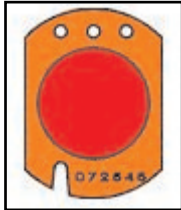


Details zum Kodalpha Radon-Dosimeter

I) Aufbau und Funktionsweise des Kodalpha Radon-Dosimeters

Das Kodalpha Radon-Dosimeter zählt zur Klasse der Kernspurdetektoren und der integrierenden Messmethoden, welche als Analysenwert die durchschnittliche Radonkonzentration über einen längeren Expositionszeitraum liefert.

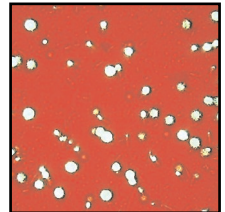
Aufbau:



Das Dosimeter ist eine kleine, schwarze Kassette. Der auf Radon sensible Teil des Dosimeters ist eine kleine Filmplakette, die an der Innenseite des aufklappbaren Dosimeterdeckels angebracht ist. Der von der Firma KODAK produzierte Film trägt die Typenbezeichnung LR115. Das Filmmaterial besteht aus einer 100 µm starken Trägerfolie aus Polyester, welche mit einer nur 12 µm dünnen, dunkelrot eingefärbten Nitrocelluloseschicht versehen ist. Dieser Film ist das Resultat von mehr als 25 Jahren Erfahrung der Firma KODAK im Bereich der Messung ionisierender Teilchenstrahlung.

Messprinzip:

Diese sehr dünne Nitrocelluloseschicht besitzt die Eigenschaft, dass durch das Auftreffen von α -Teilchen an den entsprechenden Stellen Schäden in der molekularen Struktur verursacht werden. Durch eine definierte Behandlung (Ätzung) mit verdünnter Natronlauge lassen sich diese Veränderungen sichtbar machen. Unter dem Mikroskop betrachtet, sind auf dem LR115 Filmmaterial nach der Entwicklung an den Stellen der Strahleneinwirkung Löcher erkennbar, deren Durchmesser zwischen 1 µm und 15 µm betragen.



Sowohl Radon selbst, als auch seine Tochternuklide Po-218 und Po-214 zerfallen unter Aussendung von α -Strahlung. Wird der LR115 Film einer radonhaltigen Atmosphäre ausgesetzt (exponiert), so hinterlassen die auf dem Film auftreffenden α -Teilchen eindeutig auswertbare Kernspuren. Die Anzahl der Spuren pro Quadratzentimeter hängt dabei von der Radonkonzentration, der Expositionsdauer und von der chemischen Behandlung ab. Beim offenen Messverfahren werden zudem die Radonzerfallsprodukte sowie Thoron und dessen Tochternuklide detektiert.

WICHTIG: Der LR115 Film ist unempfindlich gegenüber anderen Strahlungskomponenten wie β - und γ -Strahlung!

Energien der detektierten α -Teilchen:

Da die Reichweite von α -Teilchen in der Luft abhängig von Ihrer Energie ist und allgemein nur wenige Zentimeter beträgt, können sie nur dann detektiert werden, wenn sie innerhalb einer bestimmten Distanz von der Filmoberfläche entstehen. Für Rn-222 (α -Energie: 5,59 MeV) beträgt dieser Maximalabstand ca. 35 mm, für sein energiereichstes Zerfallsprodukt Po-214 (α -Energie: 7,83 MeV) ca. 60 mm.

Andererseits können α -Teilchen, die zu nahe an, oder direkt auf der Filmoberfläche entstehen, ebenfalls nicht registriert werden. Ihre Energie ist in diesem Fall zu hoch ($> 4,5$ MeV) und sie durchqueren die Nitrocelluloseschicht, ohne eine Reaktion auszulösen. Der Mindestabstand für Radon beträgt deshalb ca. 5 mm und für sein energiereichstes Zerfallsprodukt ca. 30 mm.

Diese Eigenschaft bietet zwei große Vorteile:

- Die LR115 Filme sind somit unempfindlich gegenüber der direkten Ablagerung von α -emittierenden Radonzerfallsprodukten auf ihrer Oberfläche (kein "Plateout-Effekt"! - s.u.).
- Ein guter Schutz der LR115 Filme vor ungewünschter Radoneinwirkung kann sehr einfach und effektiv erzielt werden. Es genügt, den Raum über der Filmoberfläche soweit zu begrenzen, sodass die Minimalabstände für die Detektion von α -Teilchen unterschritten werden. Daher sind die Kodalpha Radon-Dosimeter sowohl in der geschlossenen Kassette in der sie ausgeliefert werden, als auch im Etui für den Rückversand vor Radon hervorragend geschützt.



