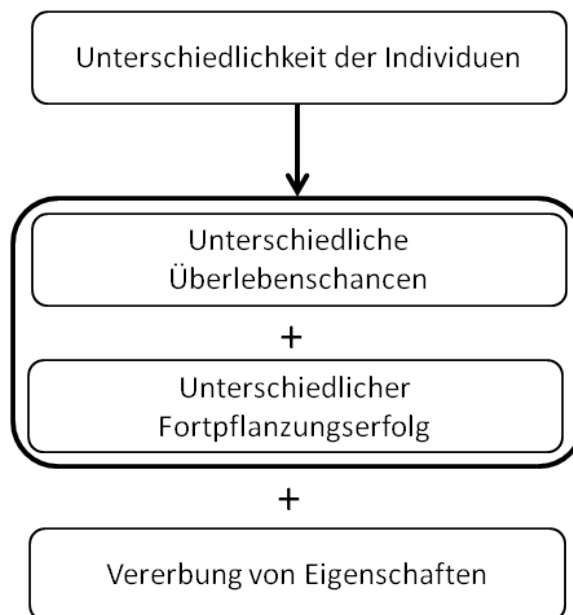
Vorteilhafte Merkmale wirken sich **positiv** auf die Überlebenschancen beziehungsweise den Fortpflanzungserfolg aus. **Nachteilige Merkmale** wirken sich **negativ** aus.

Albinos haben zum Beispiel **weniger Überlebenschancen** in der freien Natur. Sie fallen bei Fressfeinden durch die helle Fellfärbung mehr auf als normalgefärbte Artgenossen. Das helle Fell ist ein Nachteil.



Welchen Vorteil hat die bräunliche Fellfärbung bei den Kattas?

Mit geringen Überlebenschancen sinkt gleichzeitig der Fortpflanzungserfolg. Denn Individuen, die nicht überlebt haben, können sich natürlich auch nicht mehr fortpflanzen. Sie bringen weniger Erbinformationen in die nächste Generation ein als Individuen mit höheren Überlebenschancen.



*Das vollziehe ich noch einmal an der Abbildung nach.
Die Unterschiede bei den Individuen...*

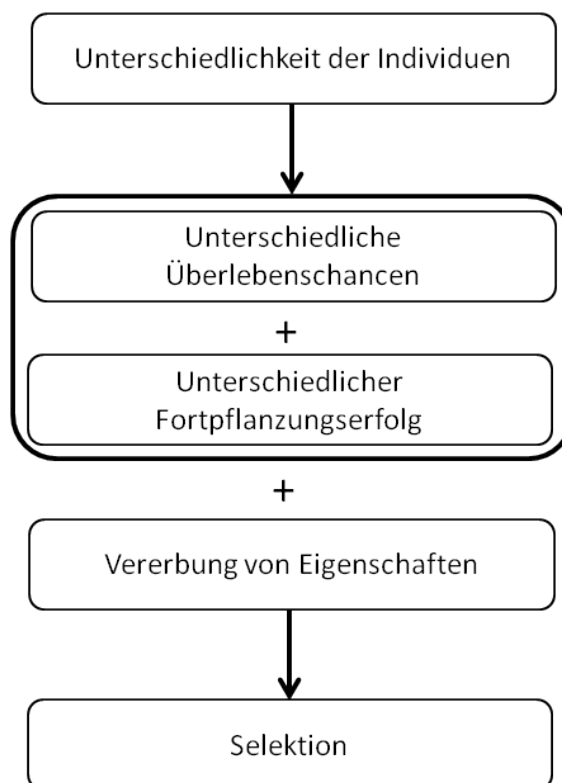
3. Lösungsschritt: Betrachtung der Auswirkungen auf die biologische Fitness

Individuen mit **nachteiligen Merkmalen** bringen weniger Kopien der eigenen Gene in den Genpool der nächsten Generation. Sie besitzen eine **geringe biologische Fitness**.



