

Biologie

Evolution

ABITUR **MEHR**  
ERFAHREN



**STARK**

# Inhalt

Vorwort

<b>Die Arten im Wandel</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Der Evolutionsgedanke – Ein historischer Überblick</b> .....	<b>2</b>
1.1 Artkonstanz .....	2
1.2 Die Entwicklung der Arten .....	3
1.3 Die Selektionstheorie von Darwin .....	4
<b>2 Das System der Organismen</b> .....	<b>7</b>
2.1 Die organismische Vielfalt – Die Art als Grundeinheit .....	7
2.2 Die Gliederung in größere Verwandtschaftsgruppen .....	9
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>12</b>
<b>Spurensuche: Belege für die Evolution</b> .....	<b>13</b>
<b>1 Fossilien – Zeugen vergangenen Lebens</b> .....	<b>14</b>
1.1 Wie entstehen Fossilien? .....	16
1.2 Die relative Altersbestimmung .....	17
1.3 Die absolute Altersbestimmung .....	18
<b>2 Methoden der Verwandtschaftsforschung</b> .....	<b>20</b>
2.1 Vergleichend-morphologische Verfahren – Homologie und Analogie .....	20
2.2 Die biogenetische Grundregel .....	28
2.3 Rudimente und Atavismen .....	30
2.4 Die molekulare Strukturverwandtschaft .....	32
<b>3 Biogeografie</b> .....	<b>38</b>
3.1 Konvergente Entwicklungen in gleichartigen Lebensräumen .....	38
3.2 Inseln – Modellbeispiele für Evolutionsprozesse .....	39
3.3 Die Ursachen disjunkter Verbreitung .....	41
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>42</b>
<b>Wege der Stammesentwicklung: Beispiele evolutiver Transformationen</b> .....	<b>43</b>
<b>1 Die Entstehung des Lebens</b> .....	<b>44</b>
1.1 Die Anfänge – Die chemische Evolution .....	44
1.2 Exkurs: Self-Assembly und Hyperzyklus – Selbstorganisation und Reproduktion von biologischen Makromolekülen .....	46
1.3 Die ersten Schritte der biologischen Evolution .....	47

*Fortsetzung siehe nächste Seite*

<b>2 Von der Prozyte zur Euzyte – Die Endosymbionten-Hypothese</b> .....	<b>49</b>
<b>3 Die Evolution der Blütenpflanzen</b> .....	<b>52</b>
3.1 Insekten als Bestäuber .....	54
3.2 Weitere Evolutionsschritte der Angiospermen .....	54
3.3 Exkurs: Die Evolution der Fortpflanzung im Pflanzenreich .....	55
<b>4 Beispiele aus der Evolution der Wirbeltiere</b> .....	<b>57</b>
4.1 Die Eroberung des Festlandes durch die Wirbeltiere .....	57
4.2 Exkurs: Latimeria chalumnae – Ein lebendes Fossil .....	59
4.3 Die adaptive Radiation der Reptilien .....	60
4.4 Sind die Vögel lebende Dinosaurier? .....	62
4.5 Trends in der Evolution der Pferdeartigen .....	66
<b>5 Faunenschnitte und die Problematik des Aussterbens</b> .....	<b>68</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>71</b>

## **Kausalanalyse der Stammesgeschichte:**

<b>Die Evolutionsfaktoren</b> .....	<b>73</b>
<b>1 Von Darwin zur Synthetischen Theorie</b> .....	<b>74</b>
<b>2 Die Population als Grundeinheit der Evolution</b> .....	<b>76</b>
<b>3 Populationen sind variabel – Zufällige Änderungen der Genotypen</b> .....	<b>79</b>
3.1 Die Modifikation .....	79
3.2 Die Mutation .....	80
3.3 Die Rekombination – Erweiterung der Variation .....	83
3.4 Springende Gene .....	84
3.5 Das Ergebnis der genetischen Variabilität: Populationen sind polymorph .....	85
<b>4 Selektion – Survival of the fittest</b> .....	<b>87</b>
4.1 Beispiele für Selektion .....	88
4.2 Die Wirkungsweisen der Selektion .....	91
4.3 Fitness und die Evolution sozialer Verhaltensweisen .....	93
4.4 Beispiele für den soziobiologischen Erklärungsansatz .....	95
<b>5 Die Gendrift</b> .....	<b>98</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>100</b>

