
Handbuch
Thoron-Scout

Version 6/2015

SARAD GmbH
Wiesbadener Straße 10
D-01159 Dresden
DEUTSCHLAND

Tel.: ++49 (0)351 / 6580712
FAX: ++49 (0)351 / 6580718
e-mail: support@sarad.de
Internet: www.sarad.de



INHALT

WICHTIGER HINWEIS	3
FUNKTIONSPRINZIP	3
BEDIENUNG DES THORON-SCOUT	4
ALLGEMEINES	4
BEDIENELEMENTE	4
STROMVERSORGUNG	5
DURCHFÜHREN EINER MESSUNG	6
<i>Einstellen des Messintervalls</i>	7
BETRIEBSMODI	8
<i>Alarm</i>	8
<i>Fast/Slow Mode</i>	8
<i>Sniffing</i>	8
MESSDATENVERWALTUNG	8
<i>Datenspeicherung</i>	8
<i>Datenübertragung zum PC (RS232 und USB)</i>	9
STATISTISCHER FEHLER (FÜR NICHTMATHEMATIKER).....	10
ABSCHÄTZUNG DES ZU ERWARTENDEN STATISTISCHEN FEHLERS	10
IST EINE BEOBACHTETE KONZENTRATIONSÄNDERUNG STATISTISCH SIGNIFIKANT ODER NICHT?	11
NACHWEISGRENZE	11
TECHNISCHE DATEN	13
ACHTUNG	13

Wichtiger Hinweis

Bei der Messung der Aktivitätskonzentration des Edelgases Radon (bzw. Thoron) handelt es sich stets um eine radiometrische, d.h. eine zählende Messung. Daraus ergeben sich eine Reihe von Besonderheiten, deren Kenntnis für die Durchführung einer Messung und die richtige Interpretation der erhaltenen Messwerte unumgänglich ist.

Jedem, der Radonmessungen durchführt, sei deshalb dringend geraten, sich mit den folgenden Kapiteln „Funktionsprinzip“ und „Statistischer Fehler“ intensiv auseinander zu setzen.

Funktionsprinzip

Die Radon Aktivitätskonzentration wird anhand der in einer Messkammer entstehenden kurzlebigen Folgeprodukte bestimmt. Direkt nach dem Zerfall des Radons (Alpha-Strahler) liegt der verbleibende Po-218 Restkern als positives Ion vor, da durch den emittierten Heliumkern Elektronen aus der Atomhülle gerissen werden. Diese Ionen werden durch ein angelegtes elektrostatisches Feld auf der Oberfläche eines Halbleiterdetektors abgeschieden. Die Anzahl der pro Zeiteinheit gesammelten Po-218 Ionen ist der Radonkonzentration in der Messkammer proportional.

Po-218, ebenfalls ein Alpha Strahler, zerfällt mit einer Halbwertszeit von 3,05 Minuten auf der Oberfläche des Detektors, von welchem ca. 50 % der Zerfälle (Halbraum) registriert werden. Das Aktivitätsgleichgewicht zwischen Radon und Po-218 ist nach ca. 5 Halbwertszeiten, also ca. 15 Minuten erreicht. Dadurch wird die schnellstmögliche Ansprechzeit des Gerätes bezüglich einer sprunghaften Änderung der Radonkonzentration bestimmt.

Entsprechend der Zerfallsreihe setzt sich der radioaktive Zerfallsprozess mit den beiden Beta-Emittern Pb-214 und Bi-214 und dem darauf folgenden Alpha-Zerfall des daraus entstehenden Po-214 fort. Daraus folgt, dass jeder Po-218 Zerfall ein weiteres mal durch den Zerfall von Po-214 am Detektor sichtbar wird. Dieser erfolgt durch die Halbwertszeiten der dazwischenliegenden Nuklide allerdings verzögert, so dass sich das Aktivitätsgleichgewicht zwischen Po-218 und Po-214 erst nach ca. 3 Stunden einstellt.

Die Emissionsenergien von Po-218 und Po-214 sind verschieden, so dass beide Nuklide mittels Alpha-Spektroskopie separiert werden können.

Der Thoron-Scout bietet die Auswahl zwischen zwei Berechnungsarten für die Radonkonzentration. Im sogenannten „Slow-Mode“ werden sowohl das Po-218 als auch das Po-214 in die Berechnung einbezogen, während im „Fast-Mode“ lediglich das „schnelle“ Po-218 verwendet wird.

