

Universität des Saarlandes, Radioaktivitätsmessstelle
Uniklinikum Gebäude 76, 66421 Homburg

Fa. Alfix A/S
z.Hd. Herrn Frank Pingel
H.C. Ørstedsvej 11-13

DK-6600 Kolding

**Der Leiter der
Radioaktivitäts-
messstelle**

Dr. Andreas Wöhr

Universitätsklinikum
Gebäude 76
66421 Homburg

Telefon (06841) 16-26229
Telefax (06841) 16-26525
Email andreas.woehr@uks.eu

Datum 8. April 2011

Prüfbericht

ZUR

Überprüfung auf Radondichtheit mittels Bestimmung des Radondiffusionskoeffizienten

an

„Alfix 1K und Alfix 2K“

1. Begriffsbestimmung „radondicht“

Derzeit existiert keine verbindliche Norm nach der ein Material als „radondicht“ bezeichnet werden kann. Ein Material kann nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft als relativ „radondicht“ bezeichnet werden, wenn seine Dicke mindestens der dreifachen Diffusionslänge von Radon im beprobten Material entspricht. Als „nicht radondicht“ bezeichnet werden muss ein Stoff, wenn die Materialdicke kleiner ist als die gemessene dreifache Diffusionslänge. Die Diffusionslänge wird aus der Messung des Diffusionskoeffizienten bestimmt.

Bei Probenkörpern mit Dicken von einigen Millimetern können mit der nachstehend beschriebenen hochempfindlichen Messanordnung sehr kleine Diffusionskoeffizienten bestimmt werden. Die Nachweisgrenze liegt bei $D = 1 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$. Liegt der Wert eines Diffusionskoeffizienten unter der Nachweisgrenze kann nur eine Mindestdicke angegeben werden, bei der das Material noch als „radondicht“ angesehen werden kann.

2. Begriffsbestimmung Diffusion

Die **Diffusion** (aus dem Lateinischen: *diffundere* „ausgießen, verstreuen, ausbreiten“) ist ein physikalischer Prozess, der auf der Eigenbewegung von Teilchen (im vorliegenden Fall Radon) beruhend, zu einer gleichmäßigen Verteilung von Teilchen zweier Stoffe führt. Am Ende dieses Prozesses sind die Stoffe vollständig durchmischt.

Sind die Teilchen ungleichmäßig verteilt, bewegen sich mehr Teilchen aus Bereichen hoher Konzentration in Bereiche geringer Konzentration als umgekehrt. Dadurch wird netto ein makroskopischer Stofftransport bewirkt.

Findet die Diffusion in einem abgeschlossenen System statt, bewirkt sie den Abbau von Konzentrationsunterschieden bis hin zur vollständigen Durchmischung. Durch eine poröse Wand oder eine Membran hindurch kann auch Diffusion erfolgen. Die Zeit die für die Diffusion erforderlich ist hängt vom Material und der Dicke der Membran ab. Aus der theoretischen Beschreibung der Diffusion lässt sich der Diffusionskoeffizient ableiten, der vom Material abhängt, nicht aber von dessen Dicke. Über die Zerfallskonstante¹ λ kann der Diffusionskoeffizient mit der Diffusionslänge R verknüpft werden. Es gilt der Zusammenhang:

$$R = \sqrt{\frac{D}{\lambda}} \quad (1)$$

Aus der Messung des Diffusionskoeffizienten D lässt sich mit Hilfe der obengenannten Gleichung die Diffusionslänge R ermitteln.

2. Experimentelle Bestimmung des Diffusionskoeffizienten

2.1. Entstehung des ^{222}Rn

Das für die spätere Bestimmung der Radondiffusionskonstanten benötigte Radonisotop ^{222}Rn (Halbwertszeit 3,825 Tage) entsteht durch radioaktiven Alpha-Zerfall aus dem Radiumisotop ^{226}Ra (Halbwertszeit 1600 Jahre). Das ^{222}Rn zerfällt wiederum über einen Alpha-Zerfall in das Poloniumisotop ^{218}Po .

2.2. Vorbereitung der Messung

Zur Vorbereitung der Messung der Diffusionskonstanten wird die Probe gut abgedichtet auf die untere von zwei Halbkugeln gelegt. Mittels einer Pumpe wird über einen Zeitraum von etwa 24 Stunden das in einer Radonquelle entstehende gasförmige Radonisotop ^{222}Rn mit der in der sich in der Kugel befindenden Luft durchmischt, bis das Radon gleichmäßig mit der Luft im Reservoir durchmischt ist. Desweiteren stellt sich ein konstanter Konzentrationsgradient zwischen dem Reservoir und der „freien“ Seite der Probe ein.