## **Das Zusammenwirken der Evolutionsfaktoren** .....

<b>1 Die Theorie der Artbildung</b> .....	<b>102</b>
1.1 Die allopatrische Artbildung .....	103
1.2 Die sympatrische Artbildung .....	108
<b>2 Mimikry – Eine mögliche Form des Schutzes</b> .....	<b>111</b>

<b>3</b>	<b>Koevolution – Beziehungen zwischen Arten</b>	<b>114</b>
3.1	Räuber und Beute	114
3.2	Symbiose zwischen Blütenpflanze und Bestäuber	115
3.3	Pflanzenschutz durch Ameisen	116
<b>4</b>	<b>Die Entstehung evolutionärer Neuheiten</b>	<b>117</b>
4.1	Kontinuität in der Evolution von Merkmalen	117
4.2	Mosaikrevolution und Bauplan	119
4.3	Allometrie – Die Entstehung von Neubildungen	121
4.4	Änderungen in der frühen Ontogenese	122
4.5	Ergänzende und alternative Vorschläge zur Synthetischen Evolutionstheorie	123
	<b>Zusammenfassung</b>	<b>125</b>
	<b>Humanevolution</b>	<b>127</b>
<b>1</b>	<b>Die systematische Stellung des Menschen</b>	<b>128</b>
<b>2</b>	<b>Schimpanse und Mensch – Ein Vergleich</b>	<b>129</b>
2.1	Der aufrechte Gang	129
2.2	Schädel und Gehirn	130
2.3	Der Ontogenesevergleich	132
<b>3</b>	<b>Fossile Funde – Die Einordnung in den menschlichen Stammbaum</b>	<b>133</b>
3.1	Steckbriefe von wichtigen Fossilien	133
3.2	Vorfahren oder Seitenzweig? – Hypothesen der menschlichen Stammesgeschichte	137
3.3	Der Ursprung des Homo sapiens – Die Eva-Hypothese	140
<b>4</b>	<b>Die kulturelle Evolution</b>	<b>142</b>
4.1	Die jüngsten Zweige der Humanevolution – Homo sapiens neanderthalensis und Homo sapiens sapiens	142
4.2	Die menschliche Sprache	144
	<b>Zusammenfassung</b>	<b>144</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>145</b>
	<b>Abbildungsnachweis</b>	<b>149</b>

**Autor:** Dr. Henning Kunze



# Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Evolution ist ein faszinierendes, aber auch verwirrendes Thema der Biologie. Faszinierend, weil jeder Organismus und jeder Lebensprozess evolutiv entstanden ist und die Evolutionsbiologie daher die Verständnisgrundlage für *alle* biologischen Phänomene bildet. Aus demselben Grunde aber auch verwirrend, da die Fülle der Beispiele und Erklärungsansätze kaum zu überschauen ist. Dieser Band der Reihe Abitur-Wissen versucht, beide Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Die Auswahl interessanter Evolutionsprozesse sowie die Berücksichtigung neuester Forschungsergebnisse der Paläontologie, Verwandtschaftsforschung und der kausalen Evolutionsforschung fordern zu einer Entdeckungsreise in die Evolution auf. Eine **umfangreiche Bebilderung** verbessert die Anschaulichkeit, wobei der Informationsgehalt der Abbildungen zu vertieftem Studium anregt. Das Verständnis wird zudem erleichtert durch **übersichtliche Schemata**, die die oft komplexen Zusammenhänge auf einen Blick erfassen lassen.

