

MATHE 364

10.11. Die ^{14}C -Methode

Text 1: Das Kohlenstoffisotop ^{14}C ist radioaktiv. Die Atome zerfallen mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren.

Text 2: Archäologen verwenden zur Altersbestimmung von Fundstücken die Radiokarbonmethode (^{14}C -Methode). Das 1946 von dem Chemiker Libby erfundene Verfahren nutzt aus, dass alle Lebewesen Kohlenstoffatome enthalten.

Pflanzen atmen Kohlenstoffdioxid (CO_2) ein und stellen daraus zusammen mit Wasser und Energie aus dem Sonnenlicht Zucker her (Photosynthese). Wenn ein Baum abstirbt, kann kein neuer Kohlenstoff mehr in das Holz eingebaut werden. Es ist wie der Start einer Stoppuhr: Die radioaktiven ^{14}C -Atome in dem organischen Material zerfallen, keine neuen kommen hinzu. Man sagt, „die ^{14}C -Uhr wird gestartet“.

Wenn in einer archäologischen Probe organisches Material gefunden wird, dann ist der Anteil des radioaktiven Isotops ^{14}C darin geringer als in lebendem Gewebe, weil der ^{14}C -Anteil mit dem Alter der Probe exponentiell abnimmt. ^{14}C zerfällt mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren durch β -Zerfall wieder zu ^{14}N , einem Elektron und einem Antineutrino.

In der Natur kommen drei Isotope des Kohlenstoffs vor: ^{12}C , ^{13}C und ^{14}C . Nur ^{14}C ist radioaktiv. Alles ^{14}C auf der Erde wäre längst zerfallen, wenn dieser Stoff nicht ständig durch Strahlung in den oberen Luftschichten aus Stickstoff ^{14}N neu gebildet würde. Der Anteil von ^{14}C ist seit Millionen von Jahren konstant und extrem klein: Eine Tonne Kohlenstoff enthält lediglich $1\ \mu\text{g}\ ^{14}\text{C}$.

- a) Frage** jeweils **ein**, ob zum Lösen der Aufgabe Text 1 oder Text 2 erforderlich ist.
Wahlaufgabe: Bearbeite *eine* der Aufgaben **b)**, **c)**, **d)** oder **e)**.
- b)** Text ☐ Eine Holzprobe enthält 2,5 Millionen Atome des radioaktiven Isotops ^{14}C .
Berechne, wie die Anzahl durch den radioaktiven Zerfall in den nächsten Jahrtausenden abnimmt. **Stelle** die Werte in einer Tabelle oder graphisch **dar**.
- c)** Text ☐ Eine winzige Holzprobe wiegt 1 mg und enthält 50 % Kohlenstoff, das sind $2,5 \cdot 10^{19}$ Atome. In frischem Holz wären 25 Millionen ^{14}C -Atome enthalten. Die Messung ergibt nur ca. 2,5 Mio ^{14}C -Atome. **Berechne** das Alter der Probe.
- d)** Text ☐ Eine winzige Holzprobe enthält $2,5 \cdot 10^{19}$ Kohlenstoffatome. Eine Messung weist nach, dass darunter ca. $2,5 \cdot 10^6$ Atome des radioaktiven Isotops ^{14}C sind. **Berechne** das Alter der Probe.
- e)** Text ☐ Der ^{14}C -Anteil in einer Kohlenstoffprobe beträgt $1 \cdot 10^{-13}$.
Berechne das Alter der Probe.

Text 1: Das Kohlenstoffisotop ^{14}C ist radioaktiv. Die Atome zerfallen mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren.

Text 2: Archäologen verwenden zur Altersbestimmung von Fundstücken die Radiokarbonmethode (^{14}C -Methode). Das 1946 von dem Chemiker Libby erfundene Verfahren nutzt aus, dass alle Lebewesen Kohlenstoffatome enthalten.

Pflanzen atmen Kohlenstoffdioxid (CO_2) ein und stellen daraus zusammen mit Wasser und Energie aus dem Sonnenlicht Zucker her (Photosynthese). Wenn ein Baum abstirbt, kann kein neuer Kohlenstoff mehr in das Holz eingebaut werden. Es ist wie der Start einer Stoppuhr: Die radioaktiven ^{14}C -Atome in dem organischen Material zerfallen, keine neuen kommen hinzu. Man sagt, „die ^{14}C -Uhr wird gestartet“.

Wenn in einer archäologischen Probe organisches Material gefunden wird, dann ist der Anteil des radioaktiven Isotops ^{14}C darin geringer als in lebendem Gewebe, weil der ^{14}C -Anteil mit dem Alter der Probe exponentiell abnimmt. ^{14}C zerfällt mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren durch β -Zerfall wieder zu ^{14}N , einem Elektron und einem Antineutrino.

