

Handbuch

RTM2200 - RPM2200 - EQF3200 EQF3220 - A²M4000

November 2016

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

Einleitung

Die Geräte RTM2200, RPM2200, EQF3200, EQF3220 und A²M4000 basieren auf der von SARAD entwickelten DACM (Data Acquisition & Control Module) Technologie.

Die DACM Technologie bietet eine universelle Messgeräte-Plattform, die ohne Programmierkenntnisse und Eingriffe in die Hardware an eine beliebige Messaufgabe angepasst werden kann. Im Gegensatz zu herkömmlichen Datenerfassungssystemen kann das DACM neben der Messdatenerfassung und -verwaltung gleichzeitig komplexe Messabläufe steuern.

Die DACM Systemarchitektur ist durch ihre Portierbarkeit und Skalierbarkeit universell und zukunftsorientiert ausgelegt. Ihr Leistungsumfang kann beliebig erweitert oder spezialisiert werden, ohne dass die Grundstruktur der Gerätesteuerung und des Datenflusses verändert werden muss. In allen oben genannten Gerätetypen wird das Modul DACM-01 als Gerätebasis verwendet.

Aufbau dieses Handbuches

Die Kapitel 1 und 2 beschreiben die allgemeinen Gerätefunktionen, die durch die Verwendung der DACM-01 Plattform implementiert sind. Diese Grundfunktionalität wird gerätespezifisch durch entsprechende Sensoren, Detektoren und Probenahme-Einrichtungen erweitert. Diese werden in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben. Die untenstehende Tabelle gibt einen Überblick über die Ausstattung der einzelnen Gerätetypen:

	RTM2200	RPM2200	EQF3200	EQF3220	A ² M4000
Radon-Messkammer (Kapitel 3)	X	-	X	X	O
Aerosol- und Folgeprodukt-Messkopf (Kapitel 4)		X	X		X
Messkopf für freie und angelagerte Radonfolgeprodukte (Kapitel 5)	-	-	-	X	-
NaI Gamma-Detektormodul (Kapitel 7)	O	O	O	O	X
Gasdetektoren für brennbare Gase und Kohlenmonoxid bzw. Ammoniak und Methan (Kapitel 8)	O	O	O	O	X

X = Standardvariante, O = optional erhältlich, - nicht verfügbar

INHALT

INHALT.....	2
1. Die DACM Technologie im Überblick.....	4
1. 1. Messablaufsteuerung.....	4
1. 2. Komponenten-Konfiguration	4
1. 3. Datenfluss	4
1. 4. Alarmbehandlung.....	5
1. 5. PC Anbindung des DACM.....	5
1. 5. 1. Konfigurationssoftware (dCONFIG).....	5
1. 5. 2. Betriebssoftware (dVISION)	5
2. Gerätebedienung.....	7
2. 1. Einschalten des Gerätes, Hauptschalter und Sicherung, Akkuwechsel	7
2. 2. Laden/Wartung des Akkus	7
2. 3. Bedienung des Gerätes (Touchscreen)	7
2. 4. Die Computerschnittstellen des Gerätes (RS232, USB)	8
2. 5. Datenspeicherung auf SD Card	8
2. 6. Menüführung.....	8
2. 6. 1. Hauptseite	8
2. 6. 2. Modulinfos und Setup.....	9
2. 6. 3. Komponenten-Konfiguration.....	9
2. 6. 4. Auswahl des Messzyklus.....	9
2. 6. 5. Anzeige der aktuellen Messwerte.....	9
2. 6. 6. Anzeige der auf der SD-Card gespeicherten Messdaten	10
2. 7. Nutzung der freien Komponenten durch den Anwender	10
2. 8. Geräte-Setup (Zeitschaltuhr, Synchronstart, Displayabschaltung).....	12
2. 8. 1. Zeitschaltuhr	12
2. 8. 2. Synchronstart zu festgelegter Tageszeit	12
2. 8. 3. Abschaltintervall für Display.....	12
2. 9. Abruf aktueller Messwerte über die PC Schnittstelle.....	12
2. 10. Der integrierte GPS Empfänger	13
3. Die Radon-Messkammer.....	14
3. 1. Interner Luftkreislauf	14
3. 2. Hinweise zum Betrieb	14
3. 3. Funktionsprinzip	15
4. Messkopf für Radonfolgeprodukte und radioaktive Aerosole.....	16
4. 1. Messprinzip	16
4. 2. Berechnung der Messgrößen.....	16
4. 2. 1. Radon Folgeprodukte	16
4. 2. 2. Langlebige Isotope (Alpha/Beta – A ² M4000).....	16
4. 2. 3. Gamma Untergrundstrahlung (A ² M4000)	17
4. 2. 4. Messung des natürlichen Urans (A ² M4000)	17
4. 3. Einsatzbedingungen.....	18
4. 4. Filterwechsel	18
4. 5. Filter-Bypass beim EQF3200	19
5. Messkopf für freie und angelagerte Folgeprodukte	20
5. 1. Anschluss und Betriebspositionen	20
5. 2. Messprinzip	20
5. 3. Berechnung der Messgrößen.....	21
5. 4. Filterwechsel	22

5. 5. Abnehmen des Screens.....	22
6. Filterverbrauchsanzeige und Pumpenschutz.....	23
7. Gamma – Sonde	24
7. 1. Allgemeine Hinweise zum Betrieb der Sonde	24
7. 2. Temperaturverhalten der Gamma-Sonde	24
7. 3. Berechnung der Messgrößen und Nuklid Identifikation.....	26
7. 3. 1. Trapezmethode	26
7. 3. 2. PSV Methode	26
7. 3. 3. Berechnung der nuklidspezifischen Aktivität.....	27
7. 3. 4. Berechnung der Dosisleistung.....	27
7. 4. Tools für Gamma Detektoren.....	29
7. 5. Definition der Nuklid-Liste	31
7. 6. Detektor-Kalibrierung	31
7. 6. 1. Definition des Energiebereiches	32
7. 6. 2. Energie- und Peakbreiten-Kalibrierung.....	32
7. 6. 3. Effizienz Kalibrierung	35
8. Gas-Sensoren	38
9 Entsorgungshinweise.....	38

1. Die DACM Technologie im Überblick

Jedes DACM basiertes Gerät besteht aus einem Systemkern und einem Set von Komponenten. Im Systemkern sind die allgemeinen Messgeräte-Funktionen wie Bedienung, Datenspeicherung, Schnittstellenbehandlung sowie die Komponentenverwaltung und die Messablaufsteuerung zusammengefasst.

Die in einem DACM implementierten Komponenten stellen dem Anwender eine Bibliothek von Funktionsgruppen zur Verfügung, die nach eigenen Erfordernissen manipuliert werden können:

- Jede Komponente kann spezifisch konfiguriert werden (z.B. Kennlinie, Betriebsmodi etc.).
- Der Zustand einer Komponente ist innerhalb der Messablaufsteuerung veränderbar
- Komponenten können Messdaten erzeugen, anzeigen und speichern
- Komponenten können Alarmer generieren bzw. Alarmer bearbeiten

Der Funktionsumfang des DACM-01 ist im Dokument „DACM-01 Hardware-Referenz“ näher erläutert.

1. 1. Messablaufsteuerung

Zur Steuerung eines Messablaufes wird zunächst ein Zyklus (Messprogramm) mit einer bestimmten Zeitdauer definiert. Eine Messreihe besteht aus einer beliebigen Anzahl von Wiederholungen dieses Zyklus. Am Ende eines jeden Zyklus werden alle eventuell akquirierten Daten synchron gespeichert, unabhängig davon wann genau die Abtastung innerhalb des Zyklus erfolgte.

Ein Zyklus kann in bis zu 32 Subintervalle unterteilt werden. Für jedes der Subintervalle kann der Zustand jeder einzelnen Komponente vom Anwender definiert werden. Dies geschieht je nach Art der Komponente durch ein Steuerbit bzw. ein Steuerwort. Die Dauer eines Subintervalls kann minimal eine Sekunde betragen.

Zum Editieren eines Zyklus wird die DACM Konfigurationssoftware verwendet. Die Zustände der Komponenten werden in einem Zeitdiagramm grafisch dargestellt und können mit wenigen Mausklicks geändert werden.

Es können mehrere Zyklen im Gerät nichtflüchtig gespeichert und zur Abarbeitung aufgerufen werden.

1. 2. Komponenten-Konfiguration

Jede in die Hardware eines DACM implementierte Komponente kann vom Anwender entsprechend der jeweiligen Messaufgabe konfiguriert werden. Die Konfigurationsparameter einer Komponente werden durch den jeweiligen Komponententyp bestimmt. In einem Modul können bis zu 64 Komponenten eines bzw. unterschiedlicher Typen vorhanden sein.

1. 3. Datenfluss

Die generierten Messdaten werden stets als Rohdaten, d.h. im durch die Komponenten-Hardware erzeugten Binär-Format gespeichert. Dies sichert eine absolute Rückverfolgbarkeit der Messdaten im Sinne der Qualitätssicherung. Eine Komponente kann aus den Rohdaten eine oder auch mehrere Messgrößen generieren. Für die Anzeige am DACM bzw. für den Abruf aktueller Messwerte über die Kommunikations-Schnittstelle werden die Messwerte vom Modul berechnet. Beim Transfer der kompletten Messreihen zum PC werden dagegen die komprimierten Rohdaten gemeinsam mit den Komponenten-Konfigurationen übertragen.

Die Berechnungsvorschriften für die einzelnen Komponenten sind also sowohl in der Firmware des DACM als auch in der PC Software hinterlegt.

Werden Messdaten auf Wechselmedien (SD-Card) gespeichert, so wird dort immer auch eine Kopie der Komponenten-Konfiguration abgelegt, so dass die Daten unabhängig vom DACM korrekt interpretiert werden können.

1. 4. Alarmbehandlung

Verschiedene Komponenten besitzen die Eigenschaft Alarme zu generieren (Alarm-Quelle). Die Art des Alarms wird dabei vom Komponententyp vorgegeben und die evtl. erforderlichen Alarmbedingungen können in der Konfiguration der jeweiligen Komponente vorgegeben werden. Die Alarmprüfung erfolgt in 1 Sekunden-Intervallen für alle in den Messablauf und die Alarmbehandlung einbezogenen Komponenten.

Einige Komponenten besitzen wiederum die Eigenschaft als Ausgabeeinheit bei einem aufgetretenen Alarm zu fungieren (Alarm-Ziel). Bei der Konfiguration einer Alarm-Quelle kann das Alarm-Ziel (z.B. ein Schaltausgang) aus einer Liste aller verfügbaren Alarm-Ziele frei gewählt werden. Die Reaktion der Ziel-Komponente auf einen aufgetretenen Alarm hängt wiederum vom Komponententyp und den eingestellten Konfigurationsparametern ab.

1. 5. PC Anbindung des DACM

Betriebssoftware und Konfigurationssoftware werden als getrennte Programme geliefert. Dadurch ist das Gerät nach einmal erfolgter Konfiguration ebenso einfach handhabbar wie ein nur für den speziellen Einsatzzweck konstruiertes Gerät. Es wird zu beiden Programmen ein separates Handbuch mitgeliefert, so dass an dieser Stelle nur der Funktionsumfang skizziert wird.

1. 5. 1. Konfigurationssoftware (dCONFIG)

Die Konfigurationssoftware ermöglicht:

- das Übertragen der aktuellen Konfiguration und der gespeicherten Messabläufe vom und zum Modul
- das Editieren der allgemeinen Modulinformationen
- das Editieren der Konfigurationen der einzelnen DACM Komponenten
- das Editieren der Messablaufsteuerungen
- das Speichern und Laden von Konfigurations- und Messablaufdateien als Datei

Nach Übertragen der Modulkonfiguration wird eine Liste aller am Modul verfügbaren Komponententypen angezeigt. Tabellen zeigen übersichtlich die aktuellen Einstellungen der Parameter aller verfügbaren Komponenten des gleichen Typs. Durch einen Klick in die Tabelle öffnet sich ein Dialog zur Bearbeitung der Einstellparameter der selektierten Komponente. Die geänderten Konfigurationen können zum Modul übertragen oder auf dem PC gespeichert werden.

