

Kapitel 08.03: Mendel und die klassische Genetik



Freies Lehrbuch der Biologie von H. Hoffmeister und C. Ziegler
(unter GNU Free Documentation License, Version 1.2 (GPL)).

Die jeweils aktuellste Fassung finden Sie unter: <https://hoffmeister.it/index.php/biologiebuch>

Inhalt

Kapitel 08.03: Mendel und die klassische Genetik.....	1
Inhalt.....	2
Was ist Genetik?.....	3
Gregor Mendel: „Vater“ der Vererbungslehre und der klassischen Genetik.....	4
Die Mendel'schen Regeln.....	5
Fragmente eines Forscherprotokolls zu Kreuzungsexperimenten.....	6
Schema der Kreuzungsexperimente mit der Gartenerbse (<i>Pisum sativum</i>):.....	7
Erklärungen für Mendels Regeln zu den verschiedenen Fruchtfarben.....	9
1. Regel: Kreuzung von Erbsen verschiedener Erbsenfarbe:.....	9
Eigene Notizen:.....	9
2. Regel: Kreuzung der Nachkommengenerationen.....	10
Eigene Notizen:.....	10
J. G. Mendel: Kreuzungsversuche an Erbsen (1865) - Erklärung der verschiedenen Blütenfarben.....	11
1. Regel: Kreuzung von Erbsen verschiedener Blütenfarbe:.....	11
2. Regel: Kreuzung der Nachkommengenerationen.....	11
Das Begriffspaar dominant - rezessiv.....	12
3. Regel: Kreuzung zweier reinerbiger Pflanzen, die sich in 2 Merkmalen unterschieden.....	13
Oberstufe: Einschränkung der 3. Mendel'schen Regel.....	14
Vererbung mit Merkmalen, welche nicht gekoppelt sind:.....	14
Aufgaben zu den Mendel'schen Regeln:.....	15
Vorteile der Erbse als Versuchsobjekt für Mendels Kreuzungsversuche.....	16
Mendels Methode.....	16
Die wichtigsten Fachbegriffe der Genetik.....	17
Fachbegriffe der klassischen Genetik.....	18
Arbeitsblatt: Vervollständige die Kreuzungsergebnisse.....	19
Vertiefung Anwendung der Mendel'schen Regeln am AB.....	20
a) Merkmale beim Menschen:.....	20
b) Merkmale bei Tieren:.....	20
Übungsaufgaben (zum Schwitzen) zu den Mendel'schen Regeln:.....	21
Aufgaben zur Wiederholung der klassischen Genetik.....	22
Übungen zu den Mendel'schen Regeln.....	22
Station 1.....	22
Station 3.....	22
Station 4.....	22
Station 5.....	22
Lösungen.....	23
Die Rückkreuzung.....	25
Die Wunderblume (<i>Mirabilis jalapa</i>) und ihr intermediäre Erbgang.....	26
Oberstufe: Polygenie.....	27
a) Additive Polygenie.....	27
b) Komplementäre Polygenie.....	27
Wiederholungsfragen zu Gregor Mendel, seinen Regeln und der klassischen Genetik.....	28

Was ist Genetik?

Der Begriff „Genetik“ bedeutet „Vererbungslehre“ (lat. generare = erzeugen / gr. genea = Abstammung).

Vererbung ist die Weitergabe von genetischen Informationen (=Bauplan) von Generation zu Generation. Aber Achtung: Es werden keine Merkmale vererbt, sondern Erbanlagen. Diese können unterschiedlich ausgeprägt werden.

Vererbung spielt im Dasein des Menschen natürlich eine wichtige Rolle. Selbst in Kunst und Literatur taucht sie auf:

*Willst du mal ein Mädchen frein
Das recht schlank und schick ist,
schau dir erst die Mutter an,
ob sie nicht zu dick ist.
Die Figur von der Mama
Wird dir zum Verräter,
denn so steht das Weibchen da
20 Jahre später.
Fritz Reuter, 1850*

*„Vom Vater hab´ ich die Statur,
des Lebens ernstes Führen,
vom Mütterchen die Frohnatur
und Lust zu fabulieren.*

*Urahn herr war der Schönsten hold,
das spukt so hin und wieder;
Urahn frau liebte Schmuck und Gold,
das zuckt wohl durch die Glieder.*

*Sind nun die Elemente nicht
aus dem Komplex zu trennen,
was ist denn an dem ganzen Wicht
Original zu nennen?“
Goethe, 1749-1832*

Gregor Mendel: „Vater“ der Vererbungslehre und der klassischen Genetik

Ca. 400 v. Chr.: Platon vermutete, dass Vater und Mutter gleichermaßen an Merkmale der Nachkommen beeinflussen.

Ca. 350 v. Chr.: Aristoteles stellt fest, dass Kinder Eltern und auch deren Vorfahren ähneln.

1665: Hooke beschreibt erste Zellen mit seinem entwickeltem Mikroskop.

1680: Van Leeuwenhoek sieht in seinem Mikroskop Einzeller, Bakterien, Spermatozoen und Blutkörperchen.

1831: Brown identifiziert als erster den Zellkern in Pflanzenzellen.

1839: Schwann und Schleiden stellen die „Zelltheorie“ auf, wonach jedes Lebewesen aus Zellen besteht.

1865: Gregor Mendel veröffentlicht seine Vererbungsregeln in dem Buch „Versuche über Pflanzenhybriden“. Darin ermittelt er aus seinen Kreuzungsversuchen statistische Zahlenergebnisse, nach denen er seine Vererbungsregeln aufstellt.

1870: Miescher entdeckt die Nukleinsäuren.

1900: Correns, Tschermak und De Vries betätigen Mendels Vererbungsregeln.

1903: Sutton und Boveri stellen die Chromosomentheorie der Vererbung auf, wonach die Chromosomen die Träger des Erbguts sind.

1928: Griffith führt an Bakterien einen Transformationsversuch durch, bei dem Eigenschaften von einem Lebewesen auf ein anderes übertragen werden.

1931: Knoll und Rusra bauen das erste Elektronenmikroskop.

1938: Nachweis des „Crossing over“ bei menschlicher DNA.

1944: Avery führt die Arbeit von Griffith weiter und führt ebenfalls einen Transformationsversuch durch.

1953: Watson und Crick entschlüsseln die DNA. Das Elektronenmikroskop wird ein wichtiges Arbeitsmittel der „Genetiker“. Von nun an nimmt die genetische Forschung an Geschwindigkeit rapide zu. Das Zeitalter der Gentechnologie begann.

Die Mendel'schen Regeln



Johann Gregor Mendel wurde am 22. Juli 1822 in Heinzendorf (Österreichisch-Schlesien (heute Hyncice, Tschechien)) geboren. Schon als Kind lernte er viel von seinem Vater über Pflanzenzucht beim veredeln der Obstbäume im heimischen Garten. Sein Hobby war schon als Kind die Bienenzucht.

1843 tritt er dem Augustinerkloster in Brünn bei und studierte dort von 1844 bis 1848 Theologie. er 1847 zum Priester geweiht. Dann wurde er Mönch und Lehrer am örtliche Gymnasium. Gleichzeitig arbeitete er als Klostergärtner. Viele Klöster der damaligen Zeit verdienten mit dem Verkauf von Saatgut für Nutzpflanzen an Bauern etwas Geld für das Klosterleben hinzu. Von 1851-1853 studierte er vor allem Mathematik und Physik an der Universität Wien.

Ab ca. 1854 begann er Varianten bei Pflanzen zu untersuchen. Er benutzte den Garten des Klosters und untersuchte vor allem die Gartenerbse (*Pisum sativum*) und führte mit ihr Kreuzungsexperimente durch. Er konzentrierte seine Arbeit dabei auf Merkmale, die klar zu sehen und unterscheiden waren. Beispielsweise rot- oder weiß blühende Erbsen, solche mit gelben oder grünen Samen usw.

