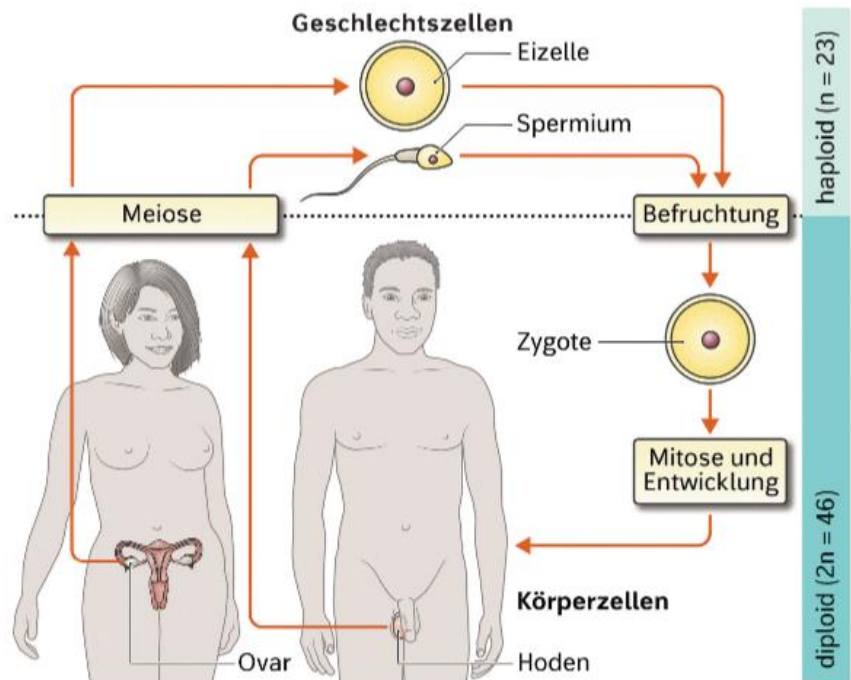


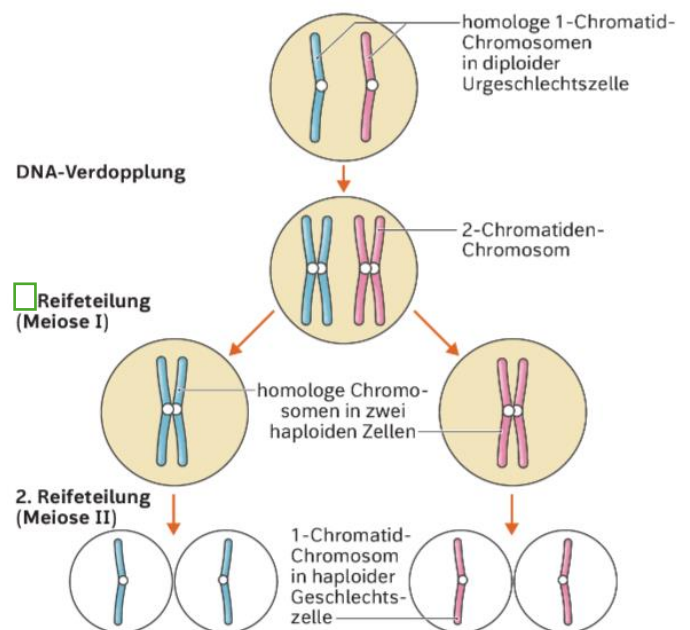
# Geschlechtliche Fortpflanzung

Fast alle Organismen pflanzen sich geschlechtlich fort. Dazu bilden sie Geschlechtszellen (Gameten) – diese bilden die Grundlage der **geschlechtlichen Fortpflanzung**.



3 Geschlechtliche Fortpflanzung beim Menschen

Eizelle und Spermium sind **Geschlechtszellen** oder Gameten. Sie werden aus einer diploiden Urgeschlechtszelle gebildet, die auch Urkeimzelle genannt wird. Wie bei jeder Zellteilung wird dabei zunächst die DNA verdoppelt, wodurch Chromosomen mit je zwei identischen Schwesterchromatiden entstehen.



2 Reduktion der Chromosomenzahl bei der Meiose

Die Entwicklung eines Menschen beginnt mit der Verschmelzung von Spermium und Eizelle. Das Spermium enthält die Erbinformationen des Vaters, die Eizelle die der Mutter. Dennoch besitzt das Kind die gleiche Anzahl an Chromosomen wie jedes Elternteil. Wieso verdoppelt sich nicht mit jeder Generation die Chromosomenzahl?