Abweichend von vielen Lehrbüchern ist darüber hinaus die Kapitelfolge so angelegt, dass sich ein „roter Faden“ durch das ganze Buch zieht, der sich an drei Grundfragen orientiert:

- Wie lässt sich die **Verwandtschaft der Organismen** und damit die Tatsache der Evolution belegen? (Kapitel 1 und 2)
- Wie lässt sich der **Verlauf der Stammesgeschichte** in wichtigen Etappen rekonstruieren? (Kapitel 3)
- Welche **Ursachen bzw. Mechanismen** liegen **der Evolution** der Organismen zugrunde? (Kapitel 4 und 5)

Die **Evolution des Menschen** wurde in ein eigenes Kapitel an das Ende des Bandes gestellt.

Ich wünsche Ihnen eine das Interesse weckende und das Verständnis fördernde Lektüre!



Dr. Henning Kunze



### 3 Biogeografie

#### 3.1 Konvergente Entwicklungen in gleichartigen Lebensräumen

Australien ist der Kontinent der Beuteltiere. Obwohl diese Säugetiere im Tertiär noch in Eurasien, Afrika und Amerika weitverbreitet waren, sind sie heute bis auf wenige Arten in Amerika auf Australien und Neuseeland beschränkt. Dieser Rückgang lässt sich mit der Entfaltung der plazentalen Säugetiere und ihrer Konkurrenzüberlegenheit erklären. Nach Australien gelangten nur wenige Plazentalier, z. B. Fledermäuse, sodass sich hier die Beuteltiere frei entfalten konnten. Dabei haben sie in Konvergenz zu den plazentalen Säugetieren viele gleichartige ökologische Nischen mit ähnlichen Lebensformen besetzt.

Die **ökologische Nische** eines Organismus ist die Gesamtheit seiner Ansprüche an die Umwelt.

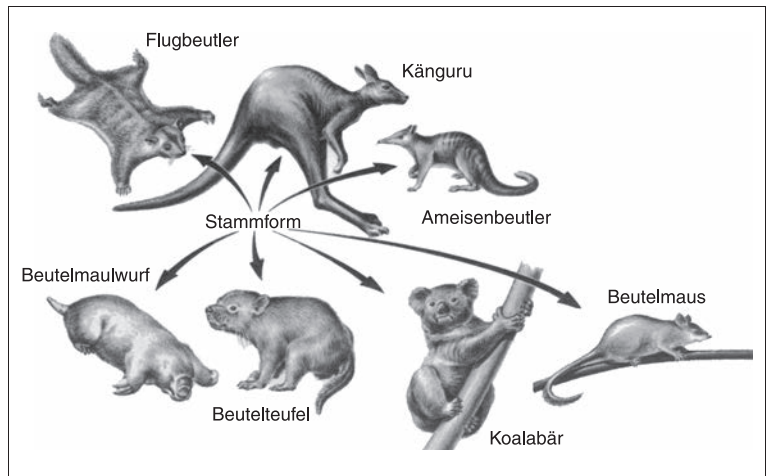


Abb. 36: In Konvergenz zu den plazentalen Säugetieren haben sich bei Beuteltieren gleichartige Lebensformen entwickelt.

Ähnlich haben sich auch nicht verwandte Vogelgruppen wie die Kolibris (Neue Welt) und die Nektarvögel (Alte Welt) an die Erschließung des Blütennektars als Nahrungsquelle konvergent angepasst (Abb. 37). Die Anpassungen umfassen nicht nur die Form und Länge des Schnabels, sondern auch die Ausbildung der Zunge zum Aufnehmen des Nektars. Die Kolibris besitzen lange Zungen, die an der Spitze in zwei dünne, aus Horn gebildete Röhren auslaufen, mit denen der Nektar kapillar aufgenommen wird. Die Nektarvögel haben dagegen eine Pinselzunge, mit der sie den Nektar aufnehmen. Diese unterschied-