II) Der LR115 Film und andere Typen von Kernspurdetektoren im Vergleich:

Für die Messung von Radon werden seit vielen Jahren auch Kernspurdetektoren auf Polycarbonatbasis eingesetzt. Die bekanntesten auf dem Markt erhältlichen Typen tragen die Bezeichnung "CR39" und "Makrofol". Im Gegensatz zu den LR115 Filmen handelt es sich hierbei um dickschichtige Detektormaterialien (im Aussehen ähneln sie kleinen Plexiglasplättchen), die sich in einigen wesentlichen Eigenschaften vom LR115 Filmmaterial unterscheiden:

Empfindlichkeit, Größe der Kernspuren, Sättigungswert:

Andere Detektormaterialien können zwar eine höhere Empfindlichkeit gegenüber α -Strahlung erreichen, grundsätzlich geht jedoch bei diesen Detektoren die höhere Empfindlichkeit mit einem größeren Durchmesser der Kernspuren einher. Dies wirkt sich nachteilig auf den Sättigungsgrad des Detektormaterials aus. Je höher der Sättigungsgrad liegt, desto länger kann der Detektor auch bei hohen Radonkonzentrationen eingesetzt werden.

Die Empfindlichkeit des LR115 Films liegt zwischen 1,5 und 2,4 Kernspuren pro cm^2 , bei einer Radonexposition von $1 \text{ kBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$. Der exakte Wert wird für jede Produktionscharge vom Analyselabor durch Kalibrierung bestimmt.

Als Sättigungsgrad bezeichnet man die maximale Kernspurdichte auf dem Detektormaterial, bei welcher die einzelnen Spuren noch eindeutig voneinander unterscheidbar sind. Hohe Kernspurdichten kommen durch hohe Radonkonzentrationen oder lange Expositionszeiten zustande. Dabei führen Überlappungen von Kernspuren bei automatisierten Auswertungen zu fehlerhaften Resultaten.

- Der Sättigungswert der LR115 Detektoren liegt bei etwa $600 \text{ Spuren}/\text{mm}^2$ (Durchmesser der Kernspuren: $1 - 15 \mu\text{m}$), bei anderen Materialien bei $50 - 400 \text{ Spuren}/\text{mm}^2$ (Durchmesser der Kernspuren: $5 - 80 \mu\text{m}$)

- Die maximale Radongesamtexposition (Sättigungswert) der LR115 Filme beträgt ca. 70 MBq.h/m³ und ist bedeutend höher als bei anderen Detektormaterialien!
- Die minimale Radongesamtexposition, also die unterste Nachweisschwelle des LR115 Films, beträgt 2 kBq.h/m³.

Die Radongesamtexposition wird in der Einheit kBq.h/m³ angegeben und kann direkt aus der Anzahl der Kernspuren pro mm² auf dem LR115 Film durch eine entsprechende Kalibrierung abgeleitet werden. Diese Messgröße wird auch auf jedem Analysenzertifikat vermerkt. Bei Division der Radongesamtexposition durch die Expositionsdauer des Dosimeters wird die Radonkonzentration in Bq/m³ berechnet.

Ebenso lässt sich anhand des Sättigungswertes von 70 MBq.h/m³ die maximale Aufstellzeit (Expositionsdauer) und anhand der untersten Nachweisschwelle 2 kBq.h/m³ die Mindest-expositionszeit der Dosimeter bei einer angenommenen Radonkonzentration berechnen:

Beispiel

Bei einer zu erwartenden Radonkonzentration von durchschnittlich 1.500 Bq/m³ errechnet sich die maximale Expositionszeit des Dosimeters wie folgt:

$$70 \cdot 10^6 \text{ Bq.h/m}^3 / 1.500 \text{ Bq/m}^3 = 46.000 \text{ Stunden (1.944 Tage!).}$$

Die Mindestexpositionsdauer hingegen beträgt in diesem Fall nur:

$$2.000 \text{ Bq.h/m}^3 / 1.500 \text{ Bq/m}^3 = 1,33 \text{ Stunden.}$$

Plateout-Effekt:

Unter dem Begriff "Plateout" versteht man die Ablagerung (Deposition) von Radonzerfallsprodukten auf der Oberfläche des Detektormaterials selbst sowie an der Innenseite des Gehäuses, welches den Detektor umschließt. Die Stärke des Plateout-Effekts hängt von Faktoren wie der statischen Ladung und der Geometrie der Dosimeter ab.

Somit wird der Plateout-Effekt zu einem wichtigen Parameter für die Genauigkeit der Messergebnisse.