Der Vorteil des „Fast-Mode“ ist die schnelle Ansprechzeit hinsichtlich auftretender Konzentrationsänderungen während im „Slow-Mode“ die Sensitivität (detektierte Zerfälle pro Zeit und Radonkonzentration) verdoppelt wird. Die erhöhte Sensitivität reduziert den statistischen Fehler der Messung, welcher direkt durch die Anzahl der innerhalb der Messung registrierten Zerfälle definiert wird. Der Anwender sollte den Berechnungsmodus entsprechend den applikationsspezifischen Erfordernissen anpassen (Siehe auch Abschnitt „Statistischer Fehler“).

Im Falle von Thoron (Rn-220) erfolgt die Messung ausschließlich anhand des direkten Folgeproduktes Po-216. Der Abscheidungsprozess ist identisch zum Po-218. Da die Halbwertszeit von Po-216 unter einer Sekunde liegt, ist der Gleichgewichtszustand zwischen Thoron und Po-216 Aktivitätskonzentration faktisch sofort gegeben und damit der Messwert umgehend verfügbar.

Die Halbwertszeit des Po-216 Folgeproduktes Pb-212 ist mit mehr als zehn Stunden für eine einigermaßen zeitnahe Messung zu lang, so dass die entstehenden Alpha-Emitter Po-212 und Bi-212 zwar detektiert, nicht aber zur Konzentrationsbestimmung verwendet werden. Die Thoron-Folgeprodukte werden ebenfalls mittels Alpha-Spektroskopie separiert.

Bedienung des Thoron-Scout

Allgemeines

Der Thoron-Scout ist ein hochwertiges, einfach zu handhabendes Messinstrument zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Thoron (Rn-220) und Radon (Rn-222) in Luft. Die benötigte schnelle Austauschrate der gemessenen Luft wird durch eine hoch-permeable Messkammer, die außerhalb des Gehäuses platziert ist, realisiert. Die relative Thoron-Sensitivität ist vergleichbar mit der von pumpbasierten Geräten.

Neben der Thoron-/Radon-Konzentration werden relative Luftfeuchte, Temperatur und der barometrische Druck gemessen. Das Gerät verfügt über eine interne Logger-Funktion mit nichtflüchtigem Speicher. Da dieser als Ringspeicher organisiert ist, stehen immer die letzten ca. 2000 Messwerte einschließlich eines kompletten Alphaspektrums zur Verfügung. Die interne Echtzeituhr sorgt für die einwandfreie zeitliche Zuordnung der Messwerte. Ein integrierter Bewegungssensor informiert über eventuelle Ortswechsel während einer Messkampagne. Der Thoron-Scout verfügt ein beleuchtbares Display.

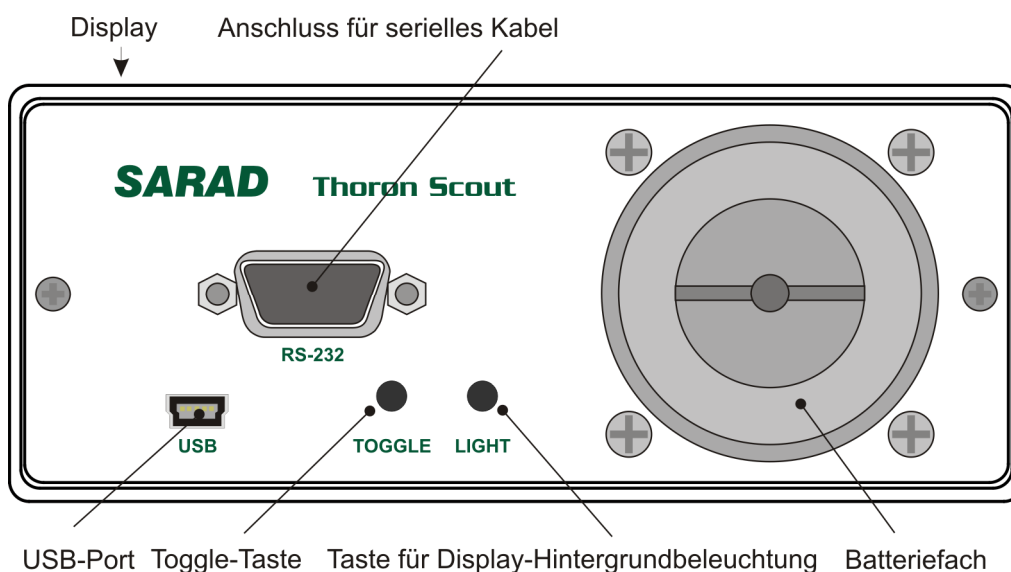
Das Gerät benötigt keine Pumpe und keine externe Stromversorgung, so dass der Thoron-Scout überall ohne Beeinträchtigung von Personen an Arbeitsplätzen oder in Wohnräumen eingesetzt werden kann. Messzeiten von bis zu vier Wochen ohne Batteriewechsel sind möglich.

