

Inhaltsverzeichnis:

1. Uebersicht	2
2. Vererbung	3
3. Vererbungslehre	4
4. Zelle, Zellteilung	5
5. Chromosomen	6
6. Gene	8
7. DNS	9
8. Mutationen	10
9. Geschichte der Genetik	11
Anhang 1: Vertiefungstexte	13
Mendels Erkenntnisse 1	14
Mendels Erkenntnisse 1 (Schema)	15
Mendels Erkenntnisse 2	17
Mendels Erkenntnisse 2 (Schema)	18
Die Zelle	20
Die Mitose	21
Die Meiose	22
Bau eines Chromosoms	23
Das Genom-Projekt	24
Die DNS und ihre Bestandteile	25
Erbkrankheiten	26
Anhang 2: Didaktische Hinweise	27
Aufgaben	29
Lösungen	35
Bildnachweis, Impressum	38

1. Übersicht

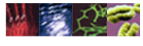
Über die Entstehung von Lebewesen und die Weitergabe von bestimmten Eigenschaften wird seit langem gerätselt. Wie kommt es, dass Kinder ihren Eltern gleichen? Und warum schlüpft aus einem Hühnerei ein Huhn und nicht ein Igel? Warum gibt es nicht nur reinrassige Hunde mit langem Stammbaum sondern auch "Strassenmischungen"? Mit diesen Fragen beschäftigt sich die Lehre von der Vererbung, die Genetik.

Bis vor knapp 150 Jahren gab es für diese Fragen nur sehr ungenaue Antworten. Mit den Forschungsergebnissen des Mönchs Gregor Mendel im Jahre 1865 aber beginnt die moderne Genetik. Nach langjährigen Versuchen an Erbsen konnte Mendel erste Regeln für die Vererbung von Eigenschaften formulieren. 1902 entdeckten zwei Wissenschaftler, dass die vererbten Eigenschaften auf Chromosomen angeordnet sind. 1944 bewies der Wissenschaftler Oswald Avery, dass die Erbsubstanz aus Desoxyribonucleinsäure - abgekürzt DNS - besteht. 1953 entdeckten James Watson und Francis Crick, wie diese DNS im Detail aussieht. Seither wissen wir, wie die Erbsubstanzen räumlich angeordnet sind und wie ihre Vermehrung funktioniert. Und seit 2003 ist das menschliche Erbgut praktisch vollständig entschlüsselt.

Die Forschung ist damit aber längst nicht abgeschlossen. Immer noch ist vieles unklar. Immer noch gibt es viele offene Fragen. Aber es gibt auch einige Antworten. Und es gibt sehr viele Hoffnungen, wie das Wissen in diesem Bereich genutzt werden kann.



Modell der DNS



2. Vererbung

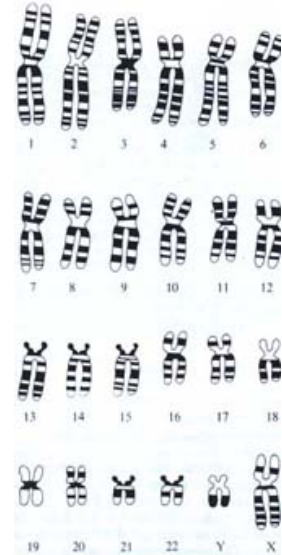
Wie entstehen Lebewesen? Und woher haben sie ihre Eigenschaften?

Das sind nicht nur die zentralen Fragen der Genetik, diese Fragen hast auch du dir bestimmt schon gestellt.

Alle Menschen haben einen Vater und eine Mutter. Das gilt auch für die meisten Tiere und Pflanzen. Neue Lebewesen entstehen aus der Vereinigung einer Ei-Zelle der Mutter und einer Sperma-Zelle des Vaters. In diesen beiden besonderen Zellen liegt das Geheimnis der Vermehrung. Sie enthalten das Erbgut, aus dem ein neues Lebewesen heranwachsen kann. Und dieses Erbgut prägt die Nachkommen. Es enthält einen Bauplan, der genau vorschreibt, wie sich das neue Lebewesen entwickelt. Das Erbgut enthält auch Informationen darüber, wie das Lebewesen aussieht.

Die eine Hälfte des Erbguts stammt vom Vater, die andere von der Mutter. Darum gleichen die Kinder ihren Eltern. Das Aussehen, das Verhalten oder auch die Gesundheit eines Menschen werden aber nicht alleine durch das Erbgut, sondern auch durch seine Umwelt geprägt. Ein Teil unserer Eigenschaften sind also ererbt, ein Teil ist erworben.

Wenige Eigenschaften sind durch ein einzelnes Gen bestimmt. Meist ist es das Zusammenspiel von mehreren Genen, das vererbte Eigenschaften prägt.



Das gesamte Erbgut eines Menschen ist in diesen Chromosomen enthalten.

3. Vererbungslehre

Seit Ewigkeiten ist bekannt: Nachkommen gleichen ihren Eltern. Warum das so ist, blieb aber lange ungeklärt. Bis weit ins 19. Jahrhundert hinein glaubten selbst Wissenschaftler, dass die Vererbung ein Verschmelzen der elterlichen Komponenten sei, vergleichbar mit der Mischung von Milch und Mehl beim Herstellen eines Kuchens.

Dass weibliche Eizelle und männliche Spermazelle zu gleichen Teilen an der Entstehung von neuem Leben beteiligt sind, war bis weit ins 19. Jahrhundert hinein umstritten. Immer mehr Beobachtungen aus der Pflanzen- und Tierwelt bestätigten aber diese Theorie. Und 1865 lieferten die Experimente des Mönchs Gregor Mendel den endgültigen Beweis. Mit ihm beginnt die moderne Genetik.

Mendel fand heraus, dass Merkmale von Pflanzen eigenständige Elemente sind. Elemente, die gut 40 Jahre später den Namen Gene erhielten. Und Mendel hat auch nachgewiesen, dass die Gene nach gewissen Regeln von den Eltern an die Kinder weitergegeben werden.

Den Namen verdankt das Forschungsgebiet einem dänischen Biologen. Im Jahre 1909 wählte er das Wort "Gen" aus, weil es kurz sei und zudem leicht kombinierbar mit anderen Begriffen. Der Ausdruck Gen ist abgeleitet vom griechischen Wort "gennan", das "erzeugen" bedeutet.

3 Vertiefungen

Mendel (Kurzfassung)

Mendels Erkenntnisse 1 (dominant-rezessiver Erbgang)

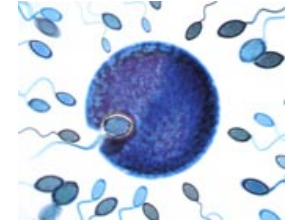
Mendels Erkenntnisse 2 (intermediärer Erbgang, 3 Regeln)



Gregor Mendel, der Vater der Vererbungslehre

4. Zelle und Zellteilung

Pflanzen und Tiere haben die Fähigkeit sich zu vermehren und so ihre Gene an die Nachkommen weiterzugeben. Am Anfang steht dabei jeweils eine weibliche Eizelle und eine männliche Spermazelle. Aus diesen beiden Zellen, die bei der Befruchtung zu einer einzigen Zelle verschmelzen, entsteht das neue Lebewesen.



Der Moment der Befruchtung: Eine Spermazelle dringt in die Eizelle ein

Bis allerdings aus zwei Geschlechtszellen z.B. ein Mensch mit seinen 60 Billionen Zellen geworden ist, braucht es Milliarden von Zellteilungen. Die ersten neuen Zellen sind absolut identisch mit der befruchteten Eizelle. Sind acht Zellen entstanden, beginnt bereits eine Spezialisierung. Das heisst, es entstehen nun z.B. Zellen, die für den Transport von Sauerstoff zuständig sind oder Muskelzellen oder Hautzellen. Der Fachausdruck für diese Zellteilungen heisst Mitose.

Ganz besonders sorgfältig werden von Anfang an die späteren Geschlechtszellen behandelt. Weibliche Eizellen und männliche Spermazellen sollen sich nicht zu häufig teilen müssen, weil grundsätzlich bei jeder Teilung ein Kopier-Fehler auftreten könnte. Fehler in den Geschlechtszellen könnten aber gravierende Folgen haben. Denn ein solcher Fehler würde an sämtliche Zellen eines neuen Lebewesens weitergegeben.

Damit überhaupt Geschlechtszellen entstehen können, braucht es zudem eine spezielle Art der Zellteilung: die Reduktionsteilung oder Meiose. Die Reduktionsteilung sorgt dafür, dass die Geschlechtszellen nur die Hälfte der Erbinformationen der übrigen Zellen enthalten. Ohne diese Halbierung des Erbmaterials wären Probleme nach der Vereinigung von Eizelle und Spermazelle vorprogrammiert: Es entstünden Zellen mit doppelt soviel Erbmaterial wie nötig!

3 Vertiefungen

Die Zelle

Die Mitose

Die Meiose

5. Chromosomen

Mendels Wissen über die Gesetze der Vererbung geriet jahrzehntelang in Vergessenheit. Erst um 1900 entdeckten einige Forscher diese Gesetze neu und bestätigten sie. Und jetzt stellten sich die Wissenschaftler auch die Frage, wo sich die Erbanlagen genau befinden und wie sie chemisch zusammengesetzt sind.

Das Ergebnis langjähriger Forschungsarbeit lässt sich folgendermassen zusammenfassen: Die gesamten Erbanlagen befinden sich im Zellkern. Sie sind auf Chromosomen angeordnet. Diese Chromosomen sehen aus wie leicht verbogene X und sind lange, fadenförmige Gebilde. Sie sind aufgebaut aus Nukleinsäuren. *(mehr dazu erfährst du im Abschnitt über die DNS)*

Von jedem Chromosom sind meist zwei identische Exemplare im Zellkern jeder Zelle vorhanden. Grosse Ausnahme sind die Geschlechtszellen. Diese enthalten nur ein Exemplar aller Chromosomen. So ist sichergestellt, dass die Vereinigung einer väterlichen und einer mütterlichen Geschlechtszelle einen neugemischten aber vollständigen Chromosomensatz ergibt.