Während der Plateout-Effekt bei den dickschichtigen Detektormaterialien "CR39" und "Makrofol" zum Tragen kommt, spielt er beim LR115 Film nur eine untergeordnete Rolle.

Denn: α -Teilchen, die zu nahe oder direkt an der Filmoberfläche entstehen, werden aufgrund ihrer zu hohen Energien nicht registriert (s.o.). Außerdem werden die Kodalpha Radon-Dosimeter im Regelfall als offene Messverfahren eingesetzt. Im Gegensatz zu anderen Dosimeter-Typen ist der LR115 Film dabei von keinem Gehäuse umgeben an dessen Innenflächen es zu Ablagerungen kommen könnte.

Chemische Behandlung und Auswertung der Dosimeter:

Vor der optischen Auswertung müssen alle Kernspurdetektoren einer chemischen Ätzung unterzogen werden, durch welche die einzelnen Kernspuren erst sichtbar gemacht werden können. Für die Genauigkeit der Analysenresultate ist die präzise Einhaltung der einzelnen Parameter (Badtemperatur, Konzentration der Lösungen, Behandlungszeit etc.) während der chemischen Ätzung von entscheidender Bedeutung. Erfahrungsgemäß sind vor allem geringe Temperaturschwankungen der Ätzlösung problematisch. Die kurze Behandlungsdauer beim LR115 Film von etwa 1,5 h (sie kann bei anderen Materialien bis zu 8 h betragen) verringert die Gefahr von Temperaturschwankungen.

Zusätzlich kommt es beim LR115 Film durch die chemische Behandlung zu einer kontrollierten geringfügigen Abtragung der Nitrocelluloseschicht. Aufgrund dieses Effekts lässt sich durch eine fotooptische Schichtdickenmessung die Qualität jedes einzelnen Ätzvorgangs genau überprüfen.

Sowohl dickschichtige Detektoren als auch der LR115 Film werden unter dem Mikroskop im Durchlicht ausgewertet. Während bei ersteren die Kernspuren das durchscheinende Licht absorbieren und die entsprechenden Stellen als dunkle Flecken erscheinen, verhält es sich beim LR115 Film genau umgekehrt. Nach der chemischen Behandlung erscheinen die Kernspuren als kleine, helle Punkte, die sich kontrastreich vom dunkelrot eingefärbten Hintergrund des Filmmaterials abheben. Daher werden beim LR115 Filmmaterial keine Staubkörnchen, die sich während der Labortätigkeiten unvermeidlich ablagern, mitgezählt.

III) Messgenauigkeit des LR115 Films

In der Tabelle sind die typischen Standardabweichungen (2σ) in % und Bq/m³ für verschiedene Expositionszeiten und bei verschiedenen Radonkonzentrationen angeführt.

Die exakten Werte hängen vor allem von der Produktionscharge und der Ätztemperatur ab. Sie sind dem Analyselabor genau bekannt.

Expositionstage	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
90	8 bis 11	12 bis 15	24 bis 30	34 bis 42	38 bis 47	46 bis 58					
	17% bis 21%	12% bis 15%	6% bis 8%	4% bis 5%	4% bis 5%	3% bis 4%					
75	9 bis 12	13 bis 16	26 bis 33	37 bis 46	41 bis 52	50 bis 64					
	18% bis 23%	13% bis 16%	6% bis 8%	5% bis 6%	4% bis 5%	3% bis 4%					
60	10 bis 13	15 bis 18	29 bis 37	41 bis 52	46 bis 58	56 bis 71					
	21% bis 26%	15% bis 18%	7% bis 9%	5% bis 6%	5% bis 6%	4% bis 5%					
45	12 bis 15	17 bis 21	34 bis 42	47 bis 60	53 bis 67	65 bis 82					
	24% bis 30%	17% bis 21%	8% bis 11%	6% bis 8%	5% bis 7%	4% bis 5%					
30	15 bis 18	21 bis 26	41 bis 52	58 bis 73	65 bis 82	80 bis 101					
	29% bis 37%	21% bis 26%	10% bis 13%	7% bis 9%	6% bis 8%	5% bis 7%					
15	21 bis 26	29 bis 37	58 bis 73	82 bis 104	92 bis 116	113 bis 142					
	41% bis 52%	29% bis 37%	15% bis 18%	10% bis 13%	9% bis 12%	8% bis 9%					
7	30 bis 38	43 bis 54	85 bis 108	120 bis 152	134 bis 170	165 bis 208					
	60% bis 76%	43% bis 54%	21% bis 27%	15% bis 19%	13% bis 17%	11% bis 14%					
	50 Bq/m ³	100 Bq/m ³	400 Bq/m ³	800 Bq/m ³	1000 Bq/m ³	1500 Bq/m ³					

Für Radonmessungen werden vom Bundesamt für Strahlenschutz in Berlin Messgenauigkeiten von bis $\pm 20\%$ akzeptiert.