1. 5. 2. Betriebssoftware (dVISION)

Die Betriebssoftware ermöglicht:

- das Stellen der Echtzeituhr des DACM
- das Einstellen der Schaltzeituhr
- das Starten und Stoppen der im DACM gespeicherten Messzyklen

- die Anzeige aktueller Messwerte bei bestehender Datenverbindung
- das Laden der Messdaten vom DACM
- das Speichern der Daten als Set oder als einzelne Tracks
- die grafische Darstellung der Messdaten (konfigurierbare Ansicht)
- den Export der Messdaten in Excel/GIS kompatible Textformate

Die vom DACM geladenen Messdaten werden zunächst als Original-Datei mit vorgegebener Nomenklatur gespeichert. Sie enthält die Messreihen aller Komponenten, die zugehörigen Konfigurationsparameter sowie alle weiteren Informationen über das DACM.

Zur weiteren Bearbeitung wird eine Originaldatei in einzelne Datenspuren (Tracks) aufgelöst, d.h. jeweils eine eigene Messreihe für jede Messgröße generiert. Diese Tracks können einzeln gespeichert und dann in beliebiger Zusammenstellung für die Ausgabe (Grafik, Export) geladen werden. Dies ermöglicht die gleichzeitige Darstellung der Messdaten verschiedener Geräte oder auch die Darstellung von aufeinanderfolgenden Messreihen eines Gerätes.

Grafikoptionen:

- Auswahl eines beliebigen Zeitbereiches (automatische Achsenskalierung)
- Beliebige Zusammenstellung der Messreihen mit mehreren Y-Achsen
- Auswahl der Linienstärke, Farbe und Darstellungsart eines Tracks
- Gitter und Fadenkreuz-Cursor mit direkter Wertanzeige für einen selektierten Track
- Freie oder automatische Wahl der Y-Skalierung für jeden Track

2. Gerätebedienung

2. 1. Einschalten des Gerätes, Hauptschalter und Sicherung, Akkuwechsel

Das Gerät wechselt nach Beenden einer Messung in einen „Standby“ Modus, so dass ein komplettes Trennen des Gerätes vom internen Akku nicht notwendig ist. Wird das Gerät jedoch über längere Zeit nicht benutzt, sollte der Akku vollständig geladen und eine Trennung von der Stromversorgung durch Entfernen der Sicherung an der Geräterückseite erfolgen.

2. 2. Laden/Wartung des Akkus

Im Gerät ist ein NiMH Akku mit einer Nennspannung von 12V und einer Kapazität von 7,6Ah eingebaut. Der Stromverbrauch während der Messung ist von der Gerätekonfiguration und den im Messzyklus genutzten Komponenten/Sensoren abhängig. Nutzen Sie nur die tatsächlich benötigten Komponenten/Sensoren, um die Akku-Betriebszeit zu maximieren.

Das Aufladen des Akkus erfolgt durch das mitgelieferte Stecker-Netzteil. Dieses muss eine Ausgangsspannung von 18V besitzen und wenigstens einen Strom von 2A liefern können (>38W). Die integrierte Ladeschaltung eine schnelle Ladung des Akkus. Die Ladezeit beträgt bei vollständig entladem Akku ca. vier Stunden. Während des Ladevorgangs leuchtet die rote LED rechts unterhalb des Displays. Sie erlischt, wenn der Akku vollständig geladen ist.

Der Akku sollte stets bei Temperaturen zwischen 10°C und 30°C geladen werden. Bei Umgebungstemperaturen über 40°C wird der Ladevorgang zum Schutz des Akkus automatisch unterbrochen.

Das Gerät kann dauerhaft mit dem Netzteil betrieben werden. Die Laderegung sorgt für zyklisches Laden zur Optimierung der Akku-Lebensdauer. Während des Ladevorganges wird Wärme freigesetzt, die zu einer Erwärmung des gesamten Gerätes führt. Der integrierte Temperatursensor zeigt dann deutlich erhöhte Werte. Zur korrekten Messung der Außentemperatur sollte im Falle dauerhaften Netzbetriebes ein zusätzlicher, vom Gerät abgesetzter Sensor verwendet werden.

Im Standby beträgt die Stromaufnahme je nach Ausstattung nur einige hundert Mikroampere. Bei längeren Standzeiten des Gerätes kann es dadurch zur vollständigen Entladung des Akkus kommen. Um den diesen vor Tiefentladung zu schützen, wird die Elektronik bei Unterschreitung einer Spannung von etwa 10,5V vollständig abgeschaltet. Das Gerät muss jetzt geladen werden, bis die Akkuspannung wenigstens 10,8V beträgt. Erst danach ist das Einschalten wieder möglich. Sinkt im Messbetrieb die Akkuspannung unter 11,2V, so wechselt das Gerät automatisch in den Standby-Modus.

2. 3. Bedienung des Gerätes (Touchscreen)

Die Bedienung am Gerät erfolgt mittels Touchscreen. Display und Hintergrundbeleuchtung benötigen vergleichsweise viel Strom, so dass eine automatische Abschaltung auch bei laufender Messung erfolgt wenn keine Eingaben vorgenommen werden. Die Zeitspanne vom letzten „Touch“ bis zum Abschalten kann über die Geräte-Setup auf maximal 255 Sekunden eingestellt werden.

Das Display wird zugeschaltet, sobald der schwarze Druckschalter unterhalb des Displays betätigt wird. Es wird danach stets die letzte angezeigte Displayseite aktiviert. Alle weiteren Bedienfunktionen erfolgen über die am Display angezeigten dynamischen Touch-Buttons.

2. 4. Die Computerschnittstellen des Gerätes (RS232, USB)

Das Gerät ist sowohl mit einem USB Anschluss (rechts neben dem Display) als auch mit einer RS232 Schnittstelle (unterhalb des Displays – COM) ausgerüstet. Die RS232 Schnittstelle bietet den Vorteil, dass neben einer direkten Verbindung auch Modems oder Funkadapter (z.B. ZigBee) angeschlossen werden können. Es ist zu beachten, dass die RS232 Leitungen vom Gerät getrennt werden sobald eine Verbindung über USB hergestellt wird. Beide Schnittstellen können also nur alternativ verwendet werden. Die Transfergeschwindigkeit beträgt standardmäßig 9600 bps, so dass auch Funkmodems unter schwierigen Bedingungen eingesetzt werden können. Geräte mit integrierter ZigBee-Schnittstelle (Option) besitzen keine RS232 Schnittstelle.

Die Übertragungsgeschwindigkeit kann bei gestoppter Messung durch die Card Reader Funktion deutlich erhöht werden. Diese ist über einen Touch-Button im Hauptmenü (Mitte oben) aktivierbar. Die Funktion muss gleichzeitig in der PC Software dVISION aktiviert werden. Die Funktion ist nur bei Kommunikation über die USB Schnittstelle verwendbar.

2. 5. Datenspeicherung auf SD Card

Die Speicherung der Messdaten erfolgt auf einer austauschbaren SD Card. Es gibt keine Beschränkungen bei der Speicherkapazität. Auf der standardmäßig mitgelieferten 2GB Karte können z.B. beim RTM2200 insgesamt 2 Millionen Datensätze (auch bei Nutzung aller Komponenten) gespeichert werden. Neben den Messdaten wird ein vollständiges Systemabbild (Modul- und Komponentenkonfiguration) gespeichert, so dass die Messdaten vom Gerät unabhängig gelesen werden können. Das Systemabbild liegt nur einmal auf der SD-Card vor und wird bei jedem Start einer Messung aktualisiert. Aus diesem Grund sollten bei System- und Konfigurationsänderungen alte Daten gelöscht werden. Andernfalls wird die geänderte Konfiguration auch auf die bereits vorhandenen Daten angewendet, was u.U. zu Fehlinterpretationen führen kann.

Es ist zu beachten, dass mit dem Gerät sehr große Mengen an Messdaten gesammelt werden können, die später längere Übertragungszeiten über die Computerschnittstellen zur Folge haben. Aktivieren Sie deshalb nur die benötigten Sensoren und wählen Sie die Länge der Messintervalle sinnvoll entsprechend ihrer Anwendung.

Die Speicherkarte kann gewechselt werden. Dazu ist die linke Teilfrontplatte abzunehmen (Vorher Messung stoppen und Sicherung an der Geräterückseite entfernen). Die SD Card kann nun einfach herausgezogen und durch eine neue ersetzt werden. In diesem Fall muss die neue Karte mithilfe der Reset-Funktion (dVISION) initialisiert und mit CLEAR gelöscht werden. Ohne Karte ist das Starten der Messung nicht möglich.

2. 6. Menüführung

2. 6. 1. Hauptseite

Nach dem Aktivieren des Displays mittels Taste unterhalb des Displays erscheint die Hauptseite der Anzeige.

Im „Standby“ Modus werden der Gerätename, der Name der eingestellten Gerätekonfiguration (mit Datum der letzten Änderung) sowie der gewählte Messzyklus angezeigt. Mit der Taste **ZYKLUS** kann ein Menü zur Auswahl eines vorher definierten Messzyklus geöffnet werden. Der Start der Messung erfolgt durch Berühren der Taste **START**. Um eine Messung starten zu können, müssen eine Speicherkarte eingesteckt und ein gültiger Zyklus ausgewählt worden sein.

Bei laufender Messung werden die aktuellen Zykluseinstellungen und der Systemstatus angezeigt:

- Uhrzeit Name des gerade laufenden Messzyklus
- laufende Messzeit des aktuellen Intervalls
- Gesamtmesszeit seit Start der Messung
- Nummer des abgearbeiteten Schrittes und Anzahl der Schritte innerhalb des Zyklus
- Größe des freien Datenspeichers (Anzahl der noch speicherbaren Datensätze)

Vom Hauptmenu aus können weiterhin die Untermenüs zur Anzeige der Modul- und Komponentenkonfiguration, der auf der Speicherkarte gespeicherten Daten sowie bei laufender Messung die aktuellen Abtastwerte der Signaleingänge angezeigt werden. Um eine laufende Messung zu beenden, ist die Schaltfläche **STOP** zu berühren.

2. 6. 2. Modulinfos und Setup

Die von der Hauptseite über den Button **INFO** aufrufbaren Seiten geben einen Überblick über die Modulversion sowie Einstellungen der Setup-Parameter des Moduls:

- Software-Version
- Serien-Nummer
- Fertigungsdatum
- Datum des letzten Firmware-Updates

Mit Hilfe der Taste **UMSCH.** gelangt man zur Anzeige der

- eingestellten Startzeit bei aktiviertem Synchronstart
- Betriebsart und Zeiteinstellungen der Zeitschaltuhr

Die Rückkehr zur Hauptseite erfolgt über die Taste **ZURUECK**. Die Taste **KONFIG.** ermöglicht den Wechsel zu den Anzeigeseiten für die eingestellten Komponentenparameter.

2. 6. 3. Komponenten-Konfiguration

Die aktuellen Einstellungen der Konfigurationsparameter jeder Komponente können zur Kontrolle angezeigt werden. Es können jedoch keine Änderungen vorgenommen werden. Mit den Buttons **NAECHSTE** und **LETZTE** können die einzelnen Komponenten ausgewählt werden. Ist eine Seite zur Anzeige aller Parameter nicht ausreichend, so können mit **UMSCH.** weitere Seiten aufgerufen werden. Die Rückkehr zur Hauptseite erfolgt über die Taste **ZURUECK**.

2. 6. 4. Auswahl des Messzyklus

Diese Seite ermöglicht die Auswahl der zuvor zum Gerät übertragenen Messzyklen. Es erscheint eine Liste mit den Namen allen verfügbaren Zyklen. Sind mehr als fünf verschiedene Zyklen gespeichert, so kann mit dem Button **MEHR** die Liste gescrollt werden. Der gewünschte Zyklus wird durch Berühren des Listeneintrags gewählt. In diesem Fall wird automatisch zur Hauptseite zurückgekehrt. Soll kein neuer Zyklus gewählt werden, so ist die Taste **ZURUECK** zu betätigen.

2. 6. 5. Anzeige der aktuellen Messwerte

Diese Anzeigeseite ist nur zugänglich, wenn eine Messung läuft. Man gelangt durch Berühren des Buttons **AKTUELL** zu dieser Seite. Die Anzeige wird jede Sekunde aktualisiert, so dass stets der aktuelle Abtastwert einer Komponente angezeigt wird. Diese Funktion entspricht der eines direkt anzeigenden Messgerätes. Es werden nur die Daten derjenigen Komponenten angezeigt, die auch tatsächlich in den Messzyklus eingebunden und gerade aktiv sind. Das Umschalten zwischen den vorhandenen Komponenten erfolgt durch die Buttons **NAECHSTE** und **LETZE**. Die Reihenfolge der angezeigten Komponenten entspricht der Reihenfolge ihrer Indizes (Siehe Dokument „DACM-01_Hardware-Referenz“). Der Name der Komponente erscheint in der Kopfzeile des Displays. Liefert eine Komponente mehr als ein Resultat, so wird der Button zum Umschalten der Messwerte **UMSCH.** aktiviert. Die Rückkehr zur Hauptseite erfolgt über die Taste **ZURUECK**.