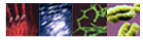
Beim Menschen verteilt sich das gesamte Erbmateriale auf 46 Chromosomen. Zwei davon sind die Geschlechts-Chromosomen. Das weibliche Geschlechts-Chromosom wird mit der Abkürzung XX bezeichnet, das männliche mit XY.

Die Chromosomen-Fäden sind sehr stark geknäult. Würde man sie auseinander ziehen und aneinander kleben, käme man auf eine Länge von etwa zwei Meter Erbmateriale! Und das in jeder unserer rund 60 Billionen Zellen.

Nicht alle Lebewesen besitzen gleich viele Chromosomen in ihren Zellen. Beim Menschen sind es - wie gesagt - 46 Chromosomen. Bei einem Meerschweinchen beispielsweise sind es 16, bei einer Katze 38, bei einem Karpfen 104 und bei einem Schmetterling sogar 380. Und auch bei Pflanzen geht die Zahl der Chromosomen weit auseinander: Bei Himbeeren und beim Roggen sind es 14, beim Weizen 42 und bei einer Kartoffel 48.



Chromosomen,
aufgenommen durch ein
Elektronenmikroskop



Anzahl Chromosomen	Tiere
Mensch	46
Meerschweinchen	16
Katze	38
Karpfen	104
Schmetterling	380
Anzahl Chromosomen	Pflanzen
Roggen	14
Weizen	42
Kartoffel	48

1 Vertiefung

Bau eines Chromosoms

6. Gene

Die Gene sind die eigentlichen Erbanlagen. Sie befinden sich auf den Chromosomen. Sie enthalten die Bauanleitung für die verschiedenen Eiweiße, die den Körper aufbauen. Beim Menschen sind es circa 30'000 Gene. Diese Gene steuern die Entwicklung eines Organismus. Sie bestimmen auch einige Eigenschaften des werdenden Wesens, beim Menschen z.B. Haar- und Augenfarbe, die Form seiner Nase, die Blutgruppe usw.

In allen Körperzellen des Menschen befindet sich das genau gleiche Erbmateriale. Trotzdem sehen nicht alle Zellen gleich aus. Und nicht alle Zellen haben die gleichen Aufgaben. Die Erklärung für diese lebensnotwendige Vielfalt liegt darin, dass in den verschiedenen Zellen unterschiedliche Gene aktiv sind. Nur in einem sehr frühen Stadium der Entwicklung sind alle Zellen noch zu jeder Entwicklungsleistung fähig. In diesem Stadium wird sie als Stammzelle bezeichnet. *(mehr dazu im Kapitel Forschung; ab Mitte 2004)* Wenn sich aber eine Zelle einmal in eine bestimmte Richtung entwickelt hat, also zu einer Muskelzelle oder einer Leberzelle geworden ist, ist sie fertig ausgebildet.

Gene können also an- oder abgeschaltet sein. Gene enthalten nicht nur die Bauanleitung für ein bestimmtes Eiweiß. Sie enthalten auch alles Nötige, um sicherzustellen, dass zur richtigen Zeit die korrekte Menge des Eiweißes hergestellt wird. Gene steuern also nicht nur, was geschehen soll, sie regeln auch, wann und wie das zu passieren hat.

Pannen in der Entwicklung oder von Anfang an defekte Gene können gesundheitliche Probleme zur Folge haben. Beim Menschen sind z.B. Farbenblindheit oder die Bluterkrankheit auf ein oder zwei defekte Gene zurückzuführen.

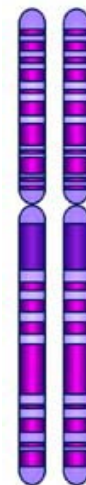
(mehr zur Bluterkrankheit erfährst du im Kapitel Medizin, Vertiefungstext: Bluter-Krankheit oder: Wie entsteht ein Medikament?)

Die chemische Bezeichnung des Erbmateriale ist Desoxyribonukleinsäure, abgekürzt DNS. Häufig wird auch die englische Abkürzung DNA verwendet. Dabei steht das A für "acid", das englische Wort für Säure.

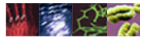
Die gesamten Erbanlagen eines Organismus werden als Genom bezeichnet

1 Vertiefung

Das Genom-Projekt



In dieser schematischen Darstellung eines Chromosoms sind die einzelnen Gene als Ringe dargestellt.

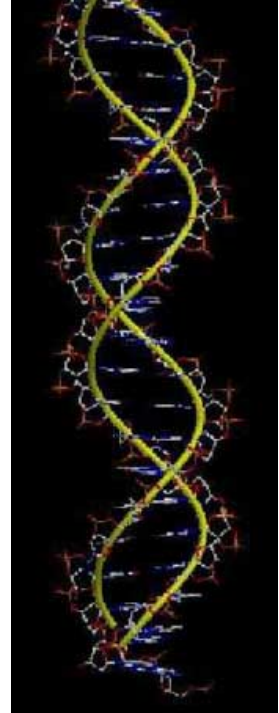


7. DNS

Chemisch bestehen Gene aus Desoxyribonukleinsäure, kurz DNS. Die DNS ist ein langkettiges Molekül. Die Grundbausteine der DNS sind vier Basen.

Räumlich gleicht die DNS einer Leiter, die gewunden ist. Die Fachleute nennen diese wunderschöne Struktur eine Doppelhelix.

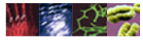
Entdeckt wurde die Struktur der DNS im Jahre 1953 von den beiden Amerikanern James Watson und Francis Crick. Dank ihrem Modell konnten die theoretischen Überlegungen Mendels chemisch erklärt werden. Offen blieb die Frage, auf welche Weise dieses Molekül genetische Informationen speichert. Bereits 1953 formulierte Francis Crick die Idee, dass die DNS eine Art Code sein könnte. Dieser Code könne entschlüsselt werden, wenn man sich die Basen genauer anschaue. 1989 machten sich internationale Forschungs-Teams an die Entschlüsselung des menschlichen Erbguts. Seit dem Frühling 2003 liegt das Resultat vor: Der vollständige Code des menschlichen Genoms ist bekannt. Nun arbeiten die Forscherinnen und Forscher daran, das Zusammenspiel der Gene verstehen zu lernen und dieses Wissen zum Nutzen der Menschen anzuwenden.



DNS-Modell

1 Vertiefung

Die DNS und ihre Bestandteile



8. Mutationen

Gelegentlich kommt es zu nicht vorhersehbaren Veränderungen des Erbguts. Solche Veränderungen werden Mutationen genannt. Sie sind erblich, wenn sie in den Keimzellen vorliegen.

Mutationen können durch Fehler bei der Verdoppelung der DNS während der Mitose entstehen. Auch Fehler während der Meiose können zu Mutationen führen.

Mutationen können spontan auftreten. Sie können aber auch durch äussere Einwirkungen ausgelöst werden. Auslösende Faktoren sind zum Beispiel Röntgenstrahlen, radioaktive Strahlung oder UV-Licht. Auch Nikotin oder gewisse Substanzen wie Unkrautbekämpfungsmittel oder Abgase können zu Mutationen führen.

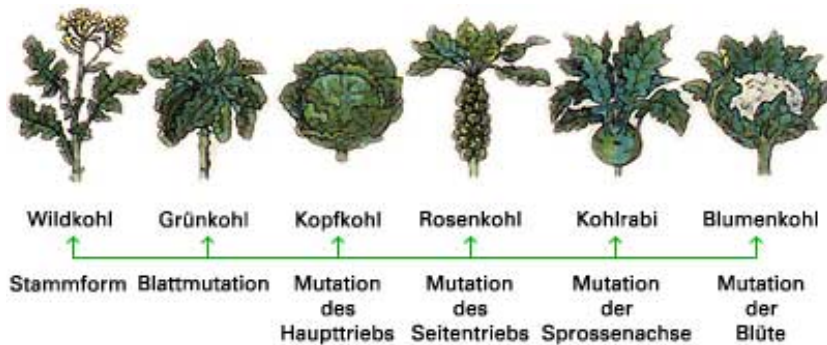
Mutationen können ein einzelnes Gen, ein Chromosom oder das Genom betreffen.

Die Auswirkungen von Mutationen sind sehr unterschiedlich. Sie sind z.B. verantwortlich für einige Erbkrankheiten. Sie sind aber auch von grosser Bedeutung für die Entwicklung der Lebewesen im Laufe der Zeit. Dank Mutationen können sich einige Lebewesen besser an die Umwelt anpassen als ihre Artgenossen. Mutationen bilden also die Grundlage für den Auswahlprozess während der Evolution.

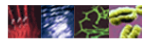
Mutationen werden gezielt für die Tier- und Pflanzenzüchtung genutzt. Viele unserer Kulturpflanzen besitzen vervielfachte Chromosomensätze. Und liefern deshalb beispielsweise höhere Erträge, können sich besser gegen Schädlinge behaupten oder können auch in trockenerem oder kühlerem Klima angebaut werden.



Der Wildkohl hat im Laufe der Zeit mehrfach mutiert und uns so verschiedene Gemüse geliefert.



1 Vertiefung Erbkrankheiten



9. Geschichte der Genetik

1865

Der Mönch Gregor Mendel veröffentlicht die Ergebnisse seiner Vererbungs-Studien an Erbsen. Er stellt fest, dass die Information für ein Merkmal immer zweimal vorhanden ist, einmal von der Mutterpflanze, einmal von der Vaterpflanze.



1869

Der Basler Chemiker Friedrich Miescher entdeckt die Nukleinsäure.



1902-04

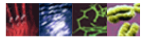
Der Deutsche Theodor Boveri und der Amerikaner Walter S. Sutton finden unabhängig voneinander heraus, dass sich die Erbinformationen auf den Chromosomen befinden.



1944

Oswald Avery und seine Forschergruppe beweisen, dass die Erbsubstanz aus Desyxoribonucleinsäure (abgekürzt DNS oder englisch DNA) besteht. Sie bestimmen damit die chemische Natur der Gene.





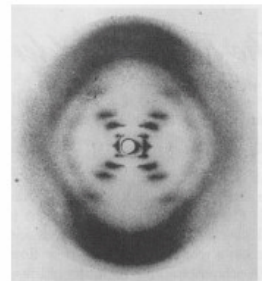
1945

George Beadle und Edward Tatum beweisen, dass ein Gen der Bauplan für ein einzelnes Eiweiss ist.