Um den Zufall komplett auszuschalten und um möglichst eindeutige Ergebnisse zu bekommen, kreuzte er die Pflanzen selbst, indem er die Pollen der einen Rasse auf die Blütennarben der anderen Rasse brachte. Aus 355 künstlichen Befruchtungen zog er insgesamt 12980 Bastardpflanzen. Er werte seine Ergebnisse nach mathematischen Erkenntnissen statistisch aus und konnte so gesicherte Resultate vorweisen. Nach den ersten Ergebnissen waren weitere Forschungen notwendig, da er die anfänglichen Ergebnisse nicht glauben konnte.

Zwischen 1856 und 1863 kultivierte er ca. 28.000 Erbsenpflanzen. Dann formulierte er drei Vererbungsregeln, die später als Mendelsche Regeln bekannt wurden. Am 8. Februar 1865 erschien sein Aufsatz Versuche über Pflanzenhybriden. Dieser Artikel wurde allerdings kaum beachtet; so wurde die an Darwin verschickte Kopie in dessen Nachlass ungeöffnet gefunden. Aufgrund des geringen Interesses gab Mendel seine daraufhin Untersuchungen auf. Mendel verstarb am 06.01.1884 in Brünn.

Erst 16 Jahre später beschäftigten sich erneut Wissenschaftler mit seinen Thesen. Hugo de Vries, Carl Correns und Erich von Tschermak bestätigten unabhängig voneinander die Mendel'schen Regeln. Er viele Jahre später, zwischen 1920 und 1930, wurde seine Arbeit allen Wissenschaftlern bekannt und als richtig und vor allem grundlegend anerkannt. Sie ist die Basis der modernen Evolutionsbiologie und der Genetik. Heute wird Mendel deshalb, vor allem durch seine genaue und umfangreiche Arbeit als Vater der Genetik angesehen.

Oft werden pflanzliche Mischlinge als Hybride und tierische als Bastarde bezeichnet. Tatsächlich ist dies aber nicht immer einheitlich so. Oft werden beide Begriffe synonym verwendet.

Quelle Bild: Gregor Mendel: Public domain by Wikicommonsuser NIH; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gregor_Mendel.png

Fragmente eines Forscherprotokolls zu Kreuzungsexperimenten

Forschungsschrift verfasst von Bruder Gregorius

Altbrunn, im August 1862

Dokumentation der Fortschritte im Bereich der Züchtung von Erbsensamen:

Ich, Bruder Gregorius, der Zuständige für den Klostergarten zu Altbrunn, führe seit geraumer Zeit zahlreiche Kreuzungsexperimente mit der Gartenerbse (lat. *Pisum sativum*) durch. Zum Ziele habe ich mir gemacht, mehr über die Vererbung von Merkmalen bei Erbsen herauszufinden. So hoffe ich voraussagen zu können, welcher Erbsensamen aus der Kreuzung resultiert und was mich beim Öffnen der Hülsen erwartet.

In diesem Dokument möchte ich nun meine Vorgehensweise und die Ergebnisse niederschreiben, da ich denke, bei meinen Experimenten auf eine schier bahnbrechende Entdeckung gestoßen zu sein, aus der sich Gesetzmäßigkeiten für die Vererbung von Merkmalen aller Lebewesen ableiten lassen:

Kreuzung reinerbiger Gartenerbsen: Unterscheidung im Merkmal Samenfarbe

Für meine Versuche wähle ich ausschließlich Pflanzen, die durch Vorversuche gesichert wieder Erbsen ihrer eigenen Samenfarbe hervorbringen. Solche Pflanzen bezeichne ich als reinerbig!

Pflanze 1	x	Pflanze 2
(reinerbig, mit gelben Erbsensamen)		(reinerbig, mit grünen Erbsensamen)

Vorgehensweise bei der Bestäubung:

Von folgenden Fakten kann ich ausgehen: Die Blüten der Gartenerbse enthalten sowohl männliche Staubblätter als auch weibliche Samenanlagen im Fruchtknoten und die Befruchtung geschieht durch Insekten- sowie Selbstbestäubung. Für meine Kreuzungsexperimente spiele ich nun selbst Insekt: Dazu entnehme ich den Pollen aus den männlichen Staubblättern der einen Pflanze und bringe ihn mittels Pinsel auf die weibliche Narbe der anderen Pflanze. Um eine Selbstbestäubung zu verhindern, entferne ich vorher bei dieser zweiten Pflanze die männlichen Staubblätter. Zur Gewährleistung, dass ich der einzige Bestäuber bleibe, stülpe ich anschließend Tüten über die Blüten und warte das Ergebnis ab.

Beobachtung:

Als die Erntezeit der Erbsen gekommen war, öffnete ich alle Hülsen der zahlreichen Pflänzchen. Was ich dann sah, konnte ich nicht glauben, aber ich sah es selbst, die Erbsen waren ...

Ergebnis:

Schema der Kreuzungsexperimente mit der Gartenerbse (*Pisum sativum*):

1. Kreuzung:  x 
(Name der Generation)

Nachkommen:    

Schlussfolgerung: Das Merkmal für dieErbsenfarbe

ist

Das Merkmal für dieErbsenfarbe ist

Abgeleitete 1. Gesetzmäßigkeit:

Uniformitätsregel

Kreuzt man zwei reinerbige Individuen einer Art, die sich in einem

unterscheiden, so sind ihre Nachkommen (.....) in Bezug auf dieses

Merkmal untereinander

Fragmente des 2. Teils des Forscherprotokolls:

Versuch 2: Im Frühjahr des nächsten Jahres säte ich nun die entnommenen Erbsensamen der ersten Versuchsreihe aus, um die resultierenden Pflänzchen untereinander in der oben beschriebenen Weise zu kreuzen. Das Ergebnis überraschte mich dermaßen, dass ich dieses Kreuzungsexperiment mehrfach wiederholte. Ich dachte einen Fehler gemacht zu haben. Die Hülsen der Erbsen enthielten folgendes:

Ergebnis aus Modellkreuzung:

Ergebnisse:

2. Kreuzung:

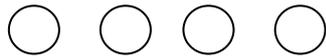
.....

(Nachkommen der 1. Kreuzung)



Nachkommen:

.....



Errechnetes Verhältnis:

Abgeleitete 2. Gesetzmäßigkeit:

Spaltungsregel

Kreuzt man Individuen der ersten Tochtergeneration untereinander, dann spalten die

Merkmale ihrer Nachkommen (.....) im

Zahlenverhältnis wieder auf.

Erklärungen für Mendels Regeln zu den verschiedenen Fruchtfarben

Erinnere Dich: Auf Chromosomen befinden sich die Merkmale, die vererbt werden. Viele Merkmale gib es in zwei Ausprägungsformen. Diese Ausprägungsformen werden auch Allele genannt.