2. 6. 6. Anzeige der auf der SD-Card gespeicherten Messdaten

Sofern vorhanden können alle auf der Speicherkarte gespeicherten Messdaten angezeigt werden. Diese Funktion ist über den Button **INTERVALL** auch bei gestoppter Messung zugänglich. Die Umschaltung zwischen den einzelnen Komponenten, deren Daten im Datensatz enthalten sind sowie die Auswahl des gewünschten Messwertes erfolgt analog zur Anzeige der aktuellen Werte. Für Komponenten, die mehrere Messgrößen berechnen wurde eine zusätzliche Übersichtsseite zur gleichzeitigen Ansicht aller Messergebnisse implementiert.

Es erscheint eine Leiste mit Navigations-Buttons zur Auswahl der Datenpunkte innerhalb der Messreihen. Mit der mittleren Schaltfläche kann der chronologisch letzte Datensatz abgerufen werden. Die anderen Buttons blättern um jeweils einen bzw. zehn Datensätze vor bzw. zurück.

In der Kopfzeile der Anzeige erscheinen der Name der Komponente die Zeit, zu welcher der Datensatz gespeichert wurde sowie die geographische Position bei Geräten mit integriertem GPS Empfänger. Die Rückkehr zur Hauptseite erfolgt über die Taste **ZURUECK**.

2. 7. Nutzung der freien Komponenten durch den Anwender

Das im Gerät integrierte DACM-01 bietet die Möglichkeit der Systemerweiterung unter Verwendung der vorhandenen Komponenten. So können z.B. weitere Sensoren angeschlossen oder Schaltausgänge zur Steuerung externer Messeinrichtungen verwendet werden. Im Dokument „DACM-01_Hardware-Referenz“ werden für den jeweiligen Gerätetyp bereits intern verwendete Komponenten aufgelistet. Diese Komponenten sind vom Hersteller bereits vollständig konfiguriert und können in den vordefinierten oder vom Anwender erstellten Messzyklen ohne Änderungen verwendet werden. Alle anderen Komponenten stehen zur freien Verfügung.

Das Modul ist direkt hinter der Frontplatte montiert. Die Frontplatte ist geteilt, so dass die linke Platte ausgetauscht oder bearbeitet werden kann, falls weitere Steckverbinder notwendig werden. Vor dem Lösen der Frontplatte sind zunächst die Sicherung zu entfernen und der Hauptschalter zu unterbrechen.

Alle notwendigen Ein- und Ausgänge sind auf den beiden Anschlussleisten (Schraubanschlüsse) des Moduls verfügbar. Für den Zugriff auf die Schraubterminals lassen sich Boden bzw. Deckel des Gehäuses durch das Lösen der jeweils vier Schrauben entfernen. Die Deckel sind durch einen Kabelschuh mit dem Gehäuserahmen verbunden und können einfach abgezogen werden.

ACHTUNG: Jeder Eingriff sollte nur durch fachkundiges Personal vorgenommen werden. Durch unsachgemäße Ausführung der Arbeiten kann das Gerät beschädigt werden. Im Zweifelsfall sollte Rücksprache mit dem Hersteller gehalten werden.

Die Funktionalität sowie Hinweise zur Verwendung der einzelnen Komponenten sind in im Dokument „DACM-01 Hardware-Referenz“ zu finden.

2. 8. Geräte-Setup (Zeitschaltuhr, Synchronstart, Displayabschaltung)

2. 8. 1. Zeitschaltuhr

Mittels integrierter Zeitschaltuhr kann die Batteriespannung (12V) für einen bestimmten Zeitraum an einen externen Verbraucher (z.B. Relais, Magnetventil, Modem etc.) geschaltet werden. Der maximale Strom darf dabei 500mA nicht überschreiten.

Die Spannung liegt am Steckverbinder X1 des DACM-Moduls an. Der Steckverbinder ist standardmäßig nicht nach außen geführt, so dass dies durch den Anwender selbst bzw. optional durch den Hersteller vorgenommen werden muss.

Der Zeitschalter kann in zwei Modi („Clock Switch Mode“) betrieben werden:

1. Schaltuhr („Clockswitch“)

In diesem Modus werden zwei Tageszeiten jeweils zum Ein- bzw. Ausschalten vorgegeben. Der Schaltvorgang erfolgt dann täglich zu diesen Zeiten. Als Zeitbasis dient die interne Echtzeituhr des Gerätes.

2. Periodischer Timer („periodical“)

Hier können jeweils eine Periode für den eingeschalteten und ausgeschalteten Zustand sowie eine zusätzliche Einschaltverzögerung definiert werden. Die Timer-Funktion wird mit dem Start einer Messung synchronisiert. Nach dem Start wird zunächst die Zeitspanne der Einschaltverzögerung („Delay period“) gewartet (kann auch auf 0 gesetzt werden), danach die Spannung für die Einschaltperiode („ON period“) zugeschaltet und nach deren Ablauf für die Ausschaltperiode („OFF period“) abgeschaltet. Dieser Vorgang wird bis zum Ende der Messung periodisch wiederholt.

Soll die Zeitschaltuhr nicht verwendet werden, so kann sie über die Auswahl der Betriebsmodi („deactivated“) deaktiviert werden.

2. 8. 2. Synchronstart zu festgelegter Tageszeit

Müssen mehrere Messgeräte an verschiedenen Standorten synchronisiert werden, so empfiehlt sich die Verwendung der Synchron-Start Funktion. Es kann eine Tageszeit eingestellt werden, zu der der aktuell gewählte Messzyklus automatisch gestartet wird. Als Zeitbezug dient die interne Echtzeituhr des Gerätes. Die Uhren aller zu synchronisierenden Geräte sollten also vorher auf eine einheitliche Zeit gestellt werden.

2. 8. 3. Abschaltintervall für Display

Zur Reduzierung des Stromverbrauches wird das Display nach einer einstellbaren Zeitspanne (beginnend von der letzten Bedienung per Touchscreen) deaktiviert. Die Zeitspanne kann von 1 bis 255 Sekunden eingestellt werden.

2. 9. Abruf aktueller Messwerte über die PC Schnittstelle

Aktuelle Messwerte können auch von anwenderspezifischen Softwarelösungen über die serielle Schnittstelle abgerufen werden. Der Kommunikation liegt ein unkompliziertes Rahmenprotokoll zugrunde. Innerhalb von dVISION wird diese Funktion für die Anzeige der aktuellen Messwerte („Recent readings“) verwendet. Nähere Informationen können dem Dokument „DACM-01 Hardware-Referenz“ entnommen werden.

2. 10. Der integrierte GPS Empfänger

Wenn das Gerät mit einem GPS Empfänger ausgerüstet ist, werden die Koordinaten (Längengrad, Breitengrad), die Meereshöhe und die der Positionsbestimmung zugrunde liegende Abweichung für jeden Datensatz gespeichert. Diese Informationen werden sowohl am Gerätedisplay (Menü für Intervalldaten) als auch in der Darstellungssoftware (dVISION) angezeigt. In den exportierten Textfiles erscheinen nur Längen- und Breitengrad direkt neben der Zeitangabe. Es ist möglich, die Daten im GIS kompatiblen KML Format zu exportieren, so dass eine direkte Anzeige z.B. in Google Earth (™) erfolgen kann. Die Software dVISION erlaubt die kartenbasierte Anzeige der Messdaten.

Wird das Gerät innerhalb eines Messintervalls bewegt, so wird der zeitgewichtete geographische Mittelpunkt gespeichert. Alle 5 Sekunden wird die aktuelle Position ermittelt und daraus die Mittelwerte für Längen- und Breitengrad sowie die Meereshöhe für das gesamte Messintervall berechnet.

Die angegebene Abweichung ist ein Indikator für die der Positionsbestimmung zugrunde liegende Navigationsgenauigkeit (Satelliten-Signal). Die tatsächliche Abweichung kann größer sein.

Koordinaten werden am Gerät in Dezimalgrad (max. 6 Nachkommastellen) jeweils mit Angabe der Himmelsrichtung angezeigt. In dVISION werden anstelle der Himmelsrichtungen positive und negative Dezimalgradangaben verwendet:

- 0 ... 90° nördliche Breite = 0 ... +90
- 0 ... 90° südliche Breite = 0 ... -90
- 0 ... 180° östliche Länge = 0 ... +180
- 0 ... 180° westliche Länge = 0 ... -180

Ist kein GPS-Empfänger implementiert oder die Empfangsqualität zu schlecht, erscheint am Display anstelle der Koordinaten die Ausschrift „GPS nicht verfügbar“

Nach dem Starten einer Messung benötigt das Modul einige Minuten bis alle für die Navigation verfügbaren Satelliten erfasst worden sind.

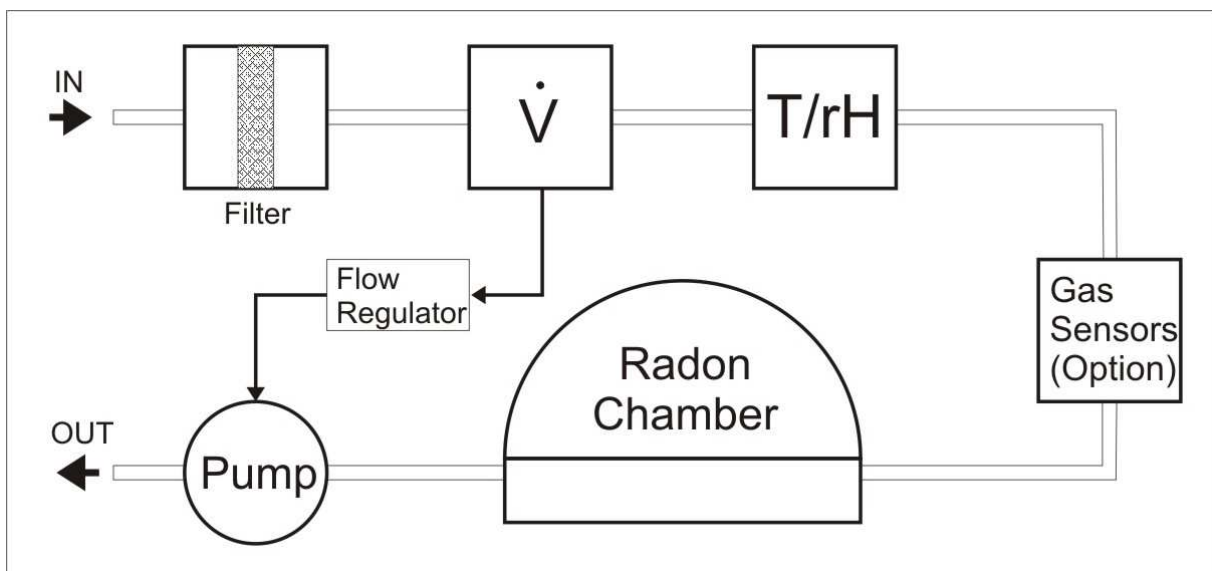
Je nach Gerät kann die GPS-Antenne Gerät integriert oder über ein Anschlusskabel mit Steckverbinder (Frontplatte) verbunden sein. Letztere Variante ermöglicht eine freie Positionierung der Antenne, z.B. außerhalb eines Raumes oder Fahrzeuges.

3. Die Radon-Messkammer

RTM2200 - EQF3200 - EQF3220

3. 1. Interner Luftkreislauf

Das Gerät besitzt einen internen, gegen die Außenluft abgedichteten Luftkreislauf. In diesem befinden sich außer der Radon-Messkammer die Sensoren für Feuchte, Temperatur und Durchfluss sowie ein Filtersystem. Ein- und Ausgang des Luftkreislaufes sind über Schlauchanschlüsse an der Frontplatte nach außen geführt, so dass zusätzliche Messeinrichtungen angeschlossen werden können. Die Luft wird durch die interne Pumpe des Gerätes in die Messkammer gesaugt. Bei Geräten mit Aerosol- oder Folgeproduktmessköpfen ist eine Drehschieberpumpe mit einem Durchflussbereich von 0,5 bis 2,5 l/min eingebaut, bei reinen Radon-Monitoren verwenden wir eine Membranpumpe mit einem Regelbereich von 0,25 bis 0,75 l/min (Standardeinstellung 0,5 l/min). Der Luftdurchsatz wird in beiden Fällen durch einen Regelkreis konstant gehalten. Das Volumen des gesamten Luftkreislaufes beträgt ca. 250 ml, so dass nach ca. 2..3 Minuten ein vollständiger Luftwechsel erfolgt. Die Durchflussraten für die Aerosol- und Folgeproduktmessgeräte sind auf die jeweiligen Messköpfe abgestimmt und dürfen nicht verändert werden.



