

RTM 1688-2

Radon- und Thoron-Messgerät

Version 01/2024

Referenzierte Dokumente:

Handbuch Software Radon Vision

Handbuch Software ROOMS 1.2.0

SARAD GmbH

Wiesbadener Straße 10

D-01159 Dresden

GERMANY

Internet: www.sarad.de

E-mail: sales@sarad.de

Tel.: +49 (0)351 / 6580712

FAX: +49(0)351/6580718



Inhalt

Anwendungsgebiete.....	3
Kurzbeschreibung.....	3
Wichtiger Hinweis	4
Funktionsprinzip	4
Bedienung des RTM 1688-2	5
Stromversorgung.....	6
Eingangs-Filter	6
Wassereintrittsschutz (optional).....	7
Durchführen einer Messung	8
Einstellen des Messintervalls	9
Betriebsmodi	9
Pumpe	9
Alarm	9
Fast/Slow Mode	9
Sniffing.....	10
Messdatenverwaltung.....	10
Datenspeicherung	10
Protokollausdruck	11
Datenübertragung zum PC	12
MODBUS RTU „over serial line“ Protokoll.....	13
Statistischer Fehler (für Nichtmathematiker)	14
Abschätzung des zu erwartenden Statistischen Fehlers.....	15
Nachweisgrenze	16
Servicehinweise	17
Entsorgungshinweise	18
Technische Daten	19
Lieferumfang:	20
Optionales Zubehör:.....	20

Anwendungsgebiete

Der universelle Radon- und Thoronmonitor RTM 1688-2 kann für folgende Anwendungen in Bereichen **Geologie, Mineralogie, Physik, Chemie, Bergbau und Bauwesen** eingesetzt werden:

- zur Bestimmung der Radon- und Thoronkonzentration in der Luft
- Zur Bestimmung des Radongehaltes in **Wasserproben und fließendem Wasser**
- **Bodenluftmessungen** bei Bauvorhaben und geophysikalischen Forschungen
- Lokalisierung von **Radon-Eintrittspfaden (Sniffing)** in Gebäuden
- **Emanationsmessungen**
- **Exhalationsmessungen**
- Als autonome **Messstationen** zur Überwachung von Gebäuden oder Anlagen

Die obige Liste möglicher Anwendungen ist auch erweiterbar, der Anwender kann mit dem RTM 1688-2 auch andere Messaufgaben lösen, die sich ihm stellen. Nähere Informationen zu möglichen Anwendungsgebieten können Sie im Abschnitt „Applikationsschriften“ finden. Bei Bedarf wenden Sie sich bitte auch an die Fachleute des Herstellers, um weitere Informationen und eine Beratung zu einer möglichen Lösung Ihrer spezifischen Messaufgabe zu erhalten.

Kurzbeschreibung

Vor Inbetriebnahme ist die mitgelieferte Sicherung an der Rückseite des Gerätes einzusetzen!

Das RTM 1688-2 ist ein absolut universeller Radon/Thoron Monitor, mit dem der gesamte Bereich der Radonmessungen abgedeckt werden kann. Seine hohe Sensitivität, kombiniert mit dem Messverfahren der Alpha-Spektroskopie erlauben schnellstmögliche Messungen auch bei geringen Radonkonzentrationen. Die Thoron-Konzentration wird gleichzeitig bestimmt. Radon-Eintrittspfade können mittels dem „Sniffing“ Modus gesucht und erkannt werden. Bodengas- und Wassermessungen sind dank eingebauter Pumpe kein Problem.

Die Bedienung des Gerätes erfolgt dennoch äußerst einfach über eine einzige Taste. An die Schnittstelle des Gerätes kann direkt ein Drucker angeschlossen werden, so dass ein Protokoll bereits vor Ort präsentiert werden kann.

Das RTM 1688-2 kann direkt an ein Modem (analog, ISDN oder GSM) zur Datenfernübertragung angeschlossen werden. Die Verbindung wird einfach und komfortabel über die mitgelieferte Radon Vision Software hergestellt.

Die Messkammer ist unempfindlich gegenüber Schwankungen der Luftfeuchte - die sonst bei Geräten, die nach diesem Messverfahren arbeiten übliche Trockenpatrone entfällt.