Doch wie stellt man dies nun dar? Da Chromosomen zu malen nicht unbedingt eindeutig und übersichtlich wäre, greift man auf einen Trick zurück: Das jeweilige Merkmal wird mit einem Buchstaben benannt. Dieser kann frei gewählt werden. Für das Merkmal Erbsenfarbe wird hier der Buchstabe F gewählt:

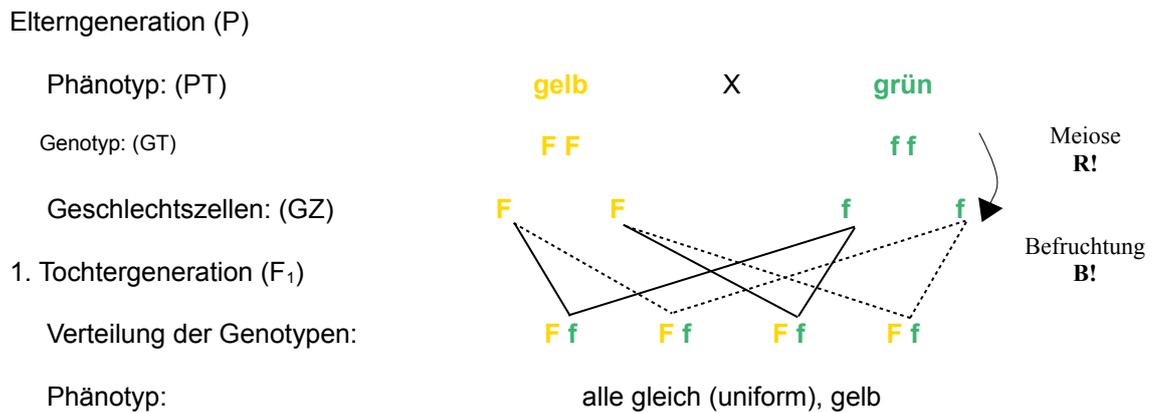
- Die Erbsenfarbe gelb ist häufiger, also dominant (= überlegen). Sie bekommt den Buchstaben F.
- Die Erbsenfarbe grün ist seltener, also rezessiv (= unterlegen). Sie bekommt den Buchstaben f.

Der häufigste Schülerfehler ist hier, dass man zwei verschiedene Buchstaben nimmt, also z.B. bei den Blütenfarben rot und weiß die Buchstaben R und W. Das geht nicht und verwirrt! Es muss der gleiche Buchstabe sein.

1. Regel: Kreuzung von Erbsen verschiedener Erbsenfarbe:

F: dominante (beherrschende) Anlage für die Erbsenfarbe **gelb**

f: rezessive (zurücktretende) Anlage für die Erbsenfarbe **grün**



1. Mendel'sche Regel: Kreuzt man zwei reinerbige Individuen einer Art, die sich in einem Merkmal unterscheiden, so sind alle entstehenden Mischlinge der F₁-Generation gleich. (=Uniformitätsregel).

Eigene Notizen:

2. Regel: Kreuzung der Nachkommengenerationen

1. Tochtergeneration (F₁)

Phänotyp: (PT)

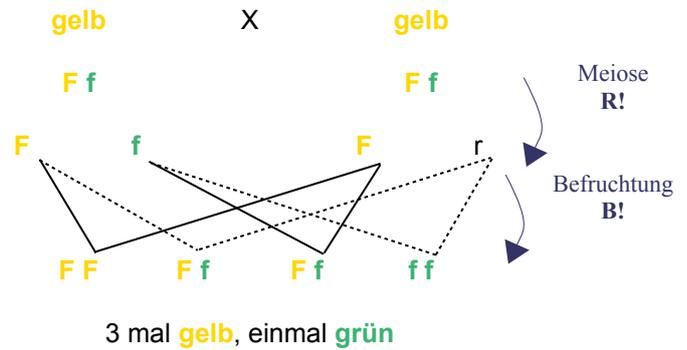
Genotyp: (GT)

Geschlechtszellen: (GZ)

2. Tochtergeneration (F₂)

Verteilung der Genotypen:

Phänotyp:



2. Mendel'sche Regel: Kreuzt man die Mischlinge der F₁-Generation unter sich, so spalten sich in der Enkelgeneration (F₂-Generation) die Merkmale im Zahlenverhältnis 3:1 wieder auf (=Spaltungsregel).

Heute nennt man einen solchen Erbgang „monohybrider Erbgang“:

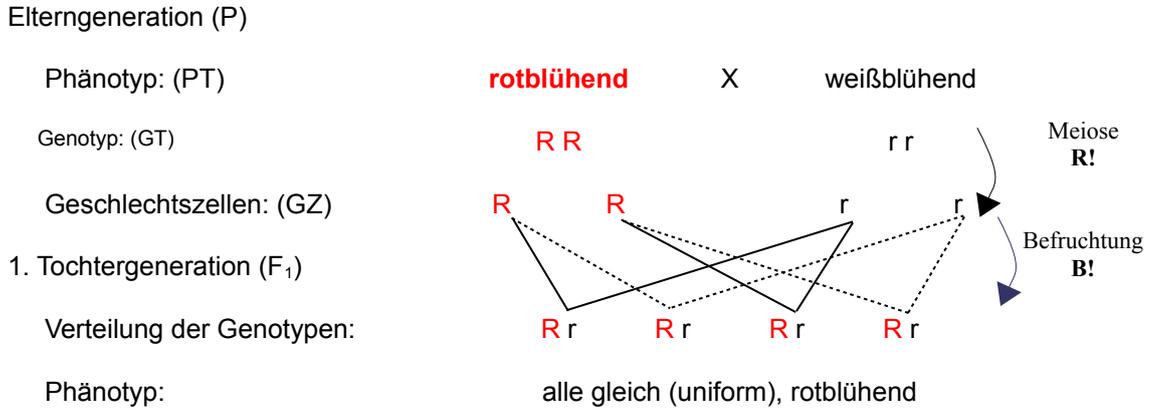
Ein monohybrider Erbgang liegt vor, wenn reinerbige Individuen gekreuzt werden, die sich nur in einem Merkmal (also einem Allelenpaar) unterscheiden. Die ersten beiden Mendel'schen Regeln gelten nur für monohybride Erbgänge.

Eigene Notizen:

J. G. Mendel: Kreuzungsversuche an Erbsen (1865) - Erklärung der verschiedenen Blütenfarben

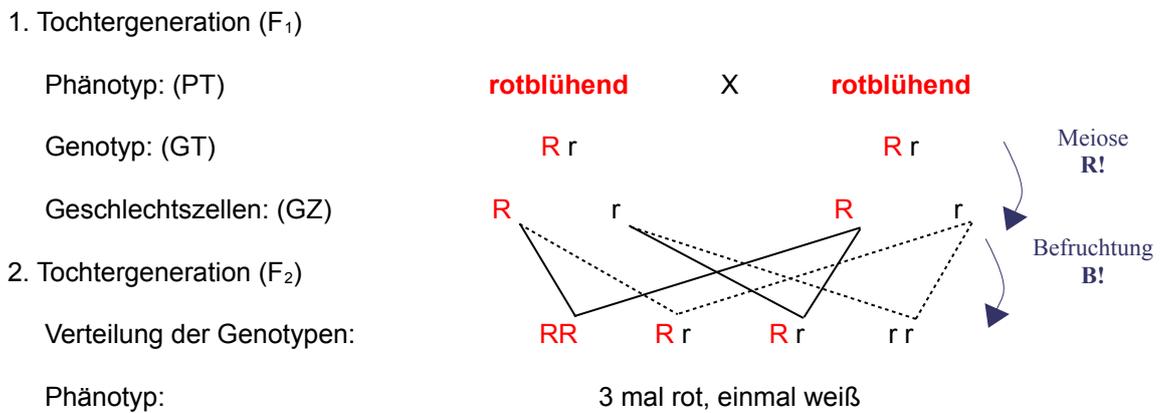
1. Regel: Kreuzung von Erbsen verschiedener Blütenfarbe:

R: dominante (beherrschende) Anlage für die Blütenfarbe **rot**
 r: rezessive (zurücktretende) Anlage für die Blütenfarbe weiß



1. Mendel'sche Regel: Kreuzt man zwei reinerbige Individuen einer Art, die sich in einem Merkmal unterscheiden, so sind alle entstehenden Mischlinge der F₁-Generation gleich. (=Uniformitätsregel).