**Alte Welt** bezeichnet die bis zur Entdeckung Amerikas bekannten Kontinente Europa, Asien und Afrika. Die **Neue Welt** umfasst Nord-, Mittel- und Südamerika.



lichen Lösungen desselben Funktionsproblems deuten auch auf die Nichtverwandtschaft und damit Konvergenz beider Gruppen. Interessanterweise haben die Nektarvögel nicht die hoch entwickelte Form des Schwirrfuges erreicht, der die Kolibris befähigt, wie ein Hubschrauber in der Luft zu stehen und fliegend die Blüten auszubeuten. Nektarvögel suchen sich nahe der Blüte eine Sitzgelegenheit beim Blütenbesuch.

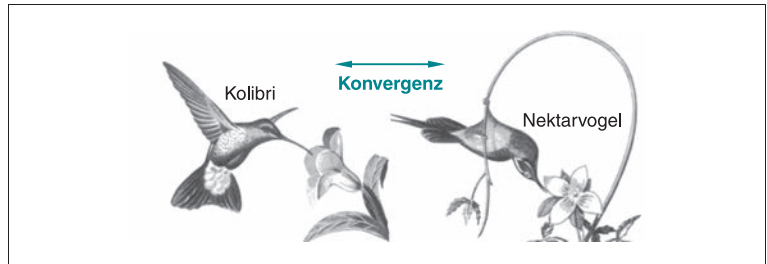


Abb. 37: Nektar als Nahrungsquelle hat bei Kolibris und Nektarvögeln zu konvergenten Formen geführt.

### 3.2 Inseln – Modellbeispiele für Evolutionsprozesse

Eine wichtige Rolle für die Entwicklung der Evolutionstheorie spielten die Inselfaunen und -flore. Weitab vom Festland liegende Inselgruppen wie Hawaii oder Galapagos beherbergen Pflanzen- und Tierarten, die zwar mit kontinentalen Arten nahe verwandt sind, sich aber auf den Inseln eigenständig weiterentwickelt haben. Die Darwinfinken auf dem Galapagos-Archipel haben sich zu einer nur hier vorkommenden Gruppe von 13 Arten entwickelt. Ihre nahe Verwandtschaft mit Finken auf dem südamerikanischen Festland weist darauf hin, dass einige dieser Finken zufällig auf die Inseln gelangten und die Gründerpopulation der Darwinfinken bildeten. Eine ehemalige Landbrücke zwischen beiden Gebieten ist auszuschließen, da die Inseln vulkanischen Ursprungs sind und über 1 000 km vom Festland entfernt liegen. In Anpassung an verschiedene Nahrungsnischen haben sich insbesondere die Schnabelformen und die Körpergröße der Darwinfinken auseinanderentwickelt. Solche nur in einem begrenzten Gebiet vorkommenden Arten bezeichnet man als **endemisch**.

Die Darwinfinken zeigen im kleinen Rahmen ein Modellbeispiel einer evolutiven Entstehung der Artenvielfalt. Da dies in Anpassung an Umweltverhältnisse geschieht, wird der Vorgang als **adaptive Radiation** bezeichnet (Abb. 38).

**Fauna:** Alle Tiere eines bestimmten Gebiets oder einer Zeitepoche.

**Flora:** Alle Pflanzen eines bestimmten Gebiets oder einer Zeitepoche.

**Gründereffekt:** Kleine auswandernde Populationen enthalten eine zufällige Auswahl der Gene ihrer Ursprungspopulationen.  
→ vgl. Gendrift S.98 f.

**Endemisch** sind Arten, deren Vorkommen auf ein bestimmtes Gebiet begrenzt ist.

Unter **adaptiver Radiation** versteht man die in relativ kurzer geologischer Zeit ablaufende Entstehung vieler neuer Arten aus einer Stammart, wobei die Arten sich durch Anpassung an verschiedene Umweltegebenheiten auseinanderentwickelten.

