

**Kapitel 08.03: Mendel und die klassische Genetik**



## 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 Mendelschen Regeln.....	5
Fragmente eines Forscherprotokolls zu Kreuzungsexperimenten.....	6
Schema der Kreuzungsexperimente mit der Gartenerbse ( <i>Pisum sativum</i> ):.....	7
J. G. Mendel: Kreuzungsversuche an Erbsen (1865).....	9
1. Regel: Kreuzung von Erbsen verschiedener Blütenfarbe:.....	9
2. Regel: Kreuzung der Nachkommengenerationen.....	9
Das Begriffspaar dominant - rezessiv.....	10
3. Regel: Kreuzung zweier reinerbiger Pflanzen, die sich in 2 Merkmalen unterschieden.....	11
Oberstufe: Einschränkung der 3. Mendelschen Regel.....	12
Vererbung mit Merkmalen, welche nicht gekoppelt sind:.....	12
Aufgaben zu den Mendelschen Regeln:.....	13
Vorteile der Erbse als Versuchsobjekt für Mendels Kreuzungsversuche.....	14
Mendels Methode.....	14
Die wichtigsten Fachbegriffe der Genetik.....	15
Fachbegriffe der klassischen Genetik.....	16
Arbeitsblatt: Vervollständige die Kreuzungsergebnisse.....	17
Vertiefung Anwendung der Mendelschen Regeln am AB.....	18
a) Merkmale beim Menschen:.....	18
b) Merkmale bei Tieren:.....	18
Übungsaufgaben (zum Schwitzen) zu den Mendelschen Regeln:.....	19
Aufgaben zur Wiederholung der klassischen Genetik.....	20
Übungen zu den Mendelschen Regeln.....	20
Station 1.....	20
Station 3.....	20
Station 4.....	20
Station 5.....	20
Lösungen.....	21
Die Rückkreuzung.....	23
Die Wunderblume ( <i>Mirabilis jalapa</i> ) und ihr intermediäre Erbgang.....	24
Oberstufe: Polygenie.....	25
a) Additive Polygenie.....	25
b) Komplementäre Polygenie.....	25
Wiederholungsfragen zu Gregor Mendel, seinen Regeln und der klassischen Genetik.....	26

### 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 Ruska 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 Mendelschen 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 Kloster 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 Mendelschen 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.

Quelle Bild: Gregor Mendel: Public domain by Wikicommonsuser NIH; [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gregor\\_Mendel.png](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!

<b>Pflanze 1</b>	x	<b>Pflanze 2</b>
(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 die .....Erbsenfarbe

ist .....

Das Merkmal für die .....Erbsenfarbe 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.