1952

Die englische Forscherin Rosalind Franklin nimmt Röntgenbilder von DNS auf. Diese Bilder sind eine wichtige Voraussetzung für die Arbeit von Watson und Crick



1953

James Watson und Francis Crick entdecken, wie die DNS räumlich gebaut ist. Sie stellen ihr Modell der Öffentlichkeit vor. 1962 erhalten die beiden für diese Leistung den Nobelpreis für Physiologie und Medizin.



1989

Das Human-Genom-Projekt beginnt. Ziel des Projektes ist es, das gesamte menschliche Erbgut zu entziffern. Im Frühling des Jahres 2003 das Ziel erreicht.



Vertiefungstext: Mendels Erkenntnisse (Kurzfassung)

Mendel verbrachte acht Jahre damit, verschiedene Pflanzen künstlich zu bestäuben. Er hat Tausende solcher Bestäubungen vorgenommen, genau protokolliert und ausgewertet.

Bei seinen Versuchen mit Erbsen stellte er erstaunliche Gesetzmässigkeiten fest. Die Nachkommen übernahmen von ihren Eltern gewisse Merkmale und Eigenschaften auf eine voraussagbare Weise. Er schloss daraus, dass diese Merkmale an stofflich fassbare "Elemente" gebunden sind und so von einer Generation zur nächsten weitergegeben werden. Ihm wurde klar, dass die Erb-Information in jeder Zelle zweifach vorhanden ist, einmal von der Mutterpflanze, einmal von der Vaterpflanze. Sichtbar wird aber nur eines dieser Merkmale.

Er formulierte drei Regeln.

1. Die Uniformitätsregel: In der 1. Tochtergeneration sehen alle Nachkommen von reinerbigen Eltern gleich aus.
2. Die Spaltungsregel: In der 2. Tochtergeneration treten die vererbten Merkmale in ganz bestimmten Zahlenverhältnissen auf. Ein Viertel der Nachkommen der 2. Generation wird ein Merkmal zeigen, das in der 1. Tochtergeneration verschwunden war.
3. Das Gesetz der freien Kombinierbarkeit von Genen: Erbanlagen von mehreren verschiedenen Merkmalen sind frei kombinierbar. So können unter bestimmten Umständen reinerbige Individuen mit neuen Eigenschaften entstehen.

Mendels Arbeit war sehr mathematisch und geriet bald wieder in Vergessenheit. Die Wissenschaftler seiner Zeit interessierten sich mehr für die Evolutionstheorie von Charles Darwin. Erst um 1900 kamen zwei Biologen zu den selben Erkenntnissen wie Mendel. Sie entdeckten Mendels Theorien neu - und diesmal interessierten sich die Wissenschaftler auch dafür. Jetzt stellten sich die Forscher die spannende Frage, wo sich die Gene (Mendels "Elemente") genau befinden und woraus sie chemisch bestehen.



Gregor Mendel (1822 - 1884), der Vater der Vererbungslehre

Vertiefungstext: Mendels Erkenntnisse 1

Mendel bestäubte verschiedene Pflanzen künstlich. Er protokollierte dabei ganz genau, was passierte. Seine Einsichten gewann er vor allem bei Erbsen. Er experimentierte zum Beispiel mit runden und runzigen Samen. So fand er heraus, was mit einfachen Eigenschaften der Erbsen passierte.

- Kreuzte er runde Erbsen mit runden Erbsen, waren die Nachkommen immer rund. Das galt auch für weitere Generationen.
- Kreuzte er runzlige Erbsen mit runzigen Erbsen, waren die Nachkommen alle runzlig. Auch in diesem Fall entstanden in folgenden Generationen ausschliesslich runzlige Erbsensamen.
- Kreuzte er runde Erbsen mit runzigen Erbsen, so waren alle direkten Nachkommen rund. In der folgenden zweiten Generation tauchte hingegen die Eigenschaft "runzlig" wieder auf. Und zwar bei genau einem Viertel der Erbsen.

"Rund" und "runzlig" waren also Eigenschaften der Erbsen. Und die Eigenschaft "rund" schien stärker zu sein als die Eigenschaft "runzlig". Darum setzte sie sich durch. Mendel bezeichnete die stärkere Eigenschaft als dominant, die schwächere als rezessiv.

Mendel kam weiter zum Schluss, dass es Elemente geben müsse, die für die Vererbung der Eigenschaften verantwortlich sind. Jeder Nachkomme erhält je eines dieser Elemente von der Vater- und von der Mutterpflanze. So liessen sich die zahlenmässige Verteilung der Eigenschaften bei den Jungpflanzen erklären. Und auch die Tatsache, dass immer wieder neue Kombinationen von mehreren Eigenschaften entstanden, wurde verständlicher. Der Grundstein für die Genetik war gelegt.

(zur schematischen Darstellung des dominant-rezessiven Erbgangs)



Erbsen

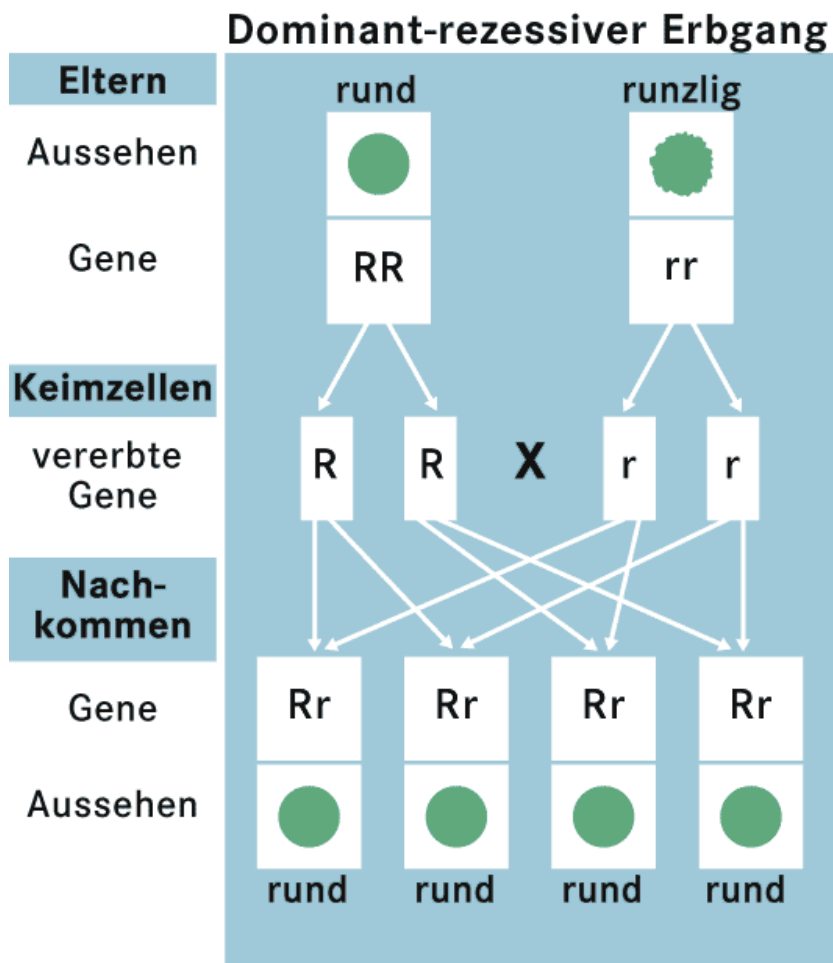
Vertiefungstext: Mendels Erkenntnisse 1 (Schema)

Schematisch sieht die Vererbung der Eigenschaften "rund" und "runzlig" folgendermassen aus. Die Gene werden in einem solchen Schema mit Buchstaben angegeben. Grosse Buchstaben stehen für Erbanlagen, die sich durchsetzen, also dominant sind. Der kleine Buchstabe bezeichnet das dazugehörige unterdrückte (oder rezessive) Gen.

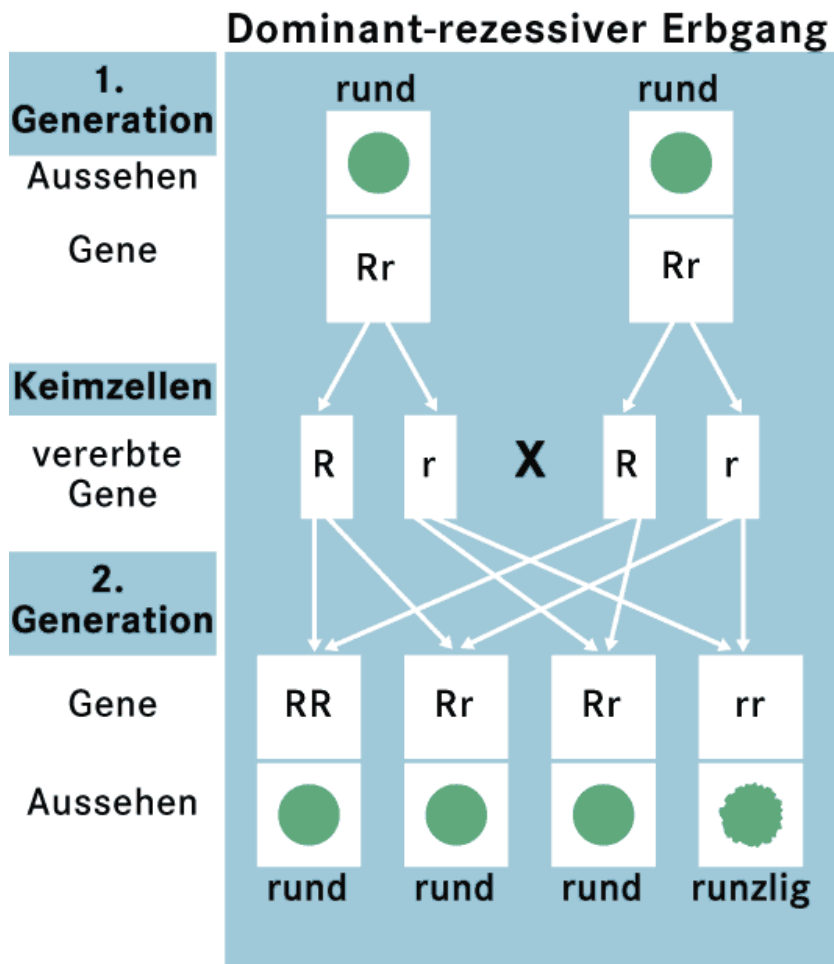


Erbsen

Dominant-rezessiver Erbgang. Eltern und 1. Generation



Dominant-rezessiver Erbgang. 1. und 2. Generation



(zum erklärenden Text über den dominant-rezessiven Erbgang)

Vertiefungstext: Mendels Erkenntnisse 2

Bei der Weitergabe von einfachen Merkmalen unterscheiden wir zwei Varianten. Beim einen Erbgang setzt sich immer ein bestimmtes Gen durch, es dominiert das andere Gen. Dieser Erbgang wird dominant-rezessiv genannt. Ein Beispiel dafür findest du in "Mendels Erkenntnisse 1". Daneben existiert ein Erbgang, bei dem sich die äusseren Eigenschaften mischen. Dieser Erbgang heisst gemischter oder intermediärer Erbgang.