3. 2. Hinweise zum Betrieb

Bei der Messung von Bodenradon oder Wasserproben ist darauf zu achten, dass kein Wasser in den internen Luftkreislauf gelangt. Die Leistung der Pumpe ist groß genug, um auch aus tieferen Probenbohrungen Wasser anzusaugen. Alle Sensoren kommen direkt mit der Messluft und damit auch mit Wasser in Berührung. Wir empfehlen deshalb dringend die optional erhältliche Schutzvorrichtung einzusetzen. Diese besteht aus einem Behälter mit Schwimmerschalter, der zwischen die Probenahme-Einrichtung und den Lufteintritt des Gerätes eingefügt wird. Der Schwimmerschalter schaltet bei Wassereintritt die Pumpe über eine zusätzliche Buchse am Gerät ab. Diese Schutzvorrichtung kann jederzeit nachgerüstet werden.

Die Bildung von Kondenswasser im Gerät muss vermieden werden. Kondenswasser kann entstehen, wenn die Temperatur des Gerätes deutlich unter der Temperatur der angesaugten Luft liegt. Das Gerät muss in diesem Fall vor dem Einsatz ausreichend temperiert werden.

Eine Beschädigung des Gerätes ist nicht zu erwarten aber die Messung kann dadurch beeinträchtigt werden. In Fällen, wo ständig Temperaturunterschiede zwischen Gerät und Messluft zu erwarten sind, müssen entsprechende Vorkehrungen getroffen werden, z.B. das Vorschalten einer Kühl- und Kondensationsvorrichtung oder die Platzierung des Gerätes in einem beheizten Messschrank.

3. 3. Funktionsprinzip

Die Radon Aktivitätskonzentration wird anhand der in einer Messkammer entstehenden kurzlebigen Folgeprodukte bestimmt. Bereits in der Luft enthaltene Folgeprodukte werden durch ein Filtersystem zurückgehalten. 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.

Spektroskopisch arbeitende Monitore bieten 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.

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.

4. Messkopf für Radonfolgeprodukte und radioaktive Aerosole

RPM2200 - EQF3200 - A²M4000

4. 1. Messprinzip

Radon Folgeprodukte und andere radioaktive Aerosole werden mittels geräteinterner Pumpe auf einem Filter abgeschieden. Der darüber liegende Detektor registriert die auf dem Filter gesammelte Aktivität. Das Ausgangssignal ist mit einem Spektrometer-Modul verbunden, welches für jedes Messintervall ein Spektrum zur Berechnung der verschiedenen Messgrößen bereitstellt. Die Kalibrierparameter beziehen sich auf den werkseitig eingestellten, geregelten Volumenstrom von 1,5 l/min. Eine Änderung des Volumenstromes ist möglich wenn eine Neukalibrierung erfolgt.

4. 2. Berechnung der Messgrößen

Während für die RPM/EQF Geräte lediglich die Konzentrationen der kurzlebigen Radonfolgeprodukte berechnet werden, wird beim A²M zusätzlich die Aktivität von langlebigen Alpha- und Betastrahlern berechnet. Weiterhin erfolgt eine Unterscheidung zwischen natürlichem Uran und anderen Isotopen.

4. 2. 1. Radon Folgeprodukte

Es werden die Aktivitäten von Po-218, Po-214 und Po-212 spektroskopisch separiert und anhand ihrer Zählraten die die Gleichgewichtsäquivalente Konzentration (EEC) für Radon (Po-218 und Po-214) und Thoron (Po-212) berechnet.

Um praktisch verwertbare Ansprechzeiten bei Änderungen der Thoron Folgeprodukt-Konzentration zu erzielen, erfolgt die Berechnung durch Differenzieren des Zeitverlaufes der detektierten Po-212 Aktivitäten auf dem Filter. Da in diesem Fall die Differenz aus den Zählimpulsen zweier aufeinanderfolgender Messintervalle gebildet werden muss, ergibt sich für den berechneten Wert eine deutlich größere statistische Schwankungsbreite. Es sollte deshalb stets ein entsprechend großes Messintervall gewählt werden. In der Praxis haben sich Intervalle von ein bis drei Stunden bewährt. Diese sind hinreichend groß, um z.B. Tagesgänge aufzuzeichnen und liegen gleichzeitig im Bereich der Ansprechzeiten der Rn-222 Folgeproduktmessung.

4. 2. 2. Langlebige Isotope (Alpha/Beta – A²M4000)

Aus dem Filterspektrum wird gleichzeitig die Exposition bezüglich langlebiger Radionuklide in der Luft ermittelt. Die Radonfolgeprodukte treten hier lediglich als Störgröße in Erscheinung, die vom Berechnungs-Algorithmus dynamisch kompensiert wird. Als langlebige Aerosole werden alle Nuklide mit einer Alpha-Emissionsenergie unterhalb von ca. 5,6 MeV betrachtet. Dieser Energiebereich wird spektroskopisch von den kurzlebigen Radonfolgeprodukten separiert. Die dafür ermittelte Filteraktivität ist direkt proportional der Exposition, da die Halbwertszeit dieser Nuklide in der Regel sehr viel länger als die Expositionszeiten sind. Die Berechnung erfolgt für Alpha- und Beta-Emitter getrennt. **ACHTUNG:** In der Atmosphäre sind stets Radonfolgeprodukte vorhanden, die auf dem Filter abgeschieden werden. In der Zerfallsreihe des Rn-222 befindet sich das Isotop Pb-210. Dieses besitzt eine Halbwertszeit von 22,3 Jahren und wird damit auf dem Filter ständig angereichert. Aus diesem wird später u.a. das Isotop Po-210 gebildet, welches Alpha Strahlung mit einer Energie von ca. 5,3 MeV

emittiert. Diese Aktivität führt zu einem stetig wachsenden Untergrund für die langlebigen Nuklide. Deshalb sollte der Filter monatlich gewechselt werden.

4. 2. 3. Gamma Untergrundstrahlung (A²M4000)

Eine erhöhte Untergrundstrahlung, z.B. in kerntechnischen Anlagen oder Uranminen führt zu einer erhöhten Zählrate im Beta-Kanal. Grund dafür sind Konversionselektronen, die nicht von der emittierten Beta-Strahlung der gesammelten Aerosole unterschieden werden können. Als Ergebnis würde eine entsprechende Beta-Exposition angezeigt. Diese verschwindet sobald die Gammastrahlung nicht mehr präsent ist während die Expositionsanzeige bei tatsächlich auf dem Filter abgeschiedenen Beta-Emittern nicht sinken kann.

Das Gerät bietet die Möglichkeit einer Untergrundkorrektur bei bekanntem Gamma-Strahlungsfeld (z.B. an einem Arbeitsplatz oder Bereich mit relativ konstanter Strahlung). Dazu wird entweder direkt mit dem Gerät die Untergrundzählrate bestimmt (ohne Filter) und der ermittelte Wert als Konfigurationsparameter eingegeben (dCONFIG). Die Zählrate kann auch abgeschätzt werden, wenn die Ortsdosisleistung bekannt ist. Für ein natürliches Strahlenfeld gilt folgender Zusammenhang:

$$\text{Untergrund-Zählrate} = 55\text{cpm}/(\mu\text{Sv/h}) * \text{Dosisleistung (in } \mu\text{Sv/h)}$$

Während einer Messung wird die eingestellte Untergrund-Zählrate unter Berücksichtigung der Statistik von der Gesamtzählrate abgezogen. Wird das Gerät wieder in einer untergrundfreien Umgebung betrieben, sollte auch die Konfiguration entsprechend angepasst werden. Andernfalls ist eine erhöhte Nachweisgrenze die Folge.

Die Einstellung der Untergrundzählrate wird im Dokument „DACM-01 Hardware-Referenz“ beschrieben.

4. 2. 4. Messung des natürlichen Urans (A²M4000)

Aus Sicht des Strahlenschutzes macht es Sinn, zwischen den Isotopen der U-238 Zerfallsreihe (kurz Unat) und anderen Isotopen zu unterscheiden. Der Dosiskoeffizient für Unat ist um einige Größenordnungen geringer als der von Plutonium und beispielsweise auch der des natürlich vorkommenden Th-234. In vielen Bergwerksbereichen ist aber das U-238 der einzige Träger der LLRD Aktivität.

Der Unterscheidungsmechanismus beruht auf dem Umstand, dass die maximale Emissionsenergie der gesamten Unat Zerfallsreihe ungefähr 4,7 MeV beträgt. Alle künstlichen und natürlichen Zerfallsreihen mit größeren Dosiskoeffizienten enthalten Isotope, deren Emissionsenergie darüber liegt. Das heißt, wenn die gemessene LLRD Aktivität dem Energiebereich oberhalb 4.7 MeV zugeordnet werden kann, so handelt es sich um Isotope mit hohem Dosiskoeffizienten. In diesem Fall wird der Dosiskoeffizient für Plutonium zur Berechnung der Inhalationsdosis herangezogen. Andernfalls erfolgt die Berechnung unter Verwendung des Dosiskoeffizienten für Unat. In beiden Fällen beinhaltet die Dosisanzeige die gesamte gemessene LLRD Aktivität. In Fällen, in denen sowohl Unat als auch andere Isotope in der Luft enthalten sind, wird die gesamte Aktivität dem höheren Dosiskoeffizienten zugeordnet. Dies führt zu einer (konservativen) Überschätzung der tatsächlichen Dosis.

Die Konfiguration des Gerätes erlaubt die unabhängige Eingabe von zwei Dosiskoeffizienten, die Unat und Plutonium zugeordnet werden. Wenn dem Anwender bekannt ist, dass ausschließlich Unat in der Messluft vorliegt (z.B. Bergwerksbetriebe), können beide Dosiskoeffizienten mit dem Wert für Unat belegt werden. In Fällen, bei denen definitiv auch Isotope mit hohem Dosiskoeffizienten vorkommen, sollten beide Dosiskoeffizienten mit dem Wert für Plutonium belegt werden.

Wenn das Gerät ausschließlich Unat detektiert, so wird dies in der Anzeige durch die zusätzliche Ausschrift „*Unat*“ signalisiert. Achtung: Aufgrund der Zerfallsstatistik und der Kompensation des Radon-Untergrundes kann es (insbesondere im Bereich der Nachweisgrenze) zu Fehlinterpretationen von einzelnen Messwerten kommen. Deshalb sollte stets die Häufigkeit des Auftretens von „Unat“ während der gesamten Messdauer beobachtet werden. Nur ein einziger „Unat“ Wert zwischen einer Anzahl von LLRD Aktivitäten weist definitiv auf eine statistische Abweichung hin.