Seine geringen Abmessungen und das geringe Gewicht ermöglichen den einfachen und kostengünstigen Versand des Thoron-Scouts zum Messort, wo er auch von ungeschultem Personal in Betrieb genommen werden kann.

Die im Lieferumfang enthaltene Software enthält alle Funktionen, die zur schnellen Bewertung, sicheren Archivierung und zur anschaulichen grafischen Darstellung der Messdaten erforderlich sind:

- Auslesen der Messdaten und Einstellen der Geräteparameter
- Interaktive grafische Anzeige der Messreihe
- Automatische Archivierung der Messdaten
- Selektiver Export der Textdatei

Bedienelemente



Stromversorgung

Die Stromversorgung des Thoron-Scouts erfolgt über 2 Batterien bzw. Akkus vom Typ D (Mono). Das Batteriefach kann durch eine Drehung der Verschlusskappe (am Frontpanel) mit einem geeigneten Gegenstand (z.B. Münze) entgegen des Uhrzeigersinnes geöffnet werden. Beim Einsetzen der Batterien/Akkus ist auf die richtige Polarität zu achten. Der Plus-Pol der Batterien muss in Richtung der Verschlusskappe, also nach vorn zeigen.

Die beiden Batterien/Akkus müssen stets gleichzeitig gewechselt werden, unterschiedliche Ladezustände können zu Fehlfunktionen führen. Verwenden Sie für beide Batterien stets den gleichen Typ.

Verschließen Sie das Batteriefach durch Andrücken der Verschlusskappe und einer viertel Drehung im Uhrzeigersinn. Achten Sie auf den festen Sitz der Verschlusskappe.

Der Thoron-Scout bietet zusätzlich die Möglichkeit der Versorgung über ein externes Steckernetzteil.

ACHTUNG: Das Steckernetzteil darf nur bei gleichzeitig eingelegten Batterien/Akkus verwendet werden. Gerät niemals ohne Batterien verwenden, da es sonst zu Fehlfunktionen kommen kann!

Bei angestecktem Netzteil werden die Batterien nicht belastet, so dass sie lediglich als Puffer bei Netzausfall dienen. Bei Verwendung von Akkus sind diese trotzdem von Zeit zu Zeit zu laden, da hier eine je nach Chemie ausgeprägte Selbstentladung auch ohne Stromentnahme stattfindet. Die Akkus werden **NICHT** über das Steckernetzteil geladen! Der Anschluss des Netzteiles (4,5V/0,500mA) erfolgt an die Klinkenbuchse an der Geräterückseite.

Ein Batteriewechsel führt zum Rücksetzen der geräteinternen Echtzeituhr. Diese muss per Software neu gestellt werden. Beim Thoron-Scout erscheint eine entsprechende Meldung am Display.

Gespeicherte Messdaten bleiben erhalten und können nach dem Batteriewechsel ausgelesen werden.

Die Auswahl des richtigen Batterie- oder Akkutyps richtet sich nach Anwendung und Einsatzdauer. Grundsätzlich können NiCd- und NiMH-Akkus mit einer Nennspannung von 1,2V sowie Alkali-/Mangan-(Alkaline) bzw. Zink-/Kohle-Batterien mit 1,5V Nennspannung verwendet werden.

ACHTUNG: Es dürfen auf keinen Fall Lithium-Batterien verwendet werden, da deren Zellspannungen bei 3V bzw. 3,6V liegen!

Für Langzeitmessungen bzw. wiederholte Messungen mit geringen STOP-Zeiten empfiehlt sich der Einsatz von Alkali-/Mangan-Zellen, da diese die höchste Energiedichte (bis 17000mAh) und die geringste Selbstentladung besitzen.

Bei ab und zu anfallenden Messungen über kürzere Zeiträume ist der Einsatz von Akkus zu empfehlen, da diese bei Bedarf vor der Messung geladen werden können. NiMH-Zellen besitzen mit bis zu 8000mAh gegenüber NiCd-Zellen mit max. 5400mAh den Vorteil höherer Energiedichte und eines geringeren Wartungsaufwandes (kein ausgeprägter Memory-Effekt). Allerdings sind Selbstentladung und Preis höher.