Wie das funktioniert, zeigen wir am Beispiel von rot und weiss blühenden Erbsen. Auch mit solchen Erbsen stellte Mendel umfangreiche Experimente an.

- Alle Nachkommen aus Kreuzungen von rot und weiss blühenden Erbsen, blühten rosa. Die Eigenschaften von Vater- und Mutterpflanze haben sich gemischt.
- In der zweiten Generation blühte die Hälfte aller Erbsen rosa. Ein Viertel blühte rot. Und das letzte Viertel blühte weiss.



Blüten von Erbsenpflanzen

Auch dieses Experiment bestätigt Mendels Regeln.

1. In der Tochtergeneration sehen alle Nachkommen von reinerbigen Eltern gleich aus. Diese Regel wird als Uniformitätsregel bezeichnet.
2. In der 2. Tochtergeneration treten die Merkmale in ganz bestimmten Zahlenverhältnissen auf. Das Genotyp-Verhältnis ist 1 zu 2 zu 1. Diese Regel wird Spaltungsregel genannt.
3. Die Erbanlagen von verschiedenen Merkmalen sind frei kombinierbar. So können unter bestimmten Umständen reinerbige Individuen mit neuen Eigenschaften entstehen. Tier- und Pflanzenzüchter nutzen diese Erkenntnisse auch heute noch, um grössere Erdbeeren, fleischigere Tomaten oder auch leistungsfähigere Milchkühe zu züchten. Mehr darüber erfährst du im Abschnitt Mutationen.

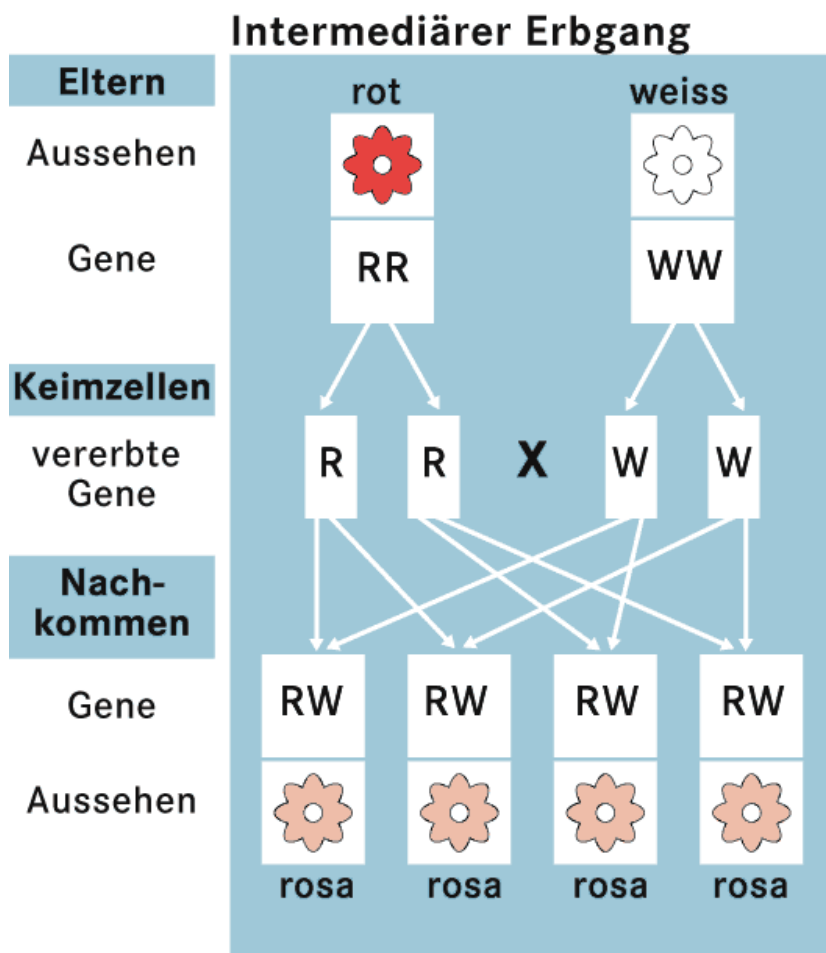
(zur schematischen Darstellung des intermediären Erbgangs)

Vertiefungstext: Mendels Erkenntnisse 2 (Schema)

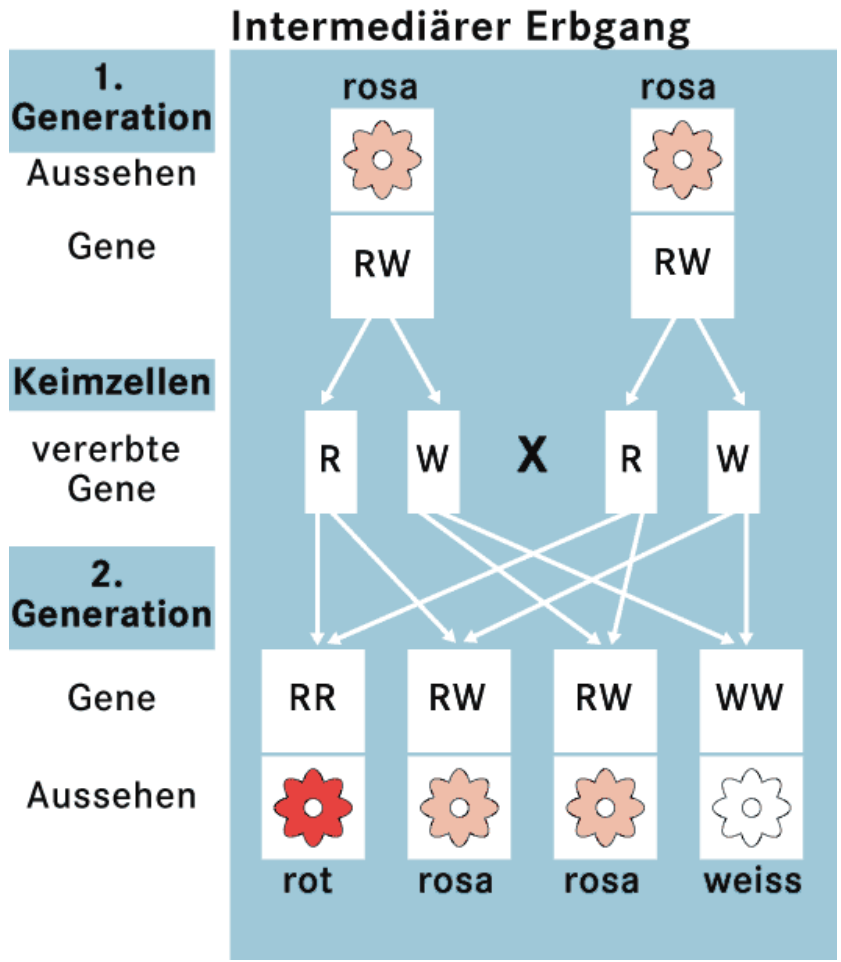
Schematisch sieht die Vererbung der Eigenschaften rotblühend und weissblühend folgendermassen aus. In einem solchen Schema werden die Erbanlagen mit Buchstaben angegeben. Grosse Buchstaben stehen für Erbanlagen, die sich durchsetzen, also dominant sind. Kleine Buchstaben bezeichnen unterdrückte (oder rezessive) Gene. Weil sich beim intermediären Erbgang beide Eigenschaften durchsetzen, werden die Eigenschaften mit Grossbuchstaben dargestellt.



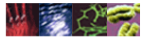
Vererbung der Eigenschaften "rote Blüte" (R) / weisse Blüte (W)



Kreuzung der rosablühenden Tochterpflanzen untereinander:



(zum erklärenden Text über den intermediären Erbgang)



Vertiefungstext: Die Zelle

Zellen sind die Grundbausteine von Lebewesen. Sie haben bei allen Pflanzen und Tieren einen ähnlichen Aufbau.

Sie werden umschlossen von der Zellmembran.

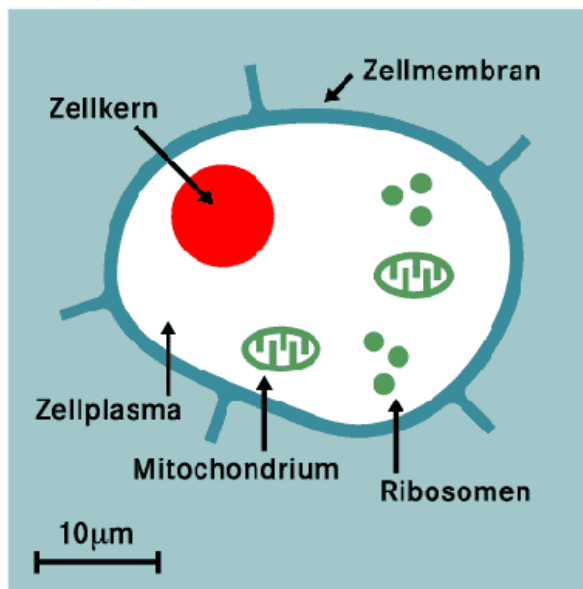
Sie enthalten:

- Zellplasma - die Zell-Flüssigkeit
- Mitochondrien - die Energielieferanten
- Ribosomen. Diese Teilchen spielen eine wichtige Rolle bei der Zellteilung.
- den Zellkern. Er enthält die DNS, den Träger der Erbinformation.



