



**MEHR  
ERFAHREN**

Zellbi

Neuro

**Biol**

Obers



Genetik und Entwicklung  
Immunbiologie · Evolution · Verhalten

**Biologie-KOMPAKT 2**

Oberstufe

**STARK**



**MEHR  
ERFAHREN**

Zellbiologie und Stoffwechsel  
Neurobiologie · Ökologie

## **Biologie-KOMPAKT 1**

Oberstufe

**STARK**

# Inhalt

## Vorwort

## Zellen und Stoffwechsel .....

1	Zellen: Struktur- und Funktionseinheiten aller Organismen .....	1
1.1	Struktureinheit „Zelle“ .....	1
1.2	Zelltypen .....	3
1.3	Stoffliche Zusammensetzung von Zellen .....	6
1.4	Zellbestandteile .....	11
1.5	Zellteilungen .....	17
1.6	Transportvorgänge .....	19
2	Stoff- und Energiewechsel .....	23
2.1	Lebende Organismen als energetische Systeme .....	23
2.2	Biokatalyse durch Enzyme .....	24
2.3	Stoffwechselformen .....	29
2.4	Fotosynthese .....	30
2.5	Zellatmung .....	41
2.6	Gärungen .....	44

## Nerven, Sinne und Hormone .....

3	Nerven und Nervensysteme .....	47
3.1	Nervenzellen .....	47
3.2	Erregungsleitung am Axon .....	49
3.3	Erregungsleitung an Synapsen .....	54
3.4	Nervensysteme .....	60
3.5	Bau und Funktionen des Zentralnervensystems .....	61
3.6	Erkrankungen des Nervensystems .....	68
4	Rezeptoren und Sinnesorgane .....	69
4.1	Rezeptoren .....	69
4.2	Das Wirbeltierauge .....	70

4.3	Verarbeitung von Informationen im Gehirn .....	75
4.4	Weitere Sinnesorgane .....	77
<b>5</b>	<b>Hormone .....</b>	<b>78</b>
5.1	Hormonwirkung und -regulation .....	78
5.2	Regulation des Blutzuckerspiegels .....	81
5.3	Stressreaktionen .....	83
	<b>Ökologie .....</b>	<b>85</b>
	6 Ökosysteme und Umweltfaktoren .....	85
6.1	Biotope und abiotische Umweltfaktoren .....	86
6.2	Biozönosen und biotische Umweltfaktoren .....	93
6.3	Populationsdynamik .....	96
6.4	Ökosysteme .....	101
<b>7</b>	<b>Mensch und Umwelt .....</b>	<b>110</b>
7.1	Anthropogene Wirkungen auf die Umwelt .....	110
7.2	Globale Umweltprobleme .....	112
7.3	Umwelt- und Naturschutz .....	114

## Stichwortverzeichnis .....

**119**

**Autor:** Hans-Dieter Triebel

### Hinweise:

- Die entsprechend gekennzeichneten Kapitel enthalten ein **Lernvideo**. An den jeweiligen Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, den Sie mithilfe Ihres Smartphones oder Tablets scannen können.  
Im Hinblick auf eine eventuelle Begrenzung des Datenvolumens wird empfohlen, dass Sie sich beim Ansehen der Videos im WLAN befinden. Haben Sie keine Möglichkeit, den QR-Code zu scannen, finden Sie die Lernvideos auch unter:  
**<http://qrcode.stark-verlag.de/94718V>**
- Die mit **(2)** gekennzeichneten Verweise auf weitere relevante Textstellen beziehen sich auf den Band **Biologie-KOMPAKT 2** (Genetik und Entwicklung, Immunbiologie, Evolution, Verhalten; Verlags-Nr. 94719V).



# Vorwort

Liebe Schülerinnen und Schüler,

die Bände Biologie-KOMPAKT 1 und 2 (Verlags-Nr. 94719V) bieten Ihnen eine kompakte, aber gleichzeitig präzise und umfassende Darstellung des Unterrichtsstoffs der Biologie. Die Bücher eignen sich daher sowohl ausgezeichnet für den Schulalltag, parallel zu Ihren persönlichen Aufzeichnungen, als auch zur effektiven Vorbereitung auf Klausuren und das Abitur.

- Alle relevanten Fakten und Zusammenhänge stehen Ihnen damit **schnell und übersichtlich** zur Verfügung.
- Wichtige **Fachbegriffe** sind **farbig** hervorgehoben.
- Die Inhalte werden durch zahlreiche verständliche und schnell erfassbare **Grafiken, Diagramme und Schemata** veranschaulicht.
- Das **umfangreiche Stichwortverzeichnis** ermöglicht Ihnen die gezielte Suche nach bestimmten Begriffen und Inhalten.
- **Querverweise** erleichtern das Auffinden von themenübergreifenden und vertiefenden Darstellungen.