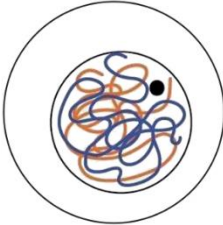
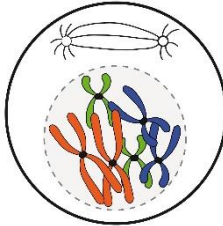
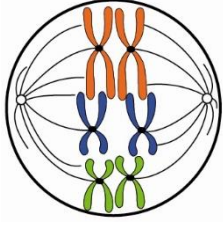
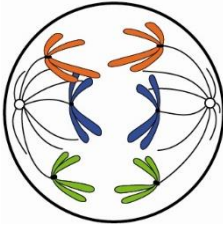
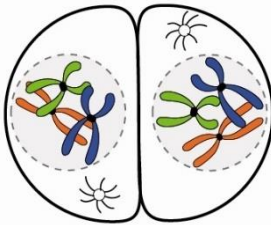


1 Befruchtung einer Eizelle durch ein Spermium

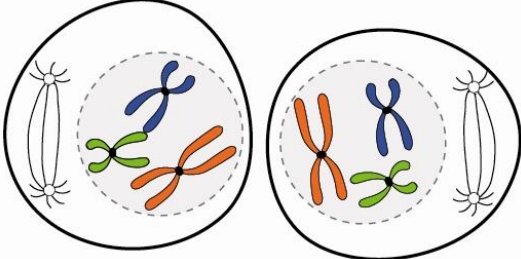
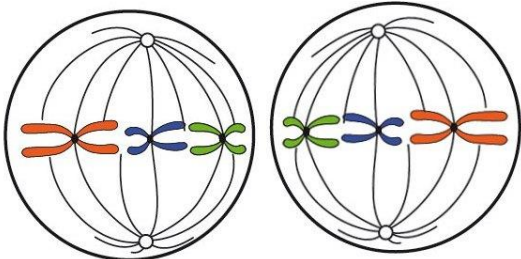
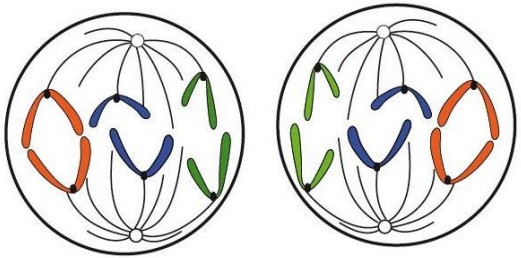
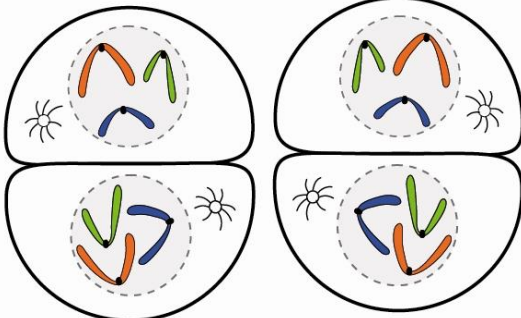
## Der Ablauf der Meiose im Überblick

Die Urgeschlechtszelle durchläuft dann die **Meiose**, die aus zwei **Reifeteilungen** besteht. Während der ersten Reifeteilung, der Meiose I, werden die homologen 2-Chromatiden-Chromosomen aufgeteilt, sodass aus der diploiden Urgeschlechtszelle zwei haploide Zellen mit 2-Chromatiden-Chromosomen entstehen. In der zweiten Reifeteilung, der Meiose II, werden die 2-Chromatiden-Chromosomen getrennt und vier haploide Geschlechtszellen mit 1-Chromatid-Chromosomen gebildet. So wird der Chromosomensatz halbiert. Deshalb heißt die Meiose auch **Reduktionsteilung**. Bei der Befruchtung verschmelzen zwei haploide Gameten zu einer diploiden Zygote. So bleibt der Chromosomensatz der Nachkommen konstant.

