

## Gregor Mendel

### Leben und Werk

Gregor Johann Mendel wurde am 20. Juli 1822 in Heinzendorf in der Nähe der heute tschechischen Stadt Brünn geboren. Seine Eltern bewirtschafteten einen kleinen Bauernhof. Schon früh half Mendel dem Vater bei der Veredelung von Obstbäumen im elterlichen Garten. Nach dem Abitur studierte Mendel Philosophie. Dieses Studium versuchte er aus seinen Einkünften als Privatlehrer zu finanzieren, doch das reichte nicht aus. Bittere Armut führte dazu, dass er das Studium abbrechen musste und 1843 ins Kloster des Augustinerordens in Brünn eintrat. Dort wurde er später zum Priester geweiht. Im Kloster studierte Mendel Theologie und Landwirtschaft, scheiterte aber am Examen für das Lehramt an Gymnasien. Sein Abt erkannte jedoch seine naturwissenschaftliche Begabung und ermöglichte ihm das Studium der Naturgeschichte an der Universität Wien. Ein zweiter Versuch, das Examen erfolgreich zu meistern, scheiterte sowie später ein dritter. 1854 kehrte Mendel nach Brünn zurück und unterrichtete lange Zeit Naturlehre als Hilfslehrer ohne bestandene Prüfung an der klösterlichen Oberschule. 1856 begann Mendel im Klostergarten mit Kreuzungsversuchen an der Gartenerbse.

Innerhalb von sieben Jahren kultivierte Mendel etwa 28 000 Erbsenpflanzen und wertete seine Beobachtungen statistisch aus.



2 Das Kloster in Brünn



1 Gregor Mendel (1822–1884)

Aufgrund dieser Ergebnisse formulierte er die Regeln der Vererbung. Im Februar 1865 stellte Mendel dem von ihm mitbegründeten Naturforschenden Verein zu Brünn die Ergebnisse seiner Kreuzungsversuche mit Erbsen vor. Weder bei den Zuhörern noch bei den Naturforschern der damaligen Zeit fanden sie die entsprechende Anerkennung. Mendel starb 1884 in Brünn an einem Nierenleiden. Erst 16 Jahre nach seinem Tod wurde die Richtigkeit seiner Ergebnisse bestätigt. Ihm zu Ehren benannte man diese Gesetzmäßigkeiten im Nachhinein als »Mendelsche Regeln«.

### »Derusche über Pflanzengybriden« von Gregor Mendel

Die Auswahl der Pflanzengruppe, welche für Derusche dieser Art dienen soll, muss mit größtmöglicher Vorsicht geschehen, wenn man nicht im Vorhinein allen Erfolg in Frage stellen will. Die Deruschpflanz muss notwendig

1. Constant differierende Merkmale besitzen.
2. Die Hybriden\* derselben müssen während der Blüthezeit vor der Einwirkung jedes fremdartigen Pollens geschützt sein oder leicht geschützt werden können.

\* Nachkommen aus einer Kreuzung verschiedener Sorten; Mischling

Antrag aus Mendels Originaltext von 1865

## Mendels Kreuzungsversuche

Erbsen wurden bereits vor 10.000 Jahren neben Getreide als eine der ersten Ackerpflanzen von den Menschen genutzt. Auch heute spielen sie noch eine wichtige Rolle als Nutzpflanzen. Die Früchte der Erbsen wachsen in Schoten und können verschiedene Farben und Formen haben.

### Auswahl der passenden Pflanze

Mendel wählte für seine Kreuzungsversuche die Gartenerbse. Sie liefert viele Nachkommen und zeigt eindeutige Merkmalsausprägungen bei



Form und Farbe der Samen und Schoten oder bei der Farbe der Blüten. Bevor Mendel mit seinen Experimenten begann, baute er die Erbsen über viele Jahre an. Dabei stellte er fest,



dass sich die Merkmale der einzelnen Erbsensorten nicht veränderten. Mendel erklärte diese Beobachtung damit, dass Erbsen sich selbst bestäuben. Solche Sorten, die sich über Generationen nicht verändern, bezeichnete er als reinrassig.

### Gezielte Bestäubung

Um eine Selbstbestäubung zu verhindern, übernahm Mendel die Bestäubung selbst. Er öffnete vorsichtig die Blüten einer Erbsensorte und entfernte die Staubblätter. Dann bestäubte er die Narbe dieser Blüten mit den Pollen einer anderen Sorte. An-



1 Erbsen in aufbrechender Schote

schließend schützte er die Blüten mit einer Hülle vor Fremdbestäubung.

### Auswertung der Beobachtungen

Bei seinen Kreuzungen untersuchte Mendel zunächst nur ein Merkmal, zum Beispiel die gelbe oder grüne Samenfarbe. Erst später experimentierte er mit Pflanzen, die sich in zwei Merkmalen eindeutig unterschieden. Durch seine gut geplanten Experimente und die große Anzahl von bis zu 350 Kreuzungen pro Merkmal erhielt er aussagekräftige Ergebnisse. Daraus konnte Mendel Gesetzmäßigkeiten erkennen und die Regeln der Vererbung formulieren.

### Im Kürze

Gregor Mendel formulierte nach einer Vielzahl von Kreuzungsexperimenten die ersten Vererbungsregeln. Bei seinen Beobachtungen beschränkte er sich auf wenige eindeutige Merkmale. Durch die statistische Auswertung der erhaltenen Zahlen gelangte er zu seinen Erkenntnissen.