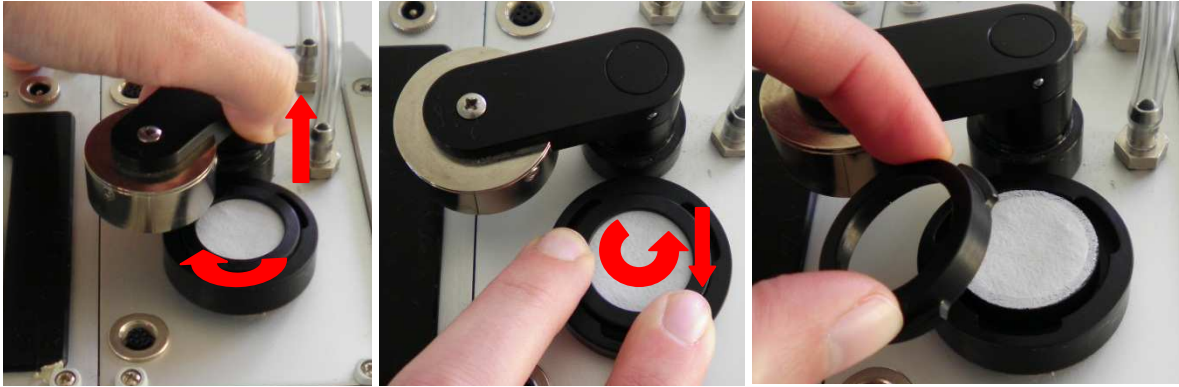
4. 3. Einsatzbedingungen

Das Gerät wurde für den portablen Einsatz auch in kerntechnischen Anlagen und Bergwerksanlagen entsprechend robust entwickelt. Durch das Messverfahren bedingt, ist der Messkopf mit dem Halbleiterdetektor den Umgebungseinflüssen direkt ausgesetzt. Deshalb sollten einige Dinge beachtet werden:

- Der Temperaturbereich von 0°C bis 50°C sollte nicht unter- bzw. überschritten werden. Erweiterte Temperaturbereiche sind auf Anfrage möglich.
- Kondensation sollte vermieden werden. Vor der Nutzung muss das Gerät bei starken Temperaturwechseln ausreichend temperieren.
- Schläge auf das Gerät müssen vermieden werden, da der piezoelektrische Effekt (Mikrofonie) zur Generierung von Fehlimpulsen führt. Das Gerät besitzt eine elektronische Unterdrückung von mechanischen Einflüssen durch Impulsformanalyse. Dauerhafte Schockeinwirkung oder Vibration muss aber vermieden werden.
- In der Umgebung des Gerätes dürfen keine Quellen von starken, hochfrequenten elektromagnetischen Feldern betrieben werden (z.B. Mobiltelefone, WLAN Adapter/Router).
- Das Gerät ist stets mit eingelegtem Filter zu betreiben. Partikel im Luftkreislauf führen zu einem erhöhten Verschleiß der Pumpe.

4. 4. Filterwechsel

Zum Wechseln des Filters wird der Messkopf zunächst herausgezogen und Richtung Display geschwenkt (linke Abb.). Danach kann der Filterverschluss durch gleichzeitiges Drücken und Drehen des inneren Ringes geöffnet werden (Abb. In der Mitte). Der Filter kann nun entnommen und durch einen neuen ersetzt werden. Die glatte Seite des Filters muss dabei stets nach außen zeigen. Es dürfen nur durch die Firma SARAD spezifizierte Filter verwendet werden. Dadurch werden die Dichtheit und die erforderliche spektroskopische Auflösung des Systems gewährleistet.



4. 5. Filter-Bypass beim EQF3200

Um das EQF3200 auch für Radonmessungen in der Bodenluft oder von Wasserproben einsetzen zu können, wurde der Luftkreislauf zwischen dem Folgeproduktmesskopf und der Radonmesskammer aufgetrennt und die jeweiligen Anschlüsse an die Frontplatte geführt. So können Probenahme-Einrichtungen für Wasser und Bodenluft direkt an den die Radonmesskammer angeschlossen werden. Bei der Folgeproduktmessung muss die Verbindung zwischen Messkopf und internem Luftkreislauf durch ein kurzes Schlauchstück, wie es auf dem nebenstehenden Foto zu sehen ist, hergestellt werden. Der Anschluss des Folgeproduktmesskopfes befindet sich links neben der Schwenkachse. Der Lufteintritt der Radonkammer genau darunter.

Auf festen Sitz der Verbindung ist vor jeder Messung zu achten. Die Verwendung von Silikonschlauch wird empfohlen.



5. Messkopf für freie und angelagerte Folgeprodukte

EQF3220

Das EQF3220 verfügt über einen ausziehbaren und abnehmbaren Folgeproduktmesskopf zur getrennten Bestimmung des angelagerten und des freien Anteils der Radonfolgeprodukte in der Raumluft. Dieser ist mittels Teleskopvorrichtung seitlich am Gerät montiert. Das Gerät kann auch ohne den Messkopf als Radonmonitor betrieben werden, d.h. der Anschluss von Bodenluft-, Exhalations-, oder Wassermesseinrichtungen ist ohne Einschränkung möglich. Es ist allerdings sinnvoll den Pumpendurchfluss für solche Anwendungen auf ca. 0,75 l/min zu reduzieren.

Der Messkopf wurde für die kontinuierliche Messung konzipiert, d.h. Probenahme und Analyse erfolgen parallel. Dadurch ist eine lückenlose Erfassung der Konzentration und damit der Exposition möglich.

5. 1. Anschluss und Betriebspositionen

Der Anschluss des Messkopfes erfolgt über ein Kabel mit jeweils einem 7-poligen Stecker (Schraubverriegelung) an jedem Ende. Das Kabel wird mit den entsprechenden Buchsen des Gerätes (kleine Frontplatte; rechts neben den Luftanschlüssen) und des Messkopfes verbunden.

Ein flexibler Schlauch aus Silikongummi stellt die Verbindung zum Lufteintritt des Gerätes her (linkes Schlauchnippel). Schlauch und Kabel können auf eine Länge von bis zu 5 Metern erweitert werden. Dies ermöglicht bei Bedarf die freie Positionierung des Messkopfes im Raum.

Beim Anschluss des Luftschlauchs muss darauf geachtet werden, dass die Filterdruckplatte plan anliegt und die Federwirkung durch einen evtl. blockierten Schlauch nicht beeinträchtigt wird. Es wird deshalb empfohlen, nur flexiblen, dünnwandigen Schlauch aus Silikon-Gummi zu verwenden.

Während der Messung wird der Messkopf soweit aus der Teleskopvorrichtung gezogen bis dieser in der Führung spürbar einrastet. Gleichzeitig wird der Kopf entgegen der Uhrzeigerrichtung gedreht, so dass die Lufteinlassöffnung vom Gerät weg zeigt. Dadurch wird ein genügend großer Abstand zu den Geräteoberflächen hergestellt. Bei der Positionierung des Gerätes während der Messung sollte ebenfalls auf einen ausreichenden Abstand zu vorhandenen Flächen (> 20...30cm) geachtet werden. In unmittelbarer Nähe von Oberflächen kommt es durch Anlagerungsprozesse zu einer Verarmung der freien Radon-Folgeprodukte, so dass die gemessene Konzentration nicht die Verhältnisse in der Raumluft widerspiegelt.

Zum Transport des Gerätes wird der Messkopf wieder in die Teleskopvorrichtung geschoben und mit dem Lufteintritt über die Schlauchanschlüsse gedreht. Nur in dieser Lage erreicht er die Endposition und ist damit gegen ein Verdrehen gesichert.

Der Messkopf darf weder Schlägen noch starken Vibrationen ausgesetzt werden. Direkter Lichteinfall (senkrecht zum Lufteintritt) muss vermieden werden.

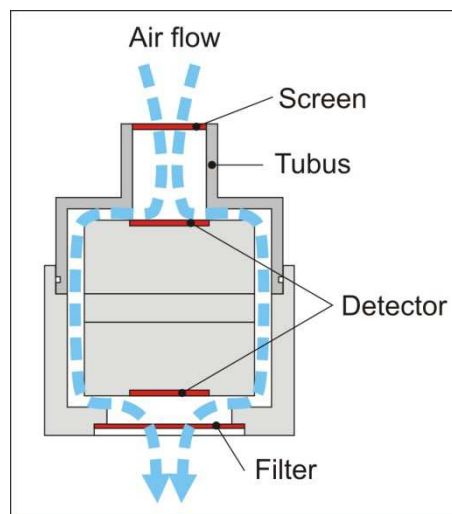
5. 2. Messprinzip



Transport

Sampling

Die Messluft wird durch den frontseitigen Screen (Edelstahl-Gitter) und den Tubus in den Messkopf gesaugt. Am Ende des Tubus befindet sich der Detektor zur Messung des freien Anteils und der Cluster. Ein Teil der freien Radonfolgeprodukte wird auf der Rückseite des Gitters bzw. in den Gittermaschen abgeschieden. Durchströmgeschwindigkeit und Maschenweite sind so gewählt, dass Partikel bis 5nm (freie Folgeprodukte) vollständig abgeschieden werden. Partikel mit einem Durchmesser größer als 100nm (angelagerte Folgeprodukte) können den Screen hingegen fast vollständig passieren. Eine, vor allem bei laufenden Verbrennungsprozessen vorhandene Größenfraktion im Bereich von einigen Nanometern (Cluster) wird zum Teil auf der Rückseite des Gitters und vorwiegend auf den Innenwänden des Tubus abgeschieden.



Durch den definierten Abstand zwischen Screen und Detektor können die Zerfälle der auf dem Gitter abgeschiedenen Partikel von denen separiert werden, die auf der Tubus-Innenwand abgeschieden wurden. Jedes Nuklid bildet im Spektrum zwei Peaks aus, wobei der dem Screen zugeordnete Peak energetisch unter dem des Tubus liegt (stärkere Luftbremsung aufgrund der größeren Entfernung zum Detektor).

Die auf dem Tubus bestimmte Aktivität der Cluster wird zur Bestimmung der Cluster-Konzentration in der Messluft und zur Korrektur des Anteils der Cluster auf der Screen-Rückseite verwendet.

Die angelagerten Folgeprodukte werden mit dem Luftstrom durch das Gehäuse des Messkopfes zu einem, dem Screen gegenüberliegenden, Filter transportiert und dort abgeschieden. Ein weiterer Detektor bestimmt die dort gesammelte Aktivität der Radonfolgeprodukte.

5. 3. Berechnung der Messgrößen

Beide Detektoren sind jeweils mit einem Spektroskopie-Modul verbunden, welches pro Messintervall ein Alphasppektrum als Basis der Konzentrationsberechnung bereitstellt. Entsprechend den physikalischen Besonderheiten werden unterschiedliche Berechnungsmodi für Filter und Screen verwendet.

Alle Kalibrierparameter wurden für einen Nenndurchfluss von 1,65 l/min ermittelt. Dieser Durchflusswert ist bei der Definition neuer Messzyklen unbedingt einzuhalten, auch wenn die Kalibrierfaktoren angepasst wurden. Andernfalls verschiebt sich die Abscheidecharakteristik des Gitters, so dass die Separation der freien Folgeprodukte nicht mehr gewährleistet ist.

Messkopf Filter:

EEC für angelagerte Rn-222 und Rn-220 (Thoron) Folgeprodukte

Messkopf Screen:

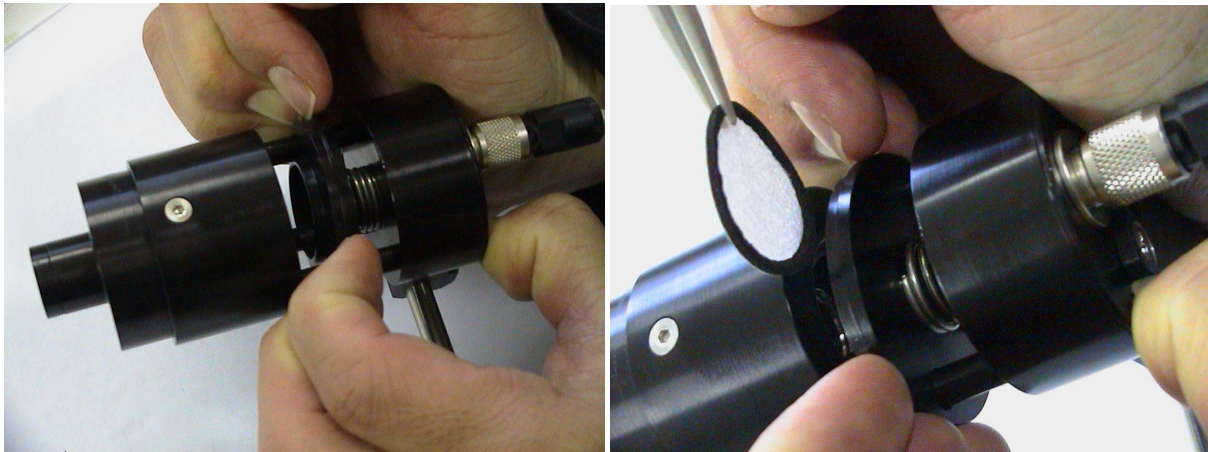
EEC jeweils für freie Rn-222 und Rn-220 (Thoron) Folgeprodukte und Cluster

Um eine praktisch verwertbare Zeitauflösung bei Änderungen der Thoron Folgeproduktkonzentration zu erzielen, erfolgt die Berechnung durch Differenzieren des Zeitverlaufes der detektierten Po-212-Aktivität auf dem Filter. Da in diesem Fall die Differenz aus den Zählimpulsen zweier aufeinanderfolgender Messintervalle gebildet werden muss, ergibt sich für den berechneten Wert eine deutlich größere statistische Schwankungsbreite.

