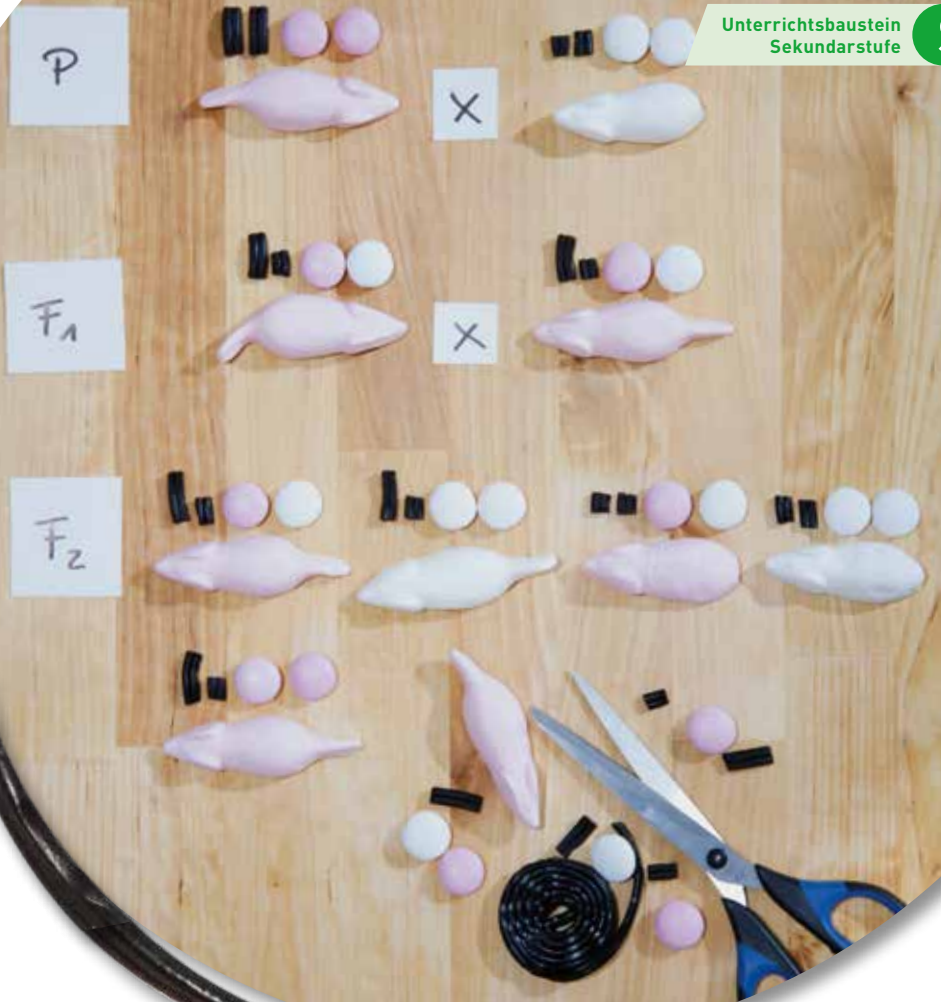




# Der mit den Erbsen

## 150 Jahre Mendel'sche Regeln



### SACHINFORMATION

#### Gregor Mendel in Kürze

Johann Gregor Mendel (1822–1884) empfand die richtige Mischung von Naturverbundenheit und Neugier, um seine bahnbrechenden wissenschaftlichen Ergebnisse zu erzielen. Er wollte – wie viele Naturforscher vor ihm – wissen, wie sich bestimmte Merkmale von Pflanzen vererben. Für seine Versuche nutzte er eindeutig zu bestimmende Merkmale wie Blütenfarbe, Samenform oder -farbe.

Die Arbeit von Mendel ist ein gutes Beispiel, wie man mit einfachen Mitteln und viel Geduld bedeutende

wissenschaftliche Erkenntnisse erlangen kann. Jahrelang hatte er im Kloostergarten über 350 Kreuzungsversuche an Erbsenpflanzen durchgeführt und die Häufigkeiten der Merkmalsausprägungen an 28.000 Pflanzen gezählt. Mendel entdeckte dabei Gesetzmäßigkeiten, die er an weiteren Pflanzenarten überprüfte. Außerdem wertete er seine Beobachtungen statistisch aus und sicherte sie mit Kontrollversuchen wie Rückkreuzungen ab. Mendel veröffentlichte seine drei heute noch gültigen „Mendel'schen Regeln“ im Jahr 1866, also vor 150 Jahren. Er erlebte seinen Erfolg leider nicht mehr.

