

## Die Mendel'schen Regeln

### Grundlagen der Vererbung

#### Filmkommentar

---

### **Phänomene der Vererbung**

**(2:10 min)**

„Ganz die Mama! Außer der Nase, die ist wie vom Papa. Die Augen, blau wie von Oma, oder doch grau-blau wie von Opa? Die Grübchen – unverkennbar. Die haben alle in deiner Familie.“

Vergleiche wie diese kennt wohl jeder...

Eigenschaften der Eltern können bei ihren Nachkommen wieder auftauchen. Eine solche Weitergabe von Merkmalen an die nächste Generation nennt man **Vererbung**.

Aber wie kommt es dazu, dass Kinder ihren Eltern in vielen Merkmalen gleichen? Und warum unterscheiden sich Geschwister in vielen Eigenschaften voneinander, obwohl sie doch von den gleichen Eltern stammen? Wie geben Eltern ihre Merkmale an die Nachkommen weiter?

Die Wissenschaft, die sich mit diesen und ähnlichen Fragen beschäftigt, heißt Vererbungslehre oder **Genetik**. Den Grundstein zur modernen Vererbungslehre legte der Augustinermönch **Johann Gregor Mendel**. Seine Erkenntnisse veröffentlichte er bereits im Jahr **1866**. Die gerieten jedoch erst einmal in Vergessenheit.

Zur damaligen Zeit hatte man nur eine vage Vorstellung von den Mechanismen der Vererbung. Unterschiedliche Meinungen kursierten – wie etwa die Theorie der **diffusen Vermischung** von elterlichen Merkmalen – ähnlich wie bei zwei Farben, die man miteinander mischt.

Heute bilden die mendel'schen Regeln eine feste Grundlage für die Genetik – z. B. für die Züchtung von Tierrassen und Pflanzensorten. Mendel wird gefeiert als „Vater der Genetik“. Ein einsam forschender Mönch kam den Geheimnissen der Vererbung auf die Spur! Und wie? Er züchtete unermüdlich Erbsen – und zählte sie...

### **Mendel und seine Experimente**

**(1:50 min)**

Mendels Versuchslabor war der Garten des Augustinerklosters in Brünn. Dort führte er über 10 Jahre lang grundlegende Experimente zur Vererbung durch. Entscheidend dabei war die Wahl des Forschungsobjektes: die **Gartenerbse**.

Sie ist leicht anzubauen, hat eine kurze Generationszeit und eine hohe Nachkommenzahl. Ihre äußeren Erscheinungsmerkmale, wie etwa die Farbe der Blüten oder die Form und Farbe der Samen lassen sich gut beobachten.

Mendel untersuchte im Laufe der Zeit sieben solcher Pflanzenmerkmale. Alle ließen sich deutlich voneinander abgrenzen und zeigten nur eine geringe Variationsbreite. Dieses äußere Erscheinungsbild, das heißt, die beobachtbaren Merkmale, wird als **Phänotyp** bezeichnet.

Gartenerbsen sind **Zwitter**. Die Pflanzen besitzen also sowohl männliche als auch weibliche Fortpflanzungsorgane in einer Blüte. Dadurch können sie sich selbst bestäuben. Pflanzen, die durch Selbstbestäubung ein bestimmtes Merkmal über Generationen hinweg unverändert weitergeben, z. B. immer weiße Blüten oder immer grüne Samen, bezeichnet man als **reinerbig**. Diese reinerbigen Pflanzen nutzte Mendel als Grundlage für seine Experimente.

Doch was wird passieren, wenn man eine Erbsensorte mit reinerbig grünen Samen mit einer Erbsensorte mit reinerbig gelben Samen kreuzt?

## **Uniformität**

**(2:20 min)**

Mendel führte bei seinen Versuchspflanzen **Fremdbestäubung** durch. So wurde keine Befruchtung dem Zufall überlassen. Er entfernte bei zwei Pflanzensorten, jeweils reinerbig mit gelben und grünen Samen, die Staubblätter – noch bevor sie die eigene Narbe bestäuben und sich so selbst befruchten konnten. Dann übertrug er den männlichen Pollen von der einen Pflanzensorte auf die Narbe der jeweils anderen Pflanzensorte. Anschließend umhüllte er die Blüten zum Schutz vor unerwünschter Fremdbestäubung. Diese beiden Ausgangspflanzen einer solchen Kreuzung werden als **Elterngeneration** oder **Parentalgeneration** bezeichnet.

