

Die folgenden Seiten sind Ergänzungen / Änderungen für die Seiten 166-170 aus dem Taschenbuch Allgemeine und Technische Chemie für Ingenieure.

Technische Chemie	FB 6	Gerhard-Mercator-Universität	A. Schönbacher
Allgemeine Chemie			Blatt: 2 - 101

● **Altersbestimmung (für Kohlenstoff-haltige Substanzen) mit ^{14}C (Radiokohlenstoff-Datierung)**

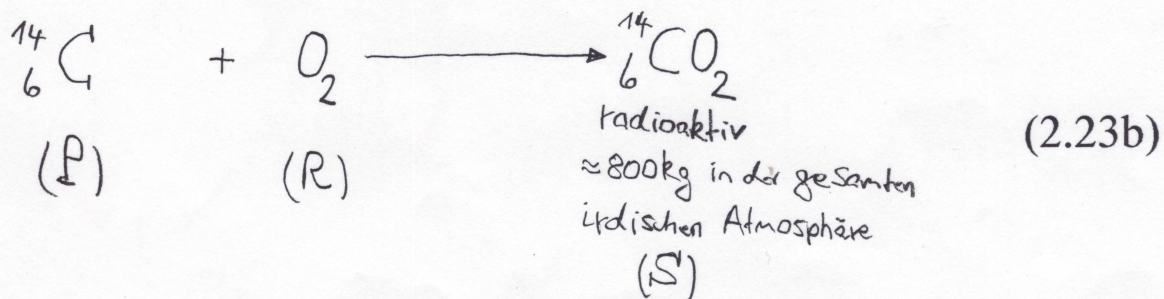
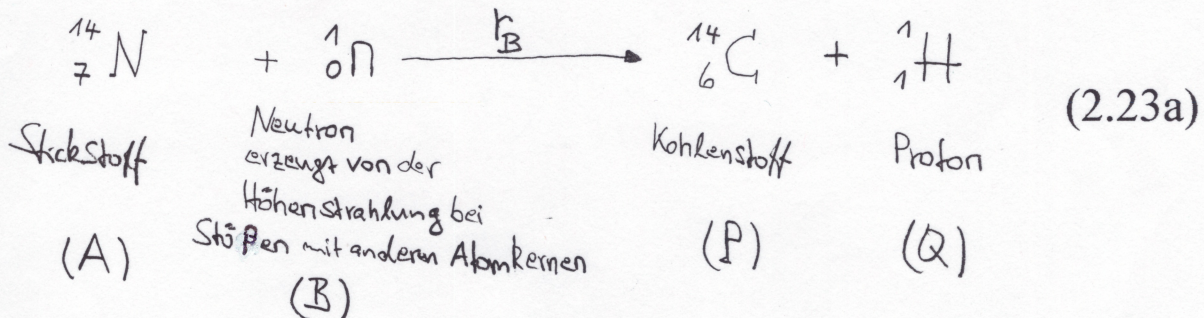
Voraussetzungen:

○ $\tau_{1/2} (^{14}_6\text{C}) = 5730 \text{ a} = \text{const.};$

$\tau_{1/2}$ muß im Vergleich zum Alter t_E *ausreichend* groß sein

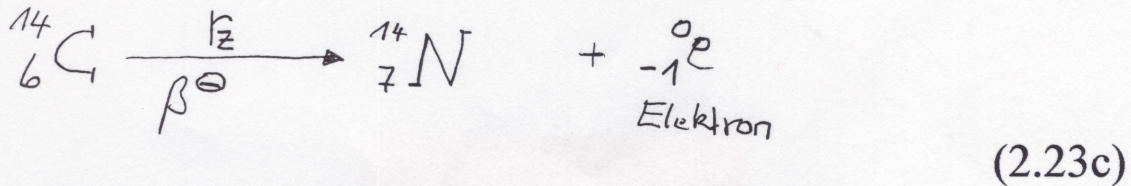
- der $^{14}_6\text{C}$ -Anteil (als CO_2) in der **Atmosphäre** ist über **Jahrtausende** konstant geblieben (gewisse Schwankungen des $^{14}_6\text{C}$ -Gehalts im Verlauf von Jahrhunderten wurden durch Abzählen von Jahresringen alter Bäume und Messung deren $^{14}_6\text{C}$ -Aktivität festgestellt)
- Gleichgewicht Gl.(2.23d) ist eingestellt.*
bisher max. 10%