Im Einführungstext habe ich über biologische Fitness gelesen, dass...

Auf diese Weise kommt es zur Selektion.



Die Wirkungsweise der **Selektion** wird am besten am Beispiel des Birkenspanners, einem Schmetterling, deutlich.



Abb. 3: **Heller Birkenspanner auf einem Birkenstamm** (© Herbert Fuchs).

Die Normalform des Birkenspanners hat schwarz-weiß gesprenkelte Flügel. Mit dieser Färbung ist der Birkenspanner auf den mit Flechten bewachsenen Birkenrinden nur sehr schlecht zu entdecken.

1848 wurden in England erstmals auch Tiere mit dunklen Flügeln entdeckt. Die schwarzen Flügel sind infolge einer Mutation aufgetreten. Innerhalb der folgenden Jahre nahm die dunkle Mutante in den Industriegebieten Englands, Nordamerikas und Deutschlands zu. 1960 waren in der Gegend von Liverpool über 90% der Birkenspanner dunkel gefärbt. Die Wissenschaftler waren sehr verwundert. Sie fragten sich, wie die dunkle Form die Normalform so schnell weitgehend verdrängen konnte.



Abb. 4: Heller und Dunkler Birken-spanner (© U. Kattmann).



Die dunkle Form kann ich auf dem Bild viel besser erkennen.

Über die Lebensweise des Birkenspanners weiß ich jetzt...



1. Lösungsschritt: Betrachtung von Unterschieden

Bei den Birkenspannern findet man zwei Färbungen: die helle schwarz-weiß gesprenkelte Form und die dunkle Form. In den Industriegebieten findet man sehr viel häufiger die dunkle Form.

2.1 Lösungsschritt: Betrachtung der Überlebens- und Fortpflanzungschancen

Auf den mit Flechten bewachsenen Birken hat die helle Form einen **Überlebensvorteil**. Sie wird im Gegensatz zur dunklen Form nicht so schnell von möglichen Fressfeinden entdeckt.

Deshalb betrachteten die Wissenschaftler die Umwelt des Birkenspanners in den Industriegebieten genauer. Sie stellten fest, dass die Baumrinde der Birken durch die Luftverschmutzung dunkler geworden war.

2.2 Lösungsschritt: Betrachtung der Überlebens- und Fortpflanzungschancen

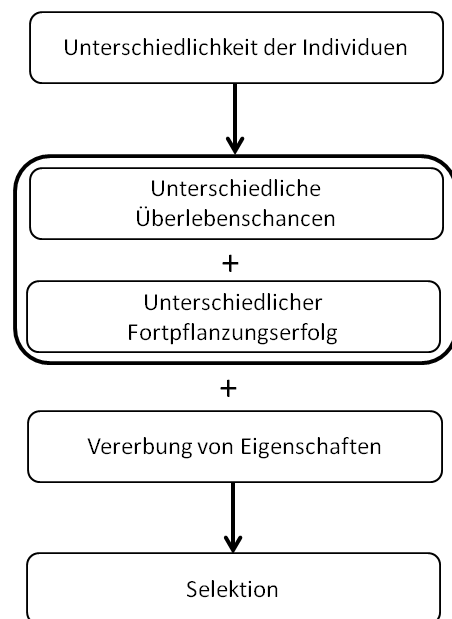
Die dunkle Form des Birkenspanners hatte auf den vom Industrie-ruß geschwärzten Birkenrinden einen **Überlebensvorteil** gegenüber der Normalform. Die Fressfeinde entdeckten nun häufiger die schwarz-weiß gesprenkelten Tiere.

Dadurch, dass mehr Birkenspanner mit dunklen Flügeln überlebten, konnten sie sich auch häufiger fortpflanzen. Die Mutation wurde somit in die nächste Generation vererbt. Die helle Form wiederum konnte sich aufgrund der geringen Überlebenschancen nicht so häufig fortpflanzen.

