

Physikaufgabe 19

[Home](#) | [Startseite](#) | [Impressum](#) | [Kontakt](#) | [Gästebuch](#)

Aufgabe: Beweisen Sie anhand des Crossing-overs, daß es keinen Zufall gibt.

Beweis: Bei der Verschmelzung zweier Keimzellen (Gameten) entsteht aus den DNA-Doppelsträngen beider Eltern (siehe Abb. 1) durch Crossing-over die neue Erbinformation des Kindes. Jedes Chromosom besitzt demnach pro autosomalem Gen zwei Allele (Erbinformationen), eines vom Vater und eines von der Mutter. Welches Paar ein Kind bekommt, gilt nach allgemeinem Dafürhalten als zufällig.

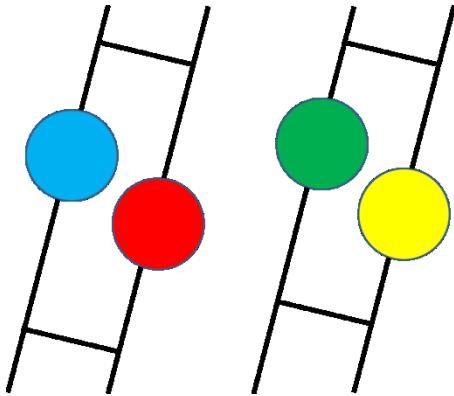


Abbildung 1. Zygote mit elterlichen Chromosomen nach der Verschmelzung beider Keimzellen (Gameten)

Die Weitergabe der beiden Erbinformationen beruht mit geringen Vereinfachungen auf folgenden Vorgängen: Wenn sich die beiden DNA-Doppelstränge während der Reduktionsteilung voneinander trennen (durch gestrichelte Linien in Abb. 2 angedeutet), verbindet sich während der Rotation der Stränge je ein Strang des Vaters mit einem Strang der Mutter zu einem neuen Doppelstrang, wobei jeweils ein Allel des väterlichen Gens mit einem Allel des mütterlichen auf neue Weise kombiniert werden kann. Dieser Rekombinationsprozeß erfolgt beim Crossing-over während der Meiose¹ für jedes Gen statistisch unabhängig, d.h. es müssen sich nicht alle Allele, die vorher derselben diploiden Zygote angehörten, identisch auch in der gleichen haploiden Tochterzelle wiederfinden.

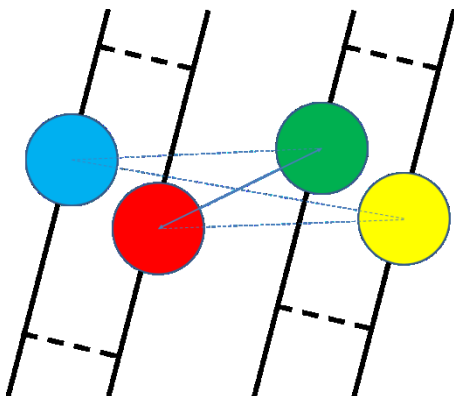


Abbildung 2. Crossing-over zwischen väterlichen und mütterlichen Chromosomen nach Auflösung der Doppelstränge

¹ Meiose ist eine besondere Form der Kernteilung, bei der sich die Chromosomen im nach außen abgeschirmten Zellkern befinden, und nicht in der Zelle selbst. Da der Energiegewinn durch Wasserstoffbrückenbindungen vernachlässigbar ist, wird der Vorgang des Crossing-overs durch das Enzym Rekombinase katalysiert.

Physikaufgabe 19

Welches der beiden Allele von jedem Gen jeweils ausgewählt wird, sagt man, sei statistisch nicht vorhersagbar. Über viele solcher Erbteilungen gemittelt stellt man jedoch fest, daß die Wahrscheinlichkeit für eine bestimmte Paarung stets gleich $\frac{1}{4}$ ist. Argumentiert wird dabei, daß es nach der Heisenbergschen Unschärferelation nicht möglich sein soll, Ort und Impuls eines mikroskopischen Teilchens zur selben Zeit beliebig genau zu kennen. Vielmehr soll sich alles nach der Beziehung

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

verhalten, wobei Δx die Ortsunschärfe angibt und Δp die Unschärfe des Impulses. Je genauer wir also den Ort bestimmen wollen, desto geringer werden wir die Ortsunschärfe wählen müssen und desto größer wird folglich die Impulsunschärfe sein, denn zwischen beiden gilt die reziproke Beziehung

$$\Delta p \geq \frac{\hbar}{\Delta x}.$$

Stellvertretend für die Bindungskräfte zwischen den DNA-Molekülen, der sogenannten Kohäsion, die für die mechanische Verschlaufung der fadenförmigen Makromoleküle verantwortlich ist, verwenden wir zur einfacheren Beschreibung ersatzweise das Newtonsche Gravitationsgesetz. Es formuliert in ganz ähnlicher Weise die Anziehung zwischen zwei Teilchen,

$$F = -\gamma \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

wobei r den gegenseitigen Abstand angibt und alle anderen Größen, speziell die Massen m_1 und m_2 , Konstanten der Bewegung sind. Dabei braucht uns der Impuls in dieser Betrachtung nicht zu interessieren, denn bei der Gravitationswechselwirkung sind bekanntlich nur die Ortskoordinaten der Wurzel aus dem Betragsquadrat von Bedeutung.