## Der Ablauf der Meiose im Detail

Meiose – 1. Reifeteilung (Reduktionsteilung)	
Teilungsstadium	Beschreibung
<b><u>Interphase:</u></b> 	<p>In den Zellen ist ein <b>Zellkern</b> zu erkennen, der von einer <b>Kernmembran</b> umschlossen ist.</p> <p>Die <b>DNA</b> ist <b>nicht spiralisiert</b> (aufgewickelt), sondern liegt in Form dünner Fäden vor. Konkrete Strukturen sind nicht zu erkennen. Dies ist die aktive Form der DNA, die als Grundlage für die <b>Synthese von Proteinen</b> dient. In dieser Phase muss auch die <b>DNA verdoppelt</b> werden. Es wird von jedem Chromosom eine identische Kopie angefertigt, sodass beim Menschen 46 Zwei-Chromatid-Chromosomen in der Urkeimzelle vorhanden sind.</p>
<b><u>Prophase I:</u></b> 	<p>Das <b>Kernmembran löst sich auf</b>. Es erfolgt eine <b>Verdichtung des Chromatins</b> (Spiralisierung bzw. Kondensation). Jedes Chromosom besteht aus zwei Chromatiden. Es <b>paaren</b> sich <b>homologe Chromosomen</b>. Sie sind jetzt dicht beieinander. Es sind Gebilde aus vier Chromatiden zu sehen: eine <b>Tetrade</b>. Die Chromosomen liegen so dicht zusammen, dass manchmal Chromatinteile zwischen den homologen Chromosomen ausgetauscht werden.</p> <p>Der <b>Spindelapparat</b> bildet sich aus.</p>
<b><u>Metaphase I:</u></b> 	<p>Die <b>homologen Chromosomen</b> wandern dank des Spindelapparates gemeinsam in die Äquatorialebene.</p> <p>Sie <b>ordnen sich</b> jeweils rechts und links von der <b>Äquatorialebene</b> an.</p> <p>Es ist zufällig, auf welcher „Seite“ das von der Mutter bzw. das vom Vater stammende Chromosom liegt.</p>
<b><u>Anaphase I:</u></b> 	<p>Die <b>homologen Chromosomen</b> werden allmählich mithilfe des Spindelapparats <b>getrennt</b>. Anders als bei der Mitose <b>bleiben</b> die <b>Schwesterchromatiden</b> der einzelnen Chromosomen aber <b>zusammen</b>.</p>
<b><u>Telophase I:</u></b> 	<p>Durch den Spindelapparat wandern die Chromosomen weiter zu den Polen. An jedem Pol befindet sich schließlich ein <b>einfacher (haploider) Chromosomensatz</b>. Die <b>Schwesterchromatiden</b> sind <b>weiterhin</b> miteinander <b>verbunden</b>.</p> <p>Es entstehen nun bei tierischen Zellen durch Einschnürung zwei Zellen.</p>

Nach der Telophase I gibt es **keine Interphase!!!!**

Meiose – 2. Reifeteilung	
Teilungsstadium	Beschreibung
<u><b>Prophase II:</b></u> 	<p>Erneut entsteht in jeder Zelle ein Spindelapparat. Die <b>Chromosomen wandern</b> allmählich zur Äquatorialebene.</p>
<u><b>Metaphase II:</b></u> 	<p>Die Chromosomen sind jetzt maximal spiralisiert und liegen nebeneinander in der <b>Äquatorialebene</b>.</p>
<u><b>Anaphase II:</b></u> 	<p>Die beiden <b>Schwesterchromatiden</b> eines Chromosoms werden <b>getrennt</b>. Sie wandern jeweils durch den Spindelapparat zu den entgegengesetzten Zellpolen.</p> <p>Die Chromosomen besitzen jetzt jeweils <b>nur noch ein Chromatid</b>.</p>
<u><b>Telophase II:</b></u> 	<p>Auflösung des Spindelapparats und Entspiralisierung der Chromosomen. Bildung von Kernmembran.</p> <p><b>Zwei weitere Zellen</b> entstehen. Bei tierischen Zellen geschieht dies durch Einschnürung. Es sind nun also insgesamt <b>vier Zellen</b> entstanden.</p>



## Der Chromosomensatz von Geschlechtszellen ist ein Zufallsprodukt



Die Katzenschwester in der Abbildung sehen unterschiedlich aus, weil sie nicht dieselbe Erbinformation besitzen.

Auch für Menschen gilt: Geschwister sind mit Ausnahme von eineiigen Zwillingen niemals erbgleich.

Wie ist das zu erklären? Sie haben doch dieselben Eltern.

Die Antwort finden Sie im Ablauf der Meiose.

Nehmen wir an, eine Zelle mit  $2n=6$  Chromosomen durchläuft eine Meiose. In der ersten meiotischen Teilung ordnen sich die drei Chromosomenpaare in der Mitte der Zelle (Äquatorialebene) an. Genau hier spielt der Zufall nun eine entscheidende Rolle. Je nachdem, auf welcher Seite (der Äquatorialebene) sich die einzelnen von Mutter oder Vater stammenden Chromosomen anordnen, entstehen unterschiedliche Ei- oder Spermienzellen.

Wie viele verschiedene Möglichkeiten ergeben sich bei **drei** Chromosomenpaaren?

Verteilung mütterlicher und väterlicher Chromosomen während der 1. Reifeteilung nach den „Zufallsprinzip“.

A und A'

B und B'

C und C' seien homologe Chromosomen

AA' BB' CC'

Kombinationsmöglichkeiten ( $2^n$ ): in diesem Fall ist  $n=3$  ( $n$  = Anzahl der Chromosomenpaare)

ABC    ABC'    AB'C    AB'C'

A'BC    A'BC'    A'B'C    A'B'C'

Wie Sie sehen, gibt es bei drei Chromosomenpaaren schon  $2 \times 2 \times 2 = 2^3 = 8$  verschiedene Möglichkeiten!