#### Seiner Zeit voraus

Mendel konnte als Lehrer für Naturwissenschaften und späterer Abt eines Augustinerklosters groß angelegte Versuche durchführen. Er nutzte selbstbestäubende Erbsen, bei denen er relativ einfach Saatgut reiner Linien vorbereiten konnte. Sie unterschieden sich stark, aber pro Versuch nur in einem Merkmal, z. B. zwei Erbsensorten mit Weiß und Violett als Blütenfarbe. Diese beiden Sorten bestäubte er gegenseitig und säte deren Samen wieder aus. Zu seiner Überraschung erschienen an den neuen Pflanzen nur violette

### LERNZIELE UND KOMPETENZEN:

**Fächer:** Biologie, Mathematik

Die Schülerinnen und Schüler

- » erfahren, dass wir mehr Gene besitzen, als wir „zeigen“ → Geno- und Phänotypen;
- » lernen die Mendel'schen Regeln kennen und anwenden;
- » vollziehen Beispiele zur Vererbung von dominanten und rezessiven Merkmalen (Erbgänge) nach;
- » beschäftigen sich mit der Person Mendel und seiner Forschungsleistung.

Blüten. Wo war das Weiß geblieben? Er ging einen Schritt weiter und kreuzte die zweite Generation, also all die violetten Blüten, wieder untereinander. Jetzt trat das Weiß wieder auf, bei etwa jeder vierten Pflanze. Es musste also im Erbgut mancher violetter Blüten noch versteckt gewesen sein. Da die Anzahlen der Phänotypen immer wieder im ähnlichen Verhältnis (3:1 bei einem Merkmal und 9:3:3:1 bei zwei Merkmalen) zueinander auftraten, konnte es kein Zufall sein, sondern musste die Vererbung einer Regel folgen. Er entwickelte die Idee der Gene und



**1. Regel:** Bei der Kreuzung reinerbiger Eltern, die sich nur in einem Merkmal unterscheiden, zeigen alle Genotypen der Tochtergeneration (F1) denselben Phänotyp: bei dominant-rezessiven Erbgängen mit der Ausprägung des dominanten Allels, bei intermediären Erbgängen eine Mischform der beiden Ausprägungen.

**2. Regel:** Bei der Kreuzung der F1-Individuen untereinander spalten sich die Phänotypen auf. Durchschnittlich zeigen ein Viertel der Enkel die Ausprägung des reinerbig rezessiven Elternteils.

**3. Regel:** Die einzelnen Gene sind frei kombinierbar. Bei der Bildung der Keimzellen (Meiose) werden sie neu kombiniert. Es entstehen neue Gen- und Phänotypen.

ihrer Allele als kleine Einheiten, die an Nachkommen weitergegeben werden. Außerdem musste es dominante und rezessive Erbgänge geben, bei denen sich die schwächeren Allele nur zeigen, wenn sie reinerbig im Genom vorliegen. Durch viele weitere Versuche mit mehreren Merkmalen entdeckte er die freie Kombinierbarkeit von einzelnen Genen. Und schließlich führten Kreuzungen anderer Pflanzen zur Entdeckung intermediärer Erbgänge mit kodominanten Allelen. Man muss bedenken, dass er diese Regeln erarbeitete, als noch lange nicht bekannt war, dass es so etwas wie Chromosomen und Gene überhaupt gibt. Diese Erkenntnisse kamen erst über vier Jahrzehnte später und bestätigten auf molekularer Ebene, was Mendel zuvor beobachtet und ausgewertet hatte.



Selbst modernste Verfahren basieren auf den Erkenntnissen von Mendel.