### Aufgaben

1. Nenne Gründe, warum Mendel die Erbsen als Versuchspflanzen wählte.
2. Beschreibe Mendels Vorgehensweise bei der Bestäubung der Erbsen.
3. Stelle Vermutungen an, weshalb Mendels Forschungsarbeit für die damalige Zeit eine besondere Leistung war.

## 1. und 2. Mendelsche Regel

Zum 100. Todestag von Gregor Mendel im Jahr 1994 legte die Deutsche Bundespost eine Sonderbriefmarke auf. Sie erinnert daran, dass Mendels Vererbungsregeln auch heute noch aktuell und wichtig für uns sind.



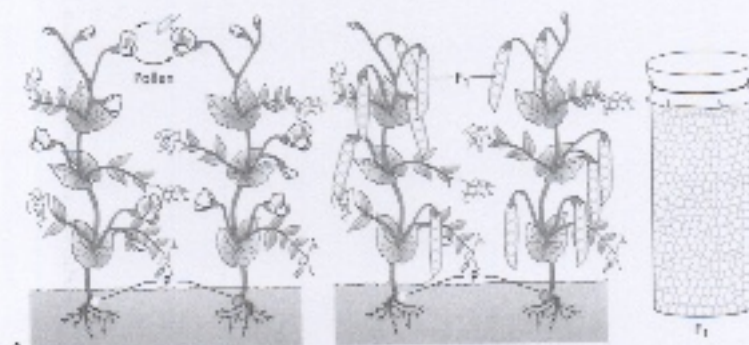
1 Briefmarke zum 100. Todestag von Mendel

### 1. Regel: Alle sind gleich

Mendel kreuzte reinerbige Erbsenpflanzen mit gelber Samenfarbe mit einer Sorte mit grüner Samenfarbe. Die Ausgangspflanzen bezeichnete er als P-Generation. Das P steht für das lateinische Wort parentes, das bedeutet Eltern. Die Nachkommen einer Kreuzung zweier Arten bezeichnete er als Hybride. Alle zusammen bilden die F<sub>1</sub>-Generation. Das F steht für das lateinische Wort filii, das bedeutet Töchter. Mendel stellte fest, dass in der F<sub>1</sub>-Generation nur gelbe Erbsen vorkamen. Vergleichbare Ergebnisse erhielt er auch bei Kreuzungen anderer reinerbiger Elternpflanzen, die sich in einem Merkmal unterschieden. Mendel formulierte daraufhin die Uniformitätsregel: Kreuzt man Individuen, die sich in einem Merkmal reinerbig unterscheiden, dann sind ihre Nachkommen in Bezug auf dieses Merkmal untereinander gleich oder uniform.

### 2. Regel: Ein festes Zahlenverhältnis

Mendel fragte sich, was mit der grünen Samenfarbe geschehen war, und experimentierte weiter. Er zog aus den Samen der F<sub>1</sub>-Generation neue Erbsenpflanzen und kreuzte diese anschließend untereinander. In der F<sub>2</sub>-Generation traten nun wieder beide Samenfarben auf. Es entstanden jedoch mehr gelbe als grüne Erbsen. Nach Mendels Aufzeichnungen waren es 6000 gelbe und 2000 grüne. Das entspricht einem Zahlenverhältnis von 3:1 zu 1. Dieses Zahlenverhältnis in der F<sub>2</sub>-Generation bestätigte sich auch bei der Betrachtung anderer Merkmale und anderer Erbsensorten. Mendel formulierte die Spaltungsregel: Kreuzt man Individuen der F<sub>1</sub>-Generation untereinander, dann spalten sich in der F<sub>2</sub>-Generation die Merkmale in einem festen Zahlenverhältnis auf.



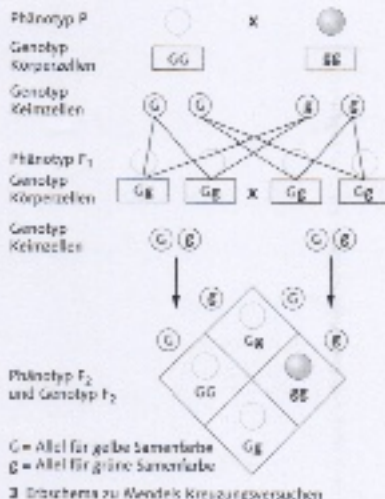
2 Erbe (A) und zweite (B) Mendelsche Regel

### Chromosomentheorie der Vererbung

Erst nach Mendels Tod wurden die Chromosomen als Träger der Erbinformationen entdeckt. Diploide Körperzellen besitzen einen doppelten Chromosomensatz und daher für jedes Merkmal zwei Erbanlagen. Haploide Keimzellen besitzen dagegen nur eine Erbanlage für jedes Merkmal. Diese genetische Ausstattung bezeichnet man als Genotyp. Davon wird das äußere Erscheinungsbild abgegrenzt und Phänotyp genannt.

### Heutige Erklärung der Ergebnisse

Im diploiden Chromosomensatz der Erbsen sind für jedes Merkmal zwei Erbanlagen vorhanden. Eine stammt vom Vater, die andere von der Mutter. Unterschiedliche Varianten einer Erbanlage heißen Allele. Sind die beiden Allele in den Körperzellen gleich, ist das Lebewesen reinerbig; bei verschiedenen Allelen ist es mischerbig. In Mendels Kreuzungsversuchen prägte sich in der  $F_1$ -Generation nur ein Merkmal im Phänotyp aus. Dieses Merkmal, das auf ein Allel zurückzuführen ist, wird als dominant bezeichnet und mit einem Großbuchstaben gekennzeichnet. Das Merkmal, das sich in der  $F_1$ -Generation nicht ausprägt, wird rezessiv genannt und mit einem Kleinbuchstaben gekennzeichnet. Bei dieser Form der Vererbung handelt es sich um einen dominant-rezessiven Erbgang.