Es sollte deshalb stets ein entsprechend großes Messintervall gewählt werden. In der Praxis haben sich Intervalle von ein bis drei Stunden bewährt. Diese sind hinreichend groß, um z.B. Tagesgänge aufzuzeichnen und liegen gleichzeitig im Bereich der Ansprechzeiten der Rn-222 Folgeproduktmessung.

5. 4. Filterwechsel

Zur Optimierung der Energieauflösung des Spektrums werden PTFE Porenfilter verwendet. Es dürfen nur spezielle Filter mit zusätzlich aufgebrachtem Neopren Dichtring (siehe Bild rechts) verwendet werden. Ohne diesen ist die korrekte Abdichtung des Filterrandes auf der gewebeverstärkten (rauen) Seite des Filters nicht gewährleistet und der Luftdurchsatz durch den Filter sinkt in Abhängigkeit von der Filterbelastung ab.



Zum Wechsel des Filters muss zuerst der Silikonschlauch vom Anschlussnippel der Filterandruckplatte abgezogen und diese danach gegen die Federkraft zurückgezogen werden. Der Filter kann mit einer Kunststoffpinzette (Filter am Neopren-Dichtring greifen) entnommen werden. Auf keinen Fall darf die Oberfläche des im Messkopf hinter dem Filter liegenden Detektors berührt werden.

Zum Einsetzen eines neuen Filters wird der Messkopf so positioniert, dass die Seite ohne Führungsbolzen nach oben zeigt. Der Filter kann jetzt von oben eingeschoben werden.

Durch die Anordnung der drei Führungsbolzen für die Andruckplatte wird der neue Filter zentriert. Die Andruckplatte kann jetzt losgelassen werden, so dass sie in ihre ursprüngliche Position zurückfedert. Jetzt kann der Silikonschlauch wieder auf das Nippel geschoben werden. Durch nochmaliges kurzes Zurückziehen der Filterandruckplatte wird der Schlauch vollständig aufgeschoben. Der korrekte Sitz der Andruckplatte (plane Auflage) ist nochmals zu kontrollieren.

5. 5. Abnehmen des Screens

Screen und Tubus sind mittels Klebeverbindung dauerhaft verbunden und können nur gemeinsam gewechselt werden. Ein Wechsel ist im Normalfall nicht notwendig, da sich aufgrund der Maschenweite keine größeren Partikel auf dem Gitter ablagern können. Der Screen-Tubus ist von vorn auf den Messkopf aufgesteckt und wird durch einen O-Ring gedichtet und gleichzeitig fixiert. Nach längerer Betriebszeit kann der O-Ring u.U. mit den Dichtflächen „verkleben“ so dass ein Abziehen von Hand nicht mehr möglich ist. In diesem Fall können zwei Wasserpumpenzangen verwendet werden, wenn die Oberfläche des Messkopfes durch Zwischenlegen geeigneten Materials (Gummimatte o.ä.) entsprechend

geschützt wird. Auf keinen Fall darf übermäßige Gewalt angewendet oder auf den Messkopf geschlagen werden.

Beim Wiedereinbau des Screens muss auf die Unversehrtheit des O-Rings (evtl. neu) und den korrekten Sitz des Tubus (bis zum Anschlag einschieben) geachtet werden.

Achtung, nach Entfernen des Screens liegt der Detektor offen. Die Oberfläche darf keinesfalls berührt werden, da sonst die Beschichtung zur Gewährleistung der Lichtdichtheit beschädigt werden kann.

6. Filterverbrauchsanzeige und Pumpenschutz

Das Gerät verfügt über eine rote Warnanzeige (LED) an der Frontplatte links unterhalb des Displays. Ist der Filter so stark mit Partikeln beladen, dass 95% der Regelgrenze der Durchflussregelung erreicht sind, beginnt die LED zu leuchten. Spätestens jetzt muss der Filter ersetzt werden. Die Steuerung der LED erfolgt durch die Alarmfunktion des Analogeinganges AIN1. Ein früherer Zeitpunkt der Alarmmeldung kann vom Anwender eingestellt werden. Wird das Gerät über längere Zeit unbeaufsichtigt betrieben, empfiehlt es sich anstelle des optischen Alarms die Messung abubrechen. Dies verhindert eine starke Pumpenbelastung und damit einen erhöhten Verschleiß. In der Konfiguration des AIN1 kann als Alarmziel „Stop Cycle“ anstelle von „DOU2“ ausgewählt werden.

Zum Schutz der Elektronik bei verschlissener Pumpe wird die Stromaufnahme der Pumpe am Analogeingang AIN2 kontinuierlich überwacht. Steigt dieser über den eingestellten Wert von 300mA, so wird die Messung unterbrochen.

WICHTIG: Beim Anlegen neuer Messzyklen mit Nutzung der Pumpe müssen die Analogeingänge AIN1 und AIN2 aktiviert werden. Andernfalls besteht kein Schutz bei Pumpenüberlastung.

7. Gamma – Sonde

Option für RTM2200, RPM2200, EQF3200, EQF3220, A²M4000

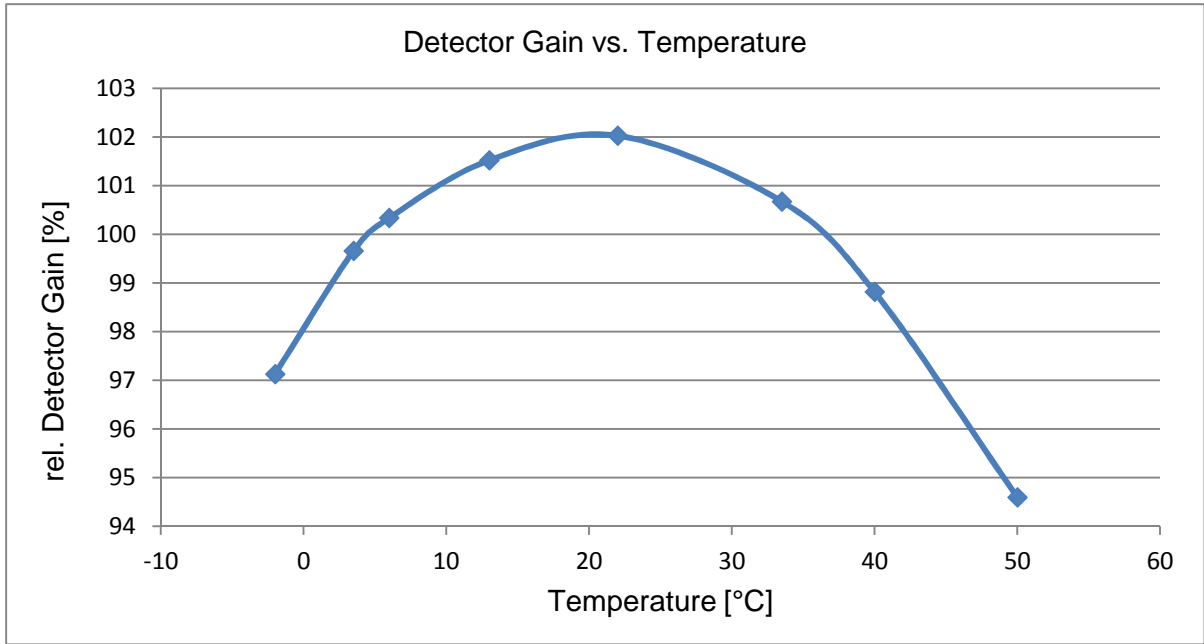
7 1. Allgemeine Hinweise zum Betrieb der Sonde

Die Gamma-Sonde enthält einen 2“ x 2“ NaI(Tl) Detektor, einen Photo-Multiplier, die Hochspannungsversorgung sowie die zur Signalaufbereitung notwendige Elektronik. Die Sonde ist gegen magnetische Felder geschirmt und verfügt über eine interne Temperaturkompensation. Der Anschluss an die Elektronikeinheit erfolgt über ein Kabel mit fünfpoligem Steckverbinder. Das Impulssignal der Sonde wird vom internen Spektroskopie-Modul verarbeitet.

Photo-Multiplier sind Vakuumröhren mit einer Vielzahl von Elektroden ausgestattet und daher empfindlich gegen mechanische Erschütterungen. Auch der Szintillationskristall aus Natrium-Jodid darf keinen starken mechanischen Belastungen ausgesetzt werden. Die Sonde sollte nicht direkter, starker Sonneneinstrahlung ausgesetzt werden.

7. 2. Temperaturverhalten der Gamma-Sonde

Sowohl NaI-Kristalle als auch Photo-Multiplier zeigen eine ausgeprägte Temperaturabhängigkeit ihrer Effizienz bzw. Verstärkung. Deshalb muss die Verstärkung des Detektorsignals entsprechend der Umgebungstemperatur angepasst werden. Dies geschieht beim NucScout rein elektronisch, so dass die permanente oder zyklische Verwendung von Testquellen nicht notwendig ist. Die elektronische Temperaturkompensation stabilisiert das Detektorsignal im Bereich von 0°C bis 40°C auf eine maximale Abweichung von $\pm 2\%$. Innerhalb dieses Variationsbereiches wird ein Peak von der PSV Nuklid-Identifizierung (siehe Abschnitt „Berechnung der Messgrößen und Nuklid-Identifikation“) sicher erkannt. Soll das Gerät außerhalb dieses Bereiches verwendet werden, so ist eine Kalibrierung unter den zu erwartenden Einsatzbedingungen vorzunehmen. Die untenstehende Grafik zeigt, dass das Maximum des Ausgangssignals bei etwa 22°C liegt. Für niedrigere und höhere Temperaturen sinkt die Verstärkung. Die Energie-Kalibrierung ab Werk erfolgt bei einer Temperatur von 35°C. Damit ergibt sich eine leichte Verschiebung des Peaks für Temperaturen unter 10°C und über 35°C nach links, im dazwischen liegenden Bereich nach rechts im Spektrum.

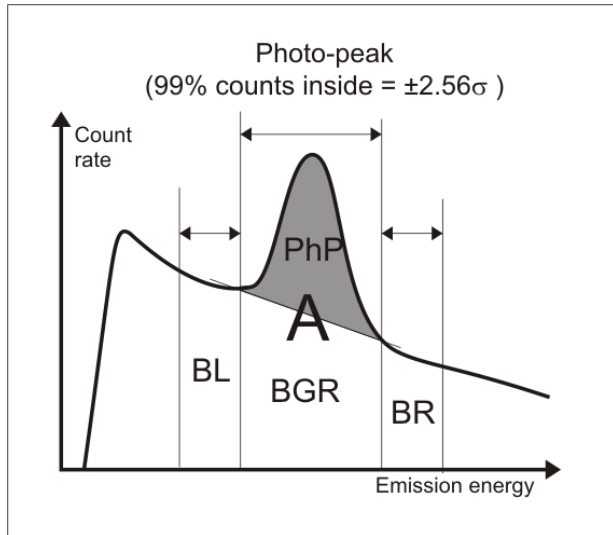


7. 3. Berechnung der Messgrößen und Nuklid Identifikation

Aus dem gemessenen Spektrum werden die Ortsdosisleistung sowie die Aktivitäten von sieben durch den Anwender frei definierbaren Einzelnukliden (Nuklid-Liste) ermittelt. Für die Einzelnuklidanalyse stehen zwei verschiedene Verfahren zur Verfügung (Trapez bzw. Peak Shape Verification - PSV), die ebenfalls vom Anwender ausgewählt werden können. Werkseitig wird die PSV-Analyse voreingestellt.

7. 3. 1. Trapezmethode

Bei der Trapezmethode wird der zu subtrahierende Untergrund durch eine lineare Interpolation des angenommenen Untergrundes links (BL) und rechts (BR) der Emissionslinie ermittelt. Für eine minimale Nachweisgrenze werden dafür Bereiche definiert, deren Breite der Hälfte der Peak-Breite entspricht. Die geschätzte Impulszahl im Untergrund (BGR) ist dann identisch mit der Summe der Impulszahlen von BL und BR. Damit resultiert die Netto-Impulszahl im Foto-Peak (PhP) aus der Differenz der Gesamtimpulse (A) im Peak-Bereich und dem geschätzten Untergrund:



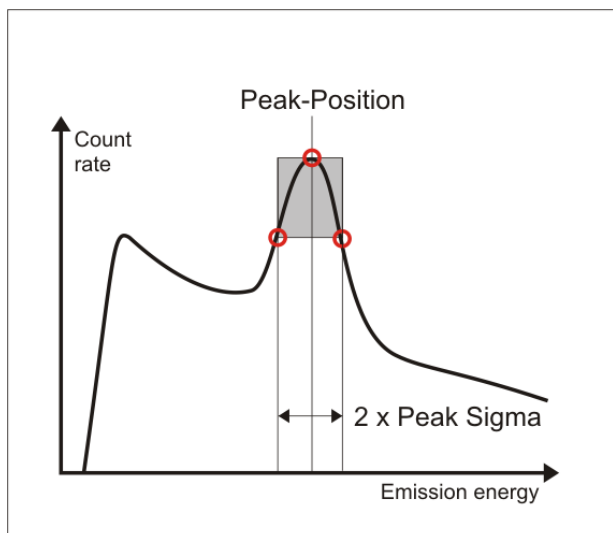
PhP = A – (BL + BR)

Die Trapezmethode liefert nur dann verlässliche Ergebnisse, wenn der Untergrund innerhalb des Peak-Bereichs und der Untergrundbereiche als linear

angenommen werden kann.