2. Regel: Kreuzung der Nachkommengenerationen



2. Mendel'sche Regel: Kreuzt man die Mischlinge der F₁-Generation unter sich, so spalten sich in der Enkelgeneration (F₂-Generation) die Merkmale im Zahlenverhältnis 3:1 wieder auf (=Spaltungsregel).

Heute nennt man einen solchen Erbgang „monohybrider Erbgang“:
 Ein monohybrider Erbgang liegt vor, wenn reinerbige Individuen gekreuzt werden, die sich nur in einem Merkmal (also einem Allelenpaar) unterscheiden. Die ersten beiden Mendel'schen Regeln gelten nur für monohybride Erbgänge.

Das Begriffspaar dominant - rezessiv

Das Vererben der Blütenfarben geht über Erbanlagen. Welche ist die Überlegende?

Mendel zog aus seinen Kreuzungen den Schluss:

Gelbe Erbsenfarbe ist überlegen (dominant).

Grüne Erbsenfarbe ist unterlegen (rezessiv).

3. Regel: Kreuzung zweier reinerbiger Pflanzen, die sich in 2 Merkmalen unterscheiden

Nun kreuzte Mendel Erbsenpflanzen, die sich in zwei Merkmalen unterscheiden. (Merkmal Erbsenfarbe grün/gelb und Merkmal Blütenfarbe rot/weiß Erbsen). Heute nennt man dies einen dihybriden Erbgang. Ein dihybrider Erbgang liegt vor, wenn reinerbige Individuen gekreuzt werden, die sich in zwei Merkmalspaaren unterscheiden. Er beobachtete, dass sich die Merkmale der Nachkommen in der 2. Generation unabhängig verteilt hatten.

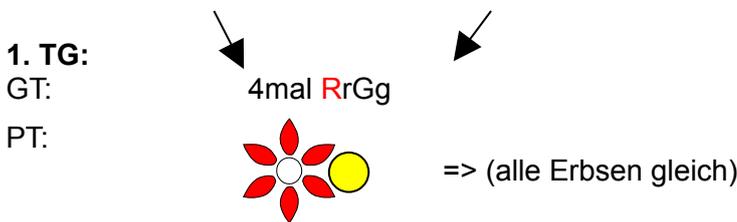
Elterngeneration:



GT: **RRGG** rrgg **R!**

GZ: **RG ; RG** rg ; rg **B!**

R ist das Allel für die Blütenfarbe, G ist das Allel für die Erbsenfarbe



Kreuzung von zwei Erbsen der 1. TG:



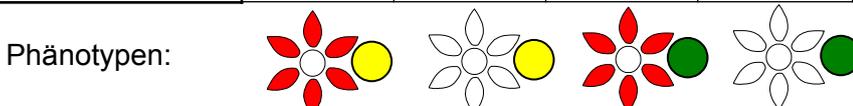
GT: **RrGg** **RrGg** **R!**

GZ: **RG, rG** **RG, rG** **B!**

Rg, rg **Rg, rg**

2. TG:

RrGg \ RrGg	RG	Rg	rG	rg
RG	RRGG	RRGg	RrGG	RrGg
Rg	RRGg	RRgg	RrGg	Rrgg
rG	RrGG	RrgG	rrGG	rrGg
rg	RrGg	Rrgg	rrGg	rrgg



Verhältnis der PT 9 : 3 : 3 : 1 => neue Kombinationen!

3. Mendelsche Regel: Kreuzt man zwei reinerbige Individuen einer Art, die sich in mehreren Merkmalen unterscheiden, so werden die Merkmale in der F2-Generation unabhängig voneinander verteilt. Sie treten in neuen Kombinationen zusammen (=Unabhängigkeits- und Neukombinationsregel).

Oberstufe: Einschränkung der 3. Mendel'schen Regel

Gregor Mendel hat genau 7 Merkmalspaare bei Erbsen untersucht. So zumindest hat er es in seinem ersten Buch veröffentlicht. Aus seinen Aufzeichnungen und Manuskripten weiß man aber heute, dass er mehr Merkmale untersucht hat.

Er hat aber nur sieben davon veröffentlicht, da sie seinen Hypothesen bei den anderen widersprachen.

Was kann eine mögliche Ursache sein?

=> Die Unabhängigkeit der Merkmale ist nur dann gewährleistet, wenn die Merkmale auf verschiedenen Chromosomen liegen.

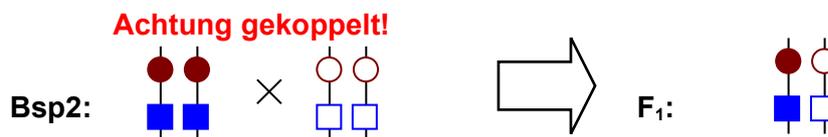
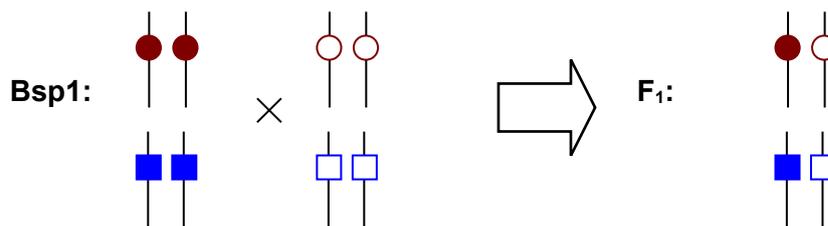
=> **Die 3. Mendelsche Regel gilt nicht bei Genkopplung!**

Vererbung mit Merkmalen, welche nicht gekoppelt sind:

Die folgende Grafik zeigt zwei Merkmale (einmal als Kreisform für Merkmal 1 und als Viereck für Merkmal 2) in jeweils zwei Ausprägungen (jeweils ausgefüllt und nicht ausgefüllt). Diese Symbolik steht stellvertretend für alle möglichen Beispiele.

So könnten bei Erbsen die Blütenfarbe (Kreis) und die Erbsenfarbe (Viereck) stehen. Ausgefüllt und nicht ausgefüllt dann jeweils für die entsprechenden Allele!

Dabei gilt folgende Übereinkunft: ausgefüllte Vierecke und Kreise stehen für dominante Merkmale, nicht ausgefüllte stehen für rezessive Merkmale!

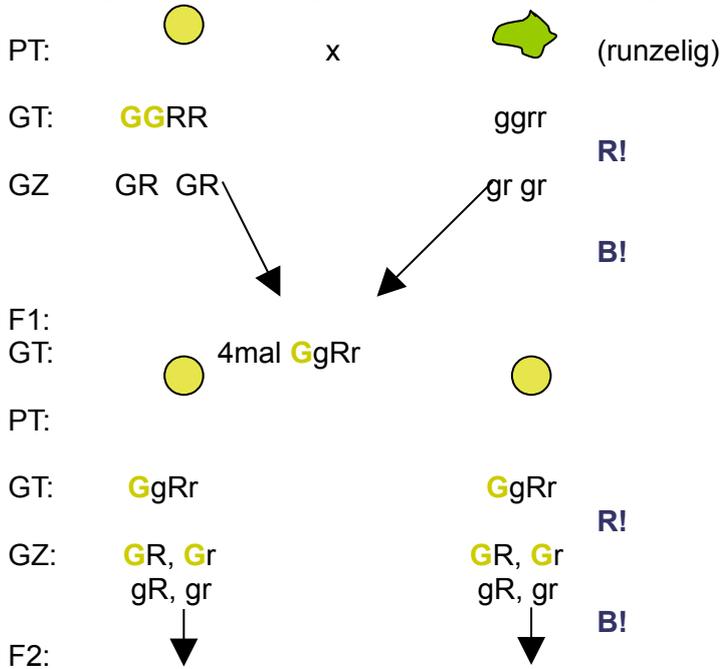


Ein Entkopplung zweier Merkmale auf einem Chromosom ist nur durch Crossing-over möglich!