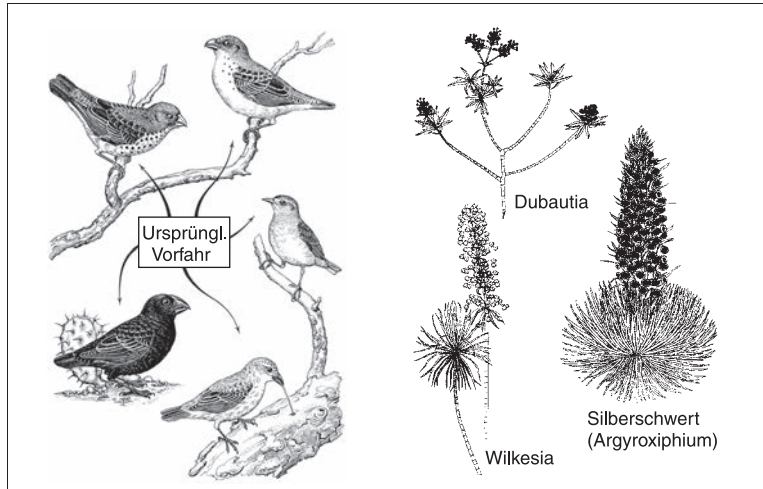


Abb. 38: Adaptive Radiation bei den Darwinfinken auf den Galapagosinseln.

Abb. 39: Differenzierung von nahe verwandten Korbblütlern auf Hawaii.

→ Adaptive Radiation der Reptilien siehe S. 60 f.

Weitere Beispiele solcher adaptiven Radiationen auf Inseln sind die Kleidervögel auf Hawaii (ursprünglich etwa 47 Arten) und die Gattung *Drosophila*, die allein auf Hawaii über 500 endemische Arten hervorgebracht hat. Unter den Pflanzen ist der Silberschwert-Komplex auf den Hawaii-Inseln ein interessantes Beispiel für eine auseinanderlaufende (divergierende) Evolution: die drei Gattungen *Argyroxiphium*, *Dubautia* und *Wilkesia* bilden ganz unterschiedliche Wuchsformen aus – von bodenständigen Rosetten bis zu 3 m hohen baumartigen Gestalten (Abb. 39). Trotzdem hybridisieren sie noch miteinander, was auf ihre enge Verwandtschaft deutet. Der Silberschwert-Komplex ist eng verwandt mit Korbblütlern des kalifornischen Festlandes, von denen er letztlich abstammt.



## 1 Die Theorie der Artbildung

**Ernst Mayr** (geb. 1904–2005) war wesentlich an dem Ausbau der Synthetischen Evolutionstheorie beteiligt.

Der Zoologe Ernst Mayr fasste die Bedeutung der Artbildung folgendermaßen zusammen: „Artbildung, die Produktion von neuen Genkomplexen, die ökologische Veränderungen ertragen können, ist die Methode, durch die Evolution voranschreitet. Ohne Artbildung gäbe es keine Diversifizierung der organischen Welt, keine adaptive Radiation und sehr wenig evolutionären Fortschritt. Die Art ist folglich der Grundstein der Evolution.“

Unter **Artbildung** (Speziation) versteht man die Entstehung von genetischen Barrieren gegen den Genaustausch zwischen Populationen. Erst durch eine solche Barriere ist eine Population gegen die andere fortpflanzungsmäßig abgegrenzt und damit eine neue Art.