3. Lösungsschritt: Betrachtung der Auswirkungen auf die biologische Fitness

Tiere mit dunklen Flügeln besaßen nun eine **höhere biologische Fitness** als die helle Form. Ihr Vorkommen erhöhte sich.

Findet Selektion, wie in diesem Beispiel, aufgrund von unterschiedlichen Überlebenschancen statt, spricht man von **natürlicher Selektion**.



Natürliche Selektion bedeutet also...

Nach Einführung von Emissionsgrenzen (Ausstoßgrenzen) änderte sich das Bild wieder.

In der unten stehenden Grafik ist die Entwicklung der dunklen Mutante seit Einführung dieser Emissionsgrenzen zusammen mit dem Schadstoffgehalt dargestellt.

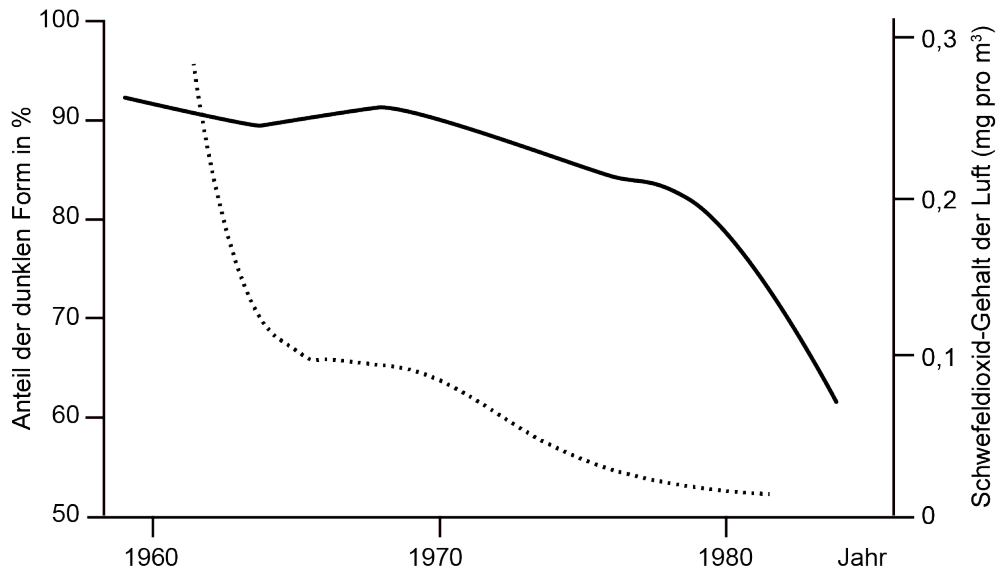


Abb. 5: Häufigkeit der dunklen Form des Birkenspanners im Industriegebiet um Liverpool (durchgezogene Linie) im Zusammenhang mit dem Schadstoffgehalt (hier exemplarisch durch den Schwefeldioxid-Gehalt dargestellt) (gestrichelte Linie) (verändert nach BIOskop2, S.281).



Auf der x-Achse ist ... dargestellt.
Auf der linken y-Achse ist ... dargestellt.
Auf der rechten y-Achse ist ... dargestellt.
Die unterschiedlichen Kurven sind ...

Der Schadstoffgehalt wird am Beispiel des Schwefeldioxid-Gehalts (gestrichelte Linie) angegeben. Dargestellt ist, wieviel Miligramm Schwefeldioxid pro Kubikmeter Luft enthalten ist.

Der Anteil der dunklen Form des Birkenspanners wird prozentual zur Gesamtpopulation angegeben (durchgezogene Linie).