Besonderes Augenmerk wurde der Qualitätssicherung gewidmet. Zu jedem Messintervall wird ein komplettes Alpha-Spektrum gespeichert, anhand dessen sofort auf die einwandfreie Funktion des Gerätes zu jedem Zeitpunkt der Messung geschlossen werden kann. Es kann eine beliebige Anzahl von Messreihen angelegt werden, die Daten sind auch bei laufender Messung auszulesen.

Hervorzuheben ist noch das geringe Kammervolumen von nur 250 ml, welches eine Messung von Proben aus geringen Volumina zulässt.

Die Stromversorgung erfolgt über ein Netzteil oder über die interne Batterie. Diese ermöglicht eine autonome Operation von bis zu 14 Tagen.

Natürlich ist das RTM 1688-2 mit Sensoren für Temperatur, Feuchte und barometrischen Druck ausgestattet. Ein Bewegungssensor erkennt, wenn die Position des Gerätes während der Messung verändert wird.

Das Gerät wird mit einem DAkkS konformen Kalibrierzertifikat ausgeliefert. Die Kalibrierung erfolgt in unserem DAkkS-akkreditierten Radon-Kalibrierlabor nach den Vorgaben der DIN EN ISO/IEC 17025:2018.

Wichtiger Hinweis

Bei der Messung der Aktivitätskonzentration des Edelgases Radon 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.

Das RTM 1688-2 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 RTM 1688-2

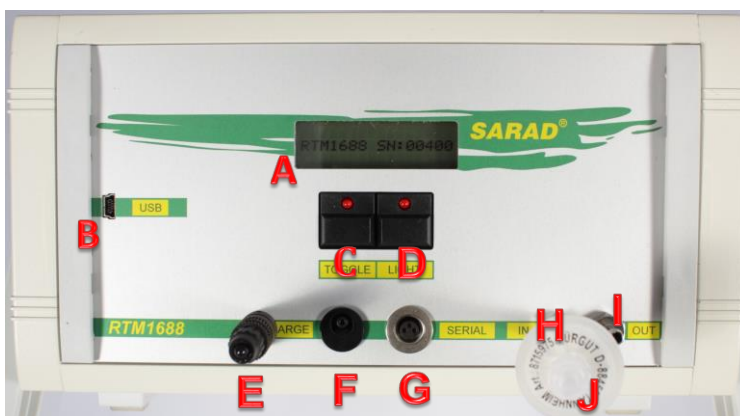


Abbildung 1: Anschlüsse und Bedienelemente

- | | |
|--|----------------------------------|
| A Display | F Externe Stromversorgung |
| B USB Schnittstelle | G RS 232 Schnittstelle |
| C Bedientaste (Toggle) | H Lufteintritt |
| D Hintergrundbeleuchtung | I Luftaustritt |
| E Anschluss Wassereintrittsschutz | J Staubfilter |

Stromversorgung

Vor Inbetriebnahme ist die Sicherung an der Rückseite des Gerätes einzusetzen. Das RTM 1688-2 besitzt keinen Ein-/Ausschalter, da die Stromaufnahme im Bereitschaftszustand kleiner als die Selbstentladung des Akkus ist. Nach Einsetzen der Sicherung erscheint am Display „RTM 1688 SN:XXXXX“. Da die Echtzeituhr des Gerätes nicht gepuffert ist, muss diese gestellt werden (siehe Handbuch Radon Vision SW). Das Gerät befindet sich nun in Bereitschaft.

Um die volle Batterieleistung über möglichst lange Zeit zu gewährleisten, empfiehlt sich eine periodische Entladung/Ladung aller ca. drei Monate auch wenn das Gerät nicht benutzt wird.

Bei längerer Lagerung sollte die Sicherung entnommen werden.