Aufgaben zu den Mendel'schen Regeln:

1. Versuche Mendels Ergebnisse mit den zwei folgenden Merkmalen nachzuvollziehen - Erbsen mit runzlicher und runder Form, welche in beiden Farben (grün und gelb) auftreten (Lösung zur Kontrolle auf der nächsten Seite)
2. Ein von Mendel untersuchtes Merkmal war die Form der Erbsensamen. Er stellte fest, dass die runzlige Samenform gegenüber der grünen rezessiv war.
3. Wie lautet der Genotyp einer reinerbigen gelb- bzw. grünsamigen Pflanze?
4. Welche Genotypen und Phänotypen sind in der F₂-Generation zu erwarten?
5. Wie lautet die 2. Mendel'sche Regel? Warum heißt sie Spaltungsregel?
6. Welche Auswirkungen hat das Vertauschen der Eltern (Pollenspender, Eizelle) auf die Aufspaltung in der F₂-Generation?
7. In den Kreuzungsschemen tauchen die Buchstaben GT, PT, GZ/KZ sowie R! und B! auf. Kannst DU alle Abkürzungen benennen?

Lösung zu 1: Kreuzung von Erbsen der Farben grün und gelb mit runzlichen und runden Erbsen



<i>RrGg x RrGg</i>	RG	Rg	rG	rg
RG	RR GG	RR Gg	Rr GG	Rr Gg
Rg	RR Gg	RRgg	Rr Gg	Rrgg
rG	Rr GG	Rrg G	rr GG	rr Gg
rg	Rr Gg	Rrgg	rr Gg	rrgg

Verhältnis PT: **9** : **3** : 3 : 1

Vorteile der Erbse als Versuchsobjekt für Mendels Kreuzungsversuche

- a) Erbsen bilden viele fertile (fruchtbare) Nachkommen und lassen sich leicht kultivieren.
- b) Erbsen haben eine kurze Generationszeit. Mehrere Generationen pro Sommer sind möglich.
- c) Erbsen sind Selbstbefruchter: d.h. man bekommt durch fortgesetzte Selbstbefuchtung und Auslese der vom Zuchtziel abweichenden Erscheinungsformen („Phänotypen“ - „Phäns“: gr. „scheinen“) konstante Rassen.
- d) Eine manuelle Durchführung der Kreuzung ist durch Fremdbestäubung sehr einfach:
1. Entfernung der Staubblätter bei einer zu befruchtenden Pflanze
 2. Übertragung von Pollen einer anderen Pflanze auf die Narbe
 3. „Eintüten“ der Narbe
 4. Auszählen der Phänotypen in der Folgegeneration
- d) Gelegentliche Abweichungen („Mutation“) kommen mit einer Häufigkeit von 1:1000 bis 1:1000000 vor; die „Mutanten“ zeigen ein neues, konstantes Merkmal („Phän“), das weitervererbt wird.
- e) Erbsen zeigen gut unterscheidbare Merkmale (7 Stück).

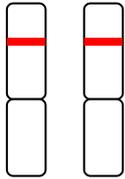
Mendels Methode

- Er beobachtete immer nur ein Merkmal („Phäns“) pro Kreuzung (*Beschränkung*).
- Er untersuchte nur reinerbigen („homozygote“) Pflanzen, die er vorher durch zweijährige Inzucht auf ihre Reinerbigkeit überprüft hatte (*Sorgfalt*).
- Er arbeitete mathematisch exakt. So arbeitete er mit einer statistisch ausreichend große Gruppe an Individuen => quantitative Erfassung der Ergebnisse (*Genauigkeit*).
- Er führte seine Experimente nach vorgefassten Plänen durch (*Planung*).



Die wichtigsten Fachbegriffe der Genetik

- **Phänotyp:** (äußeres) Erscheinungsbild
- **Genotyp:** Erbild, Gesamtheit der Erbanlagen
- **Gene:** Erbfaktoren, Erbanlagen
- **Diploid:** Bei höheren Organismen ist der Chromosomensatz $2n$ (**diploid**).
=> zwei homologe Chromosomen am gleichen Genort (Genlocus) mit entsprechende Information.



A_m A_v

- **Allel** = Ausprägungsform eines Gens
- Es liegen bei diploiden Organismen immer 2 Allele vor (=Allelenpaar)!
Jedes der Allele steht zur Merkmalsausprägung zur Verfügung.

Allel_m = Allel_v => homozygot = reinerbig
Allel_m ≠ Allel_v => heterozygot = mischerbig

- **Modifikationen:** phänotypische Veränderungen, die durch Umwelteinflüsse zustande kommen.
- **Mutation:** Veränderung im Erbgut - sie geschehen (meist) spontan!
- **Rezessiv** : Eigenschaft eines Allels bei Mischlingen sich durch ein anderes Allel überdecken zu lassen. Ein rezessives Allel wird durch einen Kleinbuchstaben gekennzeichnet.
- **Dominant:** Eigenschaft eines Merkmals bzw. eines Allels bei Mischerbigen ein anderes Allel zu überdecken. So setzt sich bei der Vererbung der menschlichen Augfarbe oft das Allel für die dunklere Farbe durch. Dominante Allele werden durch einen Großbuchstaben gekennzeichnet.

Der Genotyp legt die Reaktionsnorm fest, innerhalb der sich der Phänotyp im Wechselspiel mit der Umwelt manifestiert.

Zusatzinformationen:

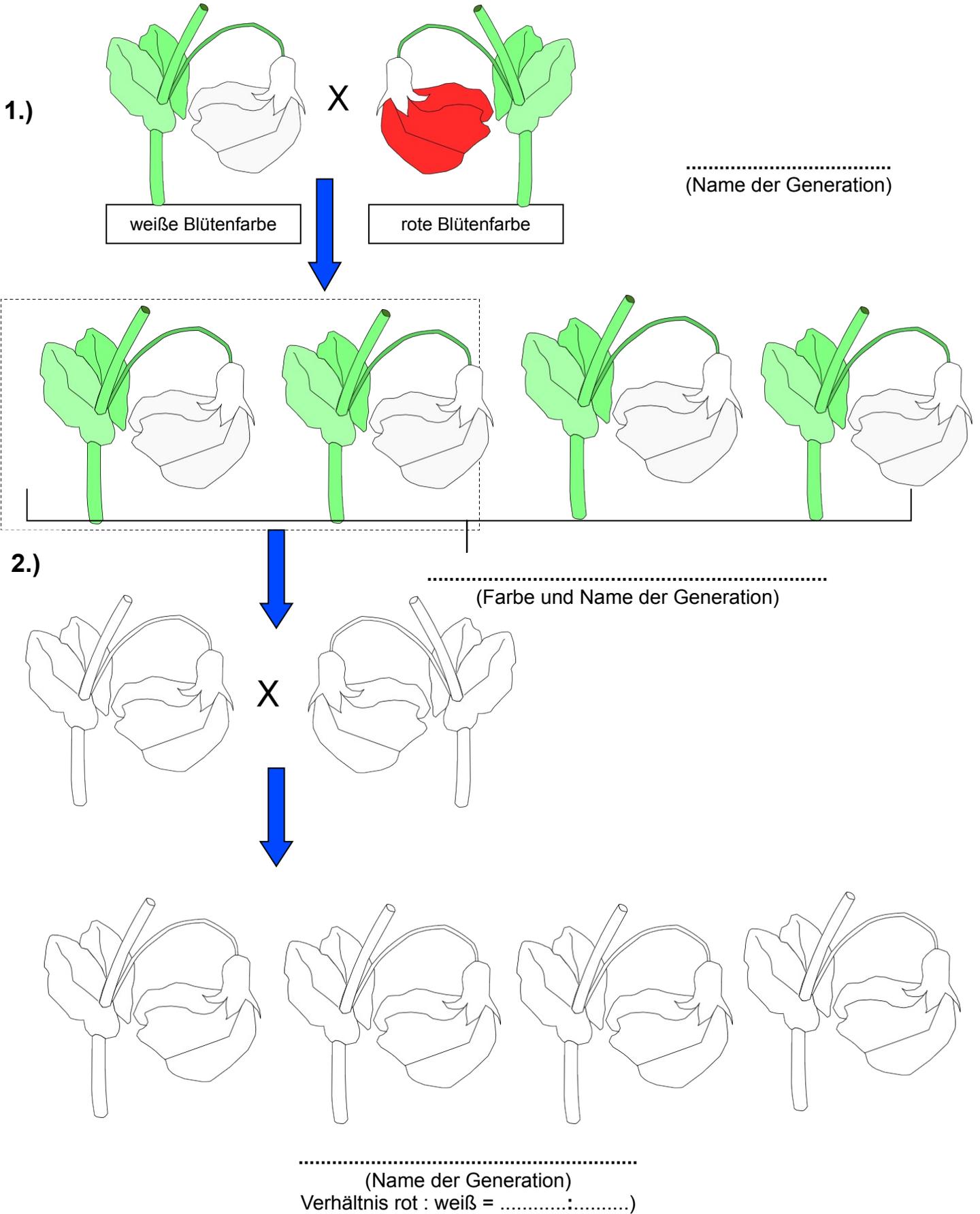
http://de.wikipedia.org/wiki/Gregor_Mendel