2.3. Durchführung der Messung

Zur Durchführung der eigentlichen Messung des Diffusionskoeffizienten wird auf die Probe eine Halbkugel aufgesetzt. Die beiden Halbkugeln mit der Probe in der Mitte werden zusammengedrückt, damit kein Gasaustausch mit der Umgebungsluft stattfinden kann. Anschließend werden die Detektoren, die zur Bestimmung der Radonkonzentration der jeweiligen Messkammer angeschlossen. In jeder Hälfte der Messkammer befindet sich in der

¹ Die Zerfallskonstante λ ist eine Eigenschaft, die von dem diffundierenden Teilchen abhängt sie beträgt im Fall von Radon $2,0797 \times 10^{-6} \text{ s}$.

Nähe der Probe ein Gitter, das auf einem positiven Hochspannungspotential (ca. 4000 V) liegt, während die zugehörige Kugelhälfte auf Erdpotential liegt.

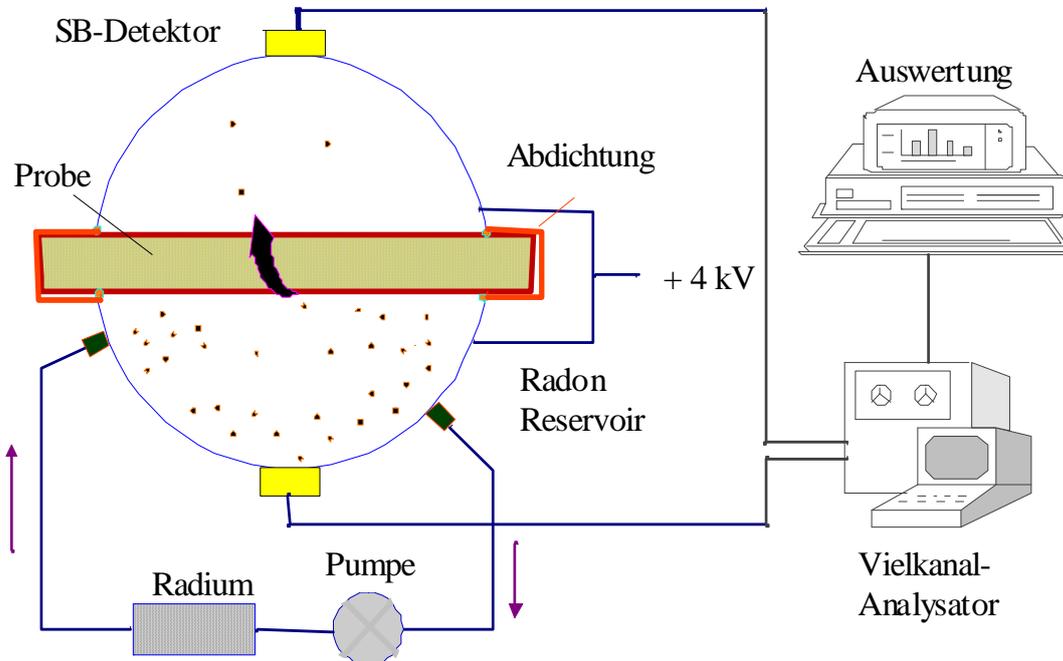


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Messung des Radondiffusionskoeffizienten. Die Erläuterung des Messvorgangs erfolgt im Text.

Zur Bestimmung der Radonkonzentration in der jeweiligen Halbkugel wird das, wie bereits im Abschnitt 2.1 erwähnt, aus dem Zerfall von ^{222}Rn entstandene Tochternuklid ^{218}Po , verwendet. Man nutzt dabei den Effekt aus, dass das beim Zerfall entstehende Tochternuklid ^{216}Po positiv geladen ist und sich auf dem Boden der jeweiligen Hälfte der Messkammer niederschlägt. Ein Teil der ^{216}Po -Nuklide wird auf dem Oberflächen-sperrschichtdetektor abgelagert und kann nachgewiesen werden. Während der Messung wird Mittels der Pumpe das Radon in der Probe andauernd mit der Luft im Reservoir vermischt.

Bedingt durch das Konzentrationsgefälle zwischen Reservoir und „freier“ Seite diffundiert das Radon durch die Probe auf die „freie“ Seite.

Zur Ermittlung der Diffusionskonstanten misst man die Radonkonzentration im Reservoir und die Radonkonzentration die, die Probe exhaliert, d.h. in den „freien“ Raum abgibt. Die Radonkonzentrationen werden über einen längeren Zeitraum in Stundenintervallen mit einem Computersystem gemessen.