Das RTM 1688-2 kann entweder durch den eingebauten Blei-Gel Akku (12V/3,2Ah) oder das mitgelieferte Stecker-Netzteil versorgt werden. Sobald das Netzteil angeschlossen ist, leuchtet die LED an der Taste „LIGHT“ und der Akku wird geladen. Nach einiger Zeit leuchtet zusätzlich die LED am Taster „TOGGLE“, **es dauert jedoch etwa 8 Stunden bis der Akku vollständig geladen ist.**

Die Betriebsdauer bei vollständig geladenem Akku beträgt mehr als 24 Stunden. Sinkt die Spannung unter 11,8V, wird nach Ablauf jeder Minute „LOW BATTERY!“ im Display angezeigt – die Messung kann jedoch über mehrere Stunden fortgeführt werden. Nach Betätigen der „TOGGLE“ Taste erscheint wieder die normale Displayanzeige.

Entlädt sich der Akku weiter bis zu einer Spannung von 11,2V, wird die Messung automatisch unterbrochen. Ein Neustart ist erst nach Anstecken des Ladegerätes möglich.

Eingangs-Filter

Das Gerät verfügt über einen mehrstufigen, hocheffizienten Filter zur Abscheidung der bereits in der Messluft vorhandenen Folgeprodukte. Dieser wird durch den auf den Lufteintritt gesteckten Spritzen-Filter vor Verschmutzung durch Partikel in der Messluft geschützt. Betreiben Sie das Gerät nicht ohne diesen Filter und tauschen sie diesen bei Bedarf aus (Verfärbung durch Schmutz). Achten Sie auf die korrekte Einbaurichtung. Manche Filter können in der verkehrten Richtung den Lufteintritt blockieren.

Wassereintrittsschutz (optional)

Bitte niemals ohne den angeschlossenen Edelstahlbehälter der Wassereintrittssicherung Radon in Bodengasen oder in Wasserproben messen!

Dadurch wird verhindert, dass Wasser in die Hochspannungskammer des Gerätes gelangt. **Das Eindringen von Wasser in das Gerät kann zu dessen Ausfall und infolgedessen zu sehr teuren Reparaturen führen!**

SARAD GmbH bietet seinen Kunden einen speziellen Edelstahlbehälter mit Schwimmkontakt an, um bei der Messung von Radon in Bodengasen und in Wasserproben das Eindringen von Wasser in das Gerät zu verhindern. Dazu wird ein spezieller Edelstahlbehälter (siehe Foto) an die Luftsaugleitung des Radonmessgerätes zwischen Bodenluftsonde bzw. Wasserprobe und Messgerät angeschlossen und ebenfalls mit einem Stecker verbunden. Wenn Wasser in den Edelstahlbehälter eindringt, werden die Pumpe und das Luftansaugen automatisch abgeschaltet und somit das Eindringen von Wasser in die Hochspannungskammer und der daraus resultierende Ausfall des Gerätes verhindert. Um die Messung fortzusetzen, gießen Sie das in den Edelstahlbehälter eingedrungene Wasser aus. Zum Entleeren wird der Stecker vom Gerät abgezogen und der Edelstahlbehälter abgenommen. Um die korrekte Funktion des Wassereintrittsschutzsystems zu gewährleisten, muss der Edelstahlbehälter während der Messung streng senkrecht stehen!

Wenn das Gerät zur Messung von Radon in der Luft verwendet wird, muss der mitgelieferte lose Stecker eingesteckt werden, anstatt den speziellen Edelstahlbehälter anzuschließen. Andernfalls würde die eingebaute Pumpe keine Luft mehr ansaugen.



Abbildung 2: Edelstahlbehälter des Wassereintrittsschutzes

Durchführen einer Messung

Um die Messung zu Starten ist lediglich die "TOGGLE" Taste kurz zu betätigen. Die Pumpe startet und am Display erscheinen die verbleibenden Minuten bis zum Ende des ersten Integrationsintervalls:

RTM 1688 SN:00001
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 Taste „TOGGLE“ 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 untere 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

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

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

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

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

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

```
>>17.04.06 16:32
ALM:      250Bq/m3
CONT.     SNIFF216
```

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.

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.

Pumpe

Es sind zwei verschiedene Pumpen-Modi per Software wählbar, kontinuierlicher oder Intervallbetrieb. Im ersten Fall läuft die Pumpe über die gesamte Messdauer während im Intervallbetrieb nur die ersten fünf Minuten eines jeden Intervalls gepumpt wird (vollständiger Luftaustausch in der Messkammer). Ist das eingestellte Integrationsintervall kleiner als fünf Minuten wird ebenfalls dauernd gepumpt.