### In Kürze

Mendel formulierte aufgrund von zahlreichen Kreuzungsversuchen die Uniformitäts- und die Spaltungsregel.

### Aufgaben

1. Beschreibe den Unterschied zwischen diploiden und haploiden Zellen.
2. Erläutere die ersten beiden Vererbungsregeln von Mendel.



### 3. Mendelsche Regel

Mendel legte mit seinen Vererbungsregeln den Grundstock für gezielte Züchtungen. 1973 entstand in Australien durch Kreuzung der Apfelsorten Golden Delicious und Lady Williams die neue Pink Lady. Ziel der Züchter war es, einen schmackhaften, haltbaren und optisch ansprechenden Apfel zu erhalten.

#### Neue Kombinationen entstehen

Mendel kreuzte auch reinerbige Erbsenpflanzen, die sich in zwei Merkmalen unterschieden, zum Beispiel gelbe, runde Erbsen mit grünen, kantigen. In der  $F_1$ -Generation kamen nur gelbe, runde Samen in den Schoten vor. Mendel kreuzte nun diese Geschwisterpflanzen untereinander. In der  $F_2$ -Generation entstanden jetzt auch Erbsen mit neuen Merkmalskombinationen, die weder in der  $P$ - noch in der  $F_1$ -Generation vorhanden waren. Durch weitere Versuche stellte Mendel ein sich wiederholendes Zahlenverhältnis von etwa 9:3:3:1 fest. Daraus leitete er die Unabhängigkeitsregel ab: Kreuzt man Individuen, die sich in mehreren Merkmalen reinerbig unterscheiden, dann treten in der  $F_2$ -Generation sämtliche Kombinationen von Merkmalen der Elterngeneration auf. Das bedeutet, die Merkmale werden unabhängig voneinander vererbt.



1 Durch Kreuzung entstehen neue Apfelsorten.

#### Heutige Erklärung der Ergebnisse

Während der Meiose werden die Chromosomen zufällig in die neu entstehenden Keimzellen verteilt. Erbinformationen, die auf verschiedenen Chromosomen lokalisiert sind, können somit unabhängig voneinander vererbt werden. Mendel hatte bei der Wahl der betrachteten Merkmale Glück. Die Gene zu den sieben von ihm untersuchten Merkmalen lagen auf vier von sieben Chromosomen. Die Unabhängigkeitsregel gilt nur, wenn die Erbinformationen für die verschiedenen Merkmale auf unterschiedlichen Chromosomen liegen.



2 Dritte Mendelsche Regel

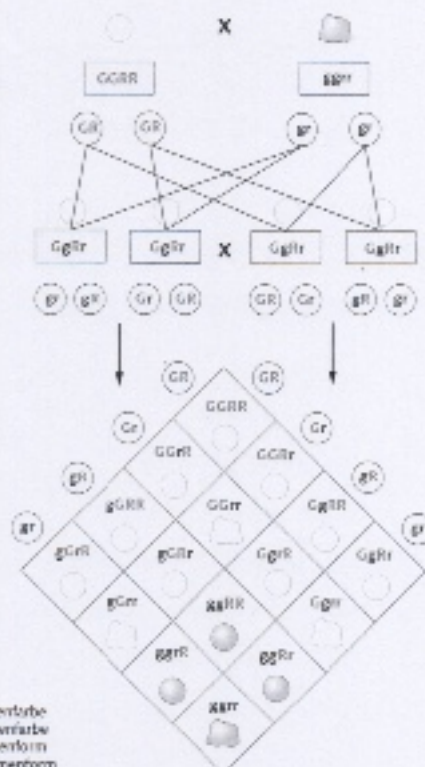
Phänotyp P  
Genotyp  
Körperlänge (diploid)

Genotyp  
Keimzellen (haploid)

Phänotyp F<sub>1</sub>

Genotyp  
Körperlänge

Genotyp  
Keimzellen



G = Allel für gelbe Samenfarbe  
g = Allel für grüne Samenfarbe  
R = Allel für runde Samenform  
r = Allel für kantige Samenform

R Dominant rezessives Erbschema nach der 3. Mendelschen Regel

#### Bedeutung für die Züchtung

Heute versucht man gezielt, bestimmte Eigenschaften von Tieren oder Pflanzen neu zu kombinieren, um die Qualität zu steigern und die Produktionskosten zu senken. Ein Beispiel ist die Kreuzung von Winterweizen mit Sommerweizen. Die vorteilhaften Eigenschaften von Winterweizen, bessere Frostverträglichkeit und höher Ertrag, werden mit der hohen Kornqualität und Wachsfreudigkeit des Sommerweizens in einer neuen Sorte vereint. Damit sind die Landwirte flexibler bezüglich des Zeitpunkts der Aussaat und gewinnen einen qualitativ höherwertigen Weizen.

#### In Kürze

Bei der Kreuzung zweier Individuen, die sich in mehreren Merkmalen voneinander unterscheiden, treten in der F<sub>1</sub>-Generation neue Merkmalskombinationen auf. Das gilt aber nur, wenn die Merkmale auf unterschiedlichen Chromosomen lokalisiert sind.