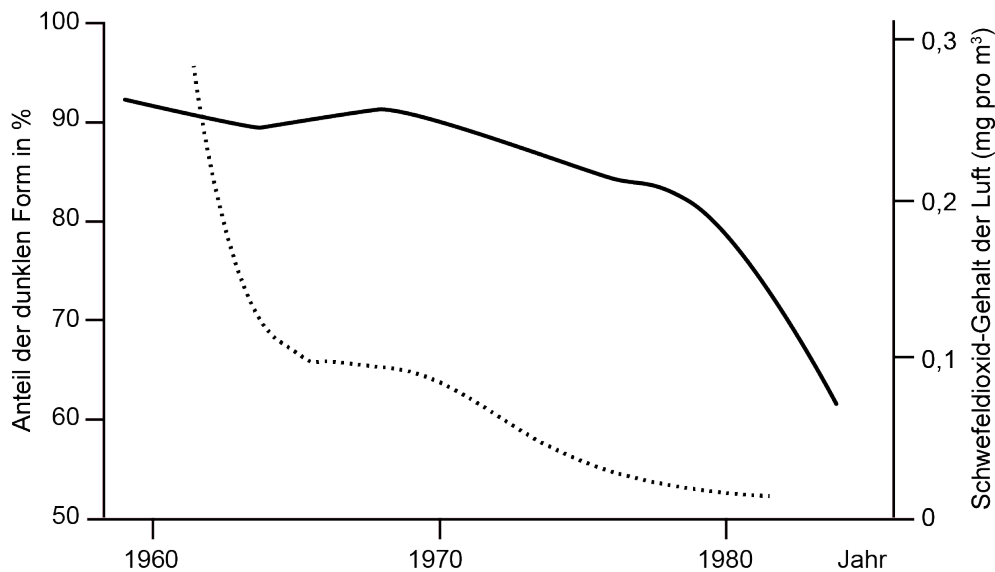


Abb. 6: Häufigkeit der dunklen Form des Birkenspanners im Industriegebiet um Liverpool (durchgezogene Linie) im Zusammenhang mit dem Schadstoffgehalt (hier exemplarisch durch den Schwefeldioxid-Gehalt dargestellt) (gestrichelte Linie) (verändert nach BIOskop2, S.281).

Mit sinkendem Schadstoffgehalt nimmt zeitversetzt auch die Anzahl der Birkenspanner mit dunklen Flügeln ab. 1985 waren wieder ungefähr 40% der Population hell gefärbt.



Wie kann ich das aus der Grafik ableiten?

1. Lösungsschritt: Betrachtung von Unterschieden

Bei den Birkenspannern findet man zwei Färbungen: die helle schwarz-weiß gesprenkelte Form und die dunkle Form. Nach Einführung von Emissionsgrenzen nahm der Anteil der dunklen Form in den Industriegebieten kontinuierlich ab.

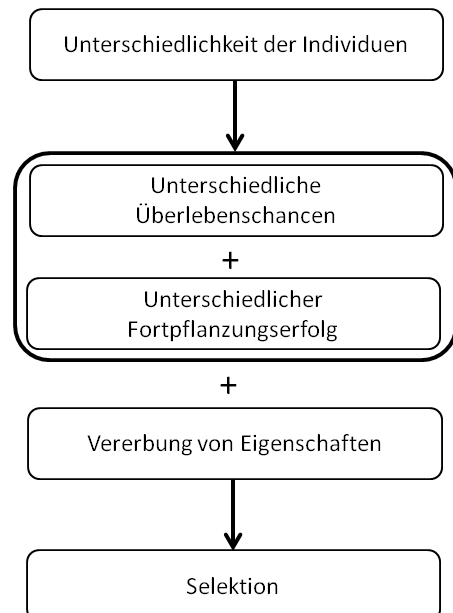
Durch die sinkende Luftverschmutzung ging auch die Anzahl der durch den Industrieruß geschwärzten Birkenrinden zurück.