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.

Die Vorgehensweise für die „Sniffing“ Messung wäre wie folgt:

Man sollte das Gerät über die mitgelieferte Software (Radonvision) konfigurieren.

Die Einstellung des Intervalls lässt sich über die Software beliebig zwischen 1 und 255 min wählen (am Gerät könnten nur fixe Werte gewählt werden). Für Radon kann ein Intervall von 5 min und für Thoron 1 min gewählt werden. Die Konfiguration des Alarms kann bestimmt werden. Der Pumpenmodus sollte auf ständig eingestellt werden. Die Messung sollte für Radon im Modus „schnell“ (FAST) vorgenommen werden (Anzeige zeigt Radon*).

Zu überprüfen wäre der Ladezustand des Akkus (möglichst >12V).

Zu beachten ist, dass die Pumpe nur läuft wenn der Wassereintrittsschutz angesteckt ist (oder nur der Stecker).

An der Messtelle sollte um den Schlauch eine Dichtmasse angebracht werden, um das Ansaugen der umgebenden Luft zu vermeiden.

Mit dem Drücken der Toggle Taste kann die Messung gestartet werden.

Sollten die Messwerte unter dem zu detektierenden Grenzwert sein, erscheint auf der Anzeige BDL (Below Detection Limit).

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.

Protokollausdruck

Das RTM 1688-2 erlaubt den direkten Ausdruck der akquirierten Messdaten auf dem portablen Protokolldrucker. Ein Protokoll kann nur für die zuletzt gespeicherte Messreihe erstellt werden. Der Drucker wird über das Adapterkabel (9-poliger SUB-D Stecker auf 3-poligen Rundstecker) an das RTM 1688-2 angeschlossen. Um den Drucker einzuschalten ist die rechte Taste (Dreieck) am Bedienfeld zu betätigen. Die grüne LED neben der Taste beginnt zu blinken. Achtung: der Drucker schaltet sich nach einer Minute selbständig wieder aus falls kein Druckvorgang ausgelöst wurde. Zum Drucken ist die evtl. noch laufende Messung zu stoppen. Befindet sich das RTM 1688-2 im Bereitschaftsmodus, kann der Protokolldruck durch Drücken und Festhalten (für vier Signaltöne) der „TOGGLE“ Taste gestartet werden. Am Display erscheint „...print protocol“.

Wurde durch zu kurzes Betätigen der Taste versehentlich eine neue Messung gestartet, kann diese vor Ablauf des ersten Integrationsintervalls wieder gestoppt werden, um die gewünschte Messreihe zu drucken.

Der Protokollkopf enthält neben der Seriennummer des Gerätes den Beginn und das Ende der Messreihe, die Gesamtmesszeit sowie die gemittelten Konzentrationen für Radon und Thoron. Danach werden die einzelnen Datensätze mit Zeitmarke, Konzentrationswerten und Klimaparametern gedruckt.

RTM 1688 SN:XXXXX

Begin	06/12/23	12:34
End	06/12/24	17:34
Average		12.2Hrs
Radon	1234567Bq/m³	
Thoron	1234567Bq/m³	

	04/27/06	15:32
Radon	1234567Bq/m³	+12%
Thoron	1234567Bq/m³	+12%
25.5 °C	56%rH	1002mbar

...weitere Datensätze

Hinweis zum Drucker: Der Drucker wird über fest eingebaute Akkus versorgt. Diese werden über das mitgelieferte Stecker-Netzteil geladen. Die Ladezeit beträgt ca. 5 Stunden je nach dem Hersteller. Während des Ladevorganges blinkt die grüne LED. Bei Erreichen der vollen Ladung leuchtet diese permanent. Bei entladem Akku blinkt die LED rot, ebenso bei Papierende.

Zum Einlegen einer neuen Papierrolle ist das Papierfach durch leichtes nach oben Ziehen der im Deckel eingearbeiteten Lasche zu öffnen. Von der neuen Papierrolle sind ca. 10cm abzuwickeln. Die Rolle wird mit dem abgewickelten Ende zum Bedienfeld hin eingelegt. Das abgewickelte Ende wird über nun das Bedienfeld gelegt und das Papierfach durch Druck von oben auf den Deckel geschlossen.