7. 3. 2. PSV Methode

Eine Foto-Linie (Peak) erscheint innerhalb eines Szintillations-Spektrums als eine dem Untergrund überlagerte Gauß-Kurve. Diese ist durch ihre charakteristischen Parameter μ und σ eindeutig definiert. Der Parameter μ entspricht dabei der Lage des Peaks (Peak-Position) innerhalb des Spektrums, während σ die Breite des Peaks bestimmt. Die Peak-Breite ist eine Funktion der Emissionsenergie und charakteristisch für jeden Detektor. Die PSV-Analyse basiert auf dem Vergleich der aus einer Detektor-Kalibrierung zu erwartenden Peak-Form (μ , σ) mit der aus einer Messung ermittelten tatsächlichen Form.



Dazu wird das Spektrum zunächst mit einem geeigneten Filter zur Unterdrückung der statistischen Schwankungen innerhalb der Zählkanäle geglättet. Im Bereich jedes

in der Peak-Liste definierten Peaks wird nun nach einem Maximum (μ) gesucht. Ist dieses vorhanden, werden die zugehörigen Wendepunkte (σ) ermittelt. Bei Übereinstimmung der Parameter mit den Vorgaben aus der Detektor-Kalibrierung kann nun die Fläche des Peaks (Netto-Impulse) mit Hilfe der Formparameter unabhängig vom Untergrund bestimmt werden.

Durch die PSV Analyse wird sichergestellt, dass nur "echte" Foto-Linien verifiziert werden. Außerdem wird nur der tatsächliche Spektren-Bereich des Peaks (ca. doppelte Halbwertbreite) benötigt, so dass direkt nebeneinander liegende Peaks sauber getrennt und berechnet werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass kleine Spektren-Verschiebungen (z.B. durch Temperaturschwankungen) kompensiert werden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt noch einmal die Vor- und Nachteile beider Analysemethoden und ihre vorzugsweise Verwendung auf.

	Vorteile	Nachteile	Verwendung
Trapezoid	Niedrigste Nachweisgrenze Höchste Genauigkeit	Erfordert einen linearen Untergrund im und links und rechts des Peak-Bereiches Berechnet Werte für jeden konvexen Spektren-Verlauf Empfindlich gegen geringe Spektren-Verschiebungen	Laborarbeiten mit bekannten Proben Effizienz Kalibrierung mit spezifischen Kalibrierquellen
Peak Shape Verification (PSV)	Erlaubt geringe Spektren-Verschiebungen Verifiziert nur "echte" Foto-Peaks Berechnet auch direkt nebeneinander liegende Peaks korrekt	Höhere Nachweisgrenze Größerer statistischer Fehler	Alle Arten von Feldmessungen und "in situ" Analysen

7. 3. 3. Berechnung der nuklidspezifischen Aktivität

Um die Aktivität eines Nuklides innerhalb einer Probe bestimmen zu können, sind neben der Netto-Impulszahl (N) im Foto-Peak die Messzeit (T), die Übergangswahrscheinlichkeit der gewählten Emissionslinie (P) und die Zählrohrbeute (Effizienz) des Detektors (η) erforderlich. Die Übergangswahrscheinlichkeit ist Bestandteil der Peak-Information eines Eintrages in der Peak-Liste. Die Effizienz muss durch eine vorherige Kalibrierung ermittelt werden. Diese beinhaltet sowohl die energieabhängige Ansprechkurve des Detektors als auch Geometrie- und Absorptionseffekte in der Probe bzw. zwischen Detektor und Probe. Die Aktivität eines Nuklides wird wie folgt berechnet:

$$A = \frac{N}{T * P * \eta}$$

7. 3. 4. Berechnung der Dosisleistung

Für die Bestimmung der Ortsdosisleistung ist zunächst der energieabhängige Photonen-Fluss $\Phi(E)$ im Strahlungsfeld zu bestimmen. Basis dafür bildet das gemessene Energiespektrum des Detektors sowie dessen Effizienz-Kennlinie unter Voraussetzung eines homogenen Strahlenfeldes.

$$\Phi(E) = \frac{R(E)}{\eta(E) * F}$$

R(E) Zählrate des Detektors bei der Photonen-Energie E
η(E) Effizienz des Detektors für die Photonen-Energie E
F Querschnittsfläche des Detektors

Die energiespezifische Dosisleistung kann nun unter Verwendung des energieabhängigen Massenenergie-Absorptions-Koeffizienten von Luft μ(E) bestimmt werden:

$$\frac{H(E)}{t} = \Phi(E) * E * \mu(E) = \frac{R(E)}{\eta(E) * F} * E * \mu(E)$$

H(E)/t Dosisleistung (Dosis H / Zeit t)
μ(E) Massenenergie-Absorptions-Koeffizient von Luft


Für die Dosisleistung des gesamten Energiebereiches im Spektrum gilt dann

$$\frac{H}{t} = \int_0^{3\text{MeV}} \frac{R(E)}{\eta(E) * F} * E * \mu(E) dE$$

Die Integration erfolgt numerisch, d.h. es werden die partiellen Dosisbeiträge aller Zählkanäle aufsummiert. Dieses Verfahren sichert eine korrekte Bestimmung der Dosisleistung, unabhängig vom Nuklidvektor, durch den das Strahlenfeld generiert wird. Damit behält eine Kalibrierung mit einer Cs-137 Referenzquelle auch für natürliche Strahlenfelder ihre Gültigkeit.

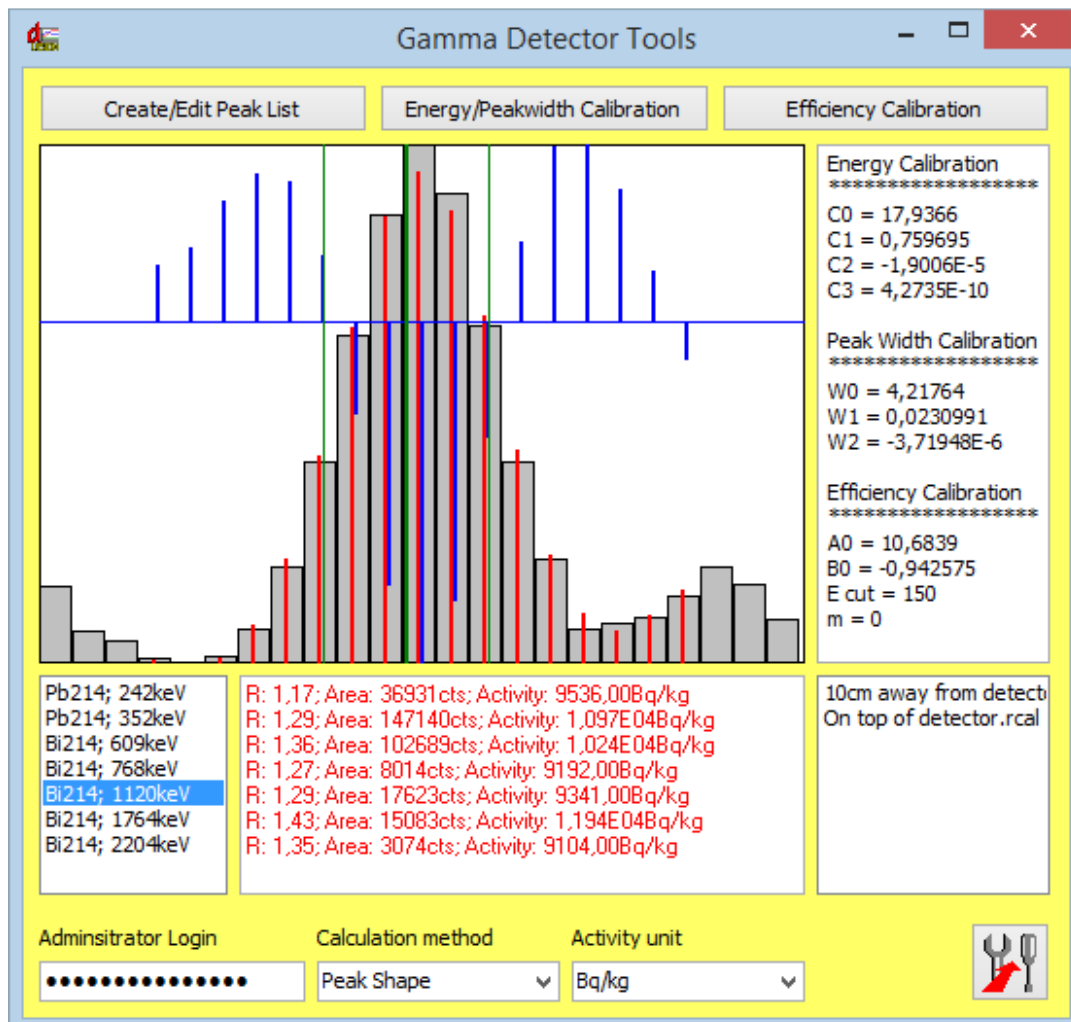
7. 4. Tools für Gamma Detektoren

Die im Lieferumfang enthaltene Software dVISION bietet eine Reihe von Werkzeugen, die für die Konfiguration und den Betrieb von Gamma-Detektoren erforderlich sind. Diese sind in

einem Fenster zusammengefasst, das über die Schaltfläche „Tools“  in der Spektren-Ansicht von dVISION zu öffnen ist. Folgende Funktionen sind implementiert:

- Detektor-Kalibrierungen
- Editieren der zur Analyse verwendeten Nuklid-Liste
- Auswahl der Berechnungsmethode und der physikalischen Einheit des Ergebnisses
- Auswahl vordefinierter Mess-Geometrien für die quantitative Analyse
- Detaillierte Analyse des aktuell angezeigten Spektrums

Die Kalibrierung des Detektors und die Auswahl der Nuklid-Liste werden in den Abschnitten „Detektor Kalibrierung“ bzw. „Definition der Nuklid-Liste“ ausführlich beschrieben.



Das Fenster enthält einen Grafikbereich, in dem das Spektrum in der Umgebung der ausgewählten Emissions-Linie angezeigt wird. Darunter befinden sich zwei Listenboxen mit den Informationen zu den in der Nuklid-Liste enthaltenen Emissions-Linien. Ein Klick auf ein Nuklid in der linken Box wählt dieses zur Anzeige im Grafikbereich aus. In der Box daneben erscheinen die Ergebnisse der Analyse. Dies kann entweder eine berechnete Aktivität oder


auch ein Hinweis bezüglich einer fehlgeschlagenen Verifizierung sein (z.B. kein Maximum gefunden oder ungültige Form des Peaks).

In der Grafik werden die Spektren-Kanäle als graue Balken dargestellt. Diese werden in der Art zusammengefasst, dass sich eine konstante Peak-Breite unabhängig von der Lage im Spektrum ergibt. Die roten Linien zeigen den Spektren-Bereich nach der Glättung mittels Filter, während die blauen Linien die zweite Ableitung des gefilterten Spektrums darstellen. Ein Nulldurchgang bedeutet hier die Lage eines Wendepunktes. Die grünen vertikalen Linien zeigen die Lage des aus der Detektor-Kalibrierung abgeleiteten Erwartungswertes für die Position des Peaks und seine Breite (Sigma). Im Abschnitt „Berechnung der Messgrößen und Nuklid-Identifikation“ ist die Bedeutung dieser Informationen näher beschrieben.