Nervenzelle

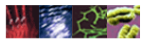
Die Zelle



Zellen verschiedener Lebewesen sind unterschiedlich gross. Eine menschliche Zelle misst zwischen 10 und 30 Mikrometer. Ein Mikrometer ist ein tausendstel Millimeter.

Es gibt verschiedene Zelltypen. Beim Menschen zum Beispiel sind es rund 200 verschiedene Typen. Sie erfüllen unterschiedliche Aufgaben und sehen entsprechend leicht anders aus.

Eine Nervenzelle, die darauf spezialisiert ist, Signale zu empfangen und weiterzuleiten, ist stark verästelt. Eine Muskelzelle, verantwortlich für die Bewegung, ist länglich und hat die Fähigkeit, sich zusammenzuziehen.



Vertiefungstext: Die Mitose

Es braucht Milliarden von Zellteilungen, bis aus der befruchteten menschlichen Eizelle ein erwachsener Mensch geworden ist. Wie funktioniert denn nun eine solche Zellteilung?

Besonders interessant ist natürlich, was sich im Zellkern abspielt. Dort befindet sich die gesamte genetische Information. Exakte Kopien dieser Informationen müssen an alle neuen Zellen weitergegeben werden.

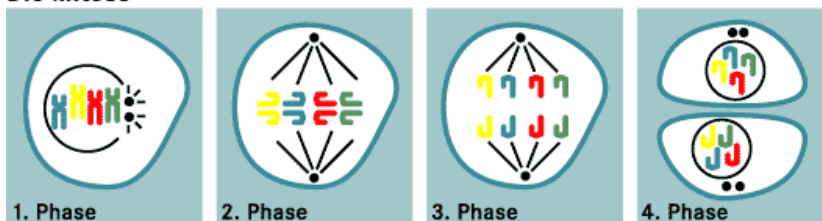
1. In einer ersten Phase der Zellteilung werden die Chromosomen vorbereitet. Sie werden verdickt und verkürzt. Die Kernmembran löst sich auf.
2. In einem zweiten Schritt bilden sich sogenannte Spindelfasern zwischen den beiden Polen der Zelle und die Chromosomen richten sich aus.
3. In der dritten Phase trennen sich alle Chromosomen in zwei Hälften auf. Die Teilung erfolgt am sogenannten Centromer. (s. Illustration in der Vertiefung "Bau eines Chromosoms"). Die Spindelfasern ziehen die eine Hälfte jedes Chromosoms zum einen Pol, die andere Hälfte zum anderen Pol.
4. Nun erhalten die Chromosomen an jedem Pol eine neue Kernmembran und die Spindelfasern werden abgebaut. Aus einem Zellkern sind zwei Zellkerne mit identischen genetischen Informationen geworden.

Anschliessend bilden sich um die beiden Zellkerne auch zwei Zellen. Die Chromosomen-Hälften werden wieder zu vollständigen Chromosomen. Und bald kann der Vorgang von Neuem beginnen.



Aus einem Zellkern sind zwei geworden.

Die Mitose



Vertiefungstext: Die Meiose

Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung entsteht ein neues Lebewesen aus der Verschmelzung einer weiblichen Samenzelle und einer männlichen Spermazelle. Wenn diese Zellen ebenfalls einen doppelten Chromosomensatz enthielten, müsste in den befruchteten Zellen ein vierfacher Chromosomensatz vorliegen. Nach einer weiteren Befruchtung sogar ein achtfacher Satz, usw.

Um dies zu verhindern, enthalten die Geschlechtszellen nur einen einfachen Satz Chromosomen. So enthalten die entstehenden Zellen den üblichen doppelten Chromosomensatz. Und so ist sichergestellt, dass das Erbgut der Eltern neu kombiniert wird.

Damit solche Geschlechtszellen entstehen, braucht es eine besondere Form der Zellteilung. Der doppelte Chromosomensatz von Körperzellen muss dabei auf einen einfachen Chromosomensatz reduziert werden. Diese Art der Zellteilung heisst denn auch Reduktionsteilung. Oder mit dem Fachausdruck: Meiose.

Die Meiose läuft in zwei Etappen ab und endet mit vier Tochterzellen, die jeweils unterschiedliche Erbinformationen enthalten.

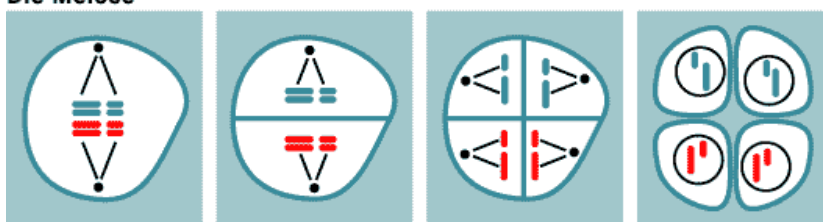
Am Schluss der ersten Etappen haben sich zwei Zellen mit einem einfachen Chromosomensatz gebildet. In zwei Phasen dieser ersten Etappe wird Erbmateriale neu kombiniert.

Die zweite Etappe gleicht der Mitose. Am Schluss stehen vier Tochterzellen mit einfachem Chromosomen-Satz. Die Erbinformationen der vier Zellen sind je unterschiedlich.

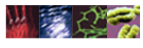


Die Meiose ist Voraussetzung für die geschlechtliche Fortpflanzung

Die Meiose



Die Meiose ist Voraussetzung für die geschlechtliche Fortpflanzung



Vertiefungstext: Bau eines Chromosoms

Um 1900 beschäftigen sich Forscher weltweit wieder intensiv mit der Vererbung. So bestätigen drei europäische Forscher die Ergebnisse von Mendel.

Und nur kurze Zeit später begründeten ein amerikanischer und ein deutscher Wissenschaftler unabhängig voneinander die Chromosomen-Theorie der Vererbung. Diese Theorie besagt, dass die Chromosomen die stofflichen Träger der Erbanlagen sind. Die Erbanlagen werden auch als Gene bezeichnet. Die beiden Forscher, der Amerikaner Walter S. Sutton und der Deutsche Theodor Boveri entdeckten, dass immer zwei Chromosomen einer Zelle gleich aussehen. Dies passt natürlich wunderbar zur Theorie Mendels, dass je ein Satz Erbinformationen von jedem Elternteil stammt. Dank ihren Beobachtungen wurde verständlicher, wie die Weitergabe von Erbinformationen funktioniert.

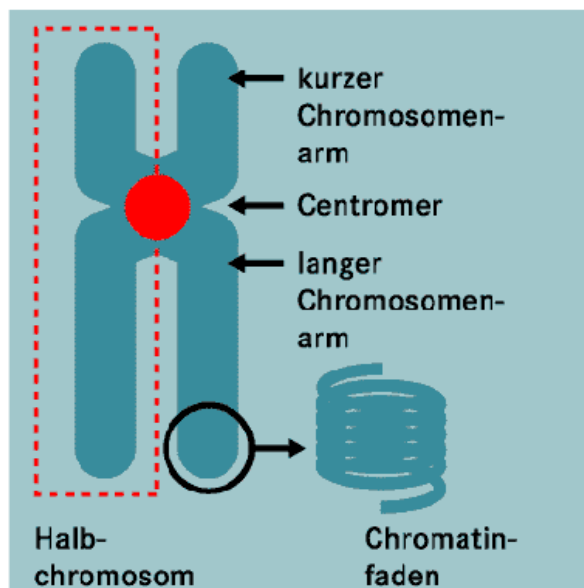
Ein genauerer Blick auf ein einzelnes Chromosom soll verdeutlichen, wie diese Verdoppelung vor sich geht:

Ein Chromosom besteht aus zwei Halbchromosomen, sogenannten Chromatiden. Diese werden am Centromer zusammengehalten. Bei der Zellteilung trennt sich an dieser Stelle die eine Chromosomen-Hälfte von der anderen. Beide Hälften bilden anschliessend die fehlende Hälfte neu. So wird aus einem Chromosomen zwei Chromosomen. Und dank diesem Vorgang entstehen schliesslich aus einer Zelle zwei Zellen.

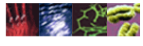


Chromosomen

Das Chromosom



(Mehr dazu im Vertiefungstext über die Zellteilung)



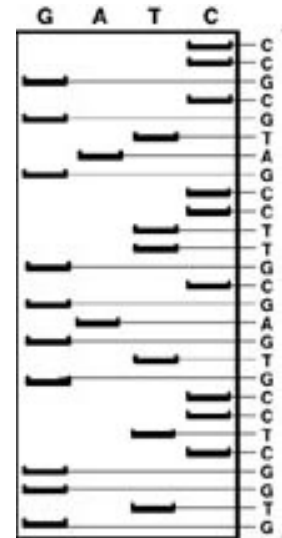
Vertiefungstext: Das Genom-Projekt

Das Erbgut ist entziffert. Das meldeten die Medien im April 2003. Alle Bestandteile des Erbguts und ihre Reihenfolge sind detailgenau festgehalten. Das menschliche Genom besteht aus der unvorstellbaren Menge von 3,2 Milliarden Bausteinen. Eine ganze Bibliothek wäre nötig, um den gesamten Code aufzunehmen. Er würde mehr als 1000 Bücher mit je 1000 eng beschriebenen Seiten füllen!

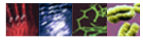
Diese "Strickleiter der Erbsubstanz" verknäult sich beim Menschen zu 23 Chromosomen. Jetzt wissen die Forscher noch mehr: nämlich, wie sich die Bausteine auf den Chromosomen zu mehr als 30.000 Genen ordnen. Klar ist auch, dass diese Gene alle Lebensfunktionen unserer Zellen steuern. Noch unklar aber ist, wie das genau vor sich geht. Die schwierigste Arbeit steht also noch bevor: Jetzt gilt es, den Sinn der rund drei Milliarden Bausteine des Genoms zu erkennen.

Möglich scheinen nun wirksamere Heilmethoden im Kampf gegen genetisch bedingte Krankheiten. Vielleicht gelingt es jetzt herauszufinden, warum ein bestimmter Mensch besonders anfällig ist für Kopfwegh, warum ein anderer allergisch auf gewisse Medikamente reagiert oder warum eine dritte Person an Krebs erkrankt.

