

Nebelkammer zur Bestimmung der Radon-Konzentration

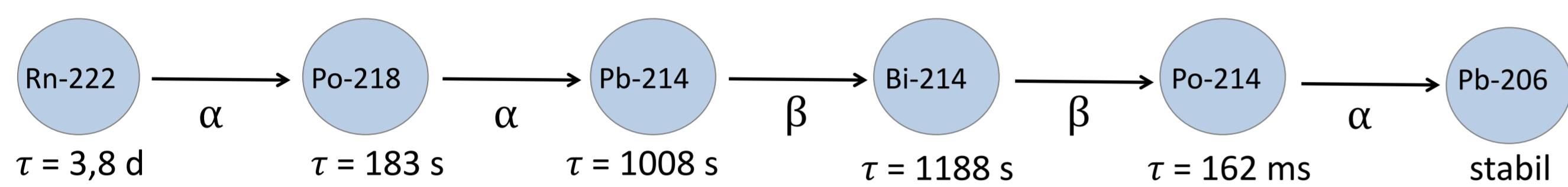
SOWAS Gruppe E:

Yannic Säck, Francisca Soto Bravo, Ahmed Youssef
 Projektleiter: Alexander Bötdecker

1. Motivation

Radon ist ein natürliches radioaktives Edelgas, welches aus dem Boden in die Umgebungsluft diffundiert. Da es geruch-, geschmack- und farblos ist, wird es hauptsächlich durch seinen Zerfall nachgewiesen. Dieser wird in einer Diffusionsnebelkammer, welche heutzutage hauptsächlich zu Anschauungszwecken verwendet werden, untersucht. Aus den detektierten Teilchen wird die Radonkonzentration in der Luft bestimmt und dieser Wert wird mit dem des Radonmessgeräts „AlphaGUARD“ verglichen. Ausgehend davon wird diskutiert, wie gut Nebelkammern für quantitative Messungen geeignet sind. Es wird untersucht, bei welcher Heiztemperatur eine Nebelkammer optimale Ergebnisse liefert.

2. Grundlagen zum Zerfall des Radons



Aus dem Boden diffundieren Rn-220 mit einer Halbwertszeit von $\tau = 55 \text{ s}$, Rn-219 mit einer Halbwertszeit von $\tau = 4 \text{ s}$ und Rn-222 mit einer Halbwertszeit von $\tau = 3,8 \text{ d}$ [1]. Daher sind Rn-222 und seine Tochterkerne die Hauptquellen der Strahlenbelastung durch Radon. Die Anzahl der Rn-222 Kerne zum Zeitpunkt t lässt sich wie folgt durch das Zerfallsgesetz beschreiben:

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t) \quad (1)$$

mit der Zerfallskonstanten: $\lambda = \frac{\ln(2)}{\tau} \quad (2)$

Die Aktivität bestimmt sich zu:

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N_0 \exp(-\lambda t) \quad (3)$$

5. Theorie zum Sättigungsdampfdruck

Beim Sättigungsdampfdruck befinden sich die flüssige (l) und die gasförmige (g) Phase im Gleichgewicht. Das Volumen, das den beiden Phasen zur Verfügung steht, hat keinen Einfluss auf den Sättigungsdampfdruck. Aufgrund des Gleichgewichts, besitzen die beiden Phasen das gleiche chemische Potential μ . [3]

$$\mu_l = \mu_g \Rightarrow d\mu_l = d\mu_g \quad (4)$$

Die Änderung des chemischen Potentials wird durch die Gibbs-Duhem-Gleichung beschrieben:

$$d\mu = -S_m dT + V_m dP \quad (5)$$

Hier ist S_m die molare Entropie, V_m das molare Volumen, P der Druck und T die Temperatur. Eingesetzt in (5) liefert es die Clapeyronsche Gleichung [4]:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta S_m}{\Delta V_m} \quad (6)$$

wobei $\Delta S_m = S_{mg} - S_{ml} = \frac{\Delta H_m}{T}$ und $\Delta V_m = V_{mg} - V_{ml}$ gilt und ΔH_m die molare Verdampfungsenthalpie (entspricht der latenten Wärme L_v) ist.