2.4 Auswertung

Die gemessenen Alpha-Spektren werden für Reservoir- und Exhalationsseite ausgewertet: Auf dem auf diese Weise erhaltenen Zeitverlauf der Radonkonzentrationen wird mit Hilfe eines Computerprogramms die Exhalationsrate, sowie der Diffusionskoeffizient bestimmt. Unter Anwendung der Gleichung 1 wird die Diffusionslänge R bestimmt und es kann nach den in Absatz 1 genannten Kriterien entschieden werden, ob die Probe „radondicht“ ist oder nicht.

3. Messergebnis

Probe Nr.	Probenbezeichnung	Dicke (mm)	Diffusionskoeffizient (m ² /s)	Diffusionslänge (mm)	Ergebnis
1	Alfix 1K	0,8	1,1386 10 ⁻¹³	0,1974	radondicht
2	Alfix 2 K	0.8	4,3533 10 ⁻¹⁴	0,1447	radondicht

4. Erläuterung zum Messergebnis

Die vorliegenden Proben könne als **radondicht** bezeichnet werden.

Bei der Vorbereitung der Messung von beider Folien, hat sich in den Laborräumen vorhandenes Radon aufgrund elektrostatischer Aufladung auf den Folien niedergeschlagen. Daher musste mit der Messung gewartet werden, bis das auf der Oberfläche angelagerte Radon vollständig zerfallen war um eine fehlerfreie Messung zu erhalten.

Dr. Andreas Wöhr

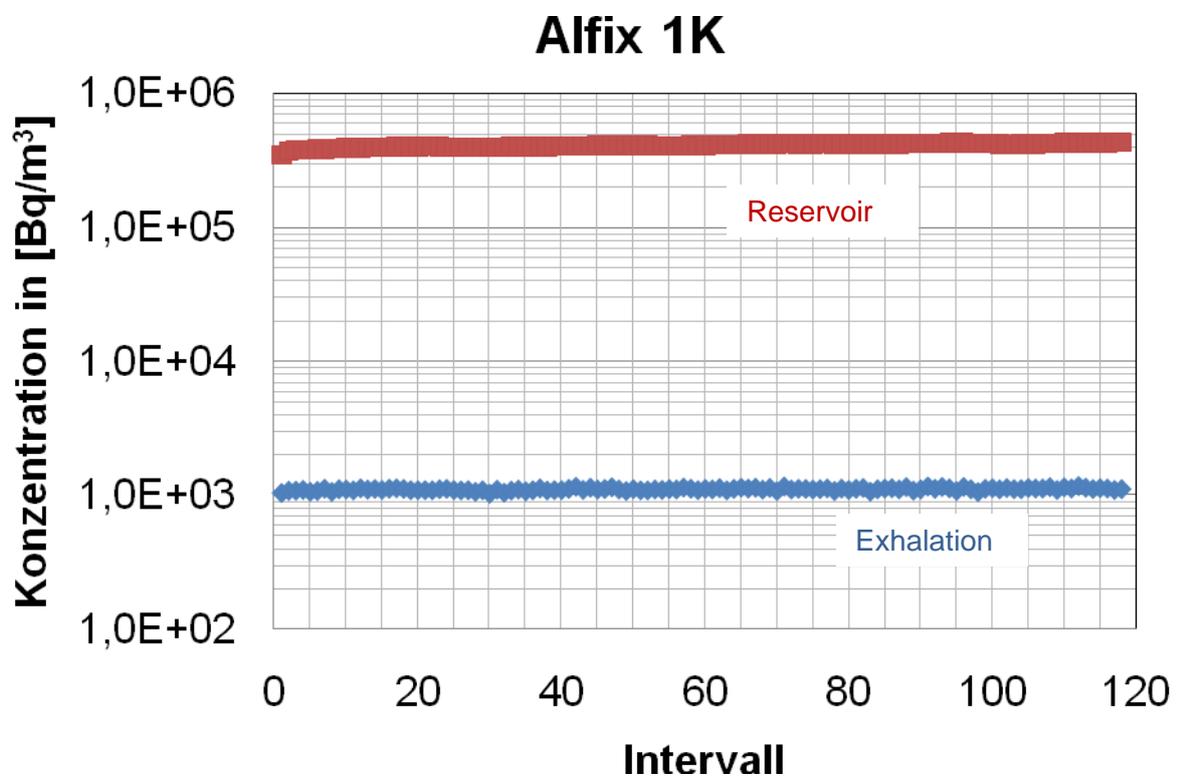
Dieser Bericht wurde von Herrn Dr. A. Wöhr erstellt. Die durchgeführten Untersuchungen und Messungen wurden nach bestem Wissen und Gewissen an den gelieferten und ausgezeichneten Proben durchgeführt. Für eine allgemeine Richtigkeit und Gültigkeit kann keine Haftung übernommen werden.