Fachbegriffe der klassischen Genetik

Allel	Ausprägungsform eines Gens. (Z.B. Allele für die Fellfarbe einer Kuh: braun, schwarz)
dihybrides Lebewesen	Zweifach mischerbiges Lebewesen. Das Erbgut ist in Bezug auf ein Merkmal gemischt.
diploid	Vollständiger Chromosomensatz einer Zelle. Beim Menschen 46 Chromosomen.
dominant	Eigenschaft eines Merkmals bzw. eines Allels bei Mischerbigen ein anderes Allel zu überdecken. So setzt sich bei der Vererbung der menschlichen Augfarbe oft das Allel für die dunklere Farbe durch. Dominante Allele werden durch einen Großbuchstaben gekennzeichnet.
Filialgeneration (F1)	= Tochtergeneration (=Nachkommengeneration)
Gen	Abschnitt der DNA, welcher für genau eine Eigenschaft, ein Merkmal zuständig ist.
Genotyp	Gesamtheit der Erbanlagen.
haploid	Einfache Anlagenausstattung pro Merkmal Also reduzierter Chromosomensatz. Beim Menschen 23 Chromosomen.
heterozygot	= mischerbig : Es liegen also zwei verschiedene Allele hinsichtlich eines Merkmals vor. Man notiert es durch einen Großen- und einen Kleinbuchstaben. (z.B. Aa) Das Lebewesen wird auch Bastard, Mischling, oder Hybrid genannt.
homozygot	= reinerbig : zwei <u>gleiche</u> Allele hinsichtlich eines Merkmals. Es gib natürlich zwei Möglichkeiten: a) homozygot dominant (AA) b) oder homozygot rezessiv (aa)
intermediärer Erbgang	Die Eigenschaften beider Allele kommen bei Mischlingen in Erscheinung (Mischform). Kein Allel ist dominant.
Modifikationen	Phänotypische Veränderungen von Merkmalen, die durch Umwelteinflüsse zustande kommen
monohybrid	einfach mischerbig
Mutation	Veränderung im Erbgut - sie geschehen meist spontan
Parentalgeneration (P)	= Elterngeneration
Phän	Merkmalsausprägung, konkrete Erscheinungsform eines Merkmals
Phänotyp	äußeres Erscheinungsbild eines Individuums
rezessiv	Eigenschaft eines Allels bei Mischlingen sich durch ein anderes Allel überdecken zu lassen. Ein rezessives Allel wird durch einen Kleinbuchstaben gekennzeichnet.

Arbeitsblatt: Vervollständige die Kreuzungsergebnisse

Kreuzung von Erbsenpflanzen mit Merkmalsvariation in der Blütenfarbe:



Vertiefung Anwendung der Mendel'schen Regeln am AB

Die Mendel'schen Regeln gelten für Pflanzen, Tiere und Mensch gleichermaßen!

a) Merkmale beim Menschen:

- Zungenrollen (U-förmig) wird dominant über ein Gen vererbt (**Z**)
- Form der Ohr läppchen:
Ist es angewachsen, so kommt die durch das rezessive Gen **o**. Das nicht angewachsene OL kommt durch das dominante **O**.
- Form des Nasenrückens: Gerade und konvex (Rundnase): **N**; konkav (Stupsnase): **n**
- Irispigment: In die Regenbogenhaut wird ein grüner Farbstoff eingelagert. Je mehr davon vorhanden ist, desto dunkler ist die Augenfarbe. Fehlt er, ist das Auge blau (Neugeborene haben oft noch blaue Augen). Das dominante Gen **P** verursacht die Pigmenteinlagerung.
- Sommersprossen: Durch dominantes Gen **S**
- Rückbiegen des Daumens: durch das rezessive Gen **d** hat man weichere Gelenke und kann das oberste Daumeglied weit zurückbiegen.
- Behaarung des mittleren der drei Fingerglieder durch dominantes Gen **F**
- Vorspringen des Haaransatzes: Verläuft der Haaransatz über der Stirn gerade weit nach vorn, so geht dieses auf das rezessive Gen **h** zurück
- Haarform: Glattes Haar = **GG**, gewelltes = **Gg**; lockiges = **gg** (intermediär)

b) Merkmale bei Tieren:

Rinderfarbe:

Bei Kühen ist die Farbe schwarz und das Merkmal ungescheckt (einfarbig) überwiegend (gegenüber braun und gescheckt).

Welches Merkmal ist dominant?

Kann man aus einer reinerbigen schwarzen, gescheckten und einer braunen-ungescheckten Kuh braun-gescheckte züchten? Wie groß ist deren statistische Verteilungshäufigkeit?

Übungsaufgaben (zum Schwitzen) zu den Mendel'schen Regeln:

1) Zungenrollen:

Das U-förmige Rollen der Zunge wird dominant über ein Gen vererbt (**Z**). Wie groß ist der statistische Anteil der zungenrollenden Kinder zweier mischerbiger Eltern?

2) Form der Ohrläppchen.

Angewachsene Ohrläppchen werden durch das Gen **o** verursacht. Bestimme aus der Anzahl der Schüler mit angewachsenem Ohrläppchen, ob es ein dominant oder rezessiv vererbtes Gen ist.

3) Irispigment:

In die Regenbogenhaut wird ein grüner Farbstoff eingelagert. Je mehr davon vorhanden ist, desto dunkler ist die Augenfarbe (bis hin zu dunkelbraun). Fehlt er, ist die Augenfarbe blau. Das dominante Gen **P** verursacht dabei die Pigmenteinlagerung.

- Warum haben Neugeborene oft noch blaue Augen?
- Welche Augenfarben sind bei einem blauäugigen Vater und einer grünäugigen Mutter für die Kinder denkbar? Stelle dazu das Kreuzungsschema auf.
- Welche Ursache kann ein blauäugiges Kind zweier braunäugiger Eltern haben?

4) Haarform

Glattes Haar wird dominant durch das Gen **G** vererbt. Stark gelocktes Haar durch das Gen **g**. Dieser Erbgang ist intermediär, d.h. dass keines der beiden Gene dominant ist und die Mischform leichtgelocktes Haar (**gG**) möglich ist. Stelle ein Kreuzungsschema so auf, dass 2 Eltern alle bei ihren Kindern alle 3 Lockungsformen (glatt, leicht gelockt, stark gelockt) wiederfinden können.