IV) Offenes Messsystem - geschlossenes Messsystem

Bei den häufigsten am Markt erhältlichen passiven Radonmesssystemen handelt es sich um sogenannte geschlossene Messverfahren. Dabei befindet sich der auf Radon empfindliche Detektor in einem Gehäuse (Messzelle) mit definiertem Volumen.

Als Eintrittsweg für das Radon sind entweder größere Öffnungen vorgesehen, die mit speziellen Filtern bedeckt sind, oder sehr kleine Öffnungen, durch welche das Gas diffundiert. Die wesentlichste Eigenschaft dieser Systeme besteht darin, dass nur Radon selbst in die Messzelle eindringen kann, nicht jedoch die ebenfalls vorhandenen Tochternuklide. (Auch für eventuell auftretendes Thoron und dessen Zerfallsprodukte besteht wegen der kurzen Halbwertszeit keine Möglichkeit, in die Messzelle einzudringen.)

Bei einem offenen Messverfahren wird das Detektormaterial direkt der radonhaltigen Atmosphäre ausgesetzt, da es von keiner Messzelle umgeben ist. Sowohl Radon selbst als auch seine noch gefährlicheren radioaktiven Zerfallsprodukte werden registriert. Das Thoron hingegen ist in einem gängigen Haus mit Unterkellerung vernachlässigbar. Aufgrund der kurzen Halbwertszeit von 55 Sekunden kann es nicht in die oberen Stockwerke gelangen.

Da der Gleichgewichtsfaktor F für Radon und seine Zerfallsprodukte im Wohnbereich zwischen 0,3 und 0,6 liegt, wird bei der Analyse der offenen Kodalpha Dosimeter ein Gleichgewichtsfaktor von 0,4 in die Berechnung des Analyseergebnisses miteinbezogen.

In einigen Fällen, wie z.B. Radonheilbädern und Bergwerkstollen kann der Gleichgewichtsfaktor erheblich von 0,4 abweichen.

Um den derzeitigen Richtlinien für Radonmessungen zu entsprechen, empfehlen wir an solchen Messorten den Einsatz von unserem geschlossenen Kodalpha Messsystem. Dieses wurde im Frühjahr 2003 vom Bundesamt für Strahlenschutz in Berlin validiert.



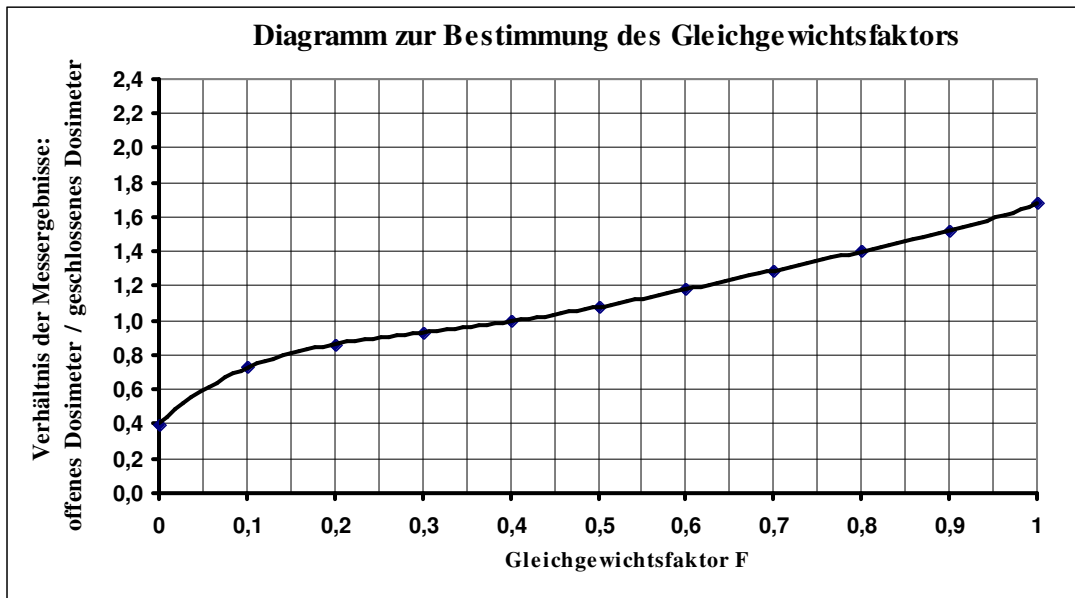
Die Bestimmung des Gleichgewichtsfaktors F

Durch eine Parallelmessung mit einem offenen und einem geschlossenen Kodalpha Radon-Dosimeter, kann der Gleichgewichtsfaktor sehr einfach auf dem unten abgebildeten Graphen abgelesen werden.