Mit $V_{mg} \gg V_{ml}$, sodass $\Delta V_m \approx V_{mg}$, und mit der Annahme, dass Ethanolgas ein ideales Gas ist, d.h. es gilt $PV_{mg} = RT$, erhält man als Lösung der Gleichung:

$$\begin{aligned}
 P &= P_0 \exp\left\{\frac{L_v}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right\} \\
 \Leftrightarrow T &= \left[\frac{1}{T_0} - \frac{R}{L_v} \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)\right]^{-1} \quad (7)
 \end{aligned}$$

wobei T_0 und P_0 ein Wertepaar des Sättigungsdampfdrucks, welches man der Literatur entnehmen kann, und R die Gaskonstante ist [5]. Die Temperatur bei der der Sättigungsdampfdruck 1 bar entspricht und bei der somit am meisten Ethanol verdampft, berechnet sich mit $L_v = 40,5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$, $T_0 = 299,3 \text{ K}$, $P_0 = 80 \text{ hPa}$ und $P = 1000 \text{ hPa}$ zu

$$T = 354,3 \text{ K} \approx 81,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

8. Referenzen

- [1] Nuklidkarte des KAERI: <http://atom.kaeri.re.kr/nuchart/?zlv=2> (Stand: 19.06.2018)
- [2] Bedienungsanleitung der Diffusionsnebelkammer von Phywe: <https://repository.curriculab.net/files/bedanl.pdf/09046.93/0904693d.pdf> (Stand: 12.06.2018)
- [3] T. Fließbach; Statistische Physik; Springer Spektrum; 2010
- [4] D. Etling; Theoretische Meteorologie; Springer; 2010
- [5] Chemieenzyklopädie Römpp: <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-05-01878> (Stand: 20.06.2018)

Das Einlesen dieses QR-Codes führt zu einem Beispielvideo unserer Messung, das zum Zählen der Alphazerfälle verwendet wurde.
<https://www.youtube.com/watch?v=ID-2kHuDDvQ>

3. Funktionsweise einer Diffusionsnebelkammer

In einer Diffusionsnebelkammer wird Alkohol (Isopropanol oder Ethanol) im beheizten oberen Teil der Kammer verdampft. Dieser diffundiert zum gleichmäßig gekühlten Kammerboden, wo sich eine dünne Schicht aus übersättigtem Alkoholdampf bildet. Geladene Teilchen, die diesen Bereich durchqueren, erzeugen entlang ihrer Flugbahn Ionen. An diesen kondensiert der Alkohol und es entstehen Nebelspuren. Die Eigenschaften dieser sichtbaren Spuren erlauben die Bestimmung der Teilchenart. Alphateilchen erzeugen dicke, gerade Spuren von ungefähr 5 cm Länge.