Grundsätzlich können neue Arten auf zweierlei Weisen in der Evolution entstehen. Im Laufe längerer Zeiträume ändern sich biotische und abiotische Umweltbedingungen, als Folge davon ändern Arten ihr Erscheinungsbild in allmählich fortschreitender Weise. In einigen Fällen gleichmäßiger Bildung von

Sedimentschichten konnte man den kontinuierlichen Wandel von Eigenschaften einer Art am fossilen Material praktisch lückenlos nachweisen, wie das Beispiel der Süßwasserschnecke *Viviparus* zeigt. Solche Formenreihen in der Zeitfolge führen zu dem – ungelösten – Problem, ab wann im Laufe dieser evolutionären Änderungen von einer neuen Art zu sprechen ist. Die

Biospezies-Definition kann nicht angewandt werden, da die Vergleichsart nicht mehr existiert, sie hat sich ja zu der nachfolgenden „Art“ entwickelt. Die Abgrenzung von Arten innerhalb einer in der Zeit ablaufenden **Artumwandlung** muss notgedrungen willkürlich bleiben. Zudem entstehen dabei auch nicht mehr Arten.

→ Biospezies-Definition siehe S. 9

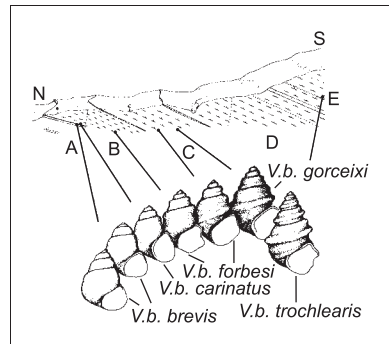


Abb. 84: Artumwandlung der Süßwasserschnecke *Viviparus brevis*.

**Artumwandlung:** allmähliche, über viele Generationen stattfindende Veränderung einer Art, ohne dass es zu einer Artspaltung kommt.

**Allopatrisch** bedeutet räumlich getrenntes Vorkommen, **sympatrisch** sind Populationen in einem gemeinsamen Verbreitungsgebiet.

Die Entstehung der Artenvielfalt setzt dagegen eine **Artaufspaltung** voraus, bei der aus einer Ursprungsart zwei oder mehrere neue Arten entstehen. Man unterscheidet zwei Möglichkeiten, wie es zur Artaufspaltung kommen kann: die **allopatrische** und die **sympatrische Artbildung**, wobei der ersten Form die größte Bedeutung zukommt.

### 1.1 Die allopatrische Artbildung

→ Genfluss siehe S. 78

Die allopatrische Form der Artbildung (Abb. 85) ist bei Weitem die häufigste und wichtigste. Die Theorie geht davon aus, dass innerhalb einer Population aufgrund des Genaustauschs zwischen allen Mitgliedern bei geschlechtlicher Fortpflanzung normalerweise keine Fortpflanzungsbarrieren entstehen können. Auch zwischen verschiedenen Populationen einer Art besteht gewöhnlich ein Genaustausch, z. B. durch Tierwanderungen oder durch Pollenflug bei windbestäubten Pflanzen. Man bezeichnet diesen Genaustausch zwischen Populationen als **Genfluss**.

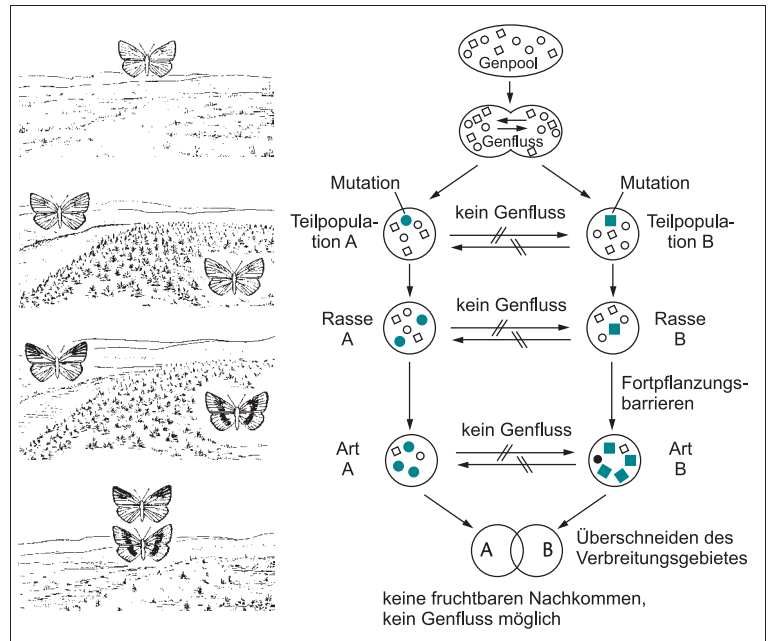


Abb. 85: Modell und theoretisches Schema der allopatrischen Artbildung.