Da die Kapazität aller Zellen von Temperatur, Lagerdauer und Alter (Akkus) abhängig sind, können die folgenden Angaben nur als Richtwerte angesehen werden.

Alkali/Mangan 17000mAh:	bis zu 4 Wochen
NiMH 8000mAh:	bis zu 2 Wochen
NiCd 5000mAh:	bis zu 1 Woche

Bei einer Zellspannung von 1,1V wird nach Ablauf jeder Minute „LOW BATTERY!“ im Display angezeigt – die Messung kann jedoch über mehrere Stunden fortgeführt werden.

LOW BATTERY!!

Die Restkapazität beträgt dann je nach verwendeter Zelle noch ca. 15 ... 25%. Nach Betätigen der TOGGLE-Taste erscheint wieder die normale Displayanzeige. Sind längere Messungen geplant, sollten die Zellen vorsorglich gewechselt werden. Sinkt die Spannung unter 0,9V(pro Zelle), wird die Messung automatisch unterbrochen. Am Display erscheint der Bereitschaftsmodus mit der „CHANGE BATTERIES“-Anzeige.

```
CHANGE BATTERIES
  Thoron-Scout
    SN:00256
CHANGE BATTERIES
```

Nach dem Anschluss des Steckernetzteils und dem Ablauf einer Minute kann die Messung fortgeführt werden.

Der Stromverbrauch im Bereitschaftsmodus beträgt ca. 15...20% von dem bei laufender Messung. Trotzdem sollten bei längerer Nichtbenutzung die Batterien/Akkus entfernt werden.

Durchführen einer Messung

Um die Messung zu starten ist lediglich die TOGGLE-Taste kurz zu betätigen. Am Display erscheinen die verbleibenden Minuten bis zum Ende des ersten Integrationsintervalls:

```
  Thoron-Scout
    SN:00256
Wait 120 Minutes
for first data !
```

Durch erneutes Betätigen der Taste können auch die aktuellen Setup-Einstellungen angezeigt werden (siehe unten).

Sobald das erste Integrationsintervall beendet ist, sind fünf verschiedene Anzeigeseiten verfügbar. Diese können durch wiederholtes Betätigen der TOGGLE-Taste ausgewählt werden. Abhängig von den aktuellen Setup-Einstellungen werden die einzelnen Messgrößen in SI (Bq/m³, °C, mbar) oder US-Einheiten (pCi/L, °F, inHg) ausgegeben. Die erste Seite zeigt die aktuelle (aus dem letzten abgeschlossenen Integrationsintervall berechnete) Radonkonzentration mit dem zugehörigen 1-Sigma Fehler. Wurde der „Fast-Mode“ zur Berechnung gewählt, erscheint hinter dem Begriff Radon in der oberen Zeile ein Stern („Radon*“). Daneben wird die Zeit angegeben, zu welcher der Messwert berechnet wurde (Ende des Integrationsintervalls).

Die vorletzte Zeile enthält links die Anzahl der bereits gespeicherten Messwerte seit Start der laufenden Messreihe. Rechts davon sind die bereits verstrichenen Minuten des laufenden Integrationsintervalls zu sehen.

```
Radon*      12:20
            85Bq/m3±10%
#34        117/120Min
            TSC-00256
```

Die zweite Seite zeigt die gleichen Informationen, jedoch für Thoron (Rn-220)

```
Thoron      12:20
            124Bq/m³±16%
#34        117/120Min
            TSC-00256
```

Die Messwerte der zusätzlichen Sensoren sowie die aktuelle Batteriespannung werden auf der dritten Seite angezeigt. Die Werte repräsentieren die Mittelwerte, die aus Einzelmessungen im 1-Minutentakt über das gesamte Integrationsintervall berechnet wurden.

```
Ambient     12:20
21.5°C      987mbar
46%rH       12.3V
            TSC-00256
```

Die nächste Seite informiert über die mittleren Konzentrationen für Radon und Thoron seit Beginn der laufenden Messreihe. Die Gesamtmesszeit ist aus der oberen Zeile ersichtlich.

```
Average     68.0Hrs
Rn:         314Bq/m³
Tn:         141Bq/m³
            TSC-00256
```