Zu ausgewählten Themen gibt es **Lernvideos**, in denen wichtige biologische Zusammenhänge dargestellt werden. An den entsprechenden Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, den Sie mithilfe Ihres Smartphones oder Tablets scannen können.



Ich wünsche Ihnen Freude an der Biologie und diesem Band und vor allem viel Erfolg auf dem Weg zum Abitur!

A handwritten signature in black ink that reads "Hans-Dieter Triebel".

Hans-Dieter Triebel



# Nerven, Sinne und Hormone

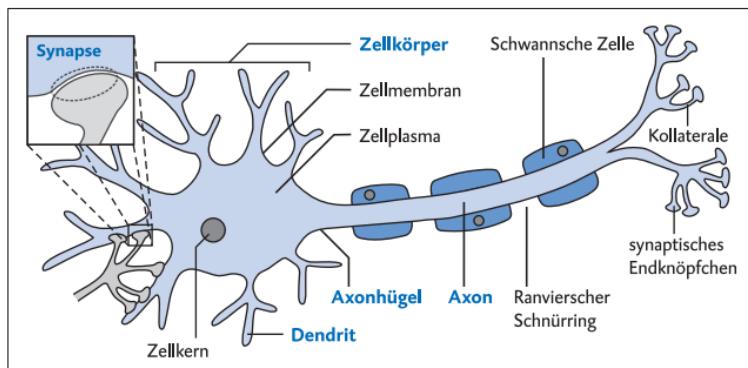
## 3 Nerven und Nervensysteme

Die Weiterleitung von Informationen aus der Umwelt und aus dem Organismus selbst in Form von **elektrischer Erregung**, ihre Verarbeitung und Speicherung ist bei Tier und Mensch an Nervenstrukturen gebunden. Diese bestehen aus spezialisierten Zellen, den **Nervenzellen (Neuronen)**, und sind in einem mehr oder weniger komplexen Nervensystem organisiert.

### 3.1 Nervenzellen (Neuronen)

#### Grundbauplan der Nervenzelle

Trotz teilweise starker Unterschiede hinsichtlich Größe, Zellkörperanordnung, Verzweigung etc. verfügen alle Nervenzellen über einen gemeinsamen Grundbauplan.



Aufbau eines Wirbeltiergeurons

Jedes Neuron besitzt einen **Zellkörper** (Soma, Perikaryon), der fast alle strukturellen Bestandteile einer „normalen“ Zelle wie Zytoplasma, Zellkern, Mitochondrien usw. enthält. Da Zentriolen fehlen, ist die Nerven-

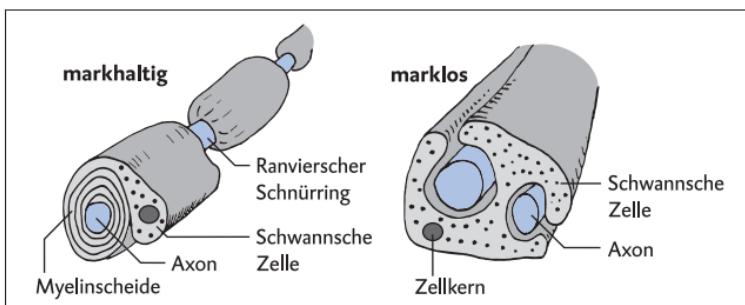
zelle nach der Embryonalentwicklung **nicht mehr teilungsfähig**. Der Zellkörper weist Verzweigungen auf. Die meist kürzeren Fortsätze, die Erregungen als elektrische Impulse zum Soma hinleiten, heißen **Dendriten**. Das **Axon** (auch: **Neurit**) ist ein Fortsatz, der oft aus einem leicht verdickten Anfangsbereich, dem **Axonhügel**, entspringt, und der Erregungen vom Soma weiterleitet. Am Ende der Axonverzweigungen (**Kollaterale**) befinden sich **synaptische Endknöpfchen**, an denen die Erregungen mithilfe von chemischen Botenstoffen, den Transmittern, auf andere Nerven- oder Muskelzellen übertragen werden (**Synapse**; siehe S. 54 ff.).