Anlage: Messprotokoll

Messprotokoll zur Bestimmung der Radon-Diffusionsrate

“Probe Alfix 1K”

Datum der Messung: 20. 1. 2011
 Dicke der Probe: 0,8 mm
 Exhalierende Fläche: 0,036 m²
 Messdauer pro Zyklus: 3600 s
 Ausgewertete Zyklen: 1- 118

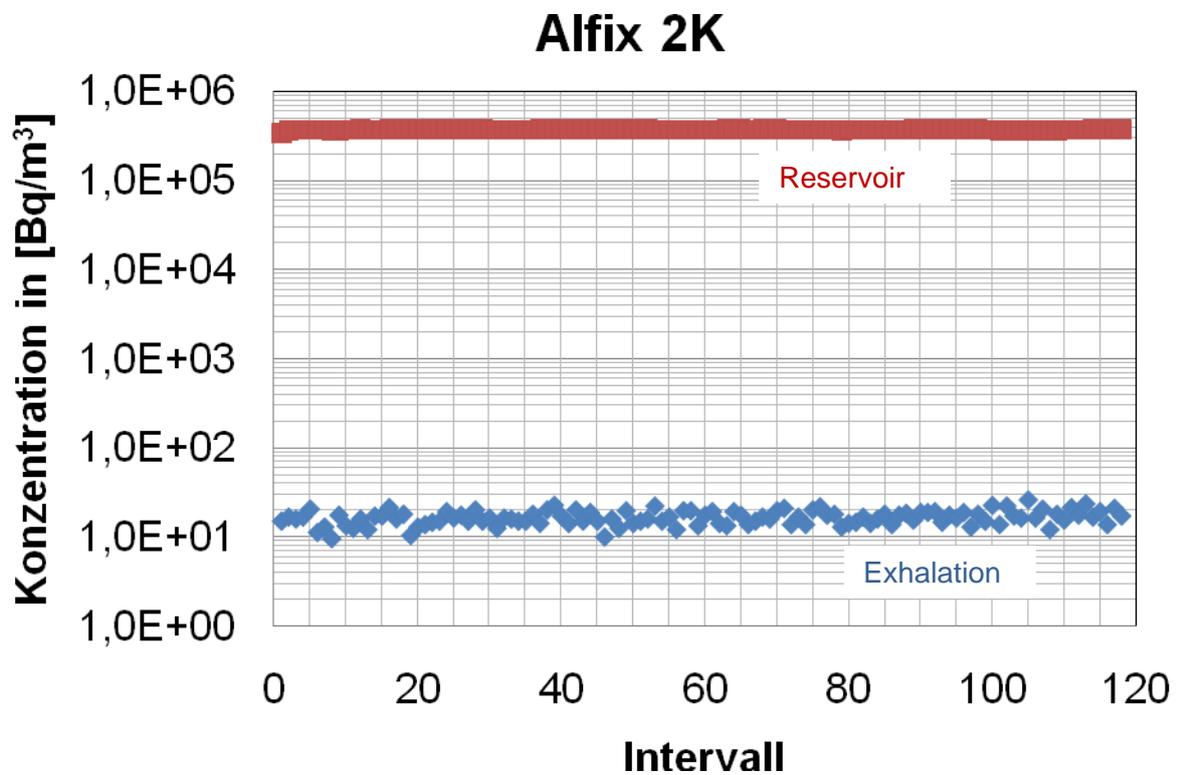


Exhalationsrate: $1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Bq/m}^2\text{s}$
 Diffusionskoeffizienten: $1,1386 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$
 Diffusionslänge: 0,2340 mm
 d/R: 3,418

Messprotokoll zur Bestimmung der Radon-Diffusionsrate

“Probe Alfix 2K”

Datum der Messung: 8. 3. 2011
 Dicke der Probe: 0,8 mm
 Exhalierende Fläche: 0,036 m²
 Messdauer pro Zyklus: 3600 s
 Ausgewertete Zyklen: 1- 166



Exhalationsrate: $8,9 \cdot 10^{-7} \text{ Bq/m}^2\text{s}$
 Diffusionskoeffizienten: $4,3533 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$
 Diffusionslänge: 0,1447 mm
 d/R: 5,289