Die letzte Anzeigeseite enthält die aktuellen Setup-Einstellungen, beginnend mit der Startzeit der laufenden Messreihe, gefolgt von der eingestellten Alarmschwelle (mittlere Zeile) und dem akustischen Signalgeber.

```
>>15/06/19  12:34
ALM:        10000Bq/m³
INTVL.      BUZZ.OFF
            TSC-00256
```

Um die Messreihe zu beenden, ist die TOGGLE-Taste gedrückt zu halten bis der Signalgeber viermal getönt hat. Nach Loslassen der Taste wechselt das Gerät in den Bereitschaftsmodus.

```
Thoron-Scout
SN:00256
```

Wurde die Taste über die Software verriegelt, ist diese vorher wieder zu entriegeln.

Einstellen des Messintervalls

Die Einstellung kann nur bei gestoppter Messung vorgenommen werden. Die TOGGLE-Taste ist für die Dauer von 6 Signaltönen gedrückt zu halten. Danach erscheint am Display

```
INTERVAL:  1min
```

Durch mehrfaches kurzes Betätigen der Taste kann nun zwischen den Messintervallen von 1, 5, 10, 15, 30, 60 und 120 Minuten umgeschaltet werden. Die Einstellungen werden durch erneutes langes Festhalten der Taste (6 Signaltöne) übernommen.

Betriebsmodi

Alle Einstellungen können ausschließlich mittels Software vorgenommen werden. Die erforderlichen Schritte sind im Software-Manual beschrieben.

Alarm

Wurde für den akustischen Signalgeber der Alarm-Modus gewählt, ertönt ein periodisches Signal (1-Sekundentakt) wenn die eingestellte Alarmschwelle überschritten wurde. Der Alarm ist durch Tastendruck zu bestätigen. Der Alarmtest wird nach jedem Integrationsintervall durchgeführt. Bei eingeschalteter Alarmfunktion erscheint auf der Setup-Displayseite „ALARM ON“.

Fast/Slow Mode

Bestimmt die Art der Berechnung der Radonkonzentration (siehe Kapitel "Funktionsprinzip" und "Statistischer Fehler")

Sniffing

Unter "Sniffing" versteht man die Suche nach Radoneintrittspfaden, die in der Regel durch lokal erhöhte Konzentrationen erkennbar sind. Häufig kann Thoron als Indikator verwendet werden, da dieses an solchen Stellen (falls vorhanden) noch in höheren Konzentrationen verfügbar ist und in der Messkammer sofort zerfällt. Um möglichst schnell eine Information zu erhalten, kann der akustische Signalgeber in den „Sniffing“ Modus gesetzt werden. Dabei wird jeder registrierte Zerfall durch ein kurzes Signal angezeigt.

Je nach Setup Einstellung werden entweder nur die Zerfälle des Thoron Folgeproduktes Po-216 oder zusätzlich auch die des Radon Folgeproduktes Po-218 signalisiert.

Allerdings ist das Po-218 aufgrund der relativen langen Halbwertszeit von ca. drei Minuten nur bedingt zum „Sniffen“ geeignet.

Messdatenverwaltung

Datenspeicherung

Alle Messdaten werden in einem nichtflüchtigen Speicher abgelegt. Dieser besitzt eine Ringstruktur, so dass stets die letzten 2047 Datensätze im Speicher verbleiben. Ältere Daten werden im Falle eines Speicherüberlaufs überschrieben.

Da bei der Datenübertragung zum PC stets der gesamte Speicherinhalt übertragen wird, sollten bereits übertragene Daten vor Start einer neuen Messung gelöscht werden.

Nach Abschluss eines jeden Integrationsintervalls wird ein vollständiger Datensatz gespeichert. Dieser enthält:

- Zeitmarke
- Integrationsintervall
- Alpha-Spektrum
- Messwerte der Klimasensoren

Alle aufeinanderfolgenden Datensätze deren zeitlicher Abstand dem Integrationsintervall entspricht werden später von der PC-Software als eine Messreihe interpretiert.

Die Messung kann beliebig unterbrochen und wieder gestartet werden, dabei wird jedes Mal eine neuem Messreihe erzeugt. Es gibt keine Einschränkungen für die Anzahl der gespeicherten Messreihen.