### Myelinisierte vs. nicht-myelinisierte Nervenfasern

Sogenannte Gliazellen umgeben das Axon, um es zu schützen, zu stützen, mit Nährstoffen und Sauerstoff zu versorgen und gegen die Umgebung zu isolieren. Eine spezielle Form der Gliazellen, die außerhalb von Gehirn und Rückenmark vorkommt, sind die **SCHWANNSchen Zellen**. Das Axon mitsamt der es wie ein Schlauch umgebenden Schwannschen Zellen wird als **Nervenfaser** bezeichnet. Dabei lassen sich zwei Typen von Nervenfasern unterscheiden:

- **Markhaltige (myelinisierte) Nervenfasern:** Die meisten Wirbeltieraxone sind markhaltige Axone, das bedeutet, sie sind von einer **Myelinscheide** (auch: **Markscheide, SCHWANNSche Scheide**) umhüllt, die aus der übereinander gewickelten Zellmembran der SCHWANNschen Zellen besteht. Durch das Myelin wird das Axon sehr effektiv isoliert.

Zwischen den einzelnen SCHWANNschen Zellen liegen kurze Axonbereiche frei, die als **RANVIERSche Schnürringe** bezeichnet werden. Hier ist das Axon folglich nicht isoliert.



Nervenfasertypen

- Marklose (nicht-myelinisierte) Nervenfasern:** Die Axone von Wirbellosen, aber auch die Axone in Teilen des Nervensystems der Wirbeltiere (vegetatives Nervensystem, siehe S. 66f.) können zwar auch von SCHWANNschen Zellen umgeben sein, sind aber nicht wie oben beschrieben umwickelt und weisen auch keine Schnürringe auf. Sie besitzen meist einen größeren Durchmesser.

## 3.2 Erregungsleitung am Axon

Als **Erregung** wird jede Änderung des Membranpotenzials an einer Nervenzelle bezeichnet. Das Membranpotenzial ist die elektrische Spannung, die durch die ungleiche Verteilung verschiedener Ionen (Ladungsträger) und damit elektrischer Ladungen innerhalb und außerhalb der Zelle entsteht. Man spricht von einer **Potenzialdifferenz (Ladungsdifferenz)** und vom **Membranpotenzial**.

### Ruhepotenzial

Vergleicht man mithilfe von Mikroelektroden die elektrische Ladung des Zellplasmas mit der des extrazellulären Milieus, so ist bei den meisten Zellen das Zellinnere negativ geladen. Nicht erregte Nervenzellen weisen eine Potenzialdifferenz von durchschnittlich etwa  $-70\text{ mV}$  zum extraplasmatischen Raum auf. Diese Potenzialdifferenz wird als **Ruhepotenzial (RP)** bezeichnet.

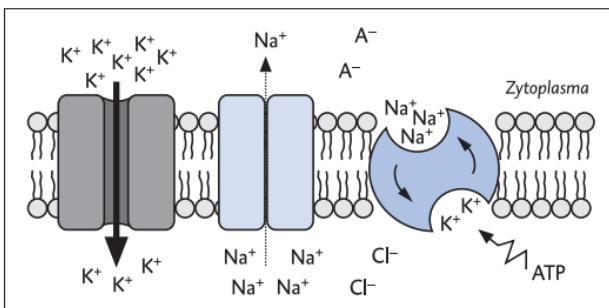
Die Ursache des in einem **dynamischen Gleichgewicht** befindlichen RPs liegt in der selektiven Permeabilität der Biomembran aufgrund der unterschiedlichen Beweglichkeit und des selektiven Transports von Ionen von einer Seite der Membran auf die andere begründet. Daraus ergibt sich eine **unterschiedlichen Verteilung der Ionen** auf beiden Membranseiten:

Ion	Konzentration im Zytoplasma (mmol/L)	Konzentration im Extrazellularraum (mmol/L)
Na <sup>+</sup>	12	145
K <sup>+</sup>	155	4
andere Kationen	0	5
A <sup>-</sup>	155	0
Cl <sup>-</sup>	4	120

Im Zellinneren befinden sich große Mengen an Kalium-Kationen ( $K^+$ ; positiv geladen) und an organischen Anionen ( $A^-$ ; negativ geladene Aminosäuren/Proteine), während außerhalb der Zelle Natrium-Kationen ( $Na^+$ ) und Chlorid-Anionen ( $Cl^-$ ) dominieren.

Im unerregten (Ruhe-)Zustand liegen in der Membran eines Axons viele ständig geöffnete Kaliumionenkanäle und geschlossene Natrium- und Chloridionenkanäle vor. Für organische Anionen ist die Zellmembran gar nicht durchlässig. Obwohl für alle Ionen ein **Konzentrationsgefälle** besteht, können sich daher nur die Kaliumionen durch die Membran bewegen. Aus der Zelle strömen so lange Kaliumionen dem Konzentrationsgefälle folgend aus, bis die zunehmende positive Ladung außen und die gleichermaßen zunehmende negative Ladung innen dies nicht weiter zulassen. Dem Bestreben nach **Konzentrationsausgleich** wirkt also das Bestreben nach **Ladungsausgleich** entgegen. Folglich stellt sich ein **Gleichgewicht** ein, das bei einer Potenzialdifferenz von etwa  $-70\text{ mV}$  liegt, und bei dem der Kaliumionenausstrom genauso groß ist wie der -einstrom. Das Ruhepotenzial entspricht weitgehend diesem Kalium-Gleichgewichtspotenzial.