Mendel musste nicht schlecht gestaunt haben, als er im Herbst die Nachkommen dieser Kreuzung begutachtete. Die Samen aller untersuchten Pflanzen der **Tochtergeneration**, auch **F<sub>1</sub>-Generation** genannt, waren ausnahmslos gelb. Da sie trotzdem die Merkmale beider Elternteile in sich vereinen, nennt man sie **Mischlinge**. Auch bei den anderen untersuchten Pflanzenmerkmalen erhielt Mendel die gleichen Ergebnisse. Es dominierte immer nur eine Erscheinungsform.

Mendel führte eine Menge dieser Kreuzungen durch. Dabei untersuchte er jeweils nur ein Merkmal, d. h., er achtete z. B. NUR auf die Farbe der Erbsensamen ODER auf die Farbe der Blüten. Man nennt solche Kreuzungen, bei denen nur ein Merkmal betrachtet wird, eine **monohybride Kreuzung** oder einen **monohybriden Erbgang**.

Anhand seiner Ergebnisse konnte Mendel dann eine allgemeingültige Aussage formulieren:

*Kreuzt man zwei Individuen miteinander, die sich in einem Merkmal reinerbig unterscheiden, beispielsweise grünsamige Erbsenpflanzen mit gelbsamigen Erbsenpflanzen, so sind ihre Nachkommen der F1-Generation in Bezug auf dieses Merkmal alle gleich, uniform.*

Das ist Mendels erste Regel, die **Uniformitätsregel**.

## Aufspaltung

(5:10 min)

In Mendels Versuchen sahen die Erbsensamen der 1. Tochtergeneration alle gleich aus. Alle Samen waren gelb. Doch wo war die Information zur grünen Samenfarbe geblieben?

Um das zu klären, säte Mendel die neuen Samen aus und zog sie zu Pflanzen heran. Die Pflanzen wurden miteinander gekreuzt. Wäre die Information „grüne Samen“ verloren gegangen, dann müssten in der nachfolgenden **2. Tochtergeneration**, der sogenannten **F<sub>2</sub>-Generation**, ausschließlich Pflanzen entstehen, die gelbe Samen hervorbringen.

Im Herbst erhielt er das Ergebnis: von 258 Pflanzen erntete er 8023 Samen. 6022 Samen waren gelb. 2001 Samen waren grün. Die in der 1. Tochtergeneration verschwundene Farbe grün tauchte also wieder auf. Wie konnte das sein?

Schauen wir uns das zugrunde liegende Erbbild an, den Genotyp:

Die Information für die Ausbildung der Samenfarbe grün oder gelb liegt – wie auch bei allen anderen Merkmalen – kodiert in einem bestimmten Abschnitt der DNA, dem **Gen**. Alle Gene eines Organismus liegen linear angeordnet auf den **Chromosomen**.

Chromosomen sind in den Zellkernen der Zellen aller Tiere und Pflanzen vorhanden. Sie liegen paarweise vor. Bei so einem diploiden Chromosomensatz stammt jeweils ein Chromosom von der Mutter und das andere vom Vater. Beide passen hinsichtlich der Form, Struktur und Abfolge der Gene zueinander.

Sie sind jedoch meist nicht identisch: Das Gen für die Samenfarbe gibt es beispielsweise in zwei verschiedenen Ausprägungen, die **Allele** genannt werden. Ein Allel ist für der Ausbildung gelber Samen und ein Allel für der Ausbildung grüner Samen verantwortlich.

Die Allele eines Chromosomenpaares können entweder **gleich** sein oder **verschieden**. Sind beide gleich, besitzen sie also dieselbe Information, dann ist das Individuum in Bezug auf dieses Merkmal **reinerbig**. Sind die Allele unterschiedlich, so ist das Individuum **mischerbig**.

Mendel entwickelte für die Ausprägung der Merkmale eine bestimmte Symbolik:

Ist ein Allel gegenüber einem anderen **dominant** und führt damit im Phänotyp zur sichtbaren Ausprägung, wird dies mit einem Großbuchstaben gekennzeichnet. Ist ein Allel gegenüber dem anderen unterdrückt, also **rezessiv**, wird ein Kleinbuchstabe verwendet.

Groß A bestimmt hier also die Samenfarbe. Es ist **dominant**.

Wie lässt sich nun verstehen, dass in der 2. Tochtergeneration wieder grüne Samen auftauchen?

Bei der **Befruchtung** wurde in der Elterngeneration von jedem reinerbigen Elternteil ein Allel weitergegeben. So sind **alle** Erbsensamen der 1. Tochtergeneration **mischerbig**. Ihr Erscheinungsbild ist aufgrund der Dominanz **gelb**.

Die zur Fortpflanzung notwendigen Keimzellen enthalten nur einen einfachen Chromosomensatz und daher in der ersten Tochtergeneration entweder das **dominante Allel Groß A** oder das **rezessive Allel klein a**.