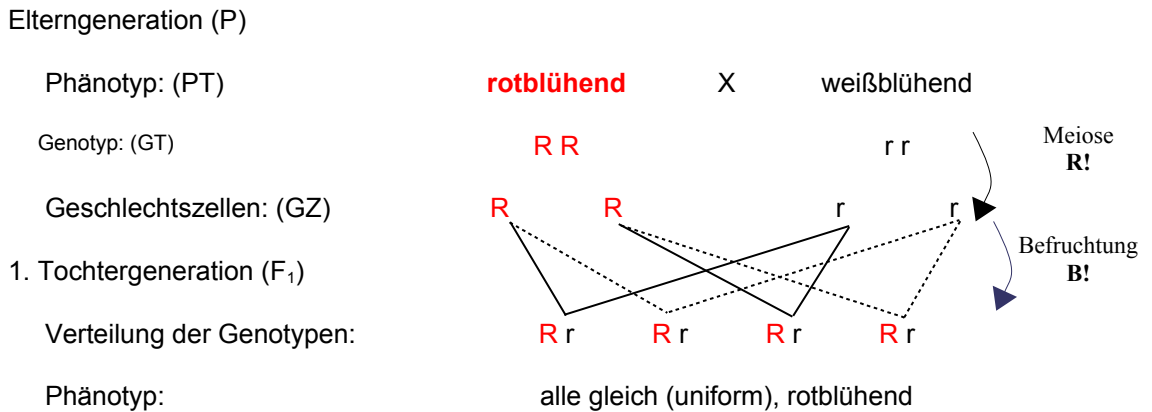
1



**J. G. Mendel: Kreuzungsversuche an Erbsen (1865)**

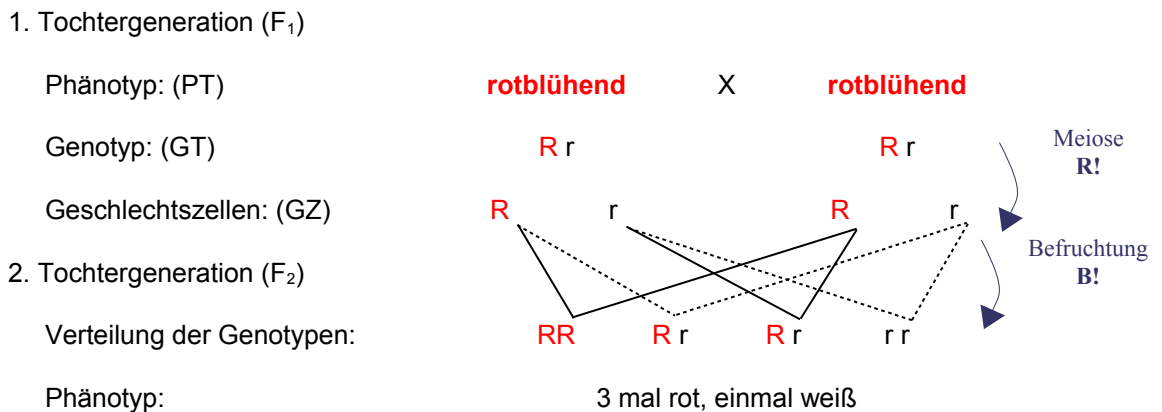
**1. Regel: Kreuzung von Erbsen verschiedener Blütenfarbe:**

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



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

**2. Regel: Kreuzung der Nachkommengenerationen**



**2. Mendelsche Regel: Kreuzt man die Mischlinge der F<sub>1</sub>-Generation unter sich, so spalten sich in der Enkelgeneration (F<sub>2</sub>-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 Mendelschen 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 unterschieden**

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 reinerbiger Individuen gekreuzt werden, die sich in zwei Merkmalspaaren unterscheiden.

Er beobachtete, dass sich die Merkmale der Nachkommen in der 2. Generation unabhängig verteilt hatten.

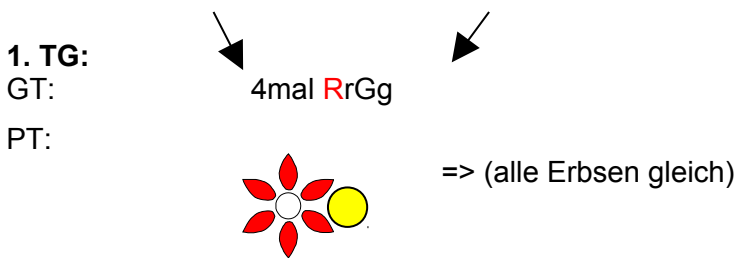
**Elterngeneration:**



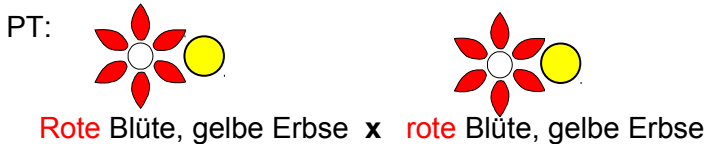
Rote Blüte, gelbe Erbse x weiße Blüte, grüne Erbse

GT: RRGG rrgg  
 GZ: RG ; RG rg ; rg  
 R!  
 B!

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



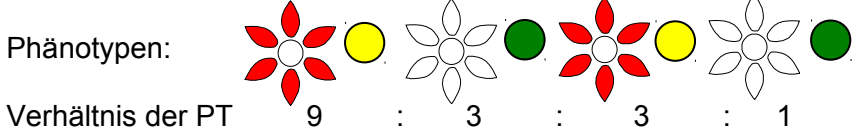
**Kreuzung von zwei Erbsen der 1. TG:**



GT: RrGg RrGg R!  
 GZ: RG, rG RG, rG  
 Rg, rg Rg, rg B!

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



**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. Mendelschen 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.