2. Lösungsschritt: Betrachtung der Überlebens- und Fortpflanzungschancen

Die helle Form besaß nun wieder einen **Überlebensvorteil** gegenüber der dunklen Mutante, da der Industrieruß die Birkenrinde nicht mehr schwarz färbte.

3. Lösungsschritt: Betrachtung der Auswirkungen auf die biologische Fitness

In einem Gebiet mit der von weißen Flechten besetzten Birkenrinde haben sie einen **Selektionsvorteil** und besitzen somit eine **höhere biologische Fitness** als die dunkle Form.

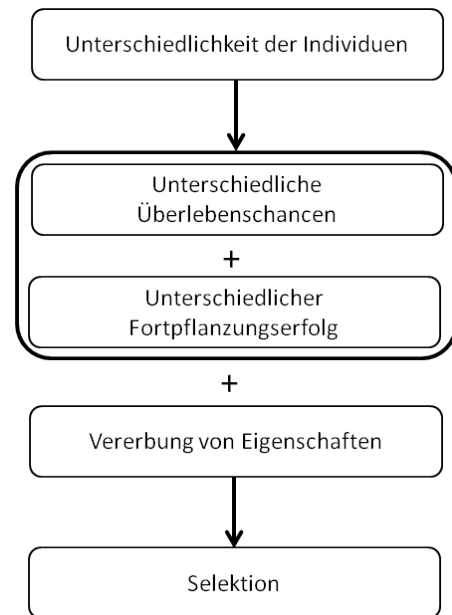


Das Beispiel des Birkenspanners macht deutlich, dass **Angepasstheit umweltabhängig** ist.

Selektionsvorteil heißt also...



Die **Unterschiedlichkeit der Individuen** ermöglicht eine **Selektion** von **vorteilhaften Genen**.



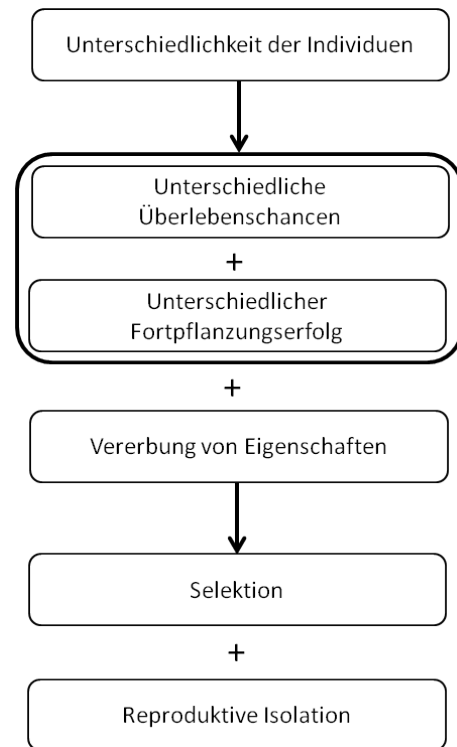
Die **Selektion** wiederum stellt den Mechanismus für die **Entstehung von Arten** dar.

Allerdings muss noch eine weitere Bedingung erfüllt sein, damit eine neue Art entstehen kann.



Eine Art ist definiert als...

Damit aus einer Ursprungsform verschiedene Arten entstehen können, ist es notwendig, dass verschiedene Populationen einer Art **langfristig reproduktiv voneinander getrennt** werden.



Für die Entstehung von Arten ist wichtig, dass...



Eine **Population** ist eine Gruppe von Individuen einer Art, die in einem **bestimmten Gebiet** zusammenleben.

Die einfachste Form einer solchen **reproduktiven Isolation** ist eine **geografische Trennung**.

Verändert sich beispielsweise ein Flusslauf, so kann dies dazu führen, dass eine Population in zwei Gruppen getrennt wird.

Durch die geografische Trennung ist der **Genfluss** zwischen den jeweiligen Populationen **unterbrochen**. Auf diese Weise wirkt sich jede Veränderung im Genpool einzig auf die Population aus, in der sie auftritt.