Weiterführende Informationen können dem beiliegenden Druckerhandbuch entnommen werden.

Datenübertragung zum PC

Die aufgenommenen Messdaten können zur weiteren Bearbeitung über die mitgelieferte Auslekabel zum PC übertragen werden. Dazu ist das Kabel am Gerät und an ein verfügbares 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. Jedoch am einfachsten tun Sie das über USB-Schnittstelle am Gerät und mit Hilfe des mitgelieferten USB-Kabels. Weiter Informationen entnehmen Sie bitte dem Software Manual.

MODBUS RTU „over serial line“ Protokoll

Das MODBUS-RTU Protokoll bietet eine zusätzliche Kommunikations-Option zum SARAD Standard Protokoll. Die Auswahl erfolgt je nach Gerät über Jumper, Schalter oder Menü. Das MODBUS-RTU Protokoll beinhaltet nur einen Teil Schnittstellen-Funktionalität und ist primär für das zyklische Lesen der aktuellen Messwerte vorgesehen. Das Ändern der Geräte-Konfiguration sowie das Lesen von gespeicherten Messdaten sind nur über die Standard-Schnittstelle möglich.

Standard:

1. MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b3
2. MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.02
3. www.modbus.org

Entsprechend dem MODBUS Standard werden folgende Kommunikationsparameter verwendet:

- Baudrate: 9600 oder 19200 bps (über Konfiguration einstellbar)
- Datenformat: 1 Startbit, 8 Datenbits, 1 Paritätsbit, 1 Stoppbit (11 Bit)
- Parität: EVEN
- Adressbereich: 1...255 (über Konfiguration einstellbar)

Bus-Timing:

	9600 bps	19200 bps
Min. Zeit zwischen zwei Frames ($t_{3.5}$)	4,025ms	2,01ms
Max. Zeit zwischen zwei Bytes innerhalb des Frames ($t_{1.5}$)	1,75ms	0,862ms
Bearbeitungszeit für Funktion (Empfang bis Antwort)	< 1s	< 1s

Fehlerbehandlung

Unvollständige Frames oder solche mit falscher Prüfsumme empfangen wurden, werden entsprechend dem Standard nicht beantwortet und führen auf Client-Seite zum Time-Out.

Ungültige oder nicht unterstützte Funktions-Codes, Registeradressen und Datenlängen werden mit den entsprechenden Exception-Codes beantwortet:

Ungültige Funktion:	Code 0x01
Ungültige Adresse:	Code 0x02
Ungültige Registeranzahl:	Code 0x03

Hardware

- Geräte mit RS485 Schnittstelle (Bus Funktionalität)
- Geräte mit RS232 Schnittstelle und RS485/RS232 Konverter (Bus Funktionalität)
- Geräte mit RS232 oder internem USB /UART Konverter (ohne Bus Funktionalität – z.B. an lokalem PC mit MODBUS Treiber)

Funktions code 0x03 (read holding register)

Gültige Registeradressen sind:

Register Adresse	Registerinhalt	Anzahl Register	Format
0x0000	Radon Konzentration [Bq/m ³]	2	Float
0x0002	Statistischer Fehler Radon Konzentration [%]	2	Float
0x0004	Mittlere Radonkonzentration seit Start [Bq/m ³]	2	Float
0x0006	Akkuspannung [V]	2	Float
0x0008	Temperatur [°C]	2	Float
0x000A	Relative Feuchtigkeit [%]	2	Float
0x000C	Barometrischer Druck [mbar]	2	Float
0x000E	Thoron Konzentration [Bq/m ³]	2	Float
0x0010	Statistischer Fehler Thoron Konzentration [%]	2	Float
0x0012	Mittlere Thoronkonzentration seit Start [Bq/m ³]	2	Float

Float-Werte (4 Byte) entsprechend der IEEE 754 werden als zwei aufeinanderfolgende 16Bit Register übertragen. Die Anzahl der zu lesenden Register muss 2 sein, d.h. es kann pro Frame nur ein Wert gelesen werden. Andere Werte und in der Tabelle nicht aufgeführte Register-Adressen werden mit entsprechenden Exceptions beantwortet.