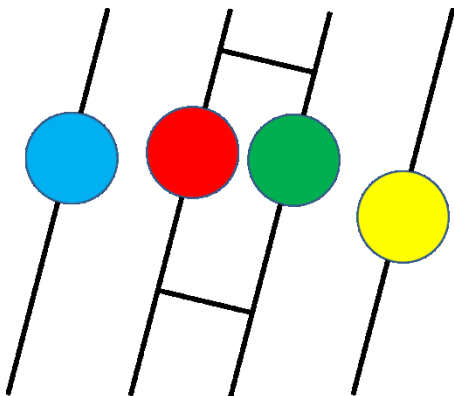


Abbildung 3. Haploide Tochterzelle nach erfolgreicher Rekombination

Die stärkste Gravitationswechselwirkung herrscht in dem aufgezeigten Beispiel eindeutig unmittelbar nach Auftrennung der DNA-Doppelstränge zwischen dem roten und dem grünen Allel, weil diese beiden den geringsten gegenseitigen Abstand besitzen. Demgegenüber treten die

Physikaufgabe 19

Anziehungskräfte zwischen allen anderen Paarungen in den Hintergrund (gepunktete Linien in Abb. 2). Letztendlich verbleibt dem noch ungepaarten Allel nur die Möglichkeit, sich für das zweite noch freie Allel zu entscheiden und mit diesem eine Bindung einzugehen², was zu einem weiteren Doppelstrang führt. In Abb. 3 ist nun zunächst ein Tochter-Doppelstrang entstanden, mit der neuen Allelkombination Rot-Grün, die aufgrund der stärksten Anziehung auch als erste eingegangen worden ist. Wir müssen dazu nicht einmal das Vierkörperproblem der klassischen Mechanik lösen, sondern nur die definierten Anfangsbedingungen kennen. Mithin liegt es nur an unserer mangelnden Kenntnis über die exakten Positionen aller beteiligten Massen, warum wir die Reihenfolge, in der die Paarungen eingegangen werden, nicht herausfinden können. Das ändert allerdings nichts an der prinzipiellen Möglichkeit, den Ort zweier Teilchen gleichzeitig beliebig genau zu messen, weil der Impuls wie gesagt für die Messung keine Rolle spielt. Denn die Massenanziehung zweier Körper hängt nicht von der Geschwindigkeit der beiden Massen ab, und es müssen dazu auch keine Bewegungsgleichungen mit möglichen Geschwindigkeits-terminen gelöst werden. Mithin kann man das Crossing-over und damit die komplette Vererbung nicht dem Zufall zuschreiben, weil sämtliche physikalischen Phänomene, die nur von der gegenseitigen Lage abhängen, auch auf klassische und damit deterministische Weise erklärt werden können. Dies spricht für die Richtigkeit der De-Broglie-Bohm-Theorie, d.h. es gibt im Bereich der Gravitationswechselwirkung – und aus Analogiegründen vermutlich auch der elektromagnetischen Wechselwirkung – keinen Zufall,

qed

Nachfolgend ein simples Beispiel: Ein Vater habe die Allelkombination A0, die Mutter B0, dann gibt es gemäß folgender Tabelle genau vier Möglichkeiten, welche Blutgruppe das Kind haben kann.

	B	0
A	AB	A
0	B	0

Tabelle 1. Möglichkeiten für das Zustandekommen der Blutgruppe des Kindes bei einem A0-Vater und einer B0-Mutter

Mit einer Viertelwahrscheinlichkeit ist die Blutgruppe AB möglich, wenn beide Elternteile ihr dominantes Allel³ an das Kind weitergeben. Steuert der Vater das dominante, die Mutter jedoch ihr rezessives Allel bei, so hat das Kind die Blutgruppe A. Gibt umgekehrt die Mutter ihr dominantes Allel ab, der Vater hingegen sein rezessives, so besitzt das Kind die Blutgruppe B. Wenn beide Elternteile ihr rezessives Allel vererben, ist die Blutgruppe des Kindes 0.

Eine statistische Meßmethode ist also niemals geeignet, die Behauptung zu stützen, die ursächlichen Vorgänge geschähen auch tatsächlich rein zufällig, und der Zufall sei das Gesetz⁴, nur weil man mit bloßem Auge nicht erkennen kann, was in Wirklichkeit abläuft. Man muß allerdings einschränkend hinzufügen, daß bei der Erbteilung aufgrund der rotierenden DNA-Stränge

² Genauer gesagt liegen durch Replikation vor der Meiose die Chromatiden doppelt vor, so daß insgesamt vier solcher Paarungen zustande kommen.

³ A und B sind zueinander kodominant

⁴ was er ja gerade nicht ist

Physikaufgabe 19

die möglichen Richtungen im Raum isotrop verteilt sind, und daß daher alle Allelkombinationen bei hinreichend vielen Versuchen, eine Bindung miteinander einzugehen, die gleiche Wahrscheinlichkeit haben müssen.