#### Aufgaben

1. Nenne die dritte Vererbungsregel von Mendel.
2. Reinerbige Erbsen mit roten Blüten (R) und kurzem Stängel (k) werden mit Erbsen mit weißen Blüten (w) und langem Stängel (L) gekreuzt. Erstelle dazu ein Kreuzungsschema.

## Besondere Erbgänge

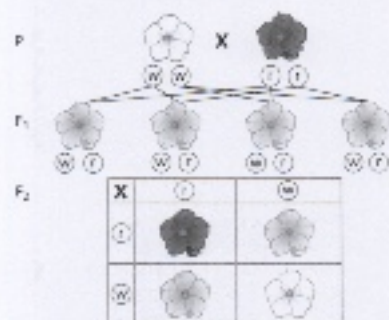
Der Leopardgecko stammt ursprünglich aus Asien. Er ist das häufigste in Terrarien gehaltene und gezüchtete Reptil. Bei der Variante »White & Yellow« bilden sich zwei Merkmale gleichzeitig aus: der gelbbraun gepunktete Rumpf der Wildform und der weißgrau gebänderte Schwanz einer Zuchtform. Offensichtlich gelten hier die Mendelschen Regeln nicht.

### Beide Merkmale setzen sich durch

Beim Leopardgecko »White & Yellow« kann keines der beiden Hautfarbenmerkmale das andere vollständig unterdrücken, beide Merkmale werden nebeneinander ausgebildet. Ein solcher Erbgang wird *kodominant* genannt.

### Kein Merkmal setzt sich durch

Carl Correns, ein Botaniker und Wiederentdecker der Mendelschen Regeln, führte um 1900 Kreuzungsversuche mit der Wunderblume durch. Dabei stieß er auf einen vermeintlichen Widerspruch: Kreuzte er reinerbige weiß und dunkelrosa blühende Pflanzen miteinander, besaßen alle Pflanzen in der  $F_1$ -Generation hellrosafarbene Blüten. Kein Merkmal der Eltern konnte sich vollständig durchsetzen, es entstand eine Zwischenform mit einer gemischten Merkmalsausprägung. Correns bezeichnete diesen Erbgang als *intermediär*.



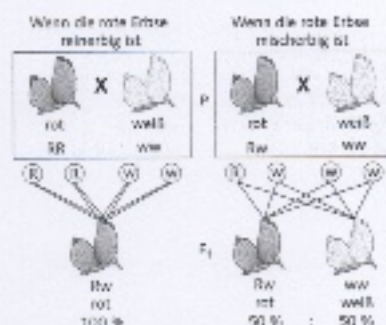
2 Erbschnecke bei der Wunderblume



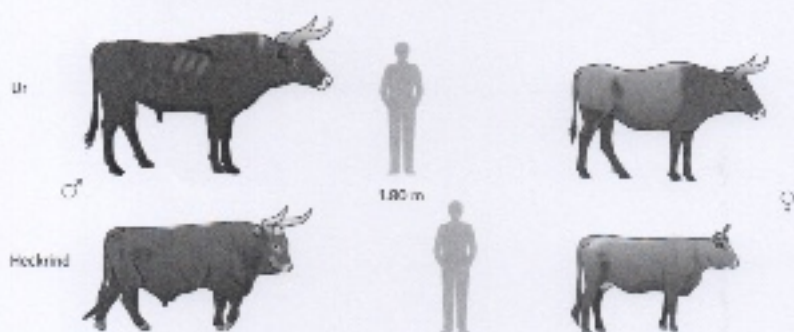
1 Leopardgecko »White & Yellow«

### Diese Kreuzung bringt Gewissheit

Mendel benötigte für seine Versuche reinerbige Pflanzen. Um diese zu bekommen, stellte er folgende Überlegungen an: Kreuzt man eine reinerbige Erbsenpflanze mit dem rezessiven Merkmal weiße Blütenfarbe mit einer Pflanze, die reinerbig das dominante Merkmal rote Blütenfarbe trägt, sind in der  $F_1$ -Generation alle Pflanzen bezüglich dieses Merkmals gleich, ist die Erbsenpflanze, die das dominante Merkmal trägt, mischerbig, spalten sich die Merkmale in der  $F_2$ -Generation im Verhältnis 1:1 auf. Mendel konnte seine vorhergesagten Zahlenverhältnisse in zahlreichen Kreuzungsexperimenten bestätigen und damit zweifelsfrei feststellen, dass seine Versuchspflanze reinerbig ist. Dieses Verfahren wird *Rück- oder Testkreuzung* genannt.



3 Erbschnecke einer Testkreuzung



4 Größenvergleich Ur und Heckrind

#### Zurück zur Urform

Viele Tier- und Pflanzenarten sind im Verlauf der letzten Jahrhunderte durch Eingriffe des Menschen in ihre Lebensräume ausgestorben. Mit Hilfe der *Abbildzüchtung* versucht man, diese ausgestorbenen Wildformen wieder entstehen zu lassen.

Ein Beispiel dafür ist der Ur. Die ursprüngliche Wildform unseres Hausrindes mit einer Risthöhe bis zu zwei Metern ist im 17. Jahrhundert ausgestorben. Die Brüder und Zoodirektoren Heine und Lutz Heck versuchten 1930 als Erste, den ausgestorbenen Ur für ihre Zoos nachzuzüchten. Dazu kreuzten sie die unterschiedlichsten Rinderrassen miteinander und verglichen sie mit den Abbildungen des Urs. Die Nachkommen, die ihnen passend erschienen, wurden dann mit anderen Rassen gekreuzt, um weitere gewünschte Merkmalsausprägungen zu erhalten. Den Brüdern kam es dabei hauptsächlich auf die Fellfarbe sowie die Form und Größe der Hörner an. Den Körperbau und den deutlichen Größenunterschied zwischen männlichem und weiblichem Ur ließen sie weitgehend außer Acht. Aus diesen Kreuzungen ist das heutige Heckrind hervorgegangen.