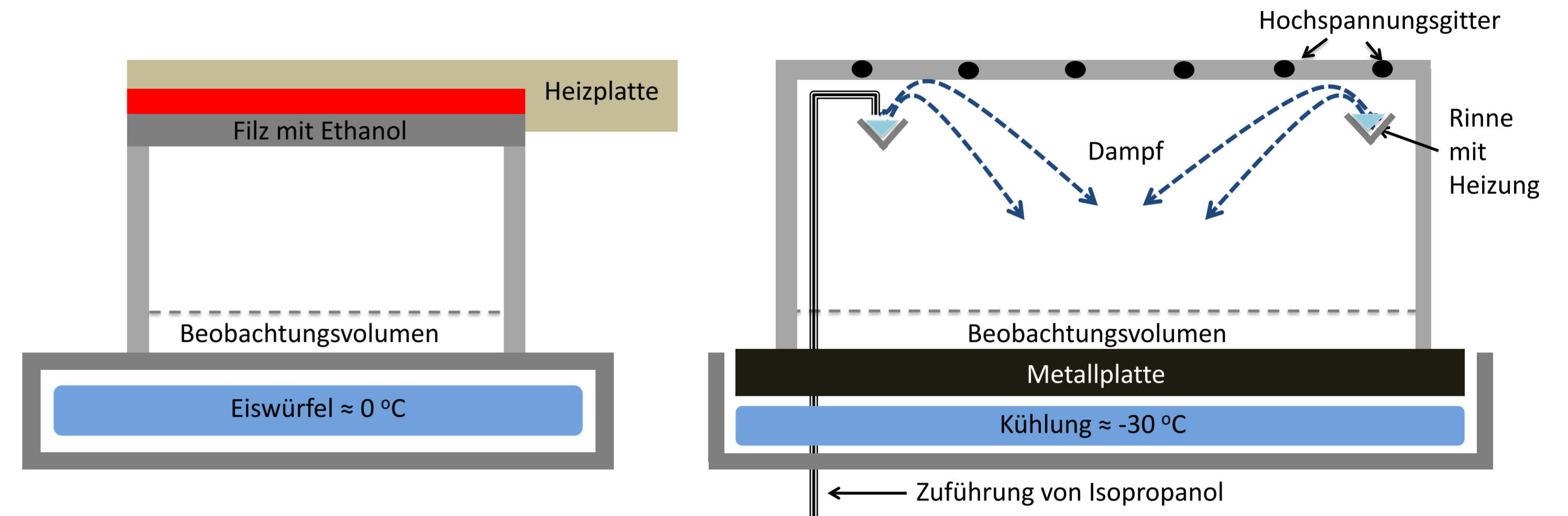


Abb. 1 Selbstgebaute Nebelkammer.

Abb. 2 Nebelkammer der Physksammlung [2].

4. Funktionsweise des AlphaGUARD

Der AlphaGUARD Radon-Monitor betreibt Alphaspektroskopie. Ein Luftvolumen passiert einen nur für Radon durchlässigen Filter und gelangt in eine Ionisationskammer. In dieser befindet sich ein elektrisches Potential. Alphateilchen ionisieren die Luft und der dadurch erzeugte Strom wird gemessen.