In der Natur kommen drei Isotope des Kohlenstoffs vor: ^{12}C , ^{13}C und ^{14}C . Nur ^{14}C ist radioaktiv. Alles ^{14}C auf der Erde wäre längst zerfallen, wenn dieser Stoff nicht ständig durch Strahlung in den oberen Luftschichten aus Stickstoff ^{14}N neu gebildet würde. Der Anteil von ^{14}C ist seit Millionen von Jahren konstant und extrem klein: Eine Tonne Kohlenstoff enthält lediglich $1 \mu\text{g } ^{14}\text{C}$.

- a) Frage** jeweils **ein**, ob zum Lösen der Aufgabe Text 1 oder Text 2 erforderlich ist.
- Text 1 gibt lediglich die Halbwertszeit an.
Text 2 erklärt die ^{14}C -Methode. Entscheidend sind dabei zwei Informationen:
 - der Anteil des radioaktiven ^{14}C in einer frischen Kohlenstoffprobe („beim Start“),
 - dass die ^{14}C -Uhr beim Absterben der Pflanze in Gang gesetzt wird („Start“).
- b) Text 1** Eine Holzprobe enthält 2,5 Millionen Atome des radioaktiven Isotops ^{14}C . **Berechne**, wie die Anzahl durch den radioaktiven Zerfall in den nächsten Jahrtausenden abnimmt. **Stelle** die Werte in einer Tabelle oder graphisch **dar**.
- c) Text 1** Eine winzige Holzprobe wiegt 1 mg und enthält 50 % Kohlenstoff, das sind $2,5 \cdot 10^{19}$ Atome. In frischem Holz wären 25 Millionen ^{14}C -Atome enthalten. Die Messung ergibt nur ca. 2,5 Mio ^{14}C -Atome. **Berechne** das Alter der Probe.
- d) Text 2** Eine winzige Holzprobe enthält $2,5 \cdot 10^{19}$ Kohlenstoffatome. Eine Messung weist nach, dass darunter ca. $2,5 \cdot 10^6$ Atome des radioaktiven Isotops ^{14}C sind. **Berechne** das Alter der Probe. **erforderlich:** ^{14}C -Anteil beim Start
- e) Text 2** Der ^{14}C -Anteil in einer Kohlenstoffprobe beträgt $1 \cdot 10^{-13}$. **Berechne** das Alter der Probe. **erforderlich:** ^{14}C -Anteil beim Start

b) Text **1** Eine Holzprobe enthält 2,5 Millionen Atome des radioaktiven Isotops ^{14}C .

Berechne, wie die Anzahl durch den radioaktiven Zerfall in den nächsten Jahrtausenden abnimmt. **Stelle** die Werte in einer Tabelle oder graphisch **dar**.

Am einfachsten ist es, die Zeit in Vielfachen von 5730 Jahren anzugeben.

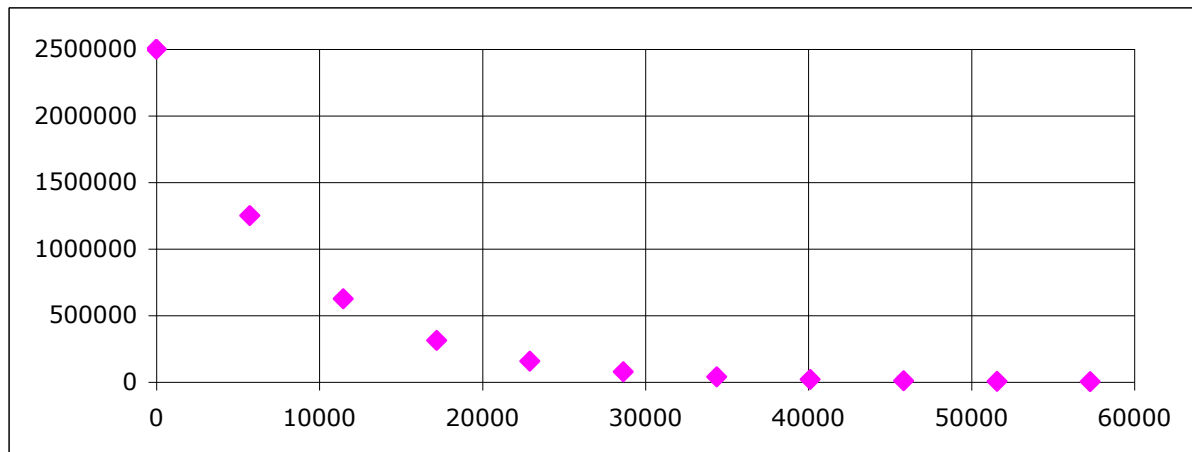
Die Tabelle und die Graphik wurden mit der Tabellenkalkulation erstellt und nur für das Layout dieser Seite geringfügig formatiert, z. B. kein grauer Hintergrund.