Da Biomembranen aber nie vollständig „ionendicht“ sein können, findet immer auch eine langsame Diffusion der übrigen Ionen statt. Vor allem der **Natriumionen-Leckstrom** vom Zelläußersten ins Zellinnere ist relevant. Die Ladungen auf beiden Seiten der Membran würden sich dadurch mit der Zeit angleichen und das Ruhepotenzial würde sinken. Um das Ruhepotenzial trotzdem aufrechtzuerhalten, pumpt die **Natrium-Kalium-Pumpe** unter Verbrauch von ATP-Energie jeweils entgegen ihrem Konzentrationsgefälle gleichzeitig drei Natriumionen nach außen und zwei Kaliumionen nach innen.

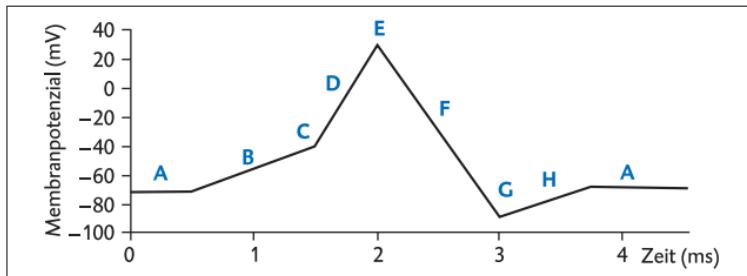


Ionenströme  
im Ruhezu-  
stand und die  
Natrium-Ka-  
lium-Pumpe



## Aktionspotenzial

Die Informationsübermittlung über Neuronen erfolgt durch zeitlich und räumlich begrenzte Umkehrungen der Polarität ihrer Membran. Diese als **Aktionspotenziale (AP)** bezeichneten und immer gleich ablaufenden **Erregungswellen** lassen sich in folgende Phasen einteilen:



- A Erhaltung des **Ruhepotenzials** durch die Natrium-Kalium-Pumpe.
- B Spannungsabhängige Natriumkanäle werden durch einen **Reiz** geöffnet. Dadurch strömen  $\text{Na}^+$ -Ionen in die Zelle und **depolarisieren** („entladen“) so die Membran bis zu einem bestimmten **Schwellenwert** (Membranpotenzial wird positiver).
- C Nach Überschreiten des Schwellenwerts (bei einem **überschweligen Reiz**) wird ein AP ausgelöst. Wird der Schwellenwert nicht erreicht (unterschwelliger Reiz), fällt das Membranpotenzial wieder auf den Ruhewert zurück.
- Alles-oder-Nichts-Gesetz:** Ein Aktionspotenzial wird entweder vollständig ausgelöst oder gar nicht.
- D Durch positive Rückkopplung – je stärker die Depolarisation, desto mehr Natriumkanäle werden geöffnet, was das Membranpotenzial wiederum weiter anhebt usw. – erfolgt ein massenhaftes Einströmen von  $\text{Na}^+$ -Ionen in die Zelle, das schließlich zur **Ladungsumkehr** (Umpolung) führt (Depolarisation auf ca. + 30 mV).
- E Die Amplitude des AP ist bei baugleichen Zellen unabhängig von der Erregungsstärke immer gleich groß (Alles-oder-Nichts-Gesetz).
- F Die spannungsgesteuerten Natriumkanäle schließen sich und dafür öffnen sich ebenfalls spannungsgesteuerte Kaliumkanäle. Die dadurch massenhaft ausströmenden  $\text{K}^+$ -Ionen heben schnell die negative Außenladung auf, sodass das Membranpotenzial wieder umgekehrt wird (**Repolarisierung**).