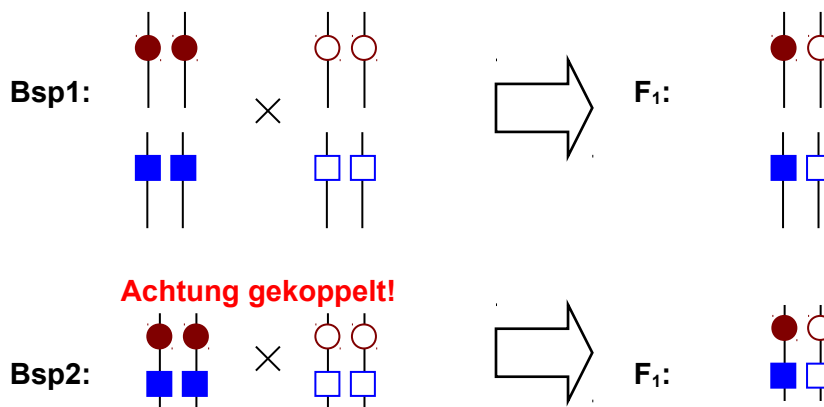
=> **Die 3. Mendelsche Regel gilt nicht bei Genkopplung!**

**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!**

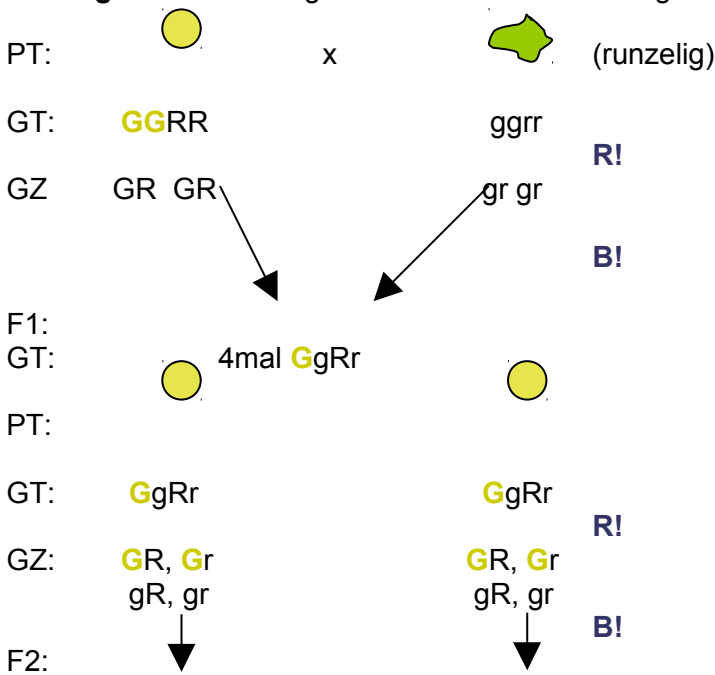


**Ein Entkopplung zweier Merkmale auf einem Chromosom ist nur durch Crossing-over möglich!**

**Aufgaben zu den Mendelschen 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 F<sub>2</sub>-Generation zu erwarten?
5. Wie lautet die 2. Mendelsche Regel? Warum heißt sie Spaltungsregel?
6. Welche Auswirkungen hat das Vertauschen der Eltern (Pollenspender, Eizelle) auf die Aufspaltung in der F<sub>2</sub>-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 einer Erbsen der Farben grün und gelb mit runzlichen und runden Erbsen



<i>RrGg x RrGg</i>	<b>RG</b>	<b>Rg</b>	<b>rG</b>	<b>rg</b>
<b>RG</b>	RR <b>GG</b>	RR <b>Gg</b>	Rr <b>GG</b>	Rr <b>Gg</b>
<b>Rg</b>	RR <b>Gg</b>	RRgg	Rr <b>Gg</b>	Rrgg
<b>rG</b>	Rr <b>GG</b>	Rrg <b>G</b>	rr <b>GG</b>	rr <b>Gg</b>
<b>rg</b>	Rr <b>Gg</b>	Rrgg	rr <b>Gg</b>	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 Selbstbefruchtung 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).