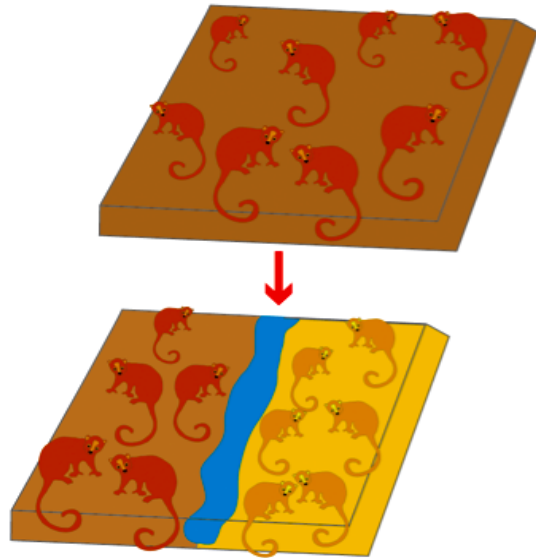


Abb. 7: Schema der Artbildung unter der Bedingung der geografischen Trennung (Quelle: IPN)



Eine geografische Trennung bewirkt also, dass...

Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Individuen findet in beiden Populationen **Selektion** statt. Die getrennten Populationen entwickeln sich langsam auseinander.

Diese Auseinanderentwicklung wird noch verstärkt, wenn beide Populationen unterschiedlichen **Umweltbedingungen** ausgesetzt sind. Denn in den verschiedenen Umwelten erweisen sich auch verschiedene Merkmale als **vorteilhaft für das Überleben und die Fortpflanzung**.

Die **Selektion** „lenkt“ in unterschiedliche Richtungen.

Räumlich getrennte Populationen entwickeln sich langsam auseinander, weil...



Können sich die Teilpopulationen bei einem späteren Zusammentreffen, also auch ohne geografische Trennung, nicht mehr fruchtbar miteinander fortpflanzen, so haben sich verschiedene Arten entwickelt.

In diesem Fall war auch die Fortpflanzung von der Veränderung betroffen.

Die durch eine geografische Isolation beschriebene Artbildung wird **allopatrische Artbildung** genannt.

Allopatrisch setzt sich aus dem griechischen Wort *allos* = anders und dem lateinischen Wort *patria* = Heimat zusammen.

Auch bei den Lemuren kann man eine solche **allopatrische Artbildung** finden.



Über die Lebensweise der Lemuren weiß ich...

Bevor sich die Primaten entwickelten, war Madagaskar schon durch eine breite Wasserbarriere von Afrika isoliert. Da alle Lemuren auf eine Stammart zurückzuführen sind, muss ihr Vorfahre über das Wasser auf die Insel gelangt sein.

Man geht davon aus, dass mehrere Individuen mit treibender Vegetation die Überquerung geschafft haben.



Die geografische Trennung besteht hier also dadurch, dass...

Auf Madagaskar fanden die Vorfahren der Lemuren im Vergleich zum Festland eine vollkommen andere Vegetation vor und auch der Feinddruck fehlte.

Im Laufe der Zeit entwickelten sich die Affen auf dem Festland und die Affen auf Madagaskar in unterschiedliche Richtungen:

Für das **Überleben** auf Madagaskar waren andere Merkmale von Vorteil als für das **Überleben** im übrigen Afrika. Es bildeten sich unterschiedliche Arten.



Wie bildeten sich unterschiedliche Arten auf Madagaskar und im übrigen Afrika aus?

Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Individuen, die zu einem großen Teil auf die genetische Vielfalt zurückzuführen ist, findet Selektion statt.

Verschiedene Populationen einer Art verändern sich auf unterschiedliche Weise.

Kommt es zusätzlich zu einer reproduktiven Isolation von Populationen, kann die Selektion zu der Entstehung neuer Arten führen.