**MEHR  
ERFAHREN**

Genetik und Entwicklung  
Immunbiologie · Evolution · Virologie

## **Biologie-KOMPAKT 2**

Oberstufe

**STARK**

# Inhalt

## Vorwort

<b>Genetik und Entwicklung .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Klassische Genetik – Mendelsche Regeln .....</b>	<b>1</b>
1.1 Monohybride Erbgänge .....	1
1.2 Dihybride Erbgänge .....	4
1.3 Polygenie, Polyphänie und Modifikation .....	5
1.4 Blutgruppenvererbung nach Mendel .....	6
<b>2 Zytogenetik – Chromosomen und Vererbung .....</b>	<b>8</b>
2.1 Chromosomen .....	8
2.2 Meiose .....	10
2.3 Genkopplung .....	13
2.4 Chromosomengebundene Vererbung von Krankheiten beim Menschen .....	14
<b>3 Molekulargenetik .....</b>	<b>18</b>
3.1 Struktur der Nukleinsäuren .....	18
3.2 Replikation der DNA .....	20
3.3 Proteinbiosynthese .....	22
3.4 Genwirkketten .....	27
3.5 Genregulation .....	29
3.6 Genregulation bei Prokaryoten .....	29
3.7 Genregulation bei Eukaryoten .....	32
3.8 Genregulation durch epigenetische Mechanismen .....	33
3.9 Mutationen .....	33
3.10 Molekulargenetische Ursachen von Krankheiten beim Menschen .....	37
<b>4 Angewandte Genetik – Gentechnik .....</b>	<b>42</b>
4.1 Werkzeuge der Gentechnik .....	42
4.2 Methoden der Gentechnik und Gendiagnose .....	44
4.3 Anwendungen der Gentechnik bei Bakterien, Pflanzen und Tieren .....	53
4.4 Gendiagnose und Gentherapie beim Menschen .....	56

5	<b>Entwicklungsbiologie</b>	60
5.1	Fortpflanzung	60
5.2	Methoden der Reproduktionsbiologie	63
	 <b>Immunbiologie</b>	 67
6	<b>Abwehrmechanismen</b>	67
6.1	Unspezifische Abwehr	67
6.2	Spezifische Abwehr	68
6.3	Impfungen	73
6.4	Bluttransfusion und Rhesusunverträglichkeit	74
7	<b>Erkrankungen des Immunsystems</b>	76
7.1	Autoimmunerkrankungen	76
7.2	Immunschwäche	77
7.3	Allergien	79
	 <b>Evolution</b>	 81
8	<b>Historische Entwicklung des Evolutionsgedankens</b>	81
8.1	Lehre von der Konstanz der Arten	81
8.2	Historische Evolutionstheorien	82
9	<b>Synthetische Evolutionstheorie</b>	86
9.1	Populationsgenetische Grundlagen	86
9.2	Variabilität – Mutation und Rekombination	88
9.3	Selektion	90
9.4	Gendrift – die Wirkung des Zufalls	94
9.5	Artbildung durch Isolation	95
9.6	Zusammenwirken von Evolutionsfaktoren	97
9.7	Evolutionsschübe nach Massenaussterben	99
10	<b>Belege für die Evolution</b>	100
10.1	Paläontologische Belege	100
10.2	Anatomisch-morphologische Belege	104
10.3	Molekularbiologische Belege	107
10.4	Ethologische Belege	110
11	<b>Entwicklung des Lebens auf der Erde</b>	111
11.1	Chemische Evolution	111
11.2	Anfänge der biologischen Evolution	113

<b>12 Evolution des Menschen .....</b>	<b>115</b>
12.1 Der Mensch ist ein Primat .....	115
12.2 Die Sonderstellung des Menschen .....	116
<b>Verhalten .....</b>	<b>121</b>
<b>13 Problemstellungen und Methoden der Verhaltensbiologie .....</b>	<b>121</b>
<b>14 Angeborenes Verhalten .....</b>	<b>123</b>
14.1 Unbedingte Reflexe .....	123
14.2 Instinkthandlung .....	123
<b>15 Erlerntes Verhalten .....</b>	<b>129</b>
15.1 Prägung .....	129
15.2 Konditionierung .....	130
15.3 Höhere Lernleistungen .....	132
<b>16 Sozialverhalten .....</b>	<b>134</b>
16.1 Kooperation .....	134
16.2 Kommunikation .....	136
16.3 Aggression und Aggressionshemmung .....	138
16.4 Sexualverhalten .....	141
<b>17 Verhalten des Menschen .....</b>	<b>142</b>
17.1 Angeborenes Verhalten beim Menschen .....	142
17.2 Lernvorgänge beim Menschen .....	144
17.3 Sozialverhalten des Menschen .....	145
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>147</b>

**Autor:** Hans-Dieter Triebel

### Hinweise:

- Die entsprechend gekennzeichneten Kapitel enthalten ein **Lernvideo**. An den jeweiligen Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, den Sie mithilfe Ihres Smartphones oder Tablets scannen können.  
Im Hinblick auf eine eventuelle Begrenzung des Datenvolumens wird empfohlen, dass Sie sich beim Ansehen der Videos im WLAN befinden. Haben Sie keine Möglichkeit, den QR-Code zu scannen, finden Sie die Lernvideos auch unter:  
**<http://qrcode.stark-verlag.de/94719V>**
- Die mit **(1)** gekennzeichneten Verweise auf weitere relevante Textstellen beziehen sich auf den Band **Biologie-KOMPAKT 1** (Zellen und Stoffwechsel, Nerven, Sinne und Hormone, Ökologie; Verlags-Nr. 94718V).



