

Mendel'sche Regeln

Problem: Wie werden unterschiedliche Merkmale vererbt? In welchen Zahlenverhältnis treten sie in den nachfolgenden Generationen auf?

Versuch:

Seit mehreren Generationen stets rot-blühende Löwen-Mäulchen werden mit seit mehreren Generationen weiss-blühenden Löwen-Mäulchen gekreuzt.

Beobachtung:

alle Individuen der nächsten Generation blühen rot

Erklärung:

Das Gen für die Blütenfarbe kann in zwei verschiedenen Ausprägungen (**Allele**) vorliegen: Information für rot bzw. weiss.

Beide verwendeten Sorten sind **reinerbig (=homozygot)**, d. h. sie enthalten die jeweilige Erbanlage für die Blütenfarbe rot bzw. weiss doppelt.

	R: Allel für rote Blütenfarbe	r: Allel für weiße Blütenfarbe
	reinerbig rot	reinerbig weiss
Phänotyp (Erscheinungsbild)	Blütenfarbe rot	Blütenfarbe weiss
Genotyp Körperzellen (Erbbild)	RR	rr

Bei der Kreuzung werden Keimzellen der weißen mit jenen der roten Sorte neu kombiniert. Mögliche Kombinationen:

		Männliche Keimzellen	
		R	R
Weibliche Keimzellen	R	Rr (rot)	Rr (rot)
	R	Rr (rot)	Rr (rot)

1. Mendel'sche Regel (Uniformitätsregel):

Kreuzt man zwei Individuen einer Art, die sich in einem Merkmal reinerbig unterscheiden, so sind die Nachkommen der F₁-Generation in Bezug auf die Ausprägung (Phänotyp) dieses Merkmals untereinander gleich.

Das Allel für die rote Blütenfarbe wird in der F₁-Generation ausgeprägt. Man bezeichnet es daher als **dominant**. Die Erbanlage für weiße Blütenfarbe als **rezessiv**. Alle Individuen der F₁-Generation sind **mischerbig (=heterozygot)**.

Führt man das gleiche Experiment mit reinerbig weißen und reinerbig roten Individuen der Japanischen Wunderblume durch, so ergeben sich in der F₁-Generation lauter rosa Individuen. Die Allele werden beide gleich stark ausgeprägt. Man spricht von einem **intermediären Erbgang**.

R: Allel für rote Blütenfarbe W: Allel für weiße Blütenfarbe

		Männliche Keimzellen	
		R	R
Weibliche Keimzellen	W	RW (rosa)	RW (rosa)
	W	RW (rosa)	RW (rosa)

Kreuzt man die Individuen der F₁-Generation untereinander beobachtet man folgende Phänotypen in der F₂-Generation:

Dominant-rezessiver Erbgang	Intermediärer Erbgang
z.B. Blütenfarbe der Löwenmäulchen	z.B. Blütenfarbe der Japanischen Wunderblume
Verhältnis rot:weiss = 3:1	Verhältnis rot:rosa:weiss: 1:2:1

Kreuzt man die F1-Generation erneut untereinander, treten neue Phänotypen, wie z.B. blau&rund oder gelb&kantig auf. Insgesamt findet man folgende Phänotypen:

	Gelb&rund	Gelb&kantig	Blau&rund	Blau&kantig
Verhältnis	9	3	3	1

Erklärung:

	Männliche Keimzellen	GR	Gr	gR	gr
Weibliche Keimzellen					
GR		GRRR (gelb, rund)	GgRr (gelb, rund)	GgRr (gelb, rund)	GgRr (gelb, rund)
Gr		GGRr (gelb, rund)	GGrr (gelb, kantig)	GgRr (gelb, rund)	Ggrr (gelb, kantig)
gR		GgRR (gelb, rund)	GgRr (gelb, rund)	ggRR (blau, rund)	ggRr (blau, rund)
Gr		GgRr (gelb, rund)	Ggrr (gelb, kantig)	ggRr (blau, rund)	ggrr (blau, kantig)

3. Mendel'sche Regel (Unabhängigkeitsregel):

Kreuzt man zwei Lebewesen einer Art, die sich in mehr als einem Merkmal reinerbig unterscheiden, so werden die einzelnen Gene unabhängig voneinander verteilt. Sie können nach der Befruchtung in neuen Kombinationen auftreten.

Durch die zytogenetischen Untersuchungen zu der Anzahl und Verteilung von Chromosomen bei Zellteilung und Befruchtung, ließen sich Gregor Mendels Überlegungen eindrucksvoll bestätigen: Folgende Belege lassen sich anführen:

Kreuzungsforschung	Zellforschung
Gene sind in Körperzellen doppelt vorhanden	Chromosomen treten paarweise auf
Gene sind in Keimzellen einfach vorhanden → in jeder Keimzelle liegt nur ein Allel eines Gens vor	Bei der Meiose wird der Chromosomensatz der Keimzellen halbiert.
Bei der Keimzellbildung werden die Gene unabhängig voneinander oder in Kopplungsgruppen auf die Keimzellen verteilt	Bei der Meiose werden die homologen Chromosomen unabhängig voneinander verteilt. Alle Gene eines Chromosoms werden gemeinsam vererbt (Ausnahme Crossing over!)
Kopplungsgruppen enthalten unterschiedlich viele Gene	Chromosomen sind unterschiedlich lang

In einem Eukaryoten-Genom ist die Zahl der Gene wesentlich größer als die Zahl der Chromosomen, so dass zahlreiche Gene auf einem Chromosom eine Kopplungsgruppe bilden und dementsprechend gemeinsam vererbt werden, d. h. die 3. Mendel'sche Regel gilt nur, wenn die betrachteten Gene auf unterschiedlichen Chromosomen liegen.