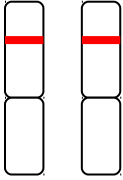
### Mendels Methode

- 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 („*Sorgfal*“t).
- 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<sub>m</sub>A<sub>v</sub>

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

**Allel<sub>m</sub> = Allel<sub>v</sub> => homozygot = reinerbig**

**Allel<sub>m</sub> ≠ Allel<sub>v</sub> => heterozygot = mischerbig**

- **Modifikationen:** phänotypische Veränderungen, die durch Umwelteinflüsse zustande kommen.
- **Mutation:** Veränderung im Erbgut - sie geschehen (meist) spontan!

**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](http://de.wikipedia.org/wiki/Gregor_Mendel)

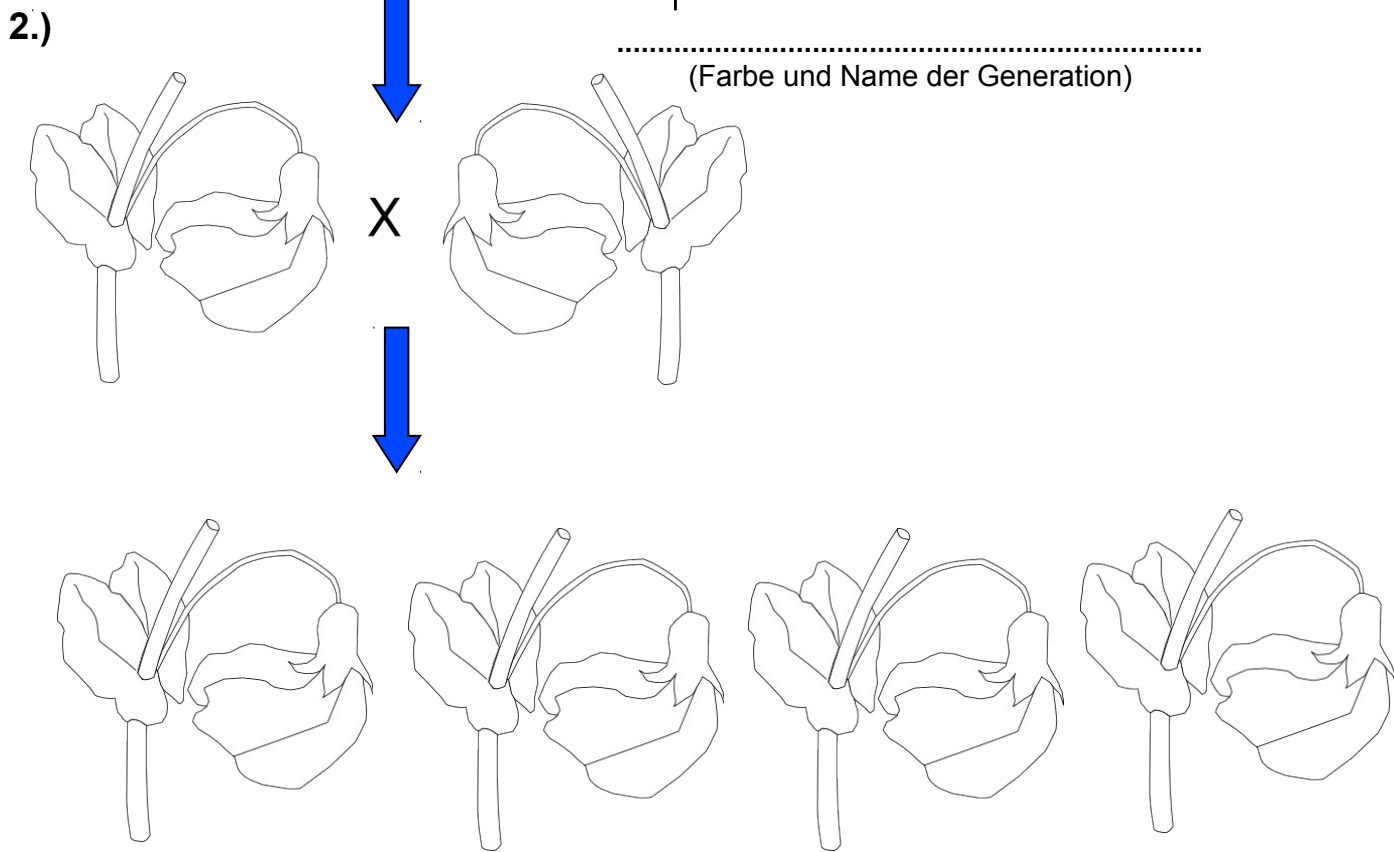
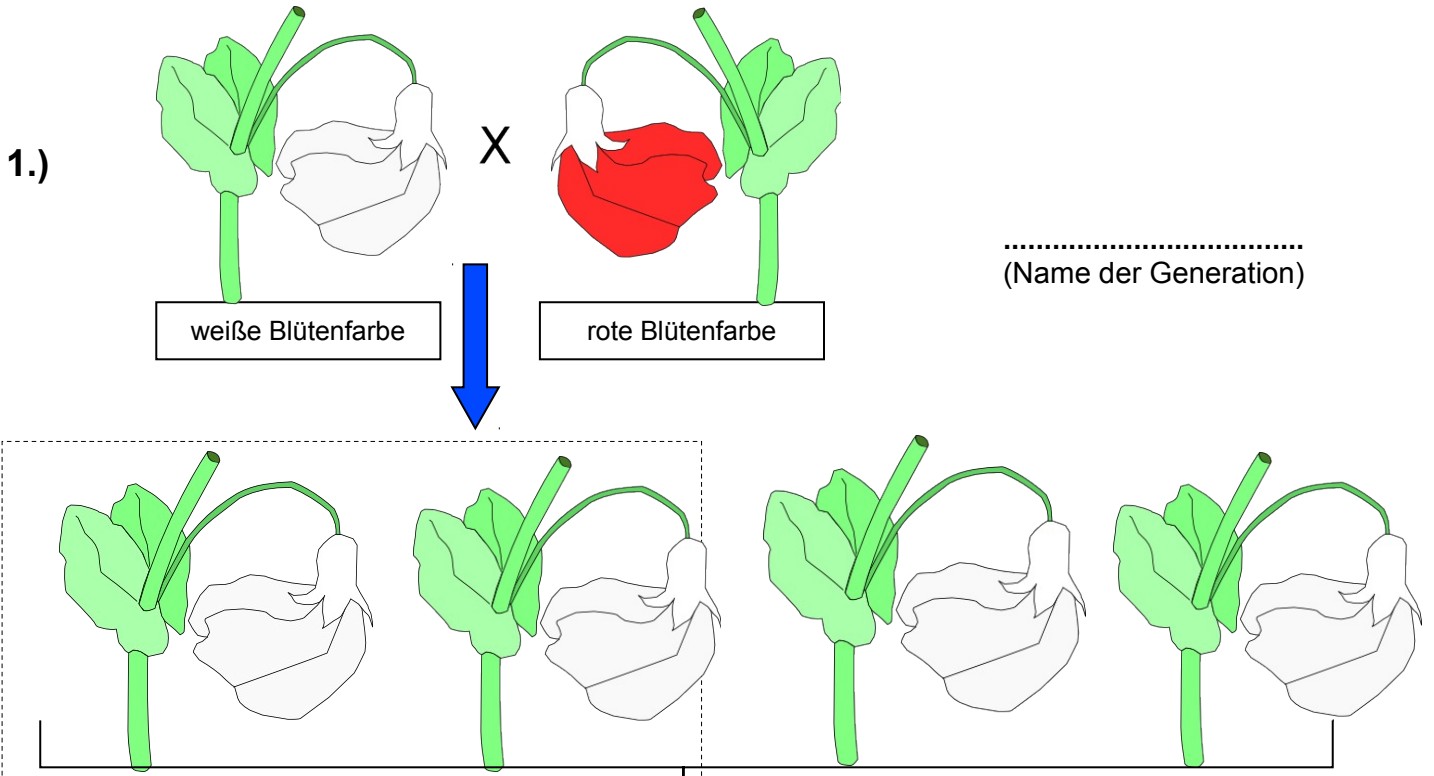
### Fachbegriffe der klassischen Genetik