#### Ökologische Bedeutung

Heute versuchen Züchter und Wissenschaftler mit *Abbildzüchtungen* weniger das Aussehen zurückzuzüchten. Stattdessen stehen Eigen-

schaften wie Futterauswahl, Robustheit und Verhalten der Wildform im Mittelpunkt. Nach erfolgreicher Zucht werden die Tiere ausgewählt. Sie sollen den Platz der ausgestorbenen Wildform übernehmen. Damit gewinnen *Abbildzüchtungen* große Bedeutung für den Naturschutz und für Renaturierungsmaßnahmen. *Abbildzüchtungen* können jedoch ausgestorbene Tierarten nicht ersetzen oder wiederherstellen, sondern nur imitieren.

#### In Kürze

Bei kodominanten Erbgängen werden beide elterlichen Merkmale im Phänotyp nebeneinander ausgeprägt. Bei intermediären Erbgängen entsteht eine Zwischenform mit einer gemischten Merkmalsausprägung. Mit Hilfe der Rückkreuzung lässt sich ermitteln, ob eine Pflanze für ein bestimmtes Merkmal reinerbig ist. Durch die *Abbildzüchtung* versucht man Aussehen oder Eigenschaften ausgestorbener Wildformen zurückzuzüchten.

#### Aufgaben

1. Stelle die früheren und heutigen Ziele der *Abbildzüchtung* in einer Tabelle einander gegenüber.
2. Erläutere die Unterschiede zwischen einem intermediären, einem dominant-rezessiven und einem kodominanten Erbgang.
3. Erläutere den Vorgang und die Bedeutung der Rückkreuzung.

## Vererbung beim Menschen

Vom Vater hab ich die Statur,  
des Lebens erstes Führen,  
von Mütterchen die Frohnatur  
und Lust zu febeln.

Diese Zeilen aus einem Gedicht von Johann Wolfgang von Goethe drücken die Vorstellung aus, dass Merkmale unverändert von den Eltern auf die Kinder übertragen werden. Betrachtet man Familienmitglieder, kann man aber allenfalls Ähnlichkeiten feststellen.

### Forschungsobjekt Mensch

Ob die Mendelschen Regeln auch für den Menschen gelten, ist vor allem für die Erforschung von vererbten Krankheiten von großer Bedeutung. Eine Schwierigkeit des Forschungsobjekts Mensch ist, dass oft keine eindeutigen Merkmale, sondern fließende Übergänge und Ähnlichkeiten zwischen den Mitgliedern von Familien beobachtet sind, da die Ausprägung bestimmter Merkmale oft von mehreren Genen beeinflusst wird.

### Merkmale, die «mischen»

Die Gültigkeit der Mendelschen Regeln ist auch für den Menschen erwiesen. Während intermediäre Erbgänge sehr selten sind, werden Merkmale häufig dominant oder rezessiv vererbt. Die Sichelzellenanämie ist beispielsweise eine Krankheit, die rezessiv vererbt



1 Familienmitglieder: oft ähnlich, selten gleich

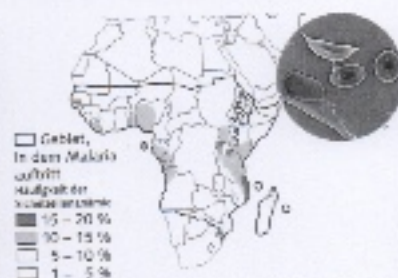
wird. Durch die veränderte Form der roten Blutkörperchen ist einerseits die Leistungsfähigkeit der Erkrankten vermindert, andererseits sind sie vor der Infektion mit dem Malariaerreger geschützt. Sichelzellenanämie stellt in bestimmten Regionen einen Überlebensvorteil dar und ist daher in Malaria-gebieten relativ häufig.

### Vererbung der Blutgruppen

Schon in früheren Zeiten wurden Kranke mit Blut behandelt. Bei diesen Bluttransfusionen kam es immer wieder zu Unverträglichkeiten, in deren Folge Patienten sogar starben. Die Ursache entdeckte der österreichische Arzt Karl Landsteiner um 1900. Er identifizierte vier Blutgruppen: A, B, AB und 0. Sie unterscheiden sich durch zwei unterschiedliche Antigene auf den roten Blutkörperchen. Die Blutgruppe AB besitzt beide Antigene, die Blutgruppe 0 keine. Stimmen bei der Blut-



2 Die Haarfarbe wird von mehreren Genen bestimmt.



3 Die Sichelzellenanämie ist in Malaria-gebieten häufig.

| Phänotypen          |  |  |  |  |  |  | (A) | (B) | (0) |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| mögliche Genotypen  | AA AO                                                                             | BB BO                                                                             | AB                                                                                | OO                                                                                | (A)                                                                               | (B)                                                                                 | AA  | AB  | AO  |
| mögliche Keimzellen | (A) (A)<br>(A) (O)                                                                | (B) (B)<br>(B) (O)                                                                | (A) (B)                                                                           | (O) (O)                                                                           | (A)                                                                               | (B)                                                                                 | AO  | BO  | OO  |

4 ABO-Blutgruppensystem: Phänotypen, Genotypen und mögliche Kombinationen

übertragung die Blutgruppen von Spender und Empfänger nicht überein, kann es zu Verklumpungen des Blutes kommen.