### Bis heute aktuell

Die Mendel'schen Regeln bilden die Grundlage für die Wissenschaft der Genetik und die moderne Pflanzenzüchtung. Auf ihrer Basis wird die Vererbung bis heute weiter erforscht und werden die Methoden der Züchter weiterentwickelt. Mendels Erkenntnisse sind also die Basis für „150 Jahre Fortschritt“. Heutzutage wissen wir schon viel mehr über die Biochemie in den Zellen und den Aufbau der Gene. Im Labor können wir sogar Moleküle und Vorgänge in Zellen sehen und erklären, wo Mendel nur die Auswirkungen seiner Kreuzungen am Äußeren der Pflanzen beobachten konnte. Doch seine Regeln gelten bis heute und helfen

den ZüchterInnen immer wieder angepasste Sorten und Rassen von Nutzpflanzen und -tieren für die Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung zu züchten. Die neuen Züchtungen sollen dafür widerstandsfähig und leistungsstark sein, z.B. gesunde Kühe mit eiweißreicher Milch, pilzresistente und ertragreiche Getreidesorten, Kartoffeln mit hohem Stärkeanteil, Schweine mit geringem Fettanteil, Kohlsorten mit mildem Geschmack und Rapsorten mit gesunden Wurzeln und hohem Ölertag. Bei allen Züchtungen ist die Kunst, dass jene guten Merkmale, die die Sorte bzw. Rasse schon besitzt, nicht verloren gehen.

### METHODISCH-DIDAKTISCHE ANREGUNGEN

Geht es im Alltag um Vererbung, kommen oft äußere Ähnlichkeiten von Familienmitgliedern zur Sprache. Jedes Mädchen und jeder Junge in der Klasse soll sich eine Sache überlegen/aussuchen und aufschreiben, die er/sie bei sich und einem Familienmitglied wiedererkennt, z.B. die Locken vom Opa oder die Augen wie jene der Tante. Die Überlegungen sollen zur nächsten Frage führen: Was vererben Menschen, Pflanzen und Tiere alles? Erstellen Sie eine lange Liste mit diversen Beispielen aus vielen Bereichen von Blütenfarben und Felllänge über Erbkrankheiten und Körpergröße bis zu Milchleistung von Kühen und Geschmack von Möhren.

Die Klasse arbeitet für den Baustein mit den eigenen Biologiebüchern und

den hier gelieferten Arbeitsblättern. Klassischerweise bekommen die SchülerInnen Tabellen, in denen sie zwei Merkmale mit je zwei Ausprägungen in allen Varianten kombinieren. In diesem Fall kreuzen sie aber nicht die altbekannten Erbsen, sondern leckere Schaumzucker-Mäuse. **Arbeitsblatt 1** leitet das Basteln des etwas anderen Kreuzungsschemas der Genotypen genau an. Damit kann die Klasse die Regeln der Vererbung praktisch und einprägsam durchspielen. Das Kreuzungsschema gibt es auch als **interaktives Arbeitsblatt** (s. Linktipps)!



Schnell wird klar, welche große Vielfalt an Kombinationen durch Kreuzungen entsteht. Mit **Arbeitsblatt 2** (bitte farbig kopieren!) können die SchülerInnen den großen Aufwand der ZüchterInnen auf der Suche nach einer Pflanze – in dem Fall eine Erdbeere – mit bestimmten Eigenschaften innerhalb einer Tochtergeneration nachempfinden.

Anbauversuche mit Pflanzen wären toll, sind aber zu langwierig. Die SchülerInnen können natürlich dennoch Erbsen anpflanzen, um ein Gefühl zu bekommen, wie lange allein eine Generation im Zuchtgarten dauert.

Die Biografie von Mendel ist ein gutes Beispiel, wie man mit einfachen Mitteln, viel Geduld und Beobachtung bedeutende Forschungserfolge erzielen kann. Was können die Jugendlichen also vom Mensch Mendel lernen? Ein Teil der SchülerInnen könnte sich mit seiner Biografie beschäftigen und dazu einen Vortrag vorbereiten.

Die Vererbungsregeln stehen in enger Verbindung zu Mathematik und statistischen Methoden bzw. Stochastik. Die **Sammelkarte** (s. S. 15/16) liefert daher passende Rechenaufgaben.