15 Jahre dauerte die Arbeit an der Entzifferung des menschlichen Erbguts. Führende Forscher aus verschiedenen Ländern waren an diesem Projekt beteiligt.



So wird das menschliche Erbgut dargestellt



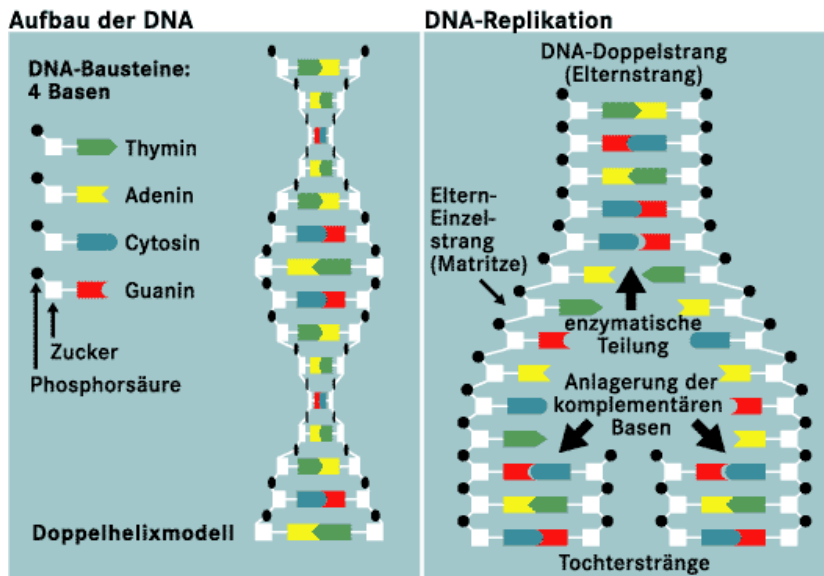
Vertiefungstext: Die DNS und ihre Bestandteile

Eine genauere Analyse der DNS zeigt, dass sie aus sechs Bausteinen besteht. Und sie macht verständlich, wie die Verdoppelung der DNS funktioniert. Diese Verdoppelung ist Voraussetzung für Zellteilungen und damit für das Entstehen neuer Zellen.

Die DNS sieht aus wie eine gewundene Strick-Leiter. Die Holme dieser Leiter bestehen chemisch gesehen aus einer sich wiederholenden Folge von Phosphorsäure und Zuckermolekülen. Die Sprossen bestehen vier Basen. Dabei bilden jeweils zwei Basen ein Paar. Diese beiden Basen fügen sich passgenau ineinander; sie sind komplementär. Stets bilden Adenin mit Thymin und Cytosin mit Guanin eine Leitersprosse. Diese Eigenschaft ist von entscheidender Bedeutung: Zum Ablesen der Gene oder zur identischen Verdoppelung der DNA wird die Doppelhelix wie ein Reißverschluss geöffnet und ein neu erstelltes Molekül mit der genau passenden Basenfolge wird ergänzt. So werden aus einem DNS-Strang zwei identische Stränge.



DNS-Modell



Vertiefungstext Erbkrankheiten

Erbkrankheiten sind eine Art von Mutationen. Wie bei anderen Mutationen können ein einzelnes Gen, ein Chromosom oder das ganze Genom betroffen sein.

Es werden die folgenden Mutationsarten unterschieden:

	Genmutation	Chromosomenmutation	Genommutation
Beschreibung	Veränderung eines Gens	Veränderung der Chromosomenstruktur (z.B. Abbruch eines Teilstücks)	Veränderung der Chromosomen-Anzahl
Beispiel für menschliche Erkrankung	Bluterkrankheit	Katzenschrei-Syndrom	Trisomien (Down-Syndrom und andere)



Bei Menschen mit Down-Syndrom ist das Chromosom 21 dreifach vorhanden

Bluterkrankheit

Blutern fehlt ein Gen, das für die rasche Gerinnung des Blutes bei Verletzungen sorgt. Von der Bluterkrankheit sind nur Männer betroffen. Das Gen, das die Krankheit verursacht ist auf dem X-Chromosom angeordnet. Frauen haben zwei X-Chromosomen. So kann ein krankes Gen auf dem einen X-Chromosom durch ein gesundes Gen auf dem zweiten X-Chromosom ausgeglichen werden. Bei Männern hingegen ist diese Korrektur nicht möglich: sie haben nur ein X-Chromosom.

(mehr dazu erfährst du im Kapitel Medizin: Vertiefungstext: Bluter-Krankheit oder: Wie entsteht ein Medikament?)

Katzenschrei-Syndrom

Das Katzenschrei-Syndrom tritt auf, wenn ein Teil des kurzen Arms von Chromosom Nr. 5 fehlt. Kennzeichnend für diese Erbkrankheit sind hohe, schrille (katzenschreiartige) Laute im Säuglingsalter, Fehlbildungen z.B. der Füße und verminderte Lebenserwartung.

Trisomien

Bei Trisomien liegt ein Chromosom dreifach vor. Trisomien entstehen durch einen Fehler während der Meiose. Eine Geschlechtszelle erhält nur 22 Chromosomen, die andere dafür 24. Die bekannteste Form der Trisomie ist die Trisomie 21, besser bekannt als Down-Syndrom oder Mongoloismus. Das Chromosom 21 ist dreifach vorhanden. Die Folgen: Das Kind hat einen kleinen runden Kopf, eine kurze Nase und eine "mongolische" Lidspalte. Die Intelligenz ist sehr gering und die Lebenserwartung ist deutlich reduziert.

11. Anhang 2: Didaktische Hinweise

Grundsätzliches

Die Texte sind in Themen (nummeriert) und sogenannte Vertiefungstexte aufgeteilt.

Die Themen-Texte sind zentral für das Verständnis. Sie sollten von allen Lernenden bearbeitet und verstanden werden.

Die Vertiefungstexte sind als Ergänzung zu verstehen. Es ist möglich, die Lernenden aus diesen Vertiefungstexten auswählen zu lassen. Auch für Gruppenarbeiten sind die Vertiefungstexte geeignet.

Die Texte sind fachlich anspruchsvoll. Das vermittelte Wissen ist Grundlage für die folgenden Kapitel. Inhaltlich deckt dieses Kapitel ab, was in kantonalen Lehrplänen als Basiswissen im Bereich Genetik vorgegeben ist!

Aufwand für das gesamte Kapitel: 6-8 Lektionen

Mögliches Vorgehen

Gemeinsamer Einstieg in die Thematik.

Lernende bringen ev. Fotos von sich und Geschwistern, von sich und Eltern oder Grosseltern mit. Dies als Alternative oder Ergänzung zu den Fotos in den Aufgaben 1 und 2.

Einstieg mit den Themen 1 (Übersicht) und 2 (Vererbung). Danach spielerische Beschäftigung mit den Aufgaben 1 bis 3.

Für eine mögliche Zusatz-Aufgabe liefert der Band Gentechnik des LCH die Vorlage. Es geht um Farbenblindheit. (LCH, Arbeitsmodul B1)

Danach Arbeit an den Themen 3 bis 8.

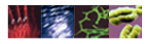
Bei dieser Arbeit empfehlen wir ein schrittweises Vorgehen. So ist es bestimmt sinnvoll, die Anwendungs-Aufgaben zu Mendels Regeln unmittelbar nach der Erarbeitung des Abschnitts über die Vererbungslehre lösen zu lassen.

Als Lernkontrollen zum Abschnitt über die Mendel'schen Regeln eignen sich z.B. die beiden Anwendungsaufgaben 5 und 6.

Zu den übrigen Abschnitten finden Sie im folgenden Aufgabenteil 5 Wissens-Aufgaben.

Experimente:

Experimente bringen Abwechslung in den Unterricht, bieten Möglichkeit zu eigener manueller Tätigkeit. Möglich z.B. bei der Beobachtung von Zellen. An Zwiebelwurzeln z.B. lassen sich - mit etwas Glück - Zellteilungen beobachten. Solche Experimente sind mit viel Aufwand verbunden.



Videos:

Zur klassischen Genetik, zu Zellen und Zellteilung oder auch zum Thema Mutation existieren Videos.

Internet:

Es ist reizvoll, im Internet nach Bildern von Chromosomen, Chromosomensätzen (Karyogrammen), Genen, DNS, Genetik usw. zu suchen.

Empfehlenswert ist die Suchmaschine Google. Dort den Begriff eingeben und dann nach Anzeige der Suchresultate den Reiter "Bilder" anklicken. So finden sich sehr rasch Hunderte von Bildern zu diesen Stichworten. Bei der Suche die englischen Versionen der Begriffe ebenfalls verwenden: Chromosome, DNA, genes, genetics.

Auch zum Vertiefungstext "Erbkrankheiten" finden sich leicht Bilder (Katzenschrei-Syndrom, Down-Syndrom).

Aufgaben

Aufgaben zum Thema Vererbung

Einstiegs-Aufgabe 1: Erkennst du die Eltern des Hundes?

Dieser junge Hund hat ungleiche Eltern. Von beiden hat er bestimmte Eigenschaften geerbt. Erkennst du die Eltern des Welpen?



Dalmatiner



Terrier



Schäfer



Boxer



Pudel



Dackel



Karo

Einstiegs-Aufgabe 2: Wer ist die Mutter von Jeanne?

Das ist Jeanne. Sie hat von ihrer Mutter unter anderem das Aussehen der Lippen geerbt. Erkennst du die Mutter?



Vererbung. Einstiegs-Aufgabe 3: Vererbt - erworben

Einige unserer Eigenschaften erben wir. Andere erwerben wir im Laufe unseres Lebens. Und wir haben Eigenschaften, die sowohl ererbt als auch erworben sind.

Versuche, Eigenschaften von dir richtig einzuordnen:

Ererbt	Erworben	Ererbt und erworben
Haarfarbe	Sprechen	Intelligenz
Muttermal	Narbe von einer Verletzung	Ausdauer

Wohin gehören?