Bildung des radioaktiven Nuklids $^{14}_6\text{C}$ in der Atmosphäre:



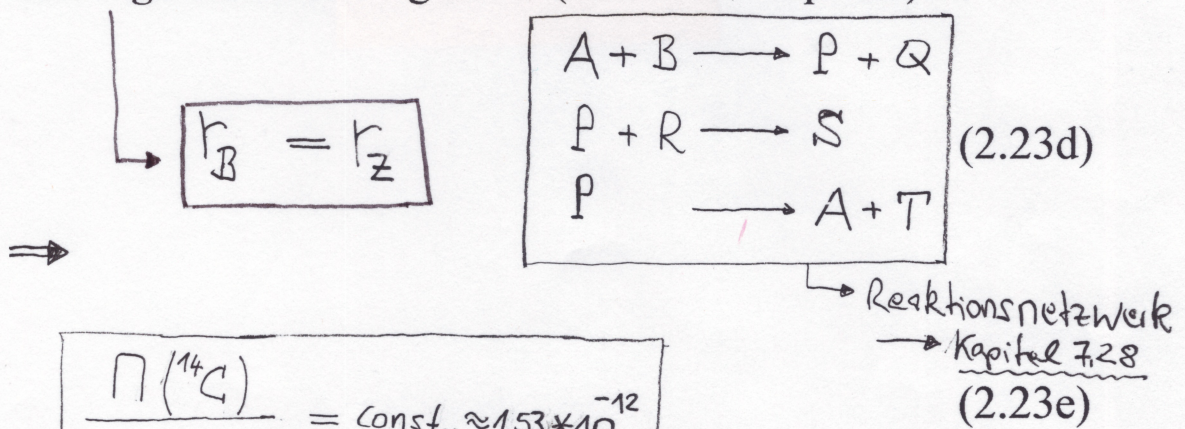
r_B : Bildungsgeschwindigkeit des $^{14}_6\text{C}$

β^- -Zerfall des radioaktiven Nuklids $^{14}_6\text{C}$ in der Atmosphäre:



r_Z : Zerfallsgeschw. des $^{14}_6\text{C}$

Gleichgewicht ist eingestellt (in der Atmosphäre):



$$\frac{n(^{14}\text{C})}{n(^{12}\text{C})} = \text{const.} \approx 1.53 \times 10^{-12}$$

→ Stoffmengenanteil ^{14}C im Kohlenstoff ^{12}C

für $m = 1 \text{ g } ^{14}\text{C}$: $a'(^{14}\text{C}) \equiv a_0(^{14}\text{C}) = 1.63 \times 10^{11} \text{ Bq/g } ^{14}\text{C}$

für $m = 1 \text{ g } ^{12}\text{C}$: $a'(^{14}\text{C}) \equiv a_0(^{14}\text{C}) = 0.25 \text{ Bq/g } ^{12}\text{C}$
(enthält $1.53 \times 10^{-12} \text{ g } ^{14}\text{C}$)

- *W.F. Libby (ab 1947):* Altersbestimmungen (exp. Überprüfung geschichtlicher und vorgeschichtlicher Zeitangaben) zwischen:

$300 \lesssim t_E \lesssim 60.000 \text{ a}$

möglich

(Fehlergrenze im Mittel 5%)

Technische Chemie	FB 6	Gerhard-Mercator-Universität	A. Schönbacher
Allgemeine Chemie			Blatt: 2 -103

⇒ Alterbestimmungen für $t_E \gtrsim 60.000$ a sind also mit der ^{14}C -Methode **nicht** möglich

die **Grenzen** der Methode lassen sich mit Gl. (2.24) erklären:

infolge der derzeitigen Empfindlichkeitsgrenze von $\frac{a(t_E)}{a_0} = \frac{a(t_E)}{a_0 m_0} \approx$
 $\approx \frac{10^{-3} \text{ Bq}}{0.25 \text{ Bq/g} \times 10^3 \text{ g}} \approx 4 \times 10^{-6}$ ist mit $\tau_{1/2} (^{14}\text{C}) = 5730 \text{ a}$:

$$t_{E, \text{max}} = \frac{\ln 4 \times 10^{-6}}{-0.693} \cdot 5730 \text{ a} \approx 103.000 \text{ a (theoretisch)}$$