6. Ergebnisse

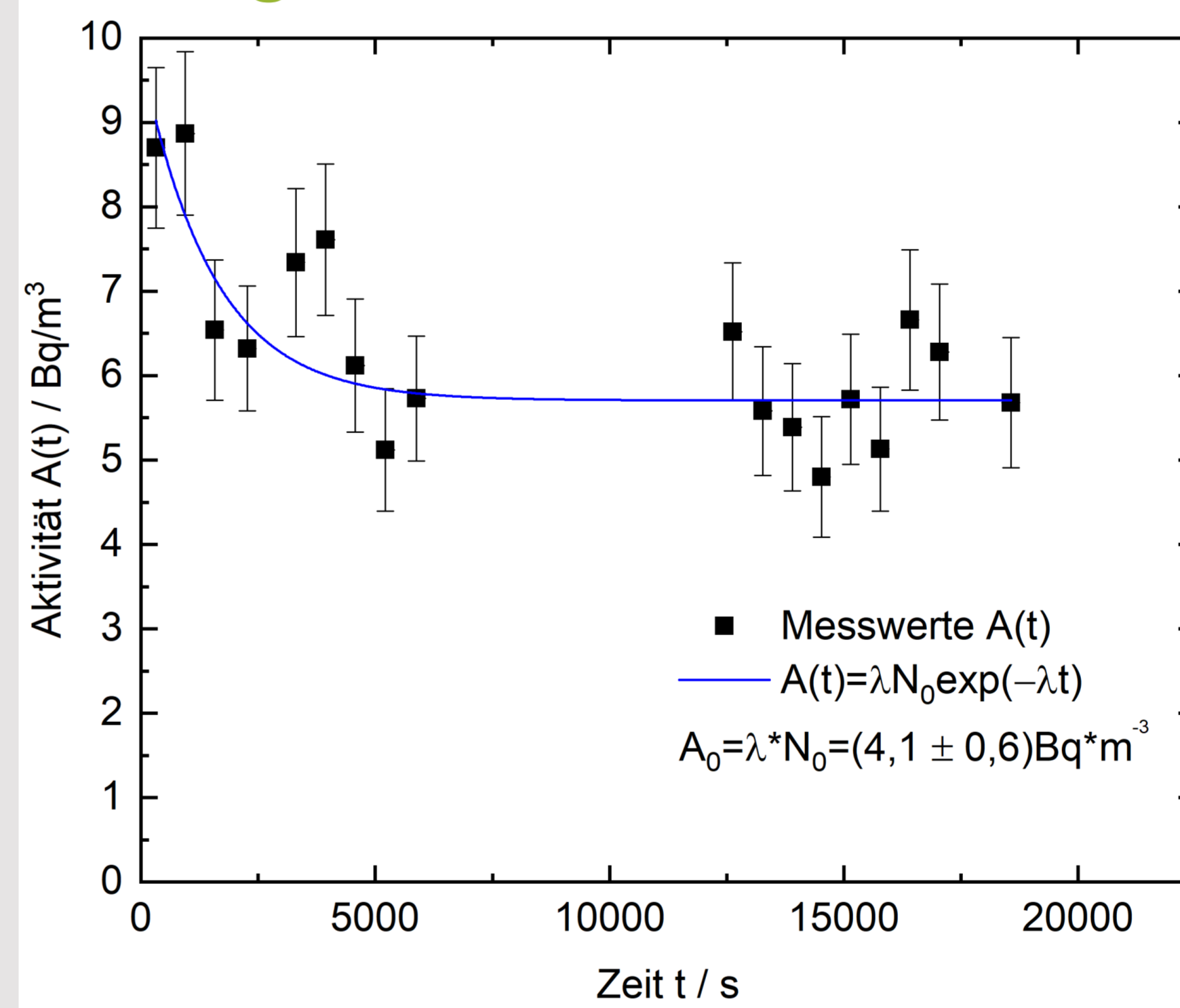


Abb. 3 Aktivität von Rn-222 in Abhängigkeit von der Zeit.

Die Nebelkammer wurde gefilmt, die Ereignisse pro Zeitintervall gezählt und anschließend die Aktivität pro Volumen geplottet. Dabei wurde angenommen, dass zu Beginn der Messung nur Rn-222 vorhanden war. Aus Abb. 1 ist zu erkennen, dass drei Alphazerfälle zu erwarten sind, sodass man ein Drittel der Zerfälle dem Radon zuordnen kann. Aufgrund fehlender Messwerte im Anfangsbereich des exponentiellen Abfalls wurden die ersten 4 Messwerte des Fits stärker gewertet als die anderen.

Daraus ergibt sich für die Radonkonzentration in der Luft der Wert:

$$N_0 = (1,95 \pm 0,29) \cdot 10^6 \frac{1}{\text{m}^3}$$

Mit dem AlphaGUARD wurde die Aktivität des Radons gemessen und daraus wurde folgender Wert nach (1) ermittelt:

$$N_0 = (1,4 \pm 1,0) \cdot 10^6 \frac{1}{\text{m}^3}$$

Mit der selbstgebauten Nebelkammer wurde die Temperatur des heißen Reservoirs variiert und es wurde qualitativ bestimmt, dass ab einer Temperatur zwischen $75 \text{ }^\circ\text{C}$ und $85 \text{ }^\circ\text{C}$ nicht mehr Ethanol verdampft.

7. Fazit

Abschließend stellt man fest, dass sich die Radonkonzentration in der Luft mit einer Nebelkammer bestimmen lässt und dieser Wert im Fehlerbereich des Wertes liegt, der durch den AlphaGUARD bestimmt wurde. Es muss aber berücksichtigt werden, dass der Fehler bei dieser Messung sehr groß war, da der AlphaGUARD für höhere Aktivitäten ausgelegt ist.

Der durch die Nebelkammer bestimmte Wert ist höher als der Vergleichswert, was sich dadurch erklären lässt, dass wir angenommen haben, dass zu Beginn der Messung kein Po-218 und kein Po-214 vorhanden waren.

Es ist jedoch zu beachten, dass die Genauigkeit des Ergebnisses schwer einzuschätzen ist, aufgrund der ungenauen Annahme, dass nur jeder dritte Alphazerfall dem Rn-222 zuzuordnen ist, dem großen Fehler durch die Poisson-Verteilung wegen der geringen Anzahl an Ereignissen und der Gewichtung der ersten vier Messdaten des Fits.

Die experimentell bestimmte Temperatur, ab der nicht mehr Ethanol verdampft, stimmt gut mit dem theoretisch ermittelten Wert überein.

9. Danksagung

Unser besonderer Dank gilt Herrn Ulrich und Herrn Domanski für die technische Unterstützung, dem RUBION für die Leihgabe des AlphaGUARD, der Physksammlung für die Leihgabe der Nebelkammer und unserem Projektleiter Alexander Bötdecker und Herrn Dr. Meyer für die Betreuung während des Projekts.