<b>Allel</b>	Ausprägungsform eines Gens. (Z.B. Allele für die Fellfarbe einer Kuh: braun, schwarz)
<b>dihybrides Lebewesen</b>	Zweifach mischerbiges Lebewesen. Das Erbgut ist in Bezug auf eine Merkmal gemischt.
<b>diploid</b>	Vollständiger Chromosomensatz einer Zelle. Beim Menschen 46 Chromosomen.
<b>dominant</b>	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.
<b>Filialgeneration (F1)</b>	= Tochtergeneration (=Nachkommengeneration)
<b>Gen</b>	Abschnitt der DNA, welcher für genau eine Eigenschaft, ein Merkmal zuständig ist.
<b>Genotyp</b>	Gesamtheit der Erbanlagen.
<b>haploid</b>	Einfache Anlagenausstattung pro Merkmal Also reduzierter Chromosomensatz. Beim Menschen 23 Chromosomen.
<b>heterozygot</b>	= <b>mischerbig</b> : 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.
<b>homozygot</b>	= <b>reinerbig</b> : zwei <u>gleiche</u> Allele hinsichtlich eines Merkmals. Es gib natürlich zwei Möglichkeiten: a) homozygot dominant (AA) b) oder homozygot rezessiv (aa)
<b>intermediärer Erbgang</b>	Die Eigenschaften beider Allele kommen bei Mischlingen in Erscheinung (Mischform). Kein Allel ist dominant.
<b>Modifikationen</b>	Phänotypische Veränderungen von Merkmalen, die durch Umwelteinflüsse zustande kommen
<b>monohybrid</b>	einfach mischerbig
<b>Mutation</b>	Veränderung im Erbgut - sie geschehen meist spontan
<b>Parentalgeneration (P)</b>	= Elterngeneration
<b>Phän</b>	Merkmalsausprägung, konkrete Erscheinungsform eines Merkmals
<b>Phänotyp</b>	äußeres Erscheinungsbild eines Individuums
<b>rezessiv</b>	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:**