Bei der **allopatriischen Artbildung** entstehen Fortpflanzungsbarrieren in räumlich getrennten (separierten) Populationen einer Ursprungsart.

Damit sich zwei verschiedene Populationen einer Art unterschiedlich entwickeln und letztlich zu zwei neuen Arten umbilden, muss der Genfluss zwischen ihnen unterbrochen werden. Bei der allopatriischen Artbildung geschieht dies durch eine zufällige räumliche Trennung der Populationen, die man als **Separation** bezeichnet. Diese Trennung ist zunächst rein geografisch zu verstehen, die getrennten Populationen gehören noch zur selben Art.

### Beispiele für Separation

Klassische Beispiele für Separation sind in der Besiedlung ozeanischer Inseln gegeben. Auf den weit von Kontinenten entfernt liegenden Inselgruppen von Galapagos und Hawaii bildeten jeweils wenige, vom Sturm zufällig dorthin getragene Vogelgruppen die Ausgangspopulation für die Besiedlung. Diese Gründerpopulationen waren damit räumlich vollständig von ihrer Ursprungspopulation getrennt, so dass kein Genfluss mehr stattfand.

Separation kann auch die Folge klimatischer Änderungen sein. In unseren Breiten war während der Eiszeiten das Klima so verändert, dass durch die Vergletscherung viele Populationen auswanderten und in westliche, südliche und östliche Teilpopulationen aufgespalten wurden. Aus einer solchen Separation sind die allopatriischen, nahe verwandten Arten Nachtigall und Sprosser entstanden (Abb. 86).

→ Biogeografie  
siehe S. 38 ff.

→ Gründerpopulation  
siehe S. 99

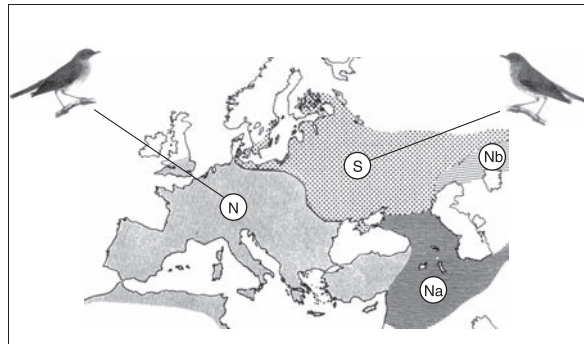


Abb. 86: Nachtigall (N) und Sprosser (S), zwei nahe verwandte Arten. Die Verbreitungskarte zeigt, dass die beiden Arten allopatriisch entstanden sind; sie kreuzen sich an ihrer gemeinsamen Grenze nicht. Na und Nb sind Unterarten der Nachtigall.

Auch geologische Ereignisse wie die Bildung der Landbrücken zwischen Nord- und Südamerika oder die Entstehung des Grand Canyon führten zur Trennung von Populationen und damit zur Unterbindung des Genflusses zwischen ihnen. Durch die Landbrücke wurden pazifische Populationen von atlantischen vollständig abgeschnitten.



© **STARK Verlag**

[www.stark-verlag.de](http://www.stark-verlag.de)  
[info@stark-verlag.de](mailto:info@stark-verlag.de)

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH ist urheberrechtlich international geschützt. Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung des Rechteinhabers in irgendeiner Form verwertet werden.

**STARK**