Für die praktische Durchführung geht man wie folgt vor:

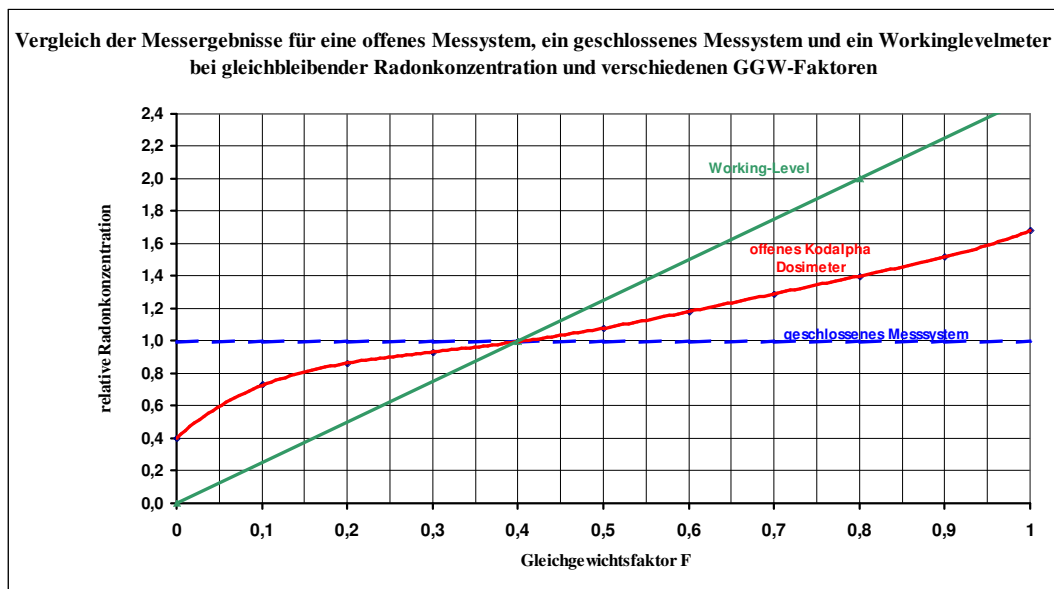
- 1) Um den Wert für die Y-Achse zu berechnen, dividiert man den Analysenwert des offenen Dosimeters durch den des geschlossenen Dosimeters.
- 2) Man sucht jenen Punkt auf der Kurve (Seite 6), der dem oben berechneten Y-Wert zugeordnet ist.
- 3) Der dazugehörige Wert auf der X-Achse entspricht dann dem Gleichgewichtsfaktor.

Beispiel: Bei einer Messung wurde für das offene Dosimeter eine Radonkonzentration von 812 Bq/m^3 bestimmt und für das geschlossene Dosimeter 576 Bq/m^3 . Der Wert für die Y-Achse beträgt:
 $812 / 576 = 1,4$. Der Wert 1,4 entspricht auf der Kurve einem Wert von 0,8 auf der X-Achse. Der Gleichgewichtsfaktor beträgt somit 0,8!



Die Bewertung des Gesundheitsrisikos

Da das eigentliche Gesundheitsrisiko vor allem den Radon-Zerfallsprodukten und nur bedingt dem Radon zuzuschreiben ist, liegt es nahe, die Töchter in einer Messung mit zu berücksichtigen. Dies gelingt nur mit einem offenen Messsystem, wie dem Kodalpha Radon-Dosimeter. Gerade in Bereichen, wo der Gleichgewichtsfaktor kleiner als 0,3 oder größer als 0,6 ist, führen geschlossene Messsysteme, die nur Radon erfassen, zu einer Über- bzw. Unterbewertung des tatsächlichen Gesundheitsrisikos.



Im Diagramm sind die Messergebnisse von einem geschlossenen Messsystem, einem offenen Messsystem und einem Working-Level-Meter zur Messung von Zerfallsprodukten (FRITRA) bei konstanter Radonkonzentration, aber unterschiedlichem GGW-Faktor relativ zueinander dargestellt. Während das geschlossene Messsystem unabhängig vom GGW-Faktor durchgehend denselben Messwert liefert, liegt das offene Messverfahren immer näher an den von einem Working-Level-Meter gelieferten Werten. Somit wird das tatsächliche Gesundheitsrisiko durch das offene Messverfahren besser bewertet.