Der rechte Teil des Fensters zeigt die Polynom-Koeffizienten der verwendeten Detektor-Kalibrierung. Darunter befindet sich eine Listbox, über die vordefinierte Mess-Geometrien ausgewählt werden können. Diese entsprechen einer für diese Geometrie durchgeführten Effizienz-Kalibrierung. Die Kalibrierungen sind in Form von Binärdateien (Erweiterung „*.rcal“) im Unterverzeichnis „CAL“ abgelegt. Die Listbox zeigt die Namen aller verfügbaren Dateien in diesem Verzeichnis. Es können beliebig weitere Dateien durch den Nutzer hinzugefügt werden. Dies erfolgt im Rahmen der Effizienz-Kalibrierung.

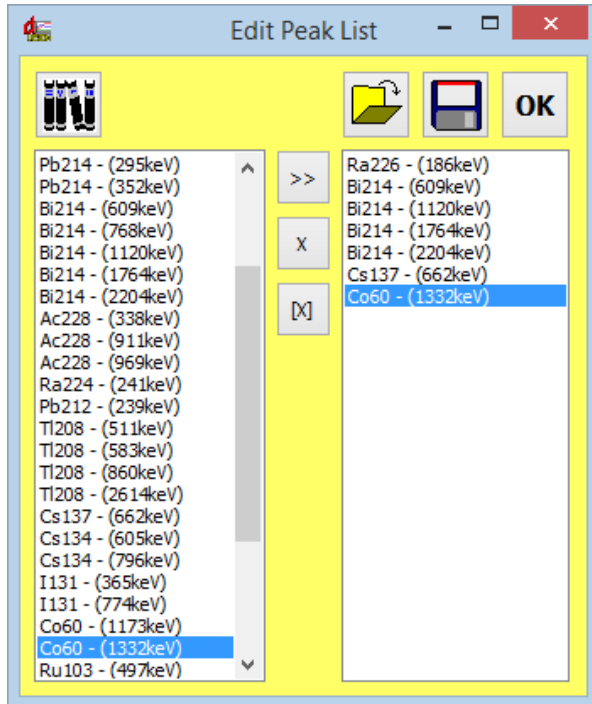
Im unteren Fensterbereich befinden sich Listenfelder zur Auswahl der zu verwendenden Aktivitätseinheit und der verwendeten Berechnungsmethode. Der Zugriff auf die Kalibrierfunktionen und die Auswahl der Analysemethode sind passwortgeschützt. Dieses ist einzugeben, um die entsprechenden Steuerelemente zu aktivieren.

Alle vorgenommenen Änderungen wirken sich sofort auf die aus dem Spektrum berechneten Aktivitätswerte aus, so dass das Ergebnis der Manipulation sofort geprüft werden kann.

Die Schaltfläche „Transfer“  schreibt alle vorgenommenen Einstellungen (inkl. Nuklid-Liste und Kalibrierungen) in das Gerät. Solange die analysierten Messdaten noch im Gerätespeicher vorliegen, können diese unter Verwendung der neuen Einstellungen erneut vom Gerät geladen werden. Dies ermöglicht z.B. die Analyse einer kompletten Messreihe mit unterschiedlichen Nuklid-Listen. Damit die Änderungen am Gerät wirksam werden, muss eine neue Messung gestartet werden, die aber sofort wieder abgebrochen werden kann.


7. 5. Definition der Nuklid-Liste

Durch die Nuklid-Liste (oder auch Peak-Liste) wird festgelegt, welche Emissions-Linien identifiziert und quantifiziert werden sollen. Die Nuklidliste enthält eine Auswahl von maximal sieben Emissionslinien, die später als Messwert angezeigt bzw. abgespeichert werden. Aufgrund der flexiblen Handhabung der Liste, können verschiedene Peak-Listen auf ein akquiriertes Spektrum angewendet werden. Die Auswahl der Emissionslinien erfolgt aus einer Bibliothek, die in Form einer Textdatei ("Gamma-Library.txt") mit der Betriebssoftware dVISION mitgeliefert wird und deren Inhalt vom Anwender editiert werden kann.





Jede Zeile der Datei enthält den Namen des Nuklids, die Emissionsenergie sowie die Übergangswahrscheinlichkeit des Foto-Peaks. Diese Einträge sind jeweils durch Tabstopps getrennt. Der Datei können z.B. mit dem Windows-Editor beliebig Nuklide hinzugefügt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Namen der Nuklide max. fünf Zeichen lang sein dürfen, die Emissionsenergie als ganzzahliger Wert in der Einheit „keV“ und die Übergangswahrscheinlichkeit in Prozent (hier sind Fließkommazahlen erlaubt) angegeben werden muss.


Eine einfache Möglichkeit die Nuklid-Liste zu editieren, bieten die Tools für Gamma Detektoren. Diese können aus der Spektren-Anzeige von dVISION aufgerufen werden. Ein Klick auf die Schaltfläche "Edit/Create Peak List" öffnet ein Dialogfenster, das links eine Listenbox für die Nuklid-Bibliothek und rechts eine weitere Listenbox mit den

selektierten Emissionslinien enthält. Zunächst muss mittels Schaltfläche „Library“  eine Bibliothek geladen werden. Die Schaltflächen zwischen den beiden Listen bewirken folgende Manipulationen:

- [x] löscht alle Einträge aus der Nuklid-Liste
- X löscht den selektierten Eintrag aus der Nuklid-Liste
- >> übernimmt den in der Bibliothek selektierten Eintrag in die Nuklid-Liste

Der Nuklid-Liste können maximal sieben Nuklide zugeordnet werden. Deshalb sind u.U. zuerst die nicht mehr benötigten Foto-Linien zu entfernen, bevor neue hinzugefügt werden

können. Mit den Schaltflächen „Open“  und „Save“  können erstellte Nuklid-Listen gespeichert und geladen werden. Mit der Schaltfläche „OK“ wird die neue Liste übernommen. Der Transfer zum Gerät erfolgt allerdings erst durch Anklicken der

Schaltfläche „Transfer“  in den Tools für Gamma Detektoren. Voraussetzung dafür ist eine geöffnete Verbindung zum Gerät.

7. 6. Detektor-Kalibrierung

Für die Identifizierung und Quantifizierung von Strahlenquellen sind verschiedene Kalibrierungen erforderlich:

Definition des Energiebereichs

Legt die energetische Obergrenze des zu analysierenden Spektrums fest (Anpassung des Detektorsignals an den ADC Eingang des Vielkanal-Analysators)

Energie Kalibrierung

Dient der Positionsbestimmung eines Peaks innerhalb des Spektrums (Zuordnung der ADC Kanäle zur Emissionsenergie)

Peak-Breiten Kalibrierung

Legt für die Trapezmethode die Breite des Peak- und der Untergrundbereiche fest. Für die PSV-Analyse liefert sie den erwarteten Vergleichswert zur tatsächlich gemessenen Peakbreite.

Effizienz Kalibrierung

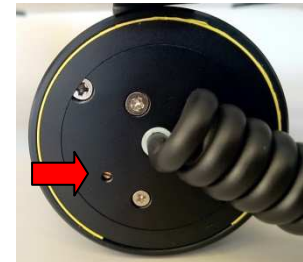
Kompensiert die energieabhängige Ansprechkurve des Detektors sowie die Absorption in der Probe bzw. zwischen Probe und Detektor

Das Gerät wird fertig kalibriert ausgeliefert. Es stehen verschiedene Effizienzkalibrierungen für gängige Standardanwendungen zur Auswahl. Dennoch kann bei speziellen Anwendungen eine erneute Kalibrierung erforderlich werden.

Während die Einstellung des Energiebereichs hardwareseitig mit einem Potentiometer an der Sonde selbst erfolgt, können die notwendigen Kalibrierungen sehr einfach und schnell per Software durchgeführt werden. Voraussetzung dafür sind geeignete Kalibrier Standards. Die Kalibrierfunktionen sind über die Spektren-Anzeige in der Betriebssoftware dVISION zugänglich. Dort befindet sich in der rechten oberen Ecke des Fensters ein Button zum Öffnen der Tools für die Gamma-Spektroskopie. Auf die verschiedenen Funktionen wird in den einzelnen Abschnitten näher eingegangen.

7. 6. 1. Definition des Energiebereiches

Der Energiebereich wird durch die an der Sonde eingestellte Verstärkung festgelegt. Mit Hilfe des Potentiometers an der Rückseite der Gamma-Sonde (Foto) kann die Dynoden-Spannung des Photo-Multipliers eingestellt werden. Dreht man dieses im Uhrzeigersinn, so erhöht sich die Verstärkung. Damit verschieben sich die Foto-Peaks im Spektrum nach rechts, was zu einer Begrenzung des Messbereiches führt. Umgekehrt erweitert sich der Messbereich bei Drehung des Potentiometers entgegen dem Uhrzeigersinn. Eine höhere Verstärkung führt zu einer leichten Verringerung der Peakbreite, allerdings verringert sich die maximale Zählrate durch den erhöhten Dynoden-Strom. Im Auslieferungszustand ist der Messbereich auf ca. 3 MeV eingestellt, so da auch Tl-208 noch im Spektrum enthalten ist. Die untere Grenze (Schwellwert der Impulserkennung) des Energiebereiches kann per Konfigurations-Software (dCONFIG) eingestellt werden. Sie beträgt bei Auslieferung ca. 25 keV. Eine Erhöhung der Verstärkung kann z.B. sinnvoll sein, wenn im Bereich unterhalb von 25 keV gemessen werden soll.

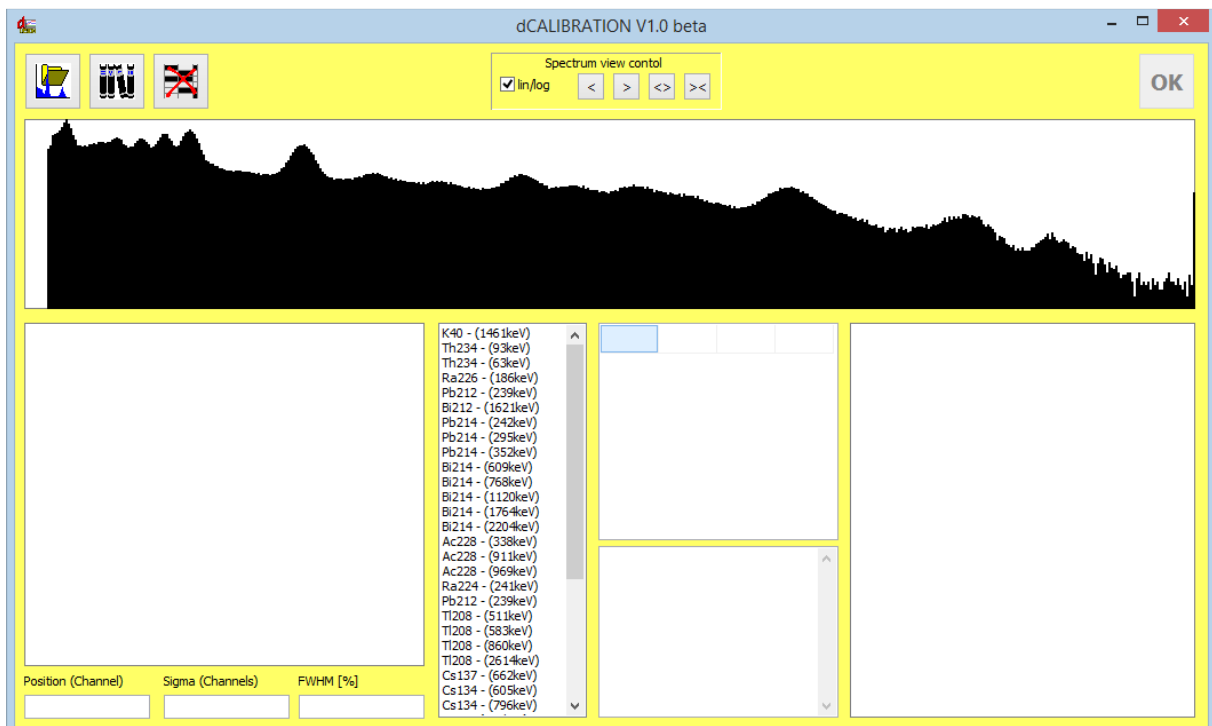


Bitte beachten: Bei der Einstellung des Energiebereichs ist darauf zu achten, dass der im Spektrum am weitesten rechts liegende, zu analysierende Peak nicht direkt am Spektren-Rand liegen darf. Bedingt durch die Analysemethoden wird ein zusätzlicher Abstand vom rechten Rand in der Größe der Peakbreite benötigt.

7. 6. 2. Energie- und Peakbreiten-Kalibrierung