Bus Einstellungen:

- Adresse mit INIT software
- Transfer Protokoll mit Tastendruck im Menü im Gerät

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 (δ) angegeben, z.B. 1δ , 2δ oder 3δ 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

$$E[\%] = 100 \% \cdot k \cdot \delta(N) / N$$

Die simple Schlussfolgerung lautet: Je größer die Anzahl der detektierten Zerfälle, umso 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/m³ 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 ($100\% \cdot 1 \cdot \delta(100) / 100 = 10 \%$). 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:

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

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:

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

$$E(1\delta) = 100 \% * 1 * \delta(N) / N = 100 \% * 1 * \delta(192) / 192 = 7,22 \%$$

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

$$E(2\delta) = 100 \% * 2 * \delta(N) / N = 100 \% * 2 * \delta(192) / 192 = 14,44\%$$

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 Bq/m³ \pm 10 % δ Fehlerintervall [1350 ... 1650 Bq/m³]

Messwert 2: 1300 Bq/m³ \pm 13 % δ Fehlerintervall [1131 ... 1469 Bq/m³]

Da der obere Grenzwert des Messwertes 2 größer als der untere Grenzwert des ersten Messwertes ist, liegt eine Überlappung des Fehlerintervalls vor. Da der „wahre“ Wert der Radonkonzentration zwischen 1350 Bq/m³ und 1469 Bq/m³ liegen könnte, kann nicht von einer signifikanten Konzentrationsänderung ausgegangen werden.

Beispiel 2:

Messwert 1: 1500 Bq/m³ \pm 10 % δ Fehlerintervall [1350 ... 1650 Bq/m³]

Messwert 2: 1000 Bq/m³ \pm 15 % δ Fehlerintervall [850 ... 1150 Bq/m³]

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:

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

Servicehinweise

Für alle unsere Produkte bieten wir einen umfangreichen Reparatur-, Wartungs- und Kalibrierservice.

Bitte füllen Sie das Formular auf unserer Homepage (<https://sarad.de/service.php>) **VOR DEM ZUSENDEN EINES GERÄTES** aus und senden Sie es an uns. Wir benötigen den Gerätetyp und die Seriennummer sowie eine kurze Beschreibung des aufgetretenen Fehlers oder der erwarteten Serviceleistung. Sie erhalten dann von uns eine erste Kostenabschätzung sowie Informationen zur weiteren Verfahrensweise.

Die Geräteprüfung und die Erstellung des Kostenvoranschlages für Reparaturen nach Ablauf der Garantie sind kostenpflichtig.

Als DAkkS akkreditiertes Kalibrierlabor bieten wir den **Kalibrierservice** an, gehen Sie bitte hierzu ebenfalls auf unsere Homepage (https://sarad.de/product-detail.php?p_ID=109&cat_ID=1) und füllen Sie das entsprechende Formular aus.

Jährlich sollte das Gerät kalibriert werden. Die Kalibrierung erfolgt bei Radonkonzentrationen von 300 Bq/m³ **und/oder** 3000 Bq/m³ mit vorheriger Bestimmung des Nulleffektes.

Entsorgungshinweise

Batterien und Akkus dürfen nicht im Hausmüll entsorgt werden sondern müssen an den speziell dafür vorgesehenen Annahmestellen abgegeben werden. Elektronische Messgeräte müssen als „Elektronik-Schrott“ bei entsprechenden Annahmestellen entsorgt oder nach Nutzungsende dem Hersteller zugestellt werden. Wenn notwendig, ist das Gerät vorher zu dekontaminieren.