# Vorwort

Liebe Schülerinnen und Schüler,

die Bände Biologie-KOMPAKT 1 (Verlags-Nr. 94718V) und 2 bieten Ihnen eine kompakte, aber gleichzeitig präzise und umfassende Darstellung des Unterrichtsstoffs der Biologie. Die Bücher eignen sich daher sowohl ausgezeichnet für den Schulalltag, parallel zu Ihren persönlichen Aufzeichnungen, als auch zur effektiven Vorbereitung auf Klausuren und das Abitur.

- Alle relevanten Fakten und Zusammenhänge stehen Ihnen damit **schnell und übersichtlich** zur Verfügung.
- Wichtige **Fachbegriffe** sind **farbig** hervorgehoben.
- Die Inhalte werden durch zahlreiche verständliche und schnell erfassbare **Grafiken, Diagramme und Schemata** veranschaulicht.
- Das **umfangreiche Stichwortverzeichnis** ermöglicht Ihnen die gezielte Suche nach bestimmten Begriffen und Inhalten.
- **Querverweise** erleichtern das Auffinden von themenübergreifenden und vertiefenden Darstellungen.

Zu ausgewählten Themen gibt es **Lernvideos**, in denen wichtige biologische Zusammenhänge dargestellt werden. An den entsprechenden Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, den Sie mithilfe Ihres Smartphones oder Tablets scannen können.



Ich wünsche Ihnen Freude an der Biologie und diesem Band und vor allem viel Erfolg auf dem Weg zum Abitur!

A handwritten signature in black ink that reads "Hans-Dieter Triebel".

Hans-Dieter Triebel



# Genetik und Entwicklung

## 1 Klassische Genetik – Mendelsche Regeln

Die Gesetze der Vererbung, nach denen Merkmale an die Nachkommen weitergegeben werden, wurden in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts durch Johann Gregor MENDEL (1822–1884) beschrieben.

### 1.1 Monohybride Erbgänge

MENDEL führte zunächst Kreuzungen mit **reinerbigen (homozygoten)** Erbsenpflanzen durch, die sich nur in einem einzigen sichtbaren Merkmal unterschieden, z. B. rote und weiße Blütenfarbe. Nur ein Merkmal betreffende Erbgänge bezeichnet man als **monohybrid**.

#### Monohybrider dominant-rezessiver Erbgang

Die aus den Samen von gekreuzten Elternpflanzen (**Parentalgeneration, P**) mit roten bzw. weißen Blüten entstandenen Tochterpflanzen (**1. Filialgeneration, F<sub>1</sub>**) hatten einen **uniformen Phänotyp** (Erscheinungsbild), d. h., sie sahen alle gleich aus. Aus diesem Phänomen leitete MENDEL eine Regel ab:

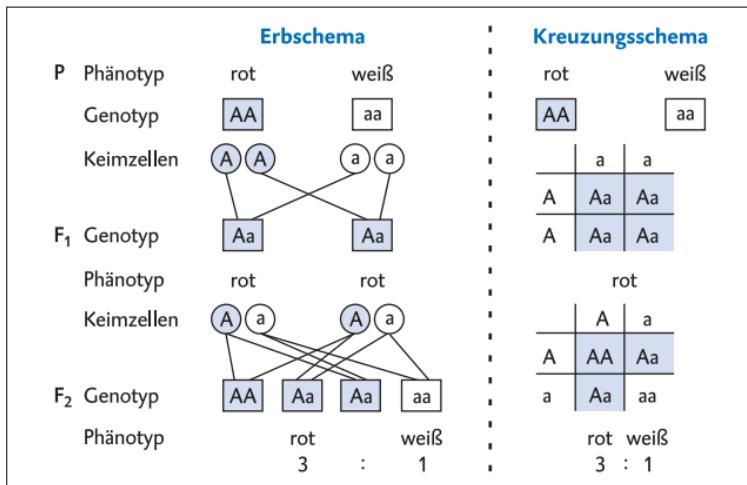
**1. Mendelsche Regel (Uniformitätsregel):** Kreuzt man reinerbige Individuen einer Art, die sich in einem Merkmal unterscheiden, so sind die Nachkommen in der F<sub>1</sub>-Generation untereinander gleich.