Verschmelzen sie zur 2. Tochtergeneration sind folgende Kombinationen möglich:

Reinerbig gelb, zweimal Groß A. Mischerbig gelb, Groß A, klein a. Mischerbig gelb, klein a, Groß A und Reinerbig grün, zweimal klein a. Die Merkmale der Elterngeneration treten also in einem bestimmten Zahlenverhältnis von **3:1** wieder auf.

Welches Merkmal im Einzelfall auftritt, lässt sich jedoch nicht sicher vorhersagen. Statistisch gesehen wird aber jede 4. Erbse grün. Mendels Zahlen belegen es. Ziemlich genau ein Viertel der 8023 Samen sind grün. Er folgerte daraus:

*Kreuzt man die sich gleichenden, uniformen Individuen der F1-Generation untereinander, weisen die Nachkommen der F2-Generation wieder die Merkmale der Elterngeneration in einem bestimmten Zahlenverhältnis auf. Bei einem dominant-rezessiven Erbgang erfolgt die Aufspaltung im Verhältnis 3:1.*

Das ist Mendels zweite Regel, die **Spaltungsregel**.

## **Unabhängigkeit**

**(2:40 min)**

Die Versuche mit Erbsenpflanzen, die nur in einem Merkmal verschieden waren, führten zur Uniformitätsregel und zur Spaltungsregel. Doch was passiert, wenn mehrere unterschiedliche Merkmale auftreten?

Um dieser Frage nachzugehen, führte Mendel Kreuzungen mit Pflanzen durch, die sich in ZWEI leicht zu beobachtenden Merkmalen unterscheiden, z. B. in der Farbe und der Form der Samen.

Die Samen der Elterngeneration waren also gelb und rund ODER grün und runzlig. Eine solche Kreuzung mit zwei zu untersuchenden Merkmalen wird als dihybrider Erbgang bezeichnet.

Die F<sub>1</sub>-Generation war erwartungsgemäß uniform: Alle Samen waren rund und gelb. Diese Ausprägungen mussten also dominant sein.

Für den nachfolgenden Erbgang kreuzte er die Mischlinge der F<sub>1</sub>-Generation untereinander.

Im Herbst erntete er 556 Samen. Er zählte 315 gelb-runde, 101 gelb-runzlige, 108 grün-runde und 32 grün-runzlige Erbsen. Das entspricht ziemlich genau dem Zahlenverhältnis von 9:3:3:1 im Phänotyp. Neben den bekannten elterlichen Samenformen sind also zwei weitere Samenformen entstanden: neue Erbsensorten mit **grün-runden** und **gelb-runzlichen** Samen.

Die neu entstandenen Samenformen beweisen:

Die Allele der Ausgangssorten lassen sich **unabhängig voneinander** kombinieren.

*Kreuzt man Individuen, die sich in zwei oder mehr Merkmalen unterscheiden, so werden die einzelnen Erbanlagen unabhängig voneinander vererbt. Bei der Kreuzung mehrerer unterschiedlicher Merkmale entstehen so viele neue Formen, wie Kombinationsmöglichkeiten gegeben sind.*

Das ist Mendels dritte Regel, die **Unabhängigkeitsregel**.

### ***Bedeutung für die moderne Wissenschaft***

***(1:30 min)***

Mendels Forschungsergebnisse haben die Tier- und Pflanzenzüchtung revolutioniert. Bei der Vererbung werden Merkmale nicht zufällig vermischt, sondern die **Gene** werden dominant oder rezessiv vererbt.

Durch gezielte Kreuzungen lassen sich also getrennt vorkommende Erbanlagen reinerbig vereinen. Auf diese Weise können „**Neuzüchtungen**“ geschaffen werden. Die gewünschten Merkmale werden entsprechend den Züchtungszielen miteinander **kombiniert**. So lassen sich zum Beispiel sehr ertragreiche Pflanzen züchten.

Auch in der **Humangenetik** finden die Mendel'schen Regeln heute Verwendung. In Beratungsstellen zum Beispiel – für Eltern mit Kinderwunsch. Ist eine vererbte Krankheit in der Familiengeschichte bekannt, lassen sich mit Hilfe der Mendel'schen Regeln Aussagen darüber treffen, wie **hoch** die **Wahrscheinlichkeit** ist, dass diese Erbkrankheit beim Nachwuchs wieder auftreten könnte.

Seit Mendel dringen wir mit unaufhörlichem Ehrgeiz immer tiefer in die Welt der Genetik ein. Wir erforschen molekulare Zusammenhänge und verstehen die Geheimnisse des Lebens immer detaillierter...