5) Rinderfarbe:

Bei Kühen sind die Eigenschaften „Fellfarbe schwarz“ (**f**) und das Merkmal „ungescheckt“ (**g**) (= einfarbig) zahlenmäßig am häufigsten vertreten (gegenüber „Fellfarbe braun“ und „gescheckt“).

- Welche Merkmale sind dominant?
- Kann man aus einer reinerbig schwarz - gescheckten und einer braun - ungescheckten Kuh eine braun-gescheckte züchten? Wie groß ist die statistische Verteilungshäufigkeit?

6) Blütenfarbe der Erbse:

Bei einer rotblühenden (**R**) Erbse weiß man nicht, ob sie rein- oder mischerbig ist. Beschreibe ein Experiment, welches geeignet ist, eine Entscheidung über den Genotyp zu treffen.

Aufgaben zur Wiederholung der klassischen Genetik

Übungen zu den Mendel'schen Regeln

Station 1

Thema: Zungenrollen

Aufgabe:

Das U-förmige Rollen der Zunge wird **dominant** über das **Gen Z** vererbt. Wie groß ist der statistische Anteil der zungenrollenden Kinder zweier mischerbiger Eltern?

Stellt ein Kreuzungsschema nach dem euch bekannten Muster auf!

Station 3

Thema: Augenfarbe

Aufgabe:

In die Regenbogenhaut wird der Farbstoff Melanin eingelagert. Je mehr davon vorhanden ist, desto dunkler ist die Augenfarbe (bis hin zu dunkelbraun). Fehlt er, ist die Augenfarbe blau. Das **dominante Gen P** verursacht dabei die Pigmenteinlagerung.

- a) Welche Augenfarben sind bei einem blauäugigen Vater und einer grünäugigen Mutter für die Kinder denkbar? Stellt dazu das Kreuzungsschema nach dem euch bekannten Muster auf (s.u.) auf.
- b) Welche Ursache kann ein blauäugiges Kind zweier braunäugiger Eltern haben? (Kreuzungsschema erstellen!)

Station 4

Thema: Haarform

Aufgabe:

Glattes Haar wird durch das **Gen G** vererbt, stark gelocktes Haar durch das **Gen g**. Welche Besonderheit liegt vor, wenn ihr berücksichtigt, dass es auch Menschen mit nur leicht gewelltem Haar gibt? Stellt dazu ein Kreuzungsschema nach dem euch bekannten Muster auf (s.u.)! Tipp: Kreuzt reinerbige Individuen miteinander!

Station 5

Thema: Aussehen von Rindern

Aufgabe:

Bei Kühen sind die Eigenschaften „**Fellfarbe schwarz**“ (F/f) und „**ungescheckt**“ (G/g) gegenüber den Merkmalen „**Fellfarbe braun**“ und „**gescheckt**“ zahlenmäßig am häufigsten vertreten.

- a) Welche Merkmale sind dominant?
- b) Kann man aus einer reinerbig schwarz-gescheckten und einer reinerbig braun-ungescheckten Kuh eine braun-gescheckte züchten? Wie groß ist die statistische Verteilungshäufigkeit? Erstellt ein Kreuzungsschema nach dem euch bekannten Muster! (s.u.)

Lösungen

Station 1

Elterngeneration

Phänotyp	Zungenrollen	x	Zungenrollen	
Genotyp	Zz		Zz	
Keimzellen	Z z		Z z	

1. Tochtergeneration

Genotyp	ZZ	Zz	Zz		zz
Phänotyp	Zungenrollen				kein Zungenrollen
Zahlenverhältnis	3			:	1

Statistischer Anteil: $\frac{3}{4} = 75\%$

Station 3

a) *blauäugiger Vater:* pp
grünäugige Mutter: PP oder Pp

1. Möglichkeit: Elterngeneration

Phänotyp	blauäugig	x	grünäugig	
Genotyp	pp		PP	
Keimzellen	p p		P P	

1. Tochtergeneration

Genotyp	Pp	Pp	Pp	Pp	
Phänotyp	alle grünäugig oder dunkler				

2. Möglichkeit: Elterngeneration

Phänotyp	blauäugig	x	grünäugig	
Genotyp	pp		Pp	
Keimzellen	p p		P p	

1. Tochtergeneration

Genotyp	Pp	Pp		pp	pp
Phänotyp	grünäugig oder dunkler				blau

b) *Eltern:* entweder beide Pp oder PP und Pp

P p x P p

Genotyp:	PP	Pp	Pp		pp
Phänotyp:	braun				blau
Verhältnis:	3			:	1

	PP	x	Pp		
Genotyp:	PP		PP	Pp	Pp
Phänotyp:	alle braun				

Station 4

Elterngeneration

Phänotyp	glatt	x	lockig
Genotyp	GG		gg
Keimzellen	G		g

1. Tochtergeneration

Genotyp	Gg Gg Gg Gg
Phänotyp	alle leicht gewellt

Hier dominiert kein Gen. Entstehen mischerbige Individuen, so zeigen diese einen anderen Phänotyp als die Elterngeneration. Man nennt dieses Phänomen **intermediärer Erbgang**.

Station 5

a) *dominante Merkmale*: schwarz F
 ungescheckt G

b) Elterngeneration

Phänotyp	schwarz-gescheckt	x	braun-ungescheckt
Genotyp	FFgg		ffGG
Keimzellen	F g		f G

1. Tochtergeneration

Genotyp	FfGg
Phänotyp	alle schwarz-ungescheckt

2. Tochtergeneration

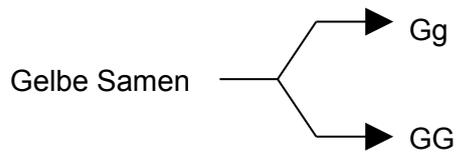
Keimzellen: FG Fg fG fg

	FG	Fg	fG	fg
FG	FFGG	FFGg	FfGG	FfGg
Fg	FFGg	FFgg	FfGg	Ffgg
fG	FfGG	FfGg	ffGG	ffGg
Fg	FfGg	Ffgg	ffGg	ffgg braun-gescheckt

Statistische Verteilungshäufigkeit: 1/16 = 6,25 %

Die Rückkreuzung

Ein für Mendel unüberwindbares Problem: Es liegt kein phänotypischer Unterschied zwischen (gelben) homozygoten dominanten und (gelben) heterozygoten Erbsen vor!



Eine Aussage über den tatsächlichen Genotypen einer gelben Erbse, ermöglicht die Rückkreuzung einer gelben Erbse mit einem rezessiven Partner!

$\text{GG} \times \text{gg} \Rightarrow$ alle gelb

$\text{Gg} \times \text{gg} \Rightarrow$ gelb : grün im Verhältnis 1:1

Die Wunderblume (*Mirabilis jalapa*) und ihr intermediäre Erbgang

Betrachte die Fotos auf den folgenden Seiten:

<http://www.blackstein.de/pflanzenfotos/wunderblume.html>

http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Mirabilis_jalapa_ja01.jpg

http://commons.wikimedia.org/wiki/Mirabilis_jalapa

Was fällt Dir auf? Kannst Du eine Erklärung finden?

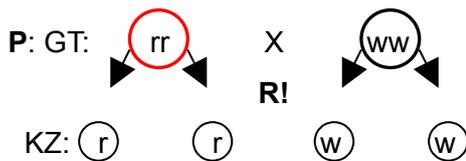
Der intermediäre Erbgang ist ein Sonderfall. Man kann ihn schön bei der Japanischen Wunderblume (*Mirabilis*) beobachten. Kreuzt man dort eine rot blühende mit einer weiß blühenden, so sind alle Nachkommen rosa!