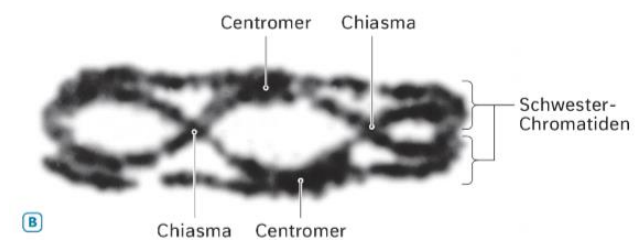
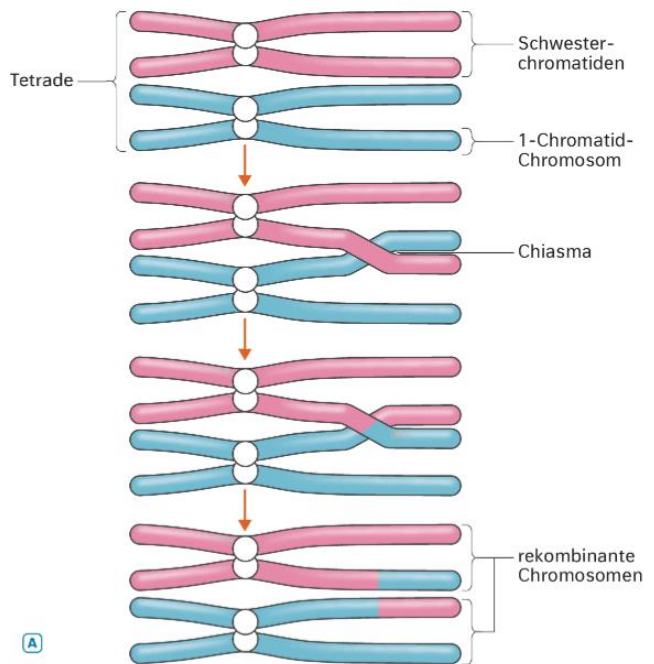
Bei vier Chromosomenpaaren sind es schon  $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 2^4 = 16$ . Menschliche Zellen haben 23 Chromosomenpaare. So ergibt sich für jeden Menschen die unvorstellbare Zahl von 8,4 Mio. möglichen Ei- oder Spermienzellen. Mensch: 23 Chromosomenpaare  $\rightarrow 2^{23} \rightarrow 8,4$  Mio.

Diese Neukombination des genetischen Materials bei der Keimzellbildung nennt man **interchromosomale Rekombination**.

### Intrachromosomale Rekombination

Durch Zusammenlagerung zweier homologer Chromosomenpaare bilden diese Tetraden aus den vier Chromatiden. Diese können sich an einer oder mehreren Stellen, den **Chiasmata**, überkreuzen. An den Chiasmata finden **Crossing-over** statt. Dabei werden Teilstücke der Chromatiden präzise ausgetauscht. Ein Crossing-over zwischen Nicht-Schwesterchromatiden führt zur Neukombination der genetischen Information. Das so entstehende rekombinante Chromosom ist ein genetisches Mosaik aus väterlicher und mütterlicher DNA. Bei der Meiose des Menschen kommt es zu etwa ein bis drei Crossing-over je Chromosomenpaar. Diese **intrachromosomale Rekombination** erhöht die mögliche Anzahl an genetisch verschiedenen Geschlechtszellen erheblich.

**Durch diese Zufälligkeit der Chromosomenverteilung hat jeder Mensch eine neue, einzigartige Kombination von Erbinformationen. Niemand ist so wie Sie!**



4 Crossing-over: A Ablauf; B EM-Aufnahme

### Funktion der Meiose

Reduktion des Chromosomensatzes von  $2n$  auf  $1n$

Zufallsverteilung der homologen Chromosomen – diese ist für die enorme genetische Vielfalt der Individuen einer Art verantwortlich

Diese genetische Vielfalt ist eine Grundvoraussetzung für Evolutionsprozesse.

Auch die Geschlechtschromosomen, das X- und das Y-Chromosom, werden bei der Meiose zufällig verteilt. Aus Urkeimzellen beim Mann entstehen jeweils zur Hälfte Spermienzellen mit Y-Chromosom und zur Hälfte solche mit X-Chromosom. Aus den Urkeimzellen einer Frau können nur Eizellen mit X-Chromosom entstehen. Kombiniert man diese beliebig, ergibt sich statistisch zur Hälfte Jungen (XY) und zur Hälfte Mädchen (XX).