Allel A und Allel B sind gegenüber dem rezessiven Allel O dominant. Besitzt eine Person phänotypisch die Blutgruppe A, kann der Genotyp entweder AA oder AO sein. Entsprechendes gilt für Träger der Blutgruppe B, die reinzig BB oder mischerbig BO sein können. Verschmelzen Keimzellen miteinander, die Urbinformationen von A und B besitzen, werden beide Merkmale ausgeprägt. Das entspricht der Blutgruppe AB. Da beide Allele gleichwertig bei der Ausprägung des Phänotyps wirken, spricht man von einem kodominant vererbten Merkmal.

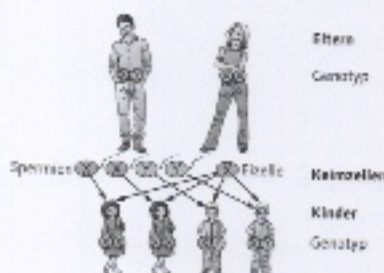
#### Vererbung des Geschlechts

Früher nahm man an, dass die Frau für das Geschlecht des Kindes verantwortlich ist. Tatsächlich wird es aber von den Spermien

des Mannes bestimmt. Durch die Meiose entstehen in den Eierstöcken ausschließlich Eizellen mit einem X-Chromosom. In den Hoden werden aus einer diploiden Urspermienzelle zwei Spermien mit X-Chromosomen und zwei mit Y-Chromosomen gebildet. Die theoretische Geschlechterverteilung ist daher 1:1. Das tatsächliche Geschlechterverhältnis liegt bei der Befruchtung aber bei etwa 1,3 männlich zu 1,0 weiblich. Der Überschuss erklärt sich aus der höheren Geschwindigkeit der leichteren Y-Spermien. Sie legen den Weg zur Eizelle schneller zurück und können sie befruchten. Aufgrund der höheren vorgeburtlichen Sterblichkeit von männlichen Embryonen und Feten verschiebt sich das tatsächliche Geschlechterverhältnis auf 1,05 männlich zu 1,0 weiblich.

#### Im Kürze

Die Mendelschen Regeln gehen auch für den Menschen. Viele Erbgänge sind dominant rezessiv. Die Blutgruppen A und B werden kodominant vererbt. Das theoretische Geschlechterverhältnis ist 1:1.



5 Das theoretische Geschlechterverhältnis ist 1:1

#### Aufgaben

1. Genetische Forschungen mit dem Menschen sind problematisch. Nenne einen Grund hierfür.
2. Ein Kind besitzt die Blutgruppe AB. Der Vater hat die Blutgruppe A. Nenne die Phänotypen und die möglichen Genotypen der Mutter.
3. Erläutere, warum ein theoretisches Geschlechterverhältnis von 1:1 entsteht.

## Erstellen und Interpretieren eines Stammbaums

Bei Pflanzen und Tieren führt man gezielte Kreuzungsversuche durch, um herauszufinden, nach welchem Erbgang ein Merkmal vererbt wird. Dies ist bei Menschen nicht möglich, daher benötigt man andere Methoden. Ein seit Langem angewandtes, einfaches Verfahren ist das Erstellen und Interpretieren von Stammbäumen.

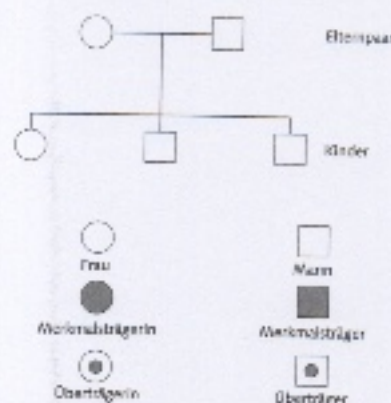


1 Gezielte Kreuzungsversuche nicht bei Menschen!

**1 Informationen sammeln** Sind in einer Familie genetisch verursachte Krankheiten aufgetreten, können sich Paare mit Kinderwunsch an die genetische Familienberatung wenden. Hier wird eine umfangreiche Stammbaumanalyse durchgeführt. Ziel ist es, anhand von phänotypischen Merkmalen auf den Genotyp und die Art der Vererbung zu schließen.

Dabei stehen folgende Fragen im Mittelpunkt: Wird das betrachtete Merkmal dominant oder rezessiv vererbt? Wird das betrachtete Merkmal über die Autosomen oder die Geschlechtschromosomen, also gonosomal vererbt? Kann man auf den Genotyp einer Person schließen?

Zunächst sammelt du möglichst viele genaue Informationen aus den Familien. Auf dieser Grundlage wird ein Kreuzungsschema erstellt.