Technische Daten

Messbereich	
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	15 Minuten
Radon slow	120 Minuten
Thoron	1 Minute
Sensitivität (fast/slow)	3 / 6,5 Impulse/min @ 1000 Bq/m ³
Messunsicherheit	7%/5% @ 1kbq/m ³ ; 1h
Integrationsintervall	1 ... 255 Minuten (einstellbar)
Datenspeicher	2047 Datensätze (Ringspeicher)
Durchfluß Pumpe	0,3 l/min
Internes Volumen	ca. 250 ml
Stromversorgung	
Batteriebetrieb	> 160 Stunden (kontinuierliches Pumpen) > 10 Tage (Pumpen im Intervallbetrieb)
Batterieladezeit	8 Stunden
Steckernetzteil	100 - 240 V/AC, 50/60Hz / 18 V/DC 1A
Bedienung	Display 3 x 16, 2 Taster, akustischer Signalgeber, LED
Schnittstellen	USB / RS232 / RS485 (optional)
Protokolle	SARAD proprietär MODBUS RTU (9600/19200bps) – MODBUS-Version ASCII Protokoll Druck über RS232 – Standard Version
Abmessungen	232 mm x 182 mm x 135 mm
Umgebungsbedingungen	
Temperatur	5 °C ... 40 °C
Rel. Feuchte	0 ... 95%, nicht kondensierend
Bar. Druck	800...1100 hPa
Gewicht, netto	3,5 kg
Bewegungserkennung	bei Bewegungen über mehr als 8 Sekunden

Lieferumfang:

Nr.	Art.-Nr.	Bezeichnung	Menge/Einheit	Vermerk
1	22050020	Messgerät RTM 1688-2	1	
2		Ladenetzteil 110-240V/AC, 50/60Hz / 18 V/DC	1	
3	80020002	Staubfilter 40µm	2	
4		Sicherung	2	
5		PVC Luftschlauch (6,35 x 3,18)mm	1,5 m	
6		USB Kabel	1	
7		RS232 Kabel	1	
8		Transportkoffer	1	Kann durch einen Messkoffer ersetzt werden
9		Radon Vision Software	CD*	Aktuelle Version
10		Handbuch RTM 1688-2	CD*	
11		Handbuch Radon Vision SW	CD*	
12		Kalibrierzertifikat lt. DIN ISO 17025	1	
13		Garantiezertifikat	1	

*auch auf der Homepage <https://sarad.de> frei verfügbar

Optionales Zubehör:

Nr.	Art.-Nr.	Bezeichnung	Menge/Einheit	Vermerk
1	20050025	Messkoffer für RTM 1688-2 inkl. zusätzlichen Einbauten * inkl. 1x Schlauch 2m (6x3mm) 2x Übergangsstücke 5/10mm 1x Schlauch 1m (10x6mm)	1	
2	20050021	Transportkoffer für RTM 1688-2 (Peli™)*	1	
3	10010003	Aqua Kit für Radongasmessung in Wasserproben, 500ml, inkl. 1x Schlauch 1m (6x3mm) 2x Übergangsstücke 5/10mm 2x Schläuche 15cm (10x6mm)	1, Set	
4	10010004	Gastransfermembran für Radongasmessung in kontinuierlich fließendem Wasser	1, Set	
5	10010007	Bodenluftsonden, 1m, inkl.: 2x Übergangsstücke 10/13mm, 2x Übergangsstücke 5/10mm, 1x Schlauch 1,5m (6x3mm) 1x Schlauch 1,5m (10x6mm) 1x Schlauch 15cm (14x10mm)	1, Set	
6	10010017	Scharfe Spitzen für Bodenluftsonden	1, Set	100 Stück
7	80020005	Einfacher Retraktor für Bodenluftsonden	2, Stck	
8	10010010	Spezialretraktor für Bodenluftsonden	1	

9	20040003	Monopak Bohrlochpackersonde 1m + Pumpe	1, Set	
10	20040004	Twinpak Bohrlochpackersonde (bis 4,3m)	1, Set	
11	10010009	Exhalationshaube 430 mm x 430 mm, inkl. 1x Schlauch 1,5m (6x3mm) 2xÜbergangsstücke 5/10mm 2xSchläuche 15cm (10x6mm)	1	
12	22050100	Thermodrucker	1	
13	90050027	Wassereintrittsschutz	1, Set	
14	80020002	Staubfilter	1, Set	10 Stück
15	90010126	4G VPN-Router inkl. Netzteiladapter	1	
16	50011012	5l Behälter zur Messung der Radon- Emanation aus Schüttgut	1	