### LINK- UND MATERIALTIPPS

- » Anknüpfende Unterrichtsmaterialien finden Sie in Heft 8 (Bedeutung der Pflanzenzüchtung) und 16 (Züchtung von Kartoffelsorten, Beruf Pflanzentechnologe/in) unter [www.ima-lehrermagazin.de](http://www.ima-lehrermagazin.de)
- » Interaktive Version von Arbeitsblatt 1 unter [www.interaktiv.ima-lehrermagazin.de](http://www.interaktiv.ima-lehrermagazin.de)
- » Videos und Bildergalerie unter [www.150-jahre-mendel.de](http://www.150-jahre-mendel.de)
- » Biografie Mendels und Glossar unter [www.biologie-schule.de/mendelsche-regeln.php](http://www.biologie-schule.de/mendelsche-regeln.php)
- » Saatgutpaket inkl. Anleitungen unter [www.ima-shop.de](http://www.ima-shop.de)



## Süßer Erbgang

Diese Mäuse unterscheiden sich in 2 Merkmalen, beide mit 2 Ausprägungen: Farbe (weiß oder rosa) und Schwanz (mit oder ohne). Beide Mäuse sind reinerbig, d. h. sie besitzen je 2 gleiche Allele pro Gen (Farbe, Schwanz) in ihrem Genom. Kreuze die beiden Mäuse miteinander und erfahre mit dem Kreuzungsschema, welche Allelkombinationen bei den Kindern und Enkeln möglich sind.



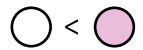
**Material:** je Kleingruppe ca. 1 Packung Schaumzuckermäuse (weiß und rosa), je 30 weiß und 30 rosa glasierte Schokolinsen, mehrere Lakritz-schnüre (zerschnitten in 30 Stücke à 2 cm und 30 Stücke à 0,5 cm), Schere, Buntstifte, vergrößerter Ausdruck des Kreuzungsschemas auf Extrablatt in DIN A2 (= 4 x A4)

**Legende:** Mäuse = Erscheinungsbild (Phänotypen)

**Schokolinsen** = Allele des Gens für das Merkmal Farbe

» weiße Linse = weißes Fell = rezessiv

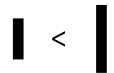
» rosa Linse = rosa Fell = dominant



**Schnüre** = Allele des Gens für das Merkmal Schwanz

» kurz = ohne Schwanz = rezessiv

» lang = mit Schwanz = dominant



- 1 Legt oben in das Kreuzungsschema als Eltern (P-Generation) die beiden reinerbigen Mäuse, wie sie auf dem Foto aussehen (Phänotyp). Schneidet dafür einer weißen Maus den Schwanz ab. Legt die richtigen Schnüre und Linsen dazu (Genotyp). Nehmt weitere Linsen und Schnüre und legt in die Kreise, welche Allele die Keimzellen der Eltern enthalten können.

**Zur Erinnerung:** Jede Maus besitzt 2 Allele pro Gen. In jeder ihrer Geschlechts-/Keimzellen geben sie nur 1 Allel für die Farbe und 1 Allel für den Schwanz weiter.

- 2 Kreuzt die beiden Mäuse, also nehmt weitere Linsen und Schnüre und legt die möglichen Genotypen der Kinder in die Reihe der F1-Generation. Wie sehen die Mäusekinder (Phänotypen) aus? Legt die Mäuse mit in die Zeile. Welche Regel von Mendel zeigt sich hier?
- 3 Nehmt weitere Linsen und Schnüre. Legt in die Kreise, welche Allele die Keimzellen der Kinder enthalten können. Beachtet dabei die 3. Regel von Mendel. Wie viele Varianten von Keimzellen entstehen?
- 4 Kreuzt die beiden Mäusekinder miteinander. Legt dazu erst jede mögliche Variante der Keimzellen 1 x in die oberste Zeile und 1 x in die linke Spalte des Kreuzungsschemas. Nehmt dann weitere Linsen und Schnüre und legt die möglichen Genotypen der Enkel (F2-Generation) in die 16 Felder der Tabelle.
- 5 Wie sehen die Mäusekinder (Phänotypen) aus? Wählt für jedes Feld der Tabelle eine Maus mit der richtigen Farbe aus und schneidet ihr – je nach Allelkombination – den Schwanz ab. Zählt, wie viele Varianten von Mäusen entstehen und welche Variante wie oft vorkommt.
- 6 Zeichnet nun – jeder für sich – das Ergebnis auf das eigene Arbeitsblatt. Nebenbei dürft ihr die Reste der Mäuse, Schnüre und Linsen naschen 😊!