Trotz des im Beispiel einheitlich roten Phänotyps der Pflanzen der F<sub>1</sub>-Generation ist die Anlage für „Weißblütigkeit“ aber nicht verloren gegangen. Sie ist weiterhin im **Genotyp** (Erbbild) der F<sub>1</sub>-Generation vorhanden. In einem solchen Fall liegt die Erbanlage, das **Gen**, für das betreffende Merkmal (hier: die Blütenfarbe) in zwei verschiedenen **Allelen**, d. h. Ausprägungsformen, vor. Die F<sub>1</sub>-Individuen sind also bezüglich dieses Merkmals **mischerbig (heterozygot)** und werden (Mono-)**Hybride** oder Bastarde genannt. Der Phänotyp wird dabei ausschließlich vom **dominannten** Allel (hier: rot) bestimmt. Die Ausprägung des anderen Allels (hier: weiß) wird unterdrückt; dieses Allel ist **rezessiv**.

In **Erb- oder Kreuzungsschemata** wird das dominante Allel durch einen Großbuchstaben (z.B. A) und das rezessive Allel durch den entsprechenden Kleinbuchstaben (a) symbolisiert.

Bei der Kreuzung der rot blühenden Pflanzen der F<sub>1</sub>-Generation untereinander wurde das rezessive Allel dann wieder sichtbar. Ihre Nachkommen spalteten sich wieder in rot- und weißblütige Pflanzen auf. Aus den entsprechenden Ergebnissen konnte Mendel eine zweite Regel ableiten:

**2. Mendelsche Regel (Spaltungsregel):** Kreuzt man die Individuen der F<sub>1</sub>-Generation untereinander, so treten in der F<sub>2</sub>-Generation sowohl die Merkmale der F<sub>1</sub>-Generation als auch die der Parentalgeneration in einem bestimmten Zahlenverhältnis auf.



Beispiel für einen monohybriden dominant-rezessiven Erbgang

Selbstverständlich kann ein Gen auch in mehr als zwei Ausprägungen vorliegen. In diesen Fällen, z.B. beim AB0-System der Blutgruppen des Menschen (siehe S. 6), spricht man von **multipler Allelie**.

### Monohybrider intermediärer Erbgang

Führt ein heterozygoter Genotyp zu einem gemischten Phänotyp (z.B. rot + weiß  $\rightarrow$  rosafarbene Blüten), liegt ein **intermediärer Erbgang** vor. Es ergibt sich eine Mischform zwischen den parentalen Phänotypen, da kein Allel das andere vollständig unterdrücken kann. In einem

solchen Fall sind beide Allele „gleich stark“ und tragen in gleichem Maße zur Merkmalsausprägung bei. Dieser „Idealfall“ ist aber in der Natur relativ selten.

Meist verschiebt sich die Merkmalsausprägung stärker in Richtung eines der beiden beteiligten Allele, sodass man intermediäre Vererbung auch als **unvollständige Dominanz** verstehen kann.

Die 1. und die 2. Mendelsche Regel gelten selbstverständlich auch für den intermediären Erbgang. Daher spaltet sich der uniforme Phänotyp der  $F_1$  in der  $F_2$  ebenfalls in einem charakteristischen Zahlenverhältnis auf.

P	Phänotyp	rot	weiß
Genotyp		aa	bb
	a	a	
b	ab	ab	
b	ab	ab	
$F_1$	Phänotyp	rosa	
	a	a	b
a	aa	ab	
b	ab	bb	
$F_2$	Phänotyp	rot      rosa      weiß	
	1 : 2 : 1		

Beispiel für einen monohybriden intermediären Erbgang

## Rückkreuzung

Um festzustellen, ob ein Individuum bezüglich eines dominanten Allels homo- oder heterozygot ist, führt man eine **Rückkreuzung** (Testkreuzung) mit einem homozygot rezessiven Partner durch. Sind die Nachkommen uniform, liegt Homozygotie des dominanten Allels vor. Spaltet sich dagegen der Phänotyp im Verhältnis 1 : 1 auf, ist das zu testende Individuum heterozygot.