Datenübertragung zum PC (RS232 und USB)

Die aufgenommenen Messdaten können zur weiteren Bearbeitung über das mitgelieferte Auslekabel zum PC übertragen werden. Dazu ist das Kabel am Gerät und an einen verfügbaren COM-Port am PC anzuschließen. Verfügt der PC nicht standardmäßig über eine COM-Schnittstelle, kann auch ein USB-/SERIAL-Adapter verwendet werden. In diesem Falle ist allerdings der zum Adapter mitgelieferte Treiber vor Nutzung zu installieren. Weitere Informationen entnehmen Sie bitte dem Software-Handbuch.

Alternativ kann die USB-Buchse zum Auslesen verwendet werden. Dazu ist ein entsprechender Treiber von der SARAD-Internetseite zu laden und zu installieren. In der Software RadonVision erscheint dieser Anschluss als zusätzlicher COM-Port.

Die Schnittstellen können nicht gleichzeitig verwendet werden, da beim Einstecken des USB-Kabels die RS232-Schnittstelle automatisch deaktiviert wird.

Statistischer Fehler (für Nichtmathematiker)

Der radioaktive Zerfall ist ein statistischer Prozess. Das heißt, auch bei einer konstanten Radon-Konzentration wird die Anzahl N der beobachteten Zerfälle in verschiedenen gleich langen Zeitintervallen verschieden groß sein. N schwankt um einen Mittelwert, der über alle Intervalle gebildet werden kann. Würde man unendlich viele Intervalle mitteln, so erhielte man den tatsächlichen oder „wahren“ Wert für N . Die für ein einzelnes Intervall gemessene Anzahl von Zerfällen liegt entweder über oder unter dem „wahren“ Wert. Diese Abweichung bezeichnet man als den „Statistischen Fehler“ einer Radioaktivitätsmessung.

Deshalb wird für jede Messung neben dem berechneten Wert ein Fehlerbereich (Error Band) mit zugehörigem Vertrauensintervall angegeben. Gewöhnlich werden Vertrauensbereiche als Vielfaches der Standardabweichung Sigma (σ) angegeben, z.B. 1σ , 2σ oder 3σ welches einer Annahmewahrscheinlichkeit von 68,3 %, 95,45 % bzw. 99,73 % entspricht.

Die richtige Interpretation für das folgende Beispiel eines Messergebnisses von $780 \text{ Bq/m}^3 \pm 15\%$ für einen 1-Sigma Vertrauensbereich lautet:

Der wahre Wert der Radonkonzentration liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 68,3 % im Bereich von 663 Bq/m^3 ($780 \text{ Bq/m}^3 - 15\%$) bis 897 Bq/m^3 ($780 \text{ Bq/m}^3 + 15\%$).

Abschätzung des zu erwartenden Statistischen Fehlers

Der relative statistische Fehler E für einen Vertrauensbereich von k -Sigma kann sehr leicht aus der Anzahl der beobachteten Zerfälle N (gilt für $N \geq 16$) durch folgende Gleichung berechnet werden

$$E[\%] = 100\% \cdot k \cdot \sqrt{N} / N$$

Die simple Schlussfolgerung lautet: Je größer die Anzahl der detektierten Zerfälle, um so größer ist die Genauigkeit der Messung.

Betrachtet man das Ganze vom entgegengesetzten Standpunkt, könnte man fragen: Wie viele Zerfälle müssen detektiert werden um eine vorgegebene Genauigkeit zu erreichen?

Zwei Dinge beeinflussen die gezählte Impulszahl, die Sensitivität des Messgerätes einerseits und zum anderen die Länge des Intervalls, das zur Zählung verwendet wird. Während die Sensitivität eine Gerätekonstante ist, kann das Zählintervall (auch als Integrationsintervall bezeichnet) beliebig verlängert werden, sofern nicht die gewünschte Zeitauflösung der Messung beeinträchtigt wird.

Die Beziehung zwischen der im Intervall T detektierten Anzahl von Impulsen N und der daraus berechneten Radonkonzentration C_{Rn} lautet:

$$C_{Rn} = N / (T \cdot S)$$

wobei S die Sensitivität des Gerätes in der Einheit [cts/(min*kBq/m³)] angibt.

Die Sensitivität im „Slow-Mode“ ist etwa doppelt so hoch wie im „Fast-Mode“ (siehe Abschnitt Funktionsprinzip), deshalb sollte dieser verwendet werden, wenn eine Ansprechzeit kleiner als zwei Stunden nicht erforderlich ist (z.B. Messung eines Tagesganges).

Für die folgenden Beispiele soll eine Sensitivität von 4 bzw. 8 cts/(min*kBq/m³) angenommen werden.