## Wo ist die perfekte Erdbeere?

Die Zellen dieser Kulturerdbeeren enthalten 8 Chromosomensätze, also 8 Allele eines Gens. Wenn man die Erdbeeren kreuzt, ergeben sich also schon allein für 1 Merkmal bzw. Gen  $64 (= 8^2)$  mögliche Allelkombinationen. Bei 5 Merkmalen sind es schon fast 33.000  $(= 8^5)$  Varianten. Anhand dieser Zahlen kannst du dir leicht vorstellen, welche Arbeit in der Züchtung von Pflanzen liegt. Die Suche nach der perfekten Erdbeere gleicht der Suche nach der Nadel im Heuhaufen.

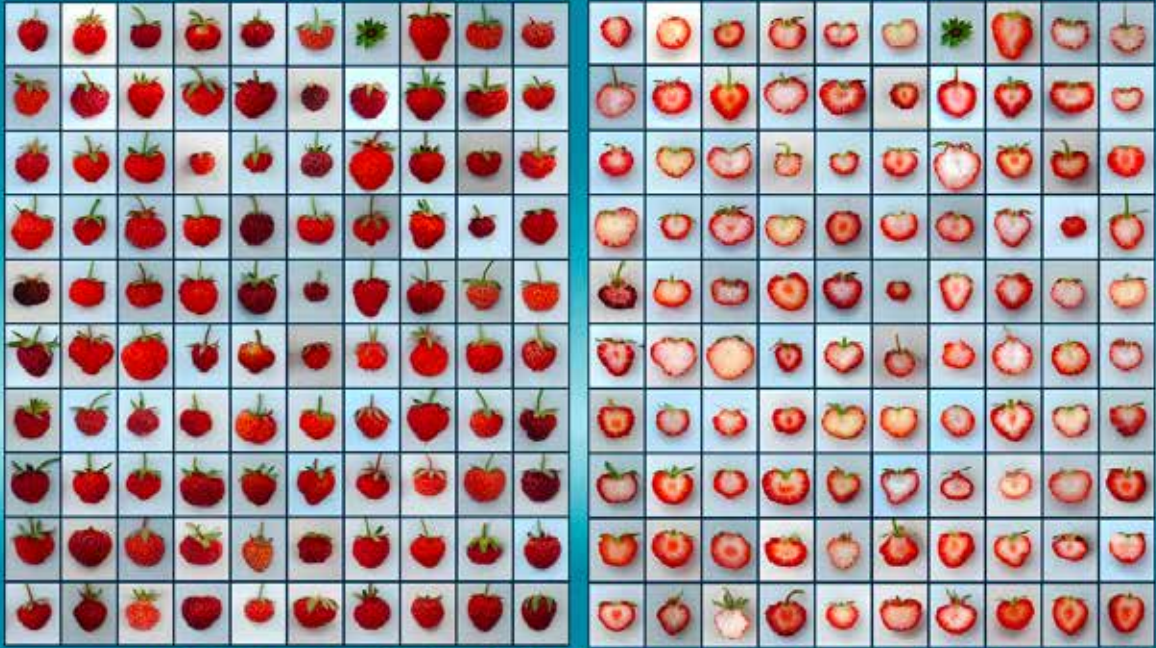
Züchterin Z hat die bei Gärtnern beliebte Erdbeersorte Senga Sengana mit einer nordamerikanischen Wilderdbeere gekreuzt. Die dabei entstandenen Früchte (= F1-Generation) hat sie nochmal gekreuzt.

- 1 Erkläre kurz, warum die Früchte der F2-Generation so unterschiedlich aussehen.
- 2 Mit den Früchten, die wie die F1-Früchte aussehen, möchte die Züchterin weiterarbeiten – wenn die Frucht auch schmeckt. Finde den Phänotyp in den Tafeln wieder! Markiere auch ähnliche Früchte.

P: *F. ×ananassa* 'Senga Sengana'  ×  *F. chiloensis ssp. lucida*

F1: 

F2: Selbstbestäubung der F1



...wenn J. G. Mendel mit oktaploiden Kulturerdbeeren gearbeitet hätte...

© Veronika Waurich (BDP Fotowettbewerb)

- 3 Nenne mindestens fünf Beispiele für wichtige Merkmale von Erdbeeren.  
Lösungsbeispiele: Größe, Farbe und Anteil des Fruchtfleisches, Reifezeitpunkt, Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten und Schädlinge, äußere Form, Geschmackskomponenten...