Keines der beiden Allele ist also dominant oder rezessiv!

Kreuzung der Japanischen Wunderblume:

1 Elter: Blütenfarbe rot X F1-Generation
 1 Elter: Blütenfarbe weiß X Blütenfarbe rosa

Kreuzungsschema:



F₁: GT: 
 PT: rosa

F₂: Aufspaltung: rot : rosa : weiß
 1 : 2 : 1

Aufgabe:

- Die Höhe der Stimme eines Menschen wird monohybrid und intermediär vererbt. Stelle ein Kreuzungsschema auf, welches zeigt, warum Chorleiter es leichter haben viele Mittelstimmen zu finden, es aber wenige tiefe oder hohe Stimmen gibt.

Oberstufe: Polygenie

Viele Merkmale beruhen nicht auf der Wirkung eines einzelnen Gens, sondern auf das Zusammenwirken mehrerer Gene (z.B. Hautfarbe). Man spricht von Polygenie.

Es gibt zwei Typen der Polygenie:

a) Additive Polygenie

- Die Wirkung der einzelnen Allele addiert sich.
- Typisches Kennzeichen sind abgestufte Unterschiede der Phänotypen.

Bsp. Hautfarbe: A = Anlage für dunkle Hautfarbe
 a = Anlage für helle Hautfarbe
 B = Anlage für dunkle Hautfarbe
 b = Anlage für helle Hautfarbe

(Annahme: Die Wirkung der Allele A und B sei gleich stark)

P: AABB x aabb

F₁: AaBb

	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

b) Komplementäre Polygenie

Ein Gen ermöglicht die Ausprägung eines Merkmals, für das ein zweites Gen die Anlage trägt.
 Bsp. **Cuenot-Mäuse**

B = Anlage für Bildung eines schwarzen Farbstoffs
 b = Anlage für Bildung eines braunen Farbstoffs
 C = Anlage, die eine Farbstoffproduktion ermöglicht
 c = Anlage, die eine Farbstoffproduktion verhindert

Wiederholungsfragen zu Gregor Mendel, seinen Regeln und der klassischen Genetik

1. Beschreibe den Aufbau einer Zelle. Worin unterscheiden sich Einzeller und Vielzeller?
2. Nenne 4 Einzeller und vergleiche ihren Aufbau und ihre Lebensweise.
3. Beschreibe den Aufbau eines Chromosoms. Wie viele hat der Mensch?
4. Wie unterscheiden sich Mann und Frau aus genetischer Sicht? Suche die Unterschiede im Karyogramm.
5. Wie vermehren sich Zellen? Beschreibe genau am Beispiel des Pantoffeltierchens.
6. Was versteht man unter Meiose? Wann geschieht sie und welche wichtigen Aufgaben hat sie?
7. Wie viele genetisch verschiedene Nachkommen kann eine Fruchtfliege mit 3 Chromosomenpaaren haben?
8. Warum sehen Zwillinge manchmal sehr verschieden und manchmal gleich aus?
9. Was versteht man im biologischen Sinne unter einer Befruchtung?
10. Welcher Partner bestimmt im Tierreich bei einer Befruchtung das Geschlecht? Begründe mit einem Kreuzungsschema.
11. Spermien bewegen sich über den Geißelschlag. Wie kommt aber die Eizelle vom Eierstock zur Gebärmutter?
12. Wie schützt sich der Körper vor mehrfacher Befruchtung?
13. Beschreibe, wie es zu einer Trisomie 21 (=Down-Syndrom) kommen kann.
14. Nenne die Mendel'schen Regeln.
15. Die Form des Nasenrückens wird vererbt: gerade und konvexe (=Rundnase) Nasen werden durch das dominante Gen „N“ vererbt. Konkave Nasen (=Stupsnase) durch das Gen „n“. Erstelle die beiden möglichen Kreuzungsschemen, wenn ein Mann (gerade Nase) und eine Frau (Stupsnase) Nachkommen haben und bestimme die Wahrscheinlichkeiten für das Merkmal „Stupsnase“ unter den Kindern.
16. Es gibt eine Erbkrankheit, bei der die Menschen keine Farben sehen können (z.B. können sie rot und grün nicht unterscheiden). Zum Sehen von Farben wandelt der Körper „Vitamin A“ in einen chemischen Botenstoff um, der im Auge benötigt wird. Dieser Vorgang wird durch ein Eiweiß gesteuert.
 - a) Was ist eine Erbkrankheit?
 - b) Erstelle ein Schema, welches erklärt, wie es zur Farbblindheit kommt.
 - c) Diese Erbkrankheit wird auf dem „X“ - Chromosom rezessiv vererbt. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass Mädchen (mit reinerbig-gesunder Mutter und farbenblindem Vater) farbenblind geboren werden?
17. Recherchiere im Internet und finde Informationen zu folgenden Erbkrankheiten: Albinismus, Bluterkrankheit, Knochenbrüchigkeit und Kurzfingerigkeit.
18. Die Kreuzung zweier heterozygoter rotblühender Erbsen (Genotyp: Rr) ergibt 4 Nachkommen. Welche Phänotypen können sie haben?
19. Zu welchem Ergebnis führt die Kreuzung einer heterozygoten roten mit einer homozygot roten Erbse? Erstelle ein Kreuzungsschema. Wie sehen Phäno- und Genotyp aus? Welche Mendelsche Regel trifft hier zu?
20. Die Kreuzung einer Maispflanze, welche glatte Körner hervorbringen wird, mit einer seltenen Maispflanze, die runzlige Körner produziert, ergibt folgendes Ergebnis:

	glatt	runzlig	Gesamt
Kolben 1	87	53	140
Kolben 2	70	101	171
Kolben 3	113	72	185
Kolben 4	98	42	140
Kolben 5	81	105	186

- a) Wie lautet vermutlich der Genotyp der Elterngeneration?
- b) Erstelle ein mögliches Kreuzungsschema und kläre, ob die Ergebnisse den zu erwartenden Ergebnissen einer solchen Kreuzung entsprechen!
- c) Betrachtet man den vierten Kolben und wertet das Ergebnis aus, so könnte man in Bezug auf den Genotyp der Parentalgeneration ein anderes Ergebnis erhalten. Warum ist es dennoch nicht wissenschaftlich korrekt?

21. Die Kreuzung von violettblühenden Petunien zeigt, dass neben den violettblühenden auch noch rot- und blaublühende Pflanzen als Nachkommen vorliegen.
- Welche Besonderheit liegt hier vor? Benenne dazu den Erbgang.
 - Erstelle ein Kreuzungsschema, passend zur Aufgabe und bestimme dann das Phäno- und Genotypenverhältnis.
22. Es werden zwei 2 phänotypisch gleiche Kürbisse gekreuzt. Sie unterschieden sich in zwei Merkmalen. Die Bastarde der ersten Tochtergeneration sind alle gleich. Die Kreuzung der ersten Tochtergeneration ergibt in der F2 dann eine Aufspaltung im Verhältnis 9:3:3:1. Erkläre.
23. Ein Kaninchenzüchter besitzt ein männliches Kaninchen mit kurzhaarigem schwarzem Fell. Es hat Nachwuchs mit dem weiblichen Kaninchen des Nachbarn, welches langhaarig und braun ist. Der komplette Nachwuchs hat langhaariges braunes Fell. Der Züchter bekommt zwei Kaninchen. Da sie ihm gefallen, möchte er möglichst schnell eine reine Zuchtlinie mit kurzhaarigem braunem Fell erhalten. Wie soll er vorgehen?

Noch ein Hinweis: Die Mehrzahl von Chromosom ist nicht Chromosome, sondern Chromosomen!