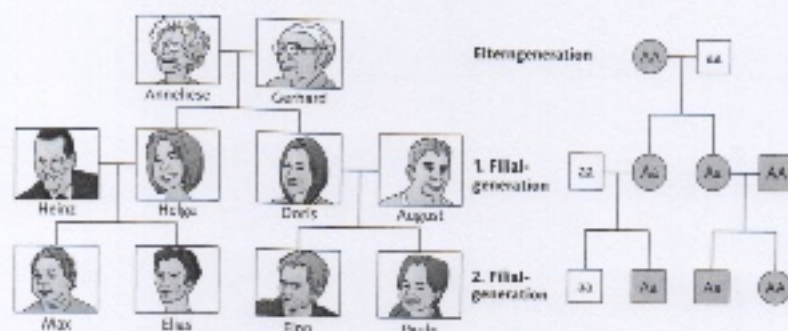
2 Die wichtigsten Symbole

**2 Symbole zuordnen** Für das Kreuzungsschema erhalten Männer und Frauen unterschiedliche Symbole. Frauen werden mit Kreisen, Männer mit Quadraten dargestellt. Alle Merkmalsträger kennzeichnet du farbig, beispielsweise durch Ausmalen der Symbole. Eine Besonderheit stellen die Überträger oder Konduktoren dar. Das sind Personen, die zwar das betreffende Gen in sich tragen, bei denen aber das Merkmal nicht zur Ausprägung kommt. Die Symbole für diese Überträger kennst du schraffieren oder durch einen Punkt markieren.

**3 Verwandtschaftsverhältnisse darstellen**

Um einen Stammbaum zu erstellen, ordnest du alle Familienmitglieder nach Generationen. Das sind alle Personen, die in einem bestimmten Zeitraum geboren sind. Zu den anderen Generationen besteht ein bestimmter Abstand. Es sind entweder Eltern oder Kinder. Der Beginn einer Abstammungslinie wird als Eltern- oder Parentalgeneration bezeichnet. Die erste Folgegeneration heißt Filial- oder Tochtergeneration, die nächste zweite Filial- oder Enkelgeneration.

Du beginnst ganz oben mit der ältesten Generation, unten steht somit die jüngste. Die Mitglieder einer Generation werden nebeneinander auf einer Ebene aufgeführt. Verbinde Paare durch eine waagrechte Linie. Die Folgegeneration wird durch kurze senkrechte Striche mit den Eltern und durch waagrechte mit ihren Geschwistern verbunden.



2 Stammbaum der Familie Schröder mit der Verteilung der Merkmale spitze und glatte Haaransätze

**4 Den Genotyp analysieren** Hat die Person, deren Genotyp du untersuchen möchtest, zumindest einen betroffenen Elternteil, wird das betrachtete Merkmal vermutlich dominant vererbt. Trifft dies nicht zu, ist es rezessiv. Auf gonosomale oder autosomale Vererbung untersuchst du durch einen Vergleich der Verteilung des Merkmals auf die Geschlechter. Wenn das betrachtete Merkmal von jedem Elternteil auf Söhne und Töchter übertragen werden kann, ist dies ein Hinweis auf autosomale Vererbung.

**5 Den Erbgang bestimmen** Nach der Analyse des Stammbaums bestimmst du den Erbgang des Merkmals. Es gibt folgende Möglichkeiten:

- autosomal-dominant
- autosomal-rezessiv
- X-chromosomal-dominant (gonosomal)
- X-chromosomal-rezessiv (gonosomal)
- Y-chromosomal (gonosomal)

**6 Grenzen von Stammbaumanalysen** Oft kann der Erbgang nicht eindeutig bestimmt werden. Dies liegt daran, dass Menschen nur wenige Nachkommen haben und Merkmale meist nicht reinerbend sind. Außerdem gibt es nur sehr selten Aufzeichnungen über bestimmte Merkmale. Dies sind dann vorwiegend auffällige Krankheiten. Aussagekräftige Stammbäume existieren fast nur von Adelfamilien, die über ihre Abstammung stichförmig führten.

«Es ist ein altes Familienkloster. Mein Vater hat genau dieselbe Anorexia. Meine Mutter und eine meiner Schwestern konnten alle Farben fehlerfrei sehen, meine andere Schwester und ich in der gleichen Weise unvollkommen. Diese letzte Schwester hat zwei Söhne, beide betroffen, aber sie hat eine Tochter, die ganz normal ist. Ich habe einen Sohn und eine Tochter und beide sehen die Farbe ohne Ausnahme, so ging es auch ihrer Mutter. Meiner Mutter Bruder hatte denselben Fehler wie ich, obwohl meine Mutter, wie schon erwähnt, alle Farben gut kannte.

Ich konnte kein Grün in der Welt. Eine rote Farbe und ein dieses Blau sahen gleich aus, ich konnte sie nicht unterscheiden. Ein kräftiges Rot und ein kräftiger Grün ebenfalls nicht, ich habe sie oft verwechselt. Aber Gelb und alle seine Abtönungen von Blau konnte ich absolut richtig und kann Unterschiede zu einem erheblichen Grad von Dunkelheit erkennen, ein kräftiger Purpur und ein tiefes Blau verwechseln mich.

Ich habe meine Tochter vor einigen Jahren einem verheirateten und unglücklichen Mann verlobt. Am Tage vor der Hochzeit kam er in einem weissen Mantel aus bestem Stoff in mein Haus. Ich war sehr getrunken, dass er (wie ich glaubte) in Schwarz kam. Aber meine Tochter sagte, die Farbe sei weissen, es seien seine Augen, die mich täuschten.»

Brief von Mr. J. Scott aus dem Jahre 1777  
Quelle: Zentralschweizer Blutsugener

#### Aufgaben

1. Erstelle einen Stammbaum der Familie Scott.
2. Bestimme den Erbgang der Krankheit.

## Mendeln in der Praxis

## 1 Kreuzungen von Kaninchen

Das Züchten von Kaninchen ist in Deutschland weit verbreitet. Es gibt über 15000 Züchter, die in Vereinen organisiert sind. Jedes Jahr werden etwa 1 Million Kaninchen auf Schauen ausgestellt und von Preisrichtern bewertet.