Prinzip: Über die Fotosynthese wird $^{14}\text{CO}_2$ in das pflanzliche Gewebe sowie über die Nahrungskette auch in das tierische Gewebe eingebaut: ⇒

in einer **lebenden** Pflanze oder einem **lebenden** Tier ist der Anteil ($\approx 10^{-12}$) an ^{14}C gleich groß wie in der Atmosphäre

nach **Tod** des Organismus findet kein Austausch des Kohlenstoffs mit der Umgebung mehr statt:

⇒ der Gehalt an ^{14}C nimmt ständig, mit **konstantem** $\tau_{1/2}$, ab:

⇒ aus dem Gehalt an ^{14}C im toten Gewebe und im lebenden Organismus sowie mit $\tau_{1/2} (^{14}\text{C}) = 5730 \text{ a}$ wird der Zeitpunkt des Todes (Alter) des Lebewesens bestimmt:

Technische Chemie	FB 6	Gerhard-Mercator-Universität	A. Schönbacher
Allgemeine Chemie			Blatt: 2-104

$$a_0 \equiv N_0 \equiv \text{const} \equiv N(\text{lebend bzw. neu})$$

$$a(t) \equiv N(t) \neq \text{const.} \equiv N(\text{tot bzw. alt}) \Rightarrow \text{nach Gl. (2.22c)}$$

für $t = t_E$: "Alters-Gleichung" der ^{14}C -Methode

$$t_E = \frac{\ln \frac{a(t_E)}{a_0}}{-0.693} T_{1/2} (^{14}\text{C}) \quad (2.24)$$

Alter bzw. Zeitpunkt der Messung des ^{14}C -Gehalts der Probe

⊗ von Bl. 2-101 Zeitliche Schwankungen des ^{14}C -Anteils, bedingt durch:

- Modulation der kosmischen Strahlung infolge Sonnenaktivität, s. Gl. (2.23a).
 - Veränderungen des geomagnetischen Dipolfeldes, führt zu einer Beeinflussung der ^{14}C -Produktionsrate bis um den Faktor 3.
 - Suess-Effekt (Einfluss der Industrialisierung - CO_2 -Anstieg - auf ^{14}C -Gehalt).
 - Atombombentests-Effekt (1945-1963): starke Erhöhung des ^{14}C -Anteils, fallend.
 - Reservoir-Effekt (Konz. von ^{14}C des zu datierenden Objekts ist nicht ^{14}C -Anteil in der Atmosphäre).
 - Kontamination der Probe mit Stoffen aus einem anderen Radiokohlenstoffalter.
 - Effekte infolge der Zyklen von Sonnenflecken sowie Schwankungen des Erdmagnetfeldes (führen zu erheblichen ^{14}C -Schwankungen)
- ⇒ Entwicklung (ab Ende der 1950er Jahre) von Kalibrationskurven zur Kalibrierung von ^{14}C -Radiometern mit dem realen ^{14}C -Anteil zu Lebzeiten des organischen Probenmaterials; führt zu Abweichungen von bis zu mehreren 1000 Sonnenjahren.

Technische Chemie	FB 6	Gerhard-Mercator-Universität	A. Schönbacher
Allgemeine Chemie			Blatt: 2 -105

○ **Beispiel:** *gegeben:* in einem **alten Holzstück** wurde eine Aktivität $a^1 = 9$ $^{14}_6\text{C}$ -Zerfälle pro Minute und pro 1 g Kohlenstoff gemessen

in **frisch geschlagenen Holz** wird eine Aktivität $a^1 = 15$ $^{14}_6\text{C}$ -Zerfälle pro Minute und 1 g Kohlenstoff gemessen

$$\tau_{1/2} (^{14}_6\text{C}) = 5730 \text{ a}$$

gesucht: Alter t_E des alten Holzstücks?

Lösung: $a_0^1 = 15$ (*frisch* \downarrow *geschlagenes Holz*)

(= *const.*, d.h. wie bei der *Bildung* des *alten* Holzes vor vielen Jahrhunderten)

$a^1(t_E) = 9$: die nach Ablauf der *Zeit* $t = t_E$ (*Alter* t_E des Holzes) vorhandene Aktivität

\Rightarrow mit Gl. (2.24):

$$\begin{aligned} \underline{t_E} &= \frac{\tau_{1/2} \ln \frac{a^1(t_E)}{a_0^1}}{-0.693} \\ &= \frac{5730 \ln(9/15)}{-0.693} \text{ a} \\ &= \underline{\underline{4.2 \times 10^3 \text{ a}}} \end{aligned}$$