Eine erste Frage beim Einsatz des Gerätes könnte sein:

Welches Integrationsintervall muss ich wählen, um eine zu erwartende Radonkonzentration (oder einen vorgegebenen Grenzwert) von 200 Bq/m^3 mit einem statistischen 1-Sigma Fehler von $< 10\%$ zu bestimmen?

Um einen 1-Sigma Fehler von maximal 10 % zu erhalten müssen mindestens 100 Zerfälle registriert werden ($100\% \cdot 1 \cdot \sqrt{100} / 100 = 10\%$). Für den „Fast-Mode“ würde sich dann

$$T(\text{fast}) = N / (C_{Rn} \cdot S) = 100 \text{ cts} / (0,2 \text{ kBq/m}^3 \cdot 4 \text{ cts}/(\text{min} \cdot \text{kBq/m}^3)) = 125 \text{ min}$$

ergeben. Da das erforderliche Messintervall mehr als zwei Stunden beträgt, ist der „Slow-Mode“ die bessere Wahl für diese Messung:

$$T(\text{slow}) = N / (C_{\text{Rn}} * S) = 100 \text{ cts} / (0,2 \text{ kBq/m}^3 * 8 \text{ cts}/(\text{min} * \text{Bq/m}^3)) = 62,5 \text{ min.}$$

Aufgrund der längeren Ansprechzeit im „Slow-Mode“ kann das Intervall aus physikalischer Sicht auf 120 Minuten erweitert werden. Der dafür zu erwartende statistische Fehler berechnet sich dann aus der zu erwartenden Impulsanzahl:

$$N(\text{slow}) = C_{\text{Rn}} * T * S = 0,2 \text{ kBq/m}^3 * 120 \text{ min} * 8 \text{ cts}/(\text{min} * \text{Bq/m}^3) = 192 \text{ cts}$$

$$E(1\sigma) = 100 \% * 1 * \sqrt{N} / N = 100 \% * 1 * \sqrt{192} / 192 = 7,22 \%$$

Nun könnte eine 68,3 %-ige Sicherheit nicht ausreichend signifikant erscheinen und ein 2σ Vertrauensbereich angesetzt werden:

$$E(2\sigma) = 100 \% * 2 * \sqrt{N} / N = 100 \% * 2 * \sqrt{192} / 192 = 14,44\%$$

Zur Interpretation des Ergebnisses siehe Beginn dieses Kapitels.

Ist eine beobachtete Konzentrationsänderung statistisch signifikant oder nicht?

Wenn man sich den Zeitverlauf der Radonkonzentration anschaut, sind Änderungen von Messpunkt zu Messpunkt zu sehen. Es ergibt sich die Frage: Liegt eine tatsächliche Änderung der Radonkonzentration vor oder handelt es sich lediglich um statistische Schwankungen.

Der Test ist relativ simpel. Man betrachtet die für einen gewählten Vertrauensbereich berechneten Fehlerintervalle zweier interessierender Messpunkte und prüft ob diese sich überlappen. Ist dies der Fall, kann es sich um eine statistische Schwankung handeln. Andernfalls liegt eine tatsächliche Konzentrationsänderung mit der gewählten Wahrscheinlichkeit vor.

Beispiel 1:

Messwert 1: $1500 \text{ Bq/m}^3 \pm 10 \%$ → Fehlerintervall [1350 ... 1650 Bq/m^3]

Messwert 2: $1300 \text{ Bq/m}^3 \pm 13 \%$ → Fehlerintervall [1131 ... 1469 Bq/m^3]

Da der obere Grenzwert des Messwertes 2 größer als der untere Grenzwert des ersten Messwertes ist, liegt eine Überlappung der Fehlerintervalle vor. Da der „wahre“ Wert der Radonkonzentration zwischen 1350 Bq/m^3 und 1469 Bq/m^3 liegen könnte, kann nicht von einer signifikanten Konzentrationsänderung ausgegangen werden.

Beispiel 2:

Messwert 1: $1500 \text{ Bq/m}^3 \pm 10 \%$ → Fehlerintervall [1350 ... 1650 Bq/m^3]

Messwert 2: $1000 \text{ Bq/m}^3 \pm 15 \%$ → Fehlerintervall [850 ... 1150 Bq/m^3]

Die beiden Fehlerintervalle überlappen sich nicht, somit ist die Konzentrationsänderung statistisch signifikant.

Es können zwei beliebige Messpunkte innerhalb einer Messreihe in dieser Art und Weise hinsichtlich einer Konzentrationsänderung getestet werden. Diese müssen nicht notwendigerweise benachbart sein.