Phänotyp	rot	weiß	rot	weiß
Genotyp	AA	aa	Aa	aa
	A	A	A	a
a	Aa	Aa	Aa	aa
a	Aa	Aa	Aa	aa
Phänotyp	rot		rot      weiß	
			1 : 1	

Rückkreuzung:  
links: untersuchtes  
Individuum ist  
homozygot; rechts:  
untersuchtes  
Individuum ist  
heterozygot

## 1.2 Dihybride Erbgänge

P	Phänotyp	gelbe, runde Samen	grüne, kantige Samen					
Genotyp		AABB ab	aabb					
	AB	AaBb ab	AaBb					
	AB	AaBb ab	AaBb					
F <sub>1</sub>	Phänotyp	gelbe, runde Samen						
		AB Ab aB ab	AB AAbb AAbb AaBb Aabb	ab AaBb AABb AAbb aaBb aabb				
F <sub>2</sub>	Phänotyp	gelb, rund	gelb, kantig	grün, rund	grün, kantig			
		9	:	3	:	3	:	1

Beispiel für einen dihybriden dominant-rezessiven Erbgang

MENDEL untersuchte auch **dihybride Erbgänge**, bei denen sich die Erbsenpflanzen in zwei Merkmalen unterschieden, z. B. Samenfarbe (gelb/grün) und -form (rund/kantig). Auch bei diesen Kreuzungen setzten sich in der F<sub>1</sub>-Generation die dominanten Allele durch: Alle Samen waren gelb und rund. In der F<sub>2</sub>-Generation spaltete sich der uniforme Phänotyp wiederum auf. Dabei entstanden auch Kombinationen, die in der P-Generation nicht aufgetreten waren. Die Erbanlagen für Samenfarbe und -form wurden unabhängig voneinander vererbt und neu kombiniert. Diese Ergebnisse fasste Mendel in seiner dritten Regel zusammen:

**3. Mendelsche Regel (Unabhängigkeitsregel):** Kreuzt man Individuen, die sich in mehr als einem Merkmal reinerbig unterscheiden, werden die einzelnen Merkmale unabhängig voneinander vererbt und in der F<sub>2</sub>-Generation neu kombiniert.

Nicht immer gilt diese von MENDEL beobachtete unabhängige Vererbung von Merkmalen. Liegen die Erbanlagen für die betreffenden Merkmale zusammen auf einem Chromosom, liegt **Genkopplung** vor (siehe S. 13). Die Merkmale treten dann meist auch in den Tochtergenerationen zusammen auf.

Bei seinen Versuchen wertete Mendel große Mengen an Daten statistisch aus. Das war entscheidend, denn bei den Mendelschen Regeln handelt es sich um **Wahrscheinlichkeitsgesetze**, anhand derer die bei bestimmten Erbgängen theoretisch zu erwartenden Genotypen- und Phänotypenverhältnisse ermittelt werden können. Sie besagen nicht, dass beispielsweise bei einem monohybriden dominant-rezessiven Erbgang, bei dem die F<sub>2</sub>-Generation vier Nachkommen umfasst, drei von diesen das dominante und einer das rezessive Merkmal aufweisen müssen.

### 1.3 Polygenie, Polyphänie und Modifikation

Tatsächlich trifft die allen Mendelschen Regeln zugrunde liegende „Ein-Gen-ein-Merkmal“-Hypothese nur in den seltensten Fällen zu. In der Regel wird ein Merkmal nicht nur durch ein Gen (**Monogenie**), sondern durch mehrere unterschiedliche Gene bestimmt (**Polygenie**). Wenn das betreffende Merkmal prinzipiell durch jedes dieser Gene alleine zustande kommen könnte und die Gene sich in ihrer Wirkung lediglich gegenseitig verstärken, wird dies als **additive Polygenie** bezeichnet (z. B. die Gene, die die Körpergröße des Menschen bestimmen). **Komplementäre Polygenie** besteht, wenn mehrere Gene zur Ausprägung eines Merkmals benötigt werden, da sie dazu in unterschiedlicher Weise beitragen.

Beeinflusst im Gegensatz zur Polygenie ein einzelnes Gen mehrere Merkmale, so spricht man von **Polyphänie** (auch: **Pleiotropie**). Ein Beispiel hierfür ist das Marfan-Syndrom, bei dem die Abweichung in nur einem Gen mehrere zusammenhängende Symptome hervorruft: Durch eine krankhafte Veränderung des Bindegewebes werden Augen, Skelett und Kreislaufsystem beeinträchtigt.

Die Ausprägung eines Phänotyps kann außer durch die Erbanlagen auch durch die Wirkung von Umwelteinflüssen verändert werden. Solche individuell erworbenen **Modifikationen** werden aber nicht vererbt. An die Nachkommen wird jeweils nur eine **Reaktionsnorm** (Variationsbreite) weitergegeben, innerhalb derer die tatsächliche Ausprägung des betreffenden Merkmals schwanken kann (siehe auch S. 90). Bei der **fli-Benden Modifikation** verteilt sich die Merkmalsausprägung bei erbgleichen Nachkommen in einer glockenförmigen Kurve um einen Mittelpunkt (Gauß-Normalverteilung). Ändert sich ein Merkmal dagegen bei bestimmten Umweltbedingungen übergangslos, so spricht man von



© 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**