Zeile 1: Anzahl Halbwertszeiten

Zeile 2: Zeit in Jahren

Zeile 3: Anzahl der verbliebenen radioaktiven Atome, auf Ganze gerundet

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	5730	11460	17190	22920	28650	34380	40110	45840	51570	57300
2,5 Mio	1,25 Mio	625000	312500	156250	78125	39063	19531	9766	4883	2441



c) Text **1** Eine winzige Holzprobe wiegt 1 mg und enthält 50 % Kohlenstoff, das sind $2,5 \cdot 10^{19}$ Atome. In frischem Holz wären 25 Millionen ^{14}C -Atome enthalten. Die Messung ergibt nur ca. 2,5 Mio ^{14}C -Atome. **Berechne** das Alter der Probe.

2,5 Mio sind ein Zehntel von 25 Millionen. Es ist also die Zeit gesucht, in der der Anteil der radioaktiven Atome auf ein Zehntel des Startwerts abgenommen hat.

$$0,5^x = \frac{1}{10}$$

$$x = \log_{0,5}(0,1) \approx 3,32 \quad 3,32 \cdot 5730 \approx 19024$$

Man kann auch die Zeit berechnen, in der die Anzahl der radioaktiven Atome von 25 Mio auf 2,5 Mio gesunken ist. Das führt auf die gleiche Rechnung.

$$(25 \cdot 10^6) \cdot 0,5^x = 2,5 \cdot 10^6 \quad | : (25 \cdot 10^6)$$

$$\Leftrightarrow 0,5^x = 0,1$$

$$x = \log_{0,5}(0,1) \approx 3,32 \quad 3,32 \cdot 5730 \approx 19024$$

Mit dem Logarithmus wird die Anzahl der Halbwertszeiten berechnet. Diese Angabe wird durch Multiplizieren mit der Halbwertszeit in Jahre umgerechnet.

- d) Text **2** Eine winzige Holzprobe enthält $2,5 \cdot 10^{19}$ Kohlenstoffatome. Eine Messung weist nach, dass darunter ca. $2,5 \cdot 10^6$ Atome des radioaktiven Isotops ^{14}C sind.

Berechne das Alter der Probe. erforderlich: ^{14}C -Anteil in einer frischen Probe

Information im Text: Anteil $1 \mu\text{g}$ in 1 t , also $1 \cdot 10^{-6} \text{ g} : 1 \cdot 10^6 \text{ g} = 1 \cdot 10^{-12}$

Beim Start der ^{14}C -Uhr, also in einer frischen Kohlenstoffprobe, beträgt der Anteil der ^{14}C -Atome an der Gesamtzahl der Atome $1 \cdot 10^{-12}$.

Aus der Gesamtzahl $2,5 \cdot 10^{19}$ Kohlenstoffatome und dem ^{14}C -Anteil $1 \cdot 10^{-12}$ berechnet man die Anzahl der ^{14}C -Atome $2,5 \cdot 10^{19} \cdot 1 \cdot 10^{-12} = 2,5 \cdot 10^7$, das sind 25 Millionen. Der Anteil der radioaktiven Atome ist auf ein Zehntel des Startwerts gesunken.

$$0,5^x = \frac{1}{10}$$

$$x = \log_{0,5}(0,1) \approx 3,32 \quad 3,32 \cdot 5730 \approx 19024$$

Die Lösung der Gleichung gibt die Anzahl der Halbwertszeiten an und wird durch Multiplizieren mit der Halbwertszeit in Jahre umgerechnet.

- e) Text **2** Der ^{14}C -Anteil in einer Kohlenstoffprobe beträgt $1 \cdot 10^{-13}$.

Berechne das Alter der Probe. erforderlich: ^{14}C -Anteil in einer frischen Probe

Information im Text: Anteil $1 \mu\text{g}$ in 1 t , also $1 \cdot 10^{-6} \text{ g} : 1 \cdot 10^6 \text{ g} = 1 \cdot 10^{-12}$

Beim Start ^{14}C -Uhr, also in einer frischen Kohlenstoffprobe, beträgt der Anteil der ^{14}C -Atome an der Gesamtzahl der Atome $1 \cdot 10^{-12}$.

Dieser Anteil ist in der Probe auf ein Zehntel des Startwerts gesunken.

$$0,5^x = \frac{1}{10}$$

$$x = \log_{0,5}(0,1) \approx 3,32 \quad 3,32 \cdot 5730 \approx 19024$$

Die Lösung der Gleichung gibt die Anzahl der Halbwertszeiten an und wird durch Multiplizieren mit der Halbwertszeit in Jahre umgerechnet.