Neben der natürlichen braunen sind bei Züchtern auch andere Fellfarben beliebt. Die Fellform kann ebenfalls stark variieren. Insgesamt werden etwa 88 Kaninchenrassen unterschieden. Für eine Kreuzung stehen folgende Informationen zur Verfügung:

| Fellfarbe                     | Fellform                       |
|-------------------------------|--------------------------------|
| braun, weiß                   | glatt, knaus                   |
| braun dominant gegenüber weiß | glatt dominant gegenüber knaus |
| Symbole: BB, bb               | Symbole: GG, gg                |

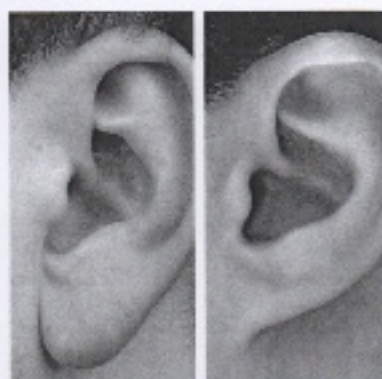
- Die beiden Tiere in Bild 1 sind reinerbig. Erstelle ein Kreuzungsschema der P-, F<sub>1</sub>- und F<sub>2</sub>-Generation für diese beiden Phänotypen.
- Bestimme für die reinerbigen Tiere der P-Generation die Genotypen der Körperzellen und der Keimzellen.
- Beschreibe das Aussehen der Nachkommen, wenn der braune Elternteil mischerbig wäre.
- Beschreibe das Aussehen der Nachkommen der F<sub>1</sub>-Generation, wenn beide Elterngänge intermediär wären.



1 Diese Phänotypen stehen zur Verfügung.

## 2 Mendeln beim Menschen

Ein einfach zu bestimmendes Merkmal beim Menschen sind freie oder angewachsene Ohrknorpel.



2 Freie und angewachsene Ohrknorpel

Bei einer Familie ist das Merkmal angewachsene Ohrknorpel folgendermaßen verteilt:



- Bestimme, um welchen Erbgang es sich hierbei handelt.
- Begründe deine Entscheidung.

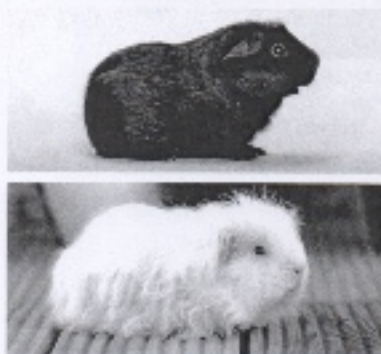
Bei einer anderen Familie gibt es folgende Phänotypen für ein anderes Merkmal:



- Erstelle einen Stammbaum mit den Genotypen, der die Verteilung begründet.

### 3 Ein besonderes Meerschweinchen

Kemal züchtet Meerschweinchen. Auf einem Züchtertreffen gewinnt ein graues, krausfelliges Tier einen Preis. Kemal selbst hat nur schwarze glattfellige und weiße, krausfellige Tiere. Aus seinen bisherigen Züchtungserfahrungen weiß er, dass die Fellfarbe intermediär, die Fellform aber dominant-rezessiv vererbt wird, wobei glattfellig gegenüber krausfellig dominant ist.



3 Kemal Meerschweinchen

- Kann es Kemal gelingen, ein graues, krausfelliges Meerschweinchen zu züchten? Gehe von der Annahme aus, dass das schwarze Meerschweinchen reinerbig ist. Begründe deine Antwort mit Hilfe eines Kreuzungsschemas.

- Gib sowohl für die P-Generation als auch für die F<sub>1</sub>- und F<sub>2</sub>-Generation die Genotypen an.

Im Internet wird ein graues Meerschweinchen mit glattem Fell angeboten. Kemal überlegt, ob er es kaufen soll. Wenn er dieses Tier mit seinem weißen Meerschweinchen kreuzt, könnte er schneller an sein Ziel kommen.



- Erstelle auch hierzu einen Stammbaum und berate Kemal bei seiner Kaufentscheidung.

### 4 Das Gericht hat entschieden

In den 1940er Jahren hatte der berühmte Schauspieler und Regisseur Charlie Chaplin eine Affäre mit der Schauspielerin Joan Barry. 1943 wurde sie Mutter einer Tochter und gab an, dass Chaplin der Vater sei, was er aber bestritt. In einer Gerichtsverhandlung wurden die Blutgruppen als Beweismittel verwendet. Chaplin hatte die Blutgruppe B, die Mutter A und das Kind B. Chaplin wurde zu Unterhaltszahlungen verurteilt.

- Nenne die möglichen Genotypen der Blutgruppen von Frau Barry, Herrn Chaplin und dem Kind.
- Begründe anhand eines Schemas, ob Herr Chaplin als Vater in Frage kommt.
- Kommentiere die Entscheidung des Gerichts.



### 5 Albinismus wird rezessiv vererbt

Beim Albinismus wird der Farbstoff Melanin nicht gebildet. Die Betroffenen haben helle Haut und Haare sowie rote Augen.

- Übertrage den Stammbaum von Bild 4 in dein Heft.
- Bestimme die möglichen Genotypen aller Familienmitglieder.
- Beschreibe die Besonderheit des Paares Nr. 4. Nenne mögliche Folgen.



- gesunde Frau
- gesunder Mann
- betroffene Frau
- betroffener Mann



4 Stammbaum einer Familie mit Albinismus