Blutgruppe

Form der Nase

Augenfarbe

Ball werfen

Beweglichkeit

Ball fangen

Geschicklichkeit

Vererbung. Einstiegs-Aufgabe 4: Farben sehen

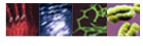
Wenige Eigenschaften sind durch ein einzelnes Gen bestimmt. Dazu gehört unsere Fähigkeit, Farben zu sehen. Ein einzelnes Gen ist dafür zuständig, ob wir die Farbe Grün wahrnehmen können. Ist es defekt, kann die betroffene Person nur ein Flimmern erkennen.

Ein anderes Gen ist dafür verantwortlich, ob wir die Farbe Rot sehen. Und ein weiteres Gen ermöglicht uns, Blau wahrzunehmen.

Das Gen für die Wahrnehmung von Blau ist selten defekt. Die Gene für das Erkennen von Rot und Grün hingegen sind recht häufig defekt. Einer von 12 Männern und eine von 200 Frauen sind davon betroffen.

Hast du den entsprechenden Test schon einmal durchgeführt?

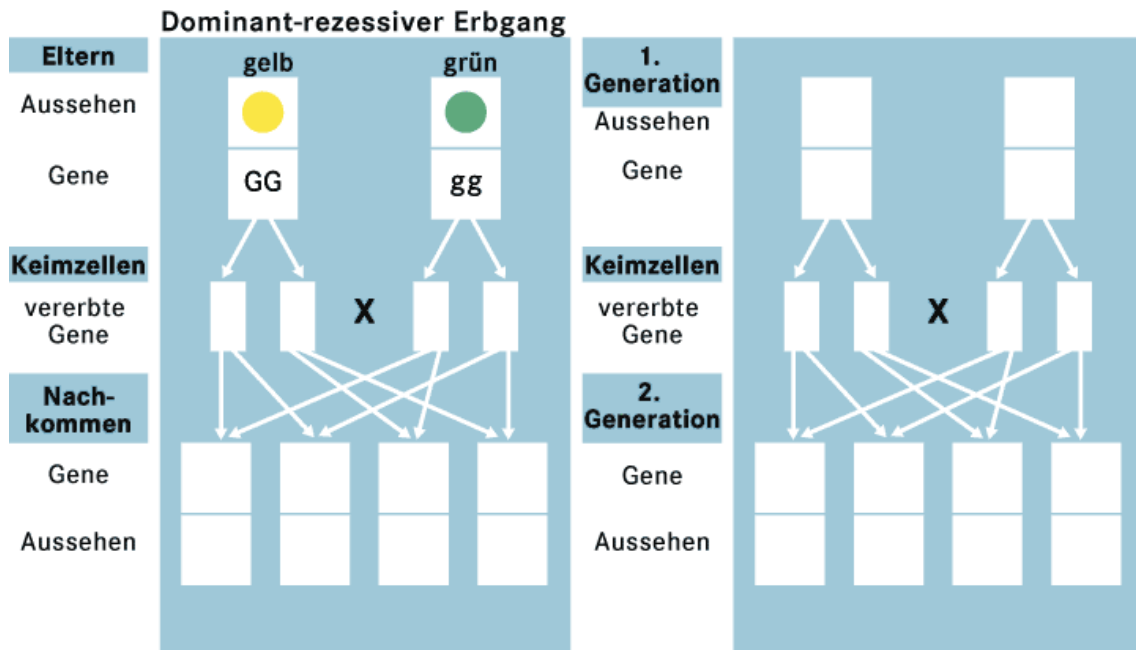
Bist du betroffen von diesem Problem? Welche Schwierigkeiten entstehen dadurch?



Aufgaben zum Abschnitt 3 (Vererbungslehre / Mendel):

Aufgabe 5

Mendel experimentierte auch mit grünen und gelben Erbsen. Zeichne auf, wie die 1. und 2. Tochtergeneration aussehen, wenn sich die gelbe Farbe gegenüber der grünen durchsetzt. Verwende das gleiche Schema wie in Vertiefung Grundlagen 2 - Mendels Erkenntnisse 1





Biotechnologie: Grundlagen

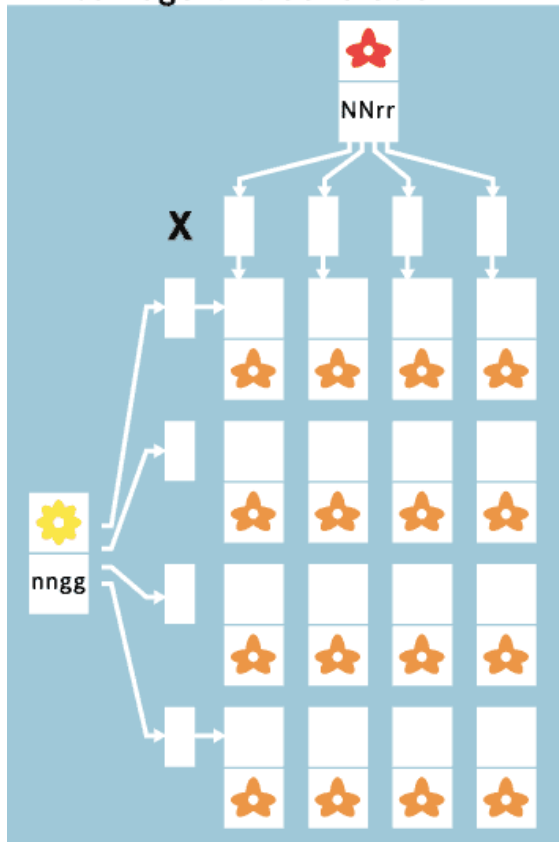
Aufgabe 6

Besonders spannend wird die Vererbung von Eigenschaften, wenn gleichzeitig zwei (oder noch mehr) Erbanlagen gekreuzt werden. Ein Gärtner kreuzt Löwenmäulchen. Er hat rote mit der bekannten Blütenform, und er hat gelbe mit einer besonderen Blütenform. Der Gärtner bezeichnet diese Blütenform als radiärsymmetrisch. Der Gärtner hätte nun gerne rote Löwenmäulchen mit der besonderen Blütenform, die er weiterzüchten kann. Gelingt diese Zucht?

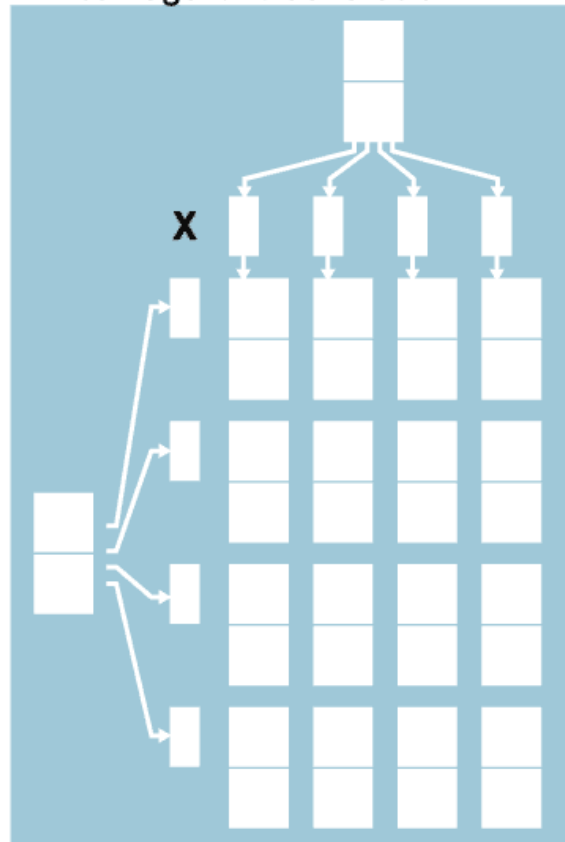
Ergänze das Schema für die Vererbung von den Eltern auf die 1. Generation.

Zeichne das Schema für die Vererbung von der 1. auf die 2. Generation.

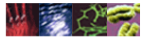
2 Erbanlagen: 1. Generation



2 Erbanlagen: 2. Generation



verwende die folgenden Abkürzungen:
 N=Normalblüte (dominant)
 n= radiärsymmetrische Blüte (rezessiv)
 r= rot (mischerbig)
 g= gelb (mischerbig)



Biotechnologie: Grundlagen

Zu Abschnitt 4 (Zelle):

Aufgabe 7

Zeichne die Zelle aus den Unterlagen nach. Sie soll 10 Zentimeter gross sein. Welchen Massstab musst du verwenden?

Aufgabe 8

Wie viele deiner Zellen müsstest du aneinanderreihen, um einen Streifen Zell-Gewebe von einem Millimeter Länge zu erhalten?

Zu den Abschnitten 5 bis 7 (Chromosomen, Gene, DNS):

Aufgabe 9

Ergänze die Lücken im folgenden Text:


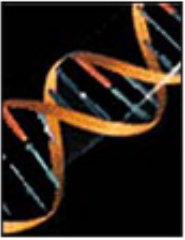

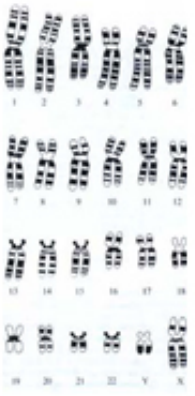
Unsere Körperzellen enthalten einen _____ Chromosomensatz. Die Geschlechtszellen bilden eine Ausnahme. Sie enthalten einen _____ Chromosomensatz. Der Vorgang, bei dem der Chromosomensatz reduziert wird, heisst _____.

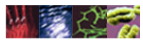
Aufgabe 10

Besteht ein Zusammenhang zwischen der Anzahl Chromosomenpaare und der Intelligenz eines Lebewesens? Begründe deine Antwort.

Aufgabe 11

Ordne die folgenden vier Abbildungen nach der Grösse des dargestellten Elements. Benenne die Bilder.

Grösse (1=am grössten, 4= am kleinsten)				
Name				
				



Lösungen

Aufgabe 1

Der Schäfer ist der Vater von Karo. Der Dackel ist die Mutter.

Aufgabe 2

Anette ist die Mutter von Jeanne.