.....  
(Name der Generation)  
Verhältnis rot : weiß = .....:.....)

## Vertiefung Anwendung der Mendelschen Regeln am AB

### Die Mendelschen Regeln gelten für Pflanzen, Tiere und Mensch gleichermaßen!

#### a) Merkmale beim Menschen:

- Zungenrollen (U-förmig) wird dominant über ein Gen vererbt (**Z**)  
(Vorsicht: nicht rein monogen! => Kinder können rollen obwohl beide Eltern nicht können)
- 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 Daumenglied weit zurück biegen.
- 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 Mendelschen 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.

- a) Warum haben Neugeborene oft noch blaue Augen?
- b) Welche Augenfarben sind bei einem blauäugigen Vater und einer grünäugigen Mutter für die Kinder denkbar? Stelle dazu das Kreuzungsschema auf.
- c) 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“).

- a) Welche Merkmale sind dominant?
- b) 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 Mendelschen 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.

- 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.
- 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.

- Welche Merkmale sind dominant?
- 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**

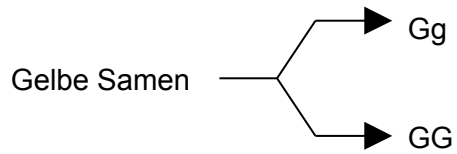
Keimzellen:                      FG Fg fG fg

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

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!

GG X gg => alle gelb

Gg X gg => 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://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Mirabilis_jalapa_ja01.jpg)

[http://commons.wikimedia.org/wiki/Mirabilis\\_jalapa](http://commons.wikimedia.org/wiki/Mirabilis_jalapa)

Was fällt Dir auf? Kannst Du eine Erklärung finden?

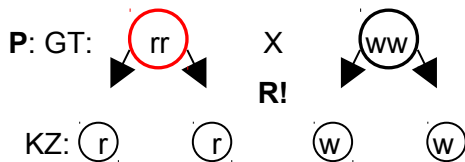
**Der intermediäre Erbgang ist ein Sonderfall. Man kann ihn schön bei der Japanischen Wunderblume (*Mirabilis*) beobachten. Kreuzt man dort eine rot blühende mit einer weiß blühenden, so sind alle Nachkommen rosa!**


**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:



F<sub>1</sub>: GT:   
 PT: rosa

F<sub>2</sub>: Aufspaltung: rot : rosa : weiß  
 1 : 2 : 1

#### Aufgabe:

1. 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

F<sub>1</sub>: 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 (=Mongolismus) kommen kann.
14. Nenne die Mendelschen 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, das 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 Kurz fingrigkeit.
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
<b>Kolben 1</b>	87	53	140
<b>Kolben 2</b>	70	101	171
<b>Kolben 3</b>	113	72	185
<b>Kolben 4</b>	98	42	140
<b>Kolben 5</b>	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!**