Beispiel:

Kreuzung einer reinerbig violettäugigen, stummelflügeligen Fruchtfliegen-Sorte mit dem Wildtyp, d. h. einer reinerbig rotäugigen Sorte mit normalen Flügeln.

Festlegung der Allele:

Violette Augen : pr^- (rezessiv) rote Augen: pr^+ (dominant)
 Stummelflügel: vg^- (rezessiv) normale Flügel: vg^+ (dominant)

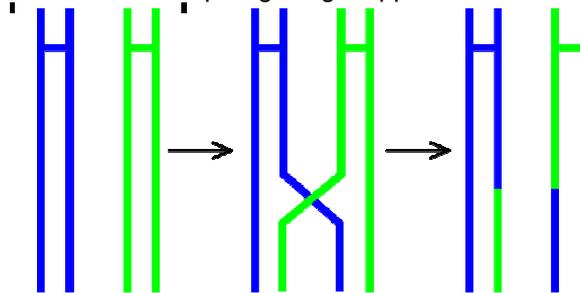
Bildung der F1-Generation gemäß der Uniformitätsregel:

	Männliche Keimzellen	pr^-vg^-	pr^-vg^-
Weibliche Keimzellen			
pr^+vg^+		$pr^+pr^-vg^+vg^-$ (rotäugig, normalflügelig)	$pr^+pr^-vg^+vg^-$ (rotäugig, normalflügelig)
pr^+vg^+		$pr^+pr^-vg^+vg^-$ (rotäugig, normalflügelig)	$pr^+pr^-vg^+vg^-$ (rotäugig, normalflügelig)

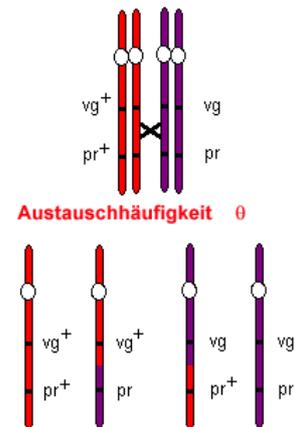
Kreuzt man die Bastarde der F1-Generation untereinander, so ergibt sich folgendes Bild:

Männliche Keimzellen	pr^+vg^+	pr^-vg^-
Weibliche Keimzellen	$pr^+pr^+vg^+vg^+$ (rotäugig, normalflügelig)	$pr^+pr^-vg^+vg^-$ (rotäugig, normalflügelig)
pr^-vg^-	$pr^+pr^-vg^+vg^-$ (rotäugig, normalflügelig)	$pr^-pr^-vg^-vg^-$ (violettäugig, stummelflügelig)

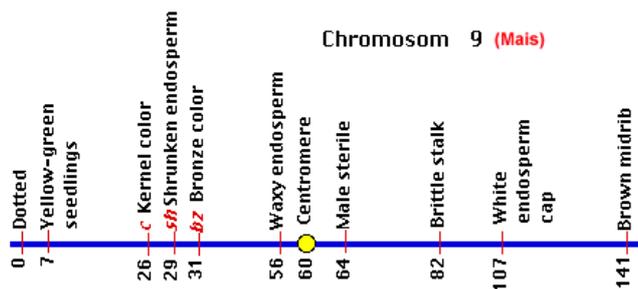
Diese Beobachtung widerspricht der 3. Mendel'schen Regel, nach der bei dieser Kreuzung auch violettäugig-normalflügelige oder rotäugig-stummelflügelige Individuen entstehen sollten. Die Verteilung der Phänotypen in der Folgegeneration weicht vom erwarteten Verhältnis 9:3:3:1 ab, weil die Gene nicht unabhängig voneinander vererbt werden, sondern auf dem gleichen Chromosom liegen. Dennoch treten äußerst selten *äußerst selten* violettäugig-normalflügelige oder rotäugig-stummelflügelige auf. Diese wenigen Ausnahmen lassen sich auf ein Crossing over bei der Meiose zurückführen, wobei es zum Austausch ursprünglich gekoppelter Gene kommen könnte¹:



In der Metaphase 1 der Reduktionsteilung der Meiose, kommt es zur Bildung einer Tetrade, wenn sich die beiden homologen Chromosomen zusammenlagern. In einigen Fällen überkreuzen sich die Chromatiden der homologen Chromosomen (= **Chiasmata**). In Folge dessen brechen die Chromosomen auseinander und verwachsen überkreuz. Dadurch kommt es zu einem Austausch ganzer Chromosomenbereiche (= **intrachromosomale Rekombination**).



Dabei gilt, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Austausch durch Crossing over umso häufiger wird, je weiter die Gene auf den Chromosomen auseinander liegen (s. Abbildung rechts²). Diese Austauschwahrscheinlichkeiten kann man zur Kartierung der Gene auf den einzelnen Chromosomen ausnutzen³:



¹ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/be/Crossing-over_scheme_PL.svg/800px-Crossing-over_scheme_PL.svg.png

² <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/13/bs13-15.htm#kopplung>

³ <http://www.biokurs.de/skripten/13/bs13-15.htm>