Aufgabe 3

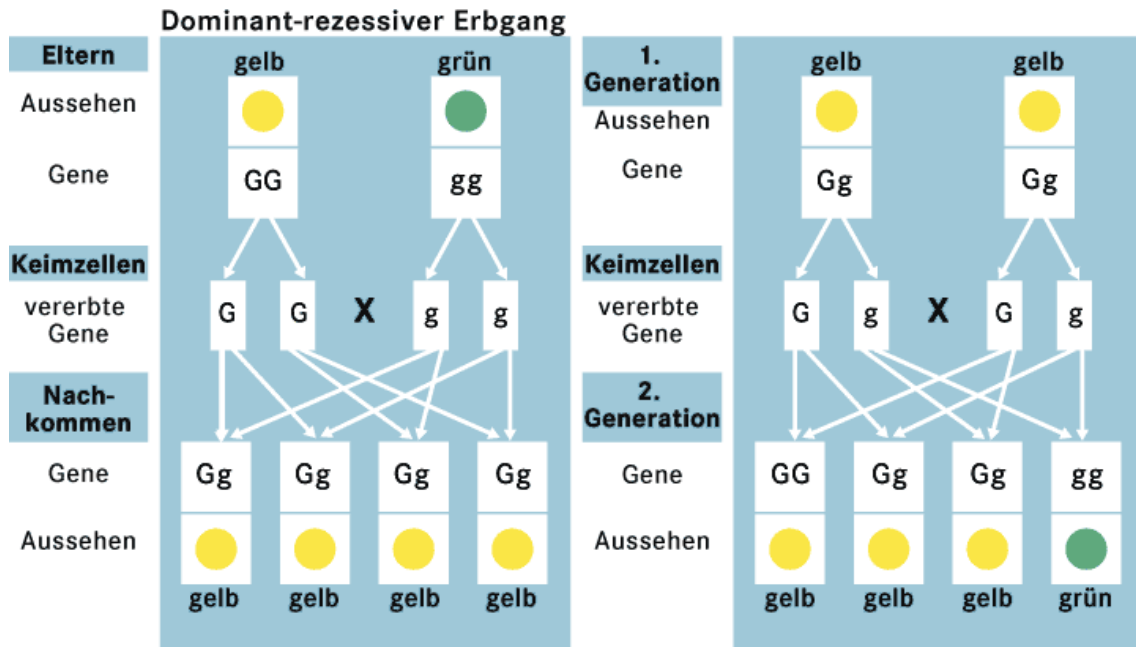
Ererbt	Erworben	Ererbt und erworben
Haarfarbe	Sprechen	Intelligenz
Muttermal	Narbe von einer Verletzung	Ausdauer
Form der Nase	Ball werfen	Beweglichkeit
Augenfarbe	Ball fangen	Geschicklichkeit
Blutgruppe	-	-

Aufgabe 4

individuell

Aufgabe 5

Und die Kreuzung der Nachkommen 1. Generation untereinander ergibt:



Biotechnologie: Grundlagen

Aufgabe 6

a) Antwort: Ja. Diese Zucht gelingt.

b) Schema:

N=Normalblüte (dominant)

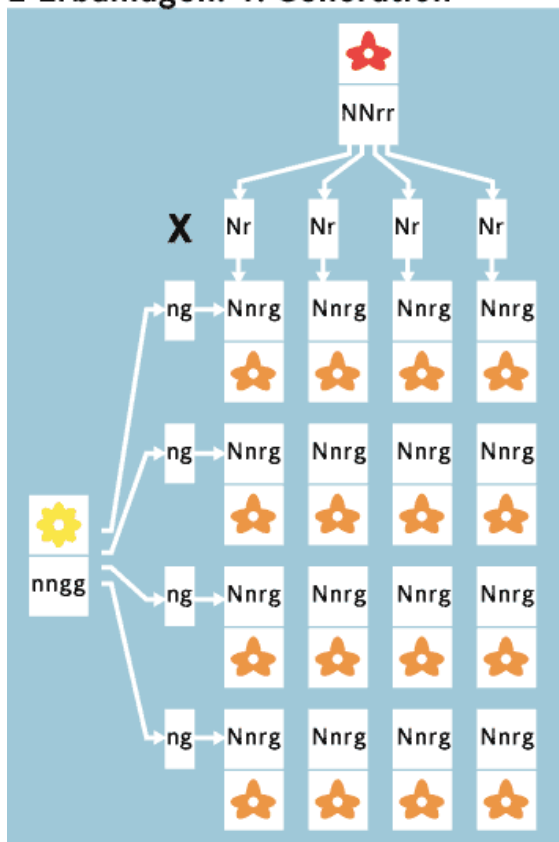
n= radiärsymmetrische Blüte (rezessiv)

r= rot (mischerbig)

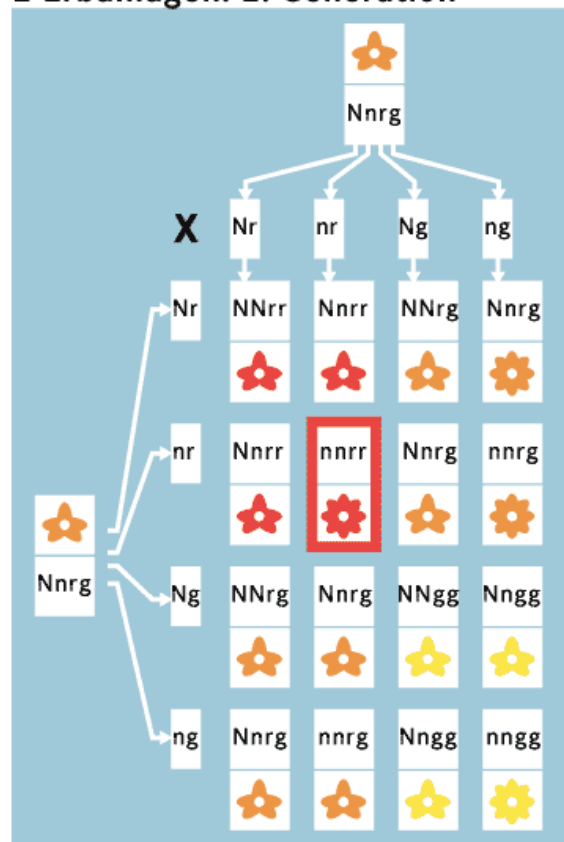
g= gelb (mischerbig)

c)

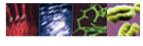
2 Erbanlagen: 1. Generation



2 Erbanlagen: 2. Generation



Der Gärtner sucht die Neukombination nnrr. Eine von 16 Löwenmäulchen-Pflanzen der 2. Generation weist tatsächlich diese Gen-Merkmale auf!



Biotechnologie: Grundlagen

Aufgabe 7

Die dargestellte tierische Zelle ist etwa 30 bis 40 Mikrometer lang. Das sind 0,03 bis 0,04 Millimeter. Du musst die Zelle also etwa 2500 bis 3000 mal vergrössern, damit die Zeichnung 10 Zentimeter lang wird.

Aufgabe 8

Du müsstest 25 bis 30 Zellen aneinanderreihen, damit 1 Millimeter Zell-Gewebe entsteht.

Aufgabe 9

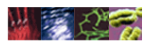
Unsere Körperzellen enthalten einen doppelten / diploiden Chromosomensatz. Die Geschlechtszellen bilden eine Ausnahme. Sie enthalten einen einfachen / haploiden Chromosomensatz. Der Vorgang, bei dem der Chromosomensatz reduziert wird, heisst Meiose.

Aufgabe 10

Die Anzahl der Chromosomenpaare spielt keine Rolle. Entscheidend sind die Erbinformationen, die auf den Chromosomen gespeichert sind. Beispiele: Karpfen und Schmetterlinge haben viel mehr Chromosomenpaare als der Mensch; auch die Kartoffel verfügt über mehr Chromosomenpaare.

Aufgabe 11

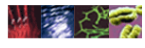
Grösse	1	2	3	4
Name	Chromosomen- satz	Chromosom	Chromatin- faden	DNS-Stück



12. Bildnachweis, Impressum

Wir danken folgenden Personen und Firmen für Ihr Einverständnis, Bilder zu verwenden.

Arnold, Gerhard (www.fachberatung-biologie.de)	Vertiefung "Die Zelle"
Bolick, Harry (www.bolick.net)	Vertiefung "Mendels Erkenntnisse 1"
Discovery Channel Canada; exn.ca	Abschnitt 5: Chromosomen, Aufgabe 11
Familienheim und Garten GmbH (www.fug-verlag.de)	Abschnitt 8: Mutationen
Fonds der Chemischen Industrie, Frankfurt am Main	Vertiefung "Das Genom-Projekt"
Missouri Botanical Garden (www.mobot.org/gardeninghelp)	Aufgabe 6
public domain des Internet	Abschnitte 1. Einleitung, 3. Vererbungslehre, 6. Gene; Vertiefung "Mendel (Kurzfassung)", Zeitstrang (G. Mendel; F. Miescher; Röntgenbild-Aufnahme der DNS; Watson/Crick mit Modell)
Schweizerisches Jugendschriftenwerk Zürich, Heft 2010	Aufgaben 1 und 2
South Dakota State University, Horticulture, Forestry, Landscape and Parks Department (www.hflp.sdstate.edu)	Aufgabe 6
University of Washington, Computer Science and Engineering (www.cs.washington.edu)	Mendels Erkenntnisse 2, Mendels Erkenntnisse 2 (Schema)
The Vanderbilt-Ingram Cancer Center, Nashville TN USA (www.vicc.org)	Zeitstrang (Human Genom Projekt)
Verband Forschender Arzneimittelhersteller e.V., Berlin	Abschnitt 4: Zelle, Zellteilung; Zeitstrang (O.Avery)
Vorarlberger Bildungsserver	Abschnitt 2: Vererbung, Aufgabe 11
Weber, Michael (www.webmic.de)	Vertiefung "Erbkrankheiten"
www.exobiology.nasa.gov	Abschnitt 7: DNS
www.fishing-in-wales.com	Abschnitt 8: Mutationen (Wildkohl)
www.gardenguides.com	Vertiefung " Mendels Erkenntnis 1/Schema"
www.spacedaily.com	Zeitstrang (Chromosomen)



Es ist nicht in allen Fällen gelungen, die Copyright-Inhaber aufzufinden. Nachträgliche Ansprüche bitte an den Autor oder an SGCI.

Text:

Jörg Häfliger, Lehrmittelautor/Publizist, Luzern

Grafiken:

Beatrice Kaufmann, Bern

Stand: Dezember 03