Nachweisgrenze

Als Nachweisgrenze wird derjenige Wert der Radonkonzentration bezeichnet, bei dem mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit (Vertrauensintervall) innerhalb eines jeden Integrationsintervalls ein Wert größer als Null gemessen wird (d.h. wenigstens ein Zerfall registriert wird).

Die Kenntnis der Nachweisgrenze hat folgenden Hintergrund: Ist das gewählte Integrationsintervall kurz und die Radonkonzentration klein, liegt der zu erwartende „wahre“ Wert für die innerhalb des eingestellten Intervalls registrierten Zerfälle u.U. im Bereich um 1 oder sogar noch darunter. Aufgrund der statistischen Schwankungen würden mit entsprechender Häufigkeit Intervalle auftreten, in denen kein einziger Zerfall registriert wird. Im Extremfall könnte die Messreihe aus vielen „Nullwerten“ und einem Intervall mit einem einzigen registrierten Zerfall bestehen, da dieser (da er nicht teilbar ist) irgendwann auftreten muss. Aufgrund der Formel für die Berechnung der Radonkonzentration (T im Nenner) wird ein überhöhter Konzentrationswert für dieses Intervall ausgegeben, während alle anderen Intervalle eine Konzentration von 0 zeigen. Um ein verwertbares Ergebnis zu erhalten, müssten alle Intervalle gemittelt werden, so dass der eine registrierte Zerfall zeitlich gewichtet wird. Dies stellt nichts anderes als die Erweiterung des Integrationsintervalls und damit die Absenkung der Nachweisgrenze auf den für die anliegende Radonkonzentration erforderlichen Wert dar.

Da die mittlere Anzahl („wahrer“ Wert) registrierter Zerfälle im Bereich der Nachweisgrenze kleiner als 16 ist, wird die statistische Schwankungsbreite mit Hilfe der Poisson Verteilung ermittelt. Der angegebene Vertrauensbereich entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass die Anzahl der detektierten Zerfälle innerhalb eines Integrationsintervalls größer als Null ist.

Vertrauensbereich	Erforderlicher Erwartungswert für N
63,2 %	1
95 %	3
99,75 %	6

Beispiel:

Es soll die Nachweisgrenze des Monitors im „Fast-Mode“ bei eingestelltem Integrationsintervall von 60 min angegeben werden. Das Vertrauensintervall soll 95 % betragen (bei 95 von 100 Integrationsintervallen ist die Anzahl detektierter Zerfälle größer Null)

Notwendiger Erwartungswert (Impulszahl aus Tabelle) $N = 3$.

Aus $C = N/(T \cdot S)$ ergibt sich die zugehörige Nachweisgrenze:

$$C = 3 \text{ cts} / (60 \text{ min} \cdot 8 \text{ cts}/(\text{min} \cdot \text{kBq}/\text{m}^3)) = 0,00625 \text{ kBq}/\text{m}^3 = 6,25 \text{ Bq}/\text{m}^3$$

Technische Daten

Messbereiche	
Radon, Thoron	1 Bq/m ³ ... 10 MBq/m ³
Temperatur	-20 °C ... 40 °C
Rel. Feuchte	0 ... 100 %
Bar. Druck	800 mbar ... 1200 mbar
Ansprechzeit (95%) Radon (fast/slow)	12 / 120 Minuten
Sensitivität Thoron	0,42 cts/(min*kBq/m ³)
Sensitivität Radon (fast/slow)	0,85 / 1,5 cts/(min*kBq/m ³)
Integrationsintervall	1 ... 255 Minuten (einstellbar)
Datenspeicher	2047 Datensätze
Internes Volumen (Kammer) ca.	60 ml
Stromversorgung	
Batteriebetrieb	> 30 Tage
Steckernetzteil	4,5V/0,5A
PC-Schnittstelle (Seriell)	USB oder RS232, 9600 Baud, 8N1
Abmessungen	175 mm x 135 mm x 90 mm
Gewicht	1,1 kg (inkl. Batterien)
Bewegungserkennung	bei Bewegungen über mehr als 8 Sekunden
Bedienung	Display 4 x 20, 2 Taster, akustischer Signalgeber

Achtung



Bitte den Thoron-Scout NIEMALS am Messkopf anfassen oder tragen!



Bitte KEINE Messungen bei direktem, starkem Lichteinfall durchführen.