Zerfall ist Zufall – das Würfelmodell

Physik 10 · Kapitel 1 · Stunde 07 · Lösung

Name: Klasse: Datum:

🏠 **Fall „Radon im Altbau“** Im Keller der Familie Albers schweben unzählige Radonatome. Kann man vorhersagen, welches als Nächstes zerfällt? Und wie viele sind nach einer Woche noch da?

1 Der Zerfall eines Kerns ist Zufall

In Stunde 06 hast du gelernt, dass sich instabile Kerne umwandeln. Doch **wann** zerfällt ein bestimmter Kern? Die Antwort überrascht: Das kann niemand vorhersagen – nicht, weil man es noch nicht weiß, sondern weil es grundsätzlich **Zufall** ist. Ein Radonatom kann in der nächsten Sekunde zerfallen oder erst in einem Monat.

Fest ist nur die **Wahrscheinlichkeit**, mit der ein Kern in einem bestimmten Zeitabschnitt zerfällt. Sie hängt allein von der Kernart ab, nicht von Temperatur, Druck oder vom „Alter“ des Kerns. Ein Kern hat kein Gedächtnis.

Bei sehr vielen Kernen gleicht sich der Zufall aus. Dann lässt sich gut vorhersagen, wie viele Kerne in einer bestimmten Zeit **ungefähr** zerfallen.

2 Ein Modell für den Zerfall

Atomkerne kann man nicht sehen. Deshalb nutzt man ein **Modellexperiment**: Ersatzobjekte, die sich in der wichtigen Eigenschaft genauso verhalten – hier Würfel. Ob ein Würfel eine Sechs zeigt, ist Zufall; die Wahrscheinlichkeit beträgt immer 1/6.

Modell	Realität
ein Würfel	ein Atomkern
ein Wurf	ein Zeitabschnitt
Würfel zeigt eine Sechs und wird entfernt	Kern zerfällt
Wahrscheinlichkeit 1/6	Zerfallswahrscheinlichkeit pro Zeitabschnitt
übrige Würfel N	noch nicht zerfallene Kerne

WORTSPEICHER

Zufall: Ein Ereignis ist zufällig, wenn man nicht vorhersagen kann, ob und wann es eintritt

Wahrscheinlichkeit: Maß dafür, wie oft ein Ereignis im Mittel bei vielen Versuchen eintritt, z. B. 1/6 für eine Sechs

Modellexperiment: Experiment mit Ersatzobjekten (z. B. Würfeln), das wichtige Eigenschaften eines nicht direkt beobachtbaren Vorgangs nachbildet

Abnahmekurve: Diagramm der noch vorhandenen Anzahl über der Zeit; beim Zerfall fällt sie zuerst steil, dann immer flache

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

3 🔬 Messprotokoll: Das Würfelmodell

Frage: Wie nimmt die Anzahl der „nicht zerfallenen“ Würfel von Wurf zu Wurf ab?

Material: Würfel (in der Gruppe z. B. 25), Becher, Tablett · **Durchführung:** Würfel zählen und als Wurf 0 eintragen. Alle Würfel werfen, alle Sechsen entfernen, übrige Würfel zählen und eintragen. Wiederholen bis Wurf 10. Danach das Klassenergebnis (Summe aller Gruppen) von der Tafel übernehmen.

Wurf n	übrige Würfel N (Klasse)	in diesem Wurf zerfallen
0	100	–
1	84	16
2	69	15
3	58	11
4	49	9
5	41	8
6	34	7
7	28	6
8	23	5
9	19	4
10	16	3

Erwartung bei 100 Würfeln (Mittelwert vieler Durchgänge): 100 – 83 – 69 – 58 – 48 – 40 – 33 – 28 – 23 – 19 – 16. In der Lösung stehen typische Messwerte; eure Werte weichen zufällig davon ab.

Auswertung · Nach etwa 4 Würfen war die Hälfte übrig. Pro Wurf zerfällt im Mittel etwa 1/6 der übrigen Würfel.

Ergebnis · Formuliere einen Antwortsatz zur Frage.
Am Anfang zerfallen viele Würfel pro Wurf, später immer weniger, weil weniger übrig sind. Die Anzahl nimmt zuerst schnell und dann immer langsamer ab.

Fehlerbetrachtung · Warum hat jede Gruppe andere Werte?
Welcher Würfel eine Sechs zeigt, ist Zufall. Bei wenigen Würfeln wirkt der Zufall stark; das Klassenergebnis mit vielen Würfeln liegt näher an der Erwartung.

TIPP
Erst zählen, dann eintragen – die Sechsen vorher entfernen.

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

4 Anleitung: Die Abnahmekurve zeichnen und auswerten

1. Beschrifte die Achsen: x-Achse **Wurf n**, y-Achse **übrige Würfel N**.
2. Trage alle Messwerte als Punkte ein.
3. Zeichne eine **glatte Kurve** durch die Punktwolke – verbinde nicht jeden Punkt mit dem Lineal, denn der Zufall verursacht kleine Zacken.
4. Ziehe bei der Hälfte des Startwerts eine waagerechte Linie.
5. Gehe am Schnittpunkt senkrecht nach unten und lies die Anzahl der Würfe ab.

Musterbeispiel: Messreihe mit 100 Würfeln: 100 – 86 – 75 – 64 – 51 – 44 – 33 – 27 – 23 – 18 – 15.

Schritt	Überlegung	Ergebnis
1. Messwerte eintragen	x-Achse: Wurf n · y-Achse: übrige Würfel N	Punkte (0 | 100), (1 | 86), (2 | 75) …
2. Kurve zeichnen	glatte Kurve durch die Punktwolke, nicht Punkt für Punkt verbinden	fällt erst steil, dann flacher
3. Hälfte markieren	waagerechte Linie bei N = 50	–
4. Ablesen	Schnittpunkt mit der Kurve, senkrecht nach unten	n ≈ 4,1 Würfe
5. Vergleichen	Erwartung aus vielen Messungen: 3,8 Würfe	passt im Rahmen des Zufalls

Antwortsatz: Nach etwa 4 Würfen ist die Hälfte der Würfel übrig. Das passt zur Erwartung von 3,8 Würfen.

TIPP
Glatte Kurve statt Zickzack

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

5 Einfluss der Anzahl und Grenzen des Modells

Mit 20 Würfeln sieht die Kurve wie eine unregelmäßige Treppe aus, mit 1000 Würfeln ist sie fast glatt. Je größer die Anzahl, desto besser gleicht sich der Zufall aus. Eine echte Radonprobe enthält unvorstellbar viele Atome – ihre Abnahme ist deshalb praktisch exakt vorhersagbar. Für sehr viele Radonatome gilt: Nach 3,8 Tagen ist etwa die Hälfte zerfallen.

Erwartungswert E: Pro Wurf bleiben im Mittel 5/6 der Würfel übrig. Nach n Würfen erwartet man $N = N_0 \cdot (5/6)^n$. Beispiel: $100 \cdot (5/6)^2 = 100 \cdot 25/36 \approx 69$.

Grenzen des Modells: Würfel „zerfallen“ nur beim Wurf, Kerne zu jedem beliebigen Zeitpunkt. Beim echten Zerfall entstehen ein Tochterkern und Strahlung. Und jede Kernart hat eine eigene Zerfallswahrscheinlichkeit – nicht immer 1/6.

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

6 Aufgaben

Deine Stufe: Jede Aufgabe ist gekennzeichnet. G Grundlage · S Standard · E Experte.
Grundlage: Aufgaben 1, 2 und 4 · **Standard:** Aufgaben 1 bis 5 · **Experte:** Aufgaben 1 bis 6. In der interaktiven Übung stellst du dieselbe Stufe oben über die Schalter „Grundlage – Standard – Experte“ ein.

Aufgabe 1 G · Ergänze. *(Hilfe: Abschnitt 1)*
Wann ein einzelner Kern zerfällt, ist **zufällig**. Bei sehr vielen Kernen kann man **vorhersagen**, wie viele ungefähr zerfallen. Fest ist nur die **Wahrscheinlichkeit** des Zerfalls.

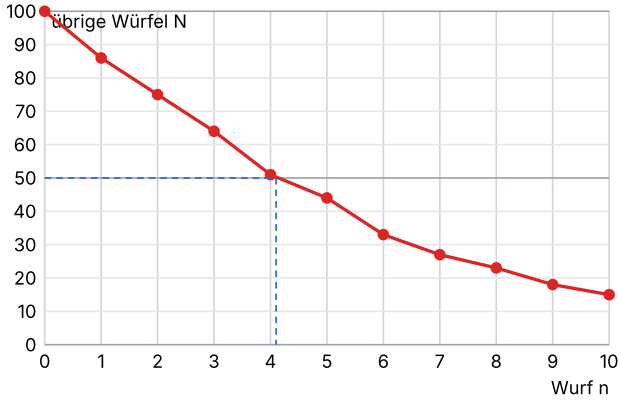
Aufgabe 2 G · Ordne zu: Was entspricht im Würfelmodell der Realität? *(Hilfe: Abschnitt 2)*

Modell	Realität
Würfel	**Atomkern**
Wurf	**Zeitabschnitt**
Sechs	**Zerfall des Kerns**
übrige Würfel	**noch nicht zerfallene Kerne**

TIPP
Bei jeder Aufgabe steht, welcher Abschnitt hilft.

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Aufgabe 3 S · Zeichne die Abnahmekurve des Musterbeispiels (Abschnitt 4) in das Raster und lies ab, nach wie vielen Würfen die Hälfte übrig ist. *(Hilfe: Abschnitt 4)*



Hälfte übrig nach etwa **4,1 Würfen**

Aufgabe 4 G · Sag es physikalisch! *„Ein Radonatom zerfällt nach genau 3,8 Tagen.“ (Hilfe: Abschnitte 1 und 5)*

Wann ein einzelnes Radonatom zerfällt, kann man nicht vorhersagen; es ist Zufall. Von sehr vielen Radonatomen ist nach 3,8 Tagen etwa die Hälfte zerfallen.

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Aufgabe 5 S · Gruppe A würfelt mit 20 Würfeln, die Klasse mit 1000. Begründe, welches Ergebnis näher an der Erwartung liegt. *(Hilfe: Abschnitt 5)*

Das Klassenergebnis mit 1000 Würfeln: Bei vielen Würfeln gleichen sich die zufälligen Abweichungen aus. Bei 20 Würfeln fällt jeder einzelne stark ins Gewicht.

Aufgabe 6 E · a) Berechne die Erwartung $N = 600 \cdot (5/6)^n$ für n = 1, 2 und 3 (ganze Zahlen). b) Man würfelt statt mit Würfeln mit Münzen: „Zahl“ bedeutet Zerfall. Nach wie vielen Würfen ist im Mittel die Hälfte übrig? c) Nenne zwei Grenzen des Würfelmodells. *(Hilfe: Abschnitt 5)*

a) 500 · 417 · 347. b) Nach 1 Wurf (Wahrscheinlichkeit ½). c) Kerne zerfallen zu jedem beliebigen Zeitpunkt, nicht in Würfen; beim Zerfall entstehen Tochterkern und Strahlung; die Wahrscheinlichkeit hängt von der Kernart ab.

★ **Vertiefung** Würfle mit 100 Würfeln, wobei 5 *und* 6 „Zerfall“ bedeuten (Wahrscheinlichkeit 1/3). Nach wie vielen Würfen ist die Hälfte übrig? Vergleiche mit dem normalen Würfelmodell.

HAUSAUFGABE

Aufgabe 4 und eine weitere Aufgabe deiner Stufe.

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Lösungen der interaktiven Übung

Alle drei Stufen · Grundlage G · Standard S · Experte E

Hauptübung Messreihe auswerten – Würfelmessreihen auswerten

Stufe	Messreihe	Ergebnis
G	Eine Gruppe hat mit 60 Würfeln gewürfelt. Nach jedem Wurf wurden alle Sechsen entfernt. Setze alle Messpunkte ins Diagramm. Lies dann ab: Nach wie vielen Würfen ist ungefähr die Hälfte (30 Würfel) übrig? (eine Nachkommastelle) *Messwerte (Wurf n | übrige Würfel N):* (0 | 60) · (1 | 50) · (2 | 41) · (3 | 37) · (4 | 28) · (5 | 24) · (6 | 18) · (7 | 16) · (8 | 15)	**Hälfte übrig nach etwa 3,8 Würfen** Am Anfang fallen viele Würfel weg, später immer weniger – denn es sind weniger da, die eine Sechs würfeln können.
G	Eine andere Gruppe hatte nur 20 Würfel. Setze die Punkte und lies ab, nach wie vielen Würfen ungefähr die Hälfte (10 Würfel) übrig ist (ganze Zahl). *Messwerte (Wurf n | übrige Würfel N):* (0 | 20) · (1 | 18) · (2 | 15) · (3 | 12) · (4 | 11) · (5 | 10) · (6 | 7) · (7 | 6) · (8 | 5)	**Hälfte übrig nach etwa 5 Würfen** Mit wenigen Würfeln weicht das Ergebnis stärker vom Mittel (etwa 3,8 Würfe) ab – der Zufall wirkt stärker.
S	Messreihe mit 100 Würfeln. Setze alle Messpunkte, zeichne in Gedanken eine glatte Kurve und lies ab, nach wie vielen Würfen die Hälfte übrig ist (eine Nachkommastelle). *Messwerte (Wurf n | übrige Würfel N):* (0 | 100) · (1 | 86) · (2 | 75) · (3 | 64) · (4 | 51) · (5 | 44) · (6 | 33) · (7 | 27) · (8 | 23) · (9 | 18) · (10 | 15)	**Hälfte übrig nach etwa 4,1 Würfen** Der Mittelwert vieler Gruppen liegt bei etwa 3,8 Würfen.
S	Messreihe mit 40 Würfeln. Setze die Punkte und lies ab, nach wie vielen Würfen die Hälfte (20) übrig ist (eine Nachkommastelle). *Messwerte (Wurf n | übrige Würfel N):* (0 | 40) · (1 | 35) · (2 | 29) · (3 | 23) · (4 | 17) · (5 | 15) · (6 | 12) · (7 | 9) · (8 | 9)	**Hälfte übrig nach etwa 3,5 Würfen** Nach Wurf 7 und 8 sind es beide Male 9: Bei wenigen Würfeln kann auch einmal keiner zerfallen.

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Hauptübung Messreihe auswerten – Würfelmessreihen auswerten (Fortsetzung)

Stufe	Messreihe	Ergebnis
E	Die Ergebnisse aller Gruppen wurden addiert: 1000 Würfel. Setze die Punkte (sie rasten auf 10er-Werte ein). Berechne dann, wie viel Prozent der übrigen Würfel im Mittel pro Wurf zerfallen (eine Nachkommastelle). *Messwerte (Wurf n | übrige Würfel N):* (0 | 1000) · (1 | 842) · (2 | 709) · (3 | 591) · (4 | 492) · (5 | 410) · (6 | 333) · (7 | 283) · (8 | 227)	**Anteil pro Wurf ≈ 16,7 %** Bei vielen Würfeln zeigt sich die Wahrscheinlichkeit 1/6 sehr deutlich.
E	Messreihe mit 200 Würfeln. Setze die Punkte. Berechne die Erwartung N = 200 · (5/6)ⁿ für n = 4 (ganze Zahl) und vergleiche mit der Messung. *Messwerte (Wurf n | übrige Würfel N):* (0 | 200) · (1 | 163) · (2 | 139) · (3 | 118) · (4 | 97) · (5 | 80) · (6 | 70) · (7 | 57) · (8 | 46)	**Erwartung nach 4 Würfen N ≈ 96 Würfel** Die Messung schwankt zufällig um die Erwartungskurve.

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Simulation · Messreihe aufnehmen – Das Würfel-Modellexperiment

Stufe	Aufgabe	Lösung
G	Drücke einmal „1 × würfeln“. Hättest du vorher sagen können, welche Würfel rot werden?	**Nein – welcher Würfel eine Sechs zeigt, ist Zufall.** Genauso kann man nicht sagen, welcher Atomkern als Nächstes zerfällt.
G	Stelle 100 Würfel ein und drücke „Bis zur Hälfte“. Nach wie vielen Würfen ist etwa die Hälfte übrig?	**nach etwa 3 bis 5 Würfen**
G	Drücke mehrmals „Neu“ und wiederhole. Ist das Ergebnis jedes Mal gleich?	**Ähnlich, aber nicht genau gleich – der Zufall sorgt für kleine Unterschiede.** Die Form der Kurve ist vorhersagbar, der einzelne Wurf nicht.
S	Schalte die Erwartungskurve ein. Wie liegen deine Messpunkte?	**Sie streuen zufällig um die Erwartungskurve.**
S	Vergleiche 20 Würfel mit 200 Würfeln (jeweils mehrmals neu). Wo weichen die Punkte relativ stärker von der Erwartung ab?	**bei 20 Würfeln** Je größer die Anzahl, desto besser stimmt die Messung mit der Erwartung überein.
S	Wie viele von 100 Würfeln zerfallen im ersten Wurf im Mittel? (eine Nachkommastelle)	**16,7 Würfel** Im Einzelfall können es auch 12 oder 21 sein.
E	Erwartung nach 2 Würfen bei 200 Würfeln: $N = 200 \cdot (5/6)^2$ (ganze Zahl)?	**139 Würfel**
E	Nach wie vielen Würfen ist laut Erwartung genau die Hälfte übrig? Probiere $(5/6)^n = 0{,}5$ (eine Nachkommastelle).	**3,8 Würfe** Diese feste „Halbierungszeit“ heißt beim Kernzerfall Halbwertszeit (Stunde 08).

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Simulation · Messreihe aufnehmen – Das Würfel-Modellexperiment (Fortsetzung)

Stufe	Aufgabe	Lösung
E	Was bildet das Würfelmodell NICHT richtig ab?	**Echte Kerne zerfallen zu jedem beliebigen Zeitpunkt, nicht nur in Wurfschritten.** Außerdem entsteht beim echten Zerfall ein Tochterkern und Strahlung.

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Diagramm zuordnen – Welches Diagramm zeigt was?

Stufe	Karte	Lösung
G	Diagramm A	Beschreibung: **viele Würfel (1000): fast glatte Kurve**
G	Diagramm B	Beschreibung: **wenige Würfel (20): unregelmäßige Treppe**
G	Diagramm C	Beschreibung: **immer gleich viele weg: Gerade – so verläuft kein Zerfall**
S	Diagramm A	Beschreibung: **viele Würfel (1000): fast glatte Kurve**
S	Diagramm B	Beschreibung: **wenige Würfel (20): unregelmäßige Treppe**
S	Diagramm C	Beschreibung: **immer gleich viele weg: Gerade – so verläuft kein Zerfall**
S	Diagramm D	Beschreibung: **Münzen (Wahrscheinlichkeit ½): halbiert sich bei jedem Wurf**
E	Diagramm A	Beschreibung: **viele Würfel (1000): fast glatte Kurve**
E	Diagramm B	Beschreibung: **wenige Würfel (20): unregelmäßige Treppe**
E	Diagramm C	Beschreibung: **immer gleich viele weg: Gerade – so verläuft kein Zerfall**
E	Diagramm D	Beschreibung: **Münzen (Wahrscheinlichkeit ½): halbiert sich bei jedem Wurf**
E	Diagramm E	Beschreibung: **Zahl der Zerfälle pro Wurf: nimmt ebenfalls ab**

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Richtig oder falsch? – Aussagen prüfen

Stufe	Aussage und Begründung	r/f
G	Man kann vorhersagen, welcher Atomkern als Nächstes zerfällt. *Der Zeitpunkt des einzelnen Zerfalls ist zufällig.*	**falsch**
G	Im Würfelmodell steht ein Würfel für einen Atomkern. *Eine Sechs bedeutet „Zerfall“.*	**richtig**
G	Je weniger Würfel übrig sind, desto weniger zerfallen pro Wurf. *Im Mittel zerfällt jeweils 1/6 der übrigen Würfel.*	**richtig**
G	Ein Würfel, der lange keine Sechs hatte, würfelt beim nächsten Mal sicher eine Sechs. *Ein Würfel hat kein Gedächtnis; die Wahrscheinlichkeit bleibt 1/6.*	**falsch**
G	Bei vielen Würfeln kann man gut vorhersagen, wie viele ungefähr übrig bleiben. *Der Zufall gleicht sich bei großen Anzahlen aus.*	**richtig**
S	Die Abnahmekurve fällt am Anfang steil und wird dann immer flacher. *Es sind immer weniger Würfel da, die zerfallen können.*	**richtig**
S	Mit 20 Würfeln weicht das Ergebnis meist stärker von der Erwartung ab als mit 1000 Würfeln. *Bei kleinen Anzahlen wirkt der Zufall stärker.*	**richtig**
S	Ein Radonatom, das schon zwei Tage alt ist, zerfällt mit größerer Wahrscheinlichkeit als ein neues. *Kerne „altern“ nicht; die Zerfallswahrscheinlichkeit bleibt gleich.*	**falsch**
S	Temperatur und Druck beeinflussen, wie schnell Kerne zerfallen. *Die Umwandlungsgeschwindigkeit ist davon unabhängig (LGL Bayern).*	**falsch**
S	Ein Modellexperiment bildet wichtige Eigenschaften eines Vorgangs nach, aber nicht alle. *Darum muss man die Grenzen des Modells kennen.*	**richtig**
E	Nach 2 Würfen erwartet man von 600 Würfeln etwa 417. $600 \cdot (5/6)^2 = 416{,}7$	**richtig**
E	Mit Münzen (Wahrscheinlichkeit ½) wäre die Hälfte im Mittel schon nach einem Wurf übrig. *Größere Zerfallswahrscheinlichkeit → schnellere Abnahme.*	**richtig**

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Richtig oder falsch? – Aussagen prüfen (Fortsetzung)

Stufe	Aussage und Begründung	r/f
E	Nach doppelt so vielen Würfen sind doppelt so viele Würfel zerfallen. *Die Abnahme ist nicht linear; nach 4 Würfen bleiben 48 %, nach 8 Würfen 23 %.*	**falsch**
E	Würfelt man nach 3,8 Würfen weiter, halbiert sich die Anzahl in weiteren 3,8 Würfen wieder. *Die Halbierungszeit ist immer gleich – das ist die Idee der Halbwertszeit.*	**richtig**
E	Echte Kerne zerfallen nur zu festen Zeitpunkten, so wie Würfel nur beim Wurf. *Das ist eine Grenze des Modells: Kerne zerfallen zu jedem Zeitpunkt.*	**falsch**

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Abschlusstest

Nr.	Frage	Lösung
G1	Welcher Kern zerfällt als Nächstes?	**kann man nicht vorhersagen**
G2	Im Würfelmodell entspricht die Sechs …	**dem Zerfall eines Kerns**
G3	Wahrscheinlichkeit für eine Sechs:	**1/6**
G4	Von 60 Würfeln zerfallen im ersten Wurf im Mittel …	**10 Würfel**
G5	Mit der Zeit zerfallen pro Wurf …	**immer weniger Würfel**
G6	Die Hälfte von 100 Würfeln ist ungefähr übrig nach …	**etwa 4 Würfen**
G7	Ein Würfel im Modell steht für …	**einen Atomkern**
G8	Fachlich richtig:	**„Der Zeitpunkt des Zerfalls eines einzelnen Kerns ist zufällig."**
S1	Form der Abnahmekurve:	**zuerst steil, dann immer flacher**
S2	Wo weicht die Messung relativ stärker von der Erwartung ab?	**bei wenigen Würfeln**
S3	Von 120 Würfeln zerfallen im ersten Wurf im Mittel …	**20 Würfel**
S4	Kann ein alter Kern „müde" werden und eher zerfallen?	**nein – die Wahrscheinlichkeit bleibt gleich**
S5	Was entspricht in der Realität einem Wurf?	**einem Zeitabschnitt**
S6	Ändert Erhitzen die Zerfallsgeschwindigkeit?	**nein**
S7	100 Würfel: nach 1 Wurf 84 übrig, nach 2 Würfen 70. Wie viele zerfielen im 2. Wurf?	**14 Würfel**
S8	Fachlich richtig:	**„Bei vielen Kernen lässt sich statistisch gut vorhersagen, wie viele in einer Zeitspanne zerfallen."**

BEWERTUNG

8 Aufgaben je Stufe, je 1 Punkt. Ab 6 Punkten: Abzeichen und Zertifikat der Stufe.

MERKHILFE

Sechs = Zerfall (1/6)
Hälfte nach ≈ 3,8 Würfen
$N = N_0 \cdot (5/6)^n$

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Abschlusstest (Fortsetzung)

Nr.	Frage	Lösung
E1	Erwartung: 600 · $(5/6)^1$ = ?	**500 Würfel**
E2	Erwartung: 1000 · $(5/6)^3$ (ganze Zahl)?	**579 Würfel**
E3	Münzen (½): Von 400 nach 2 Würfen im Mittel übrig?	**100 Münzen**
E4	Theoretische Halbierungszeit beim Würfel (eine Nachkommastelle):	**3,8 Würfe**
E5	Grenze des Würfelmodells:	**Kerne zerfallen zu jedem Zeitpunkt, nicht in Schritten.**
E6	Warum wird die Kurve bei 1000 Würfeln glatter als bei 20?	**Zufallsschwankungen gleichen sich bei großen Anzahlen aus.**
E7	Größere Zerfallswahrscheinlichkeit bedeutet …	**schnellere Abnahme, kürzere Halbierungszeit**
E8	Fachlich richtig:	**„Die Zerfallswahrscheinlichkeit pro Zeitabschnitt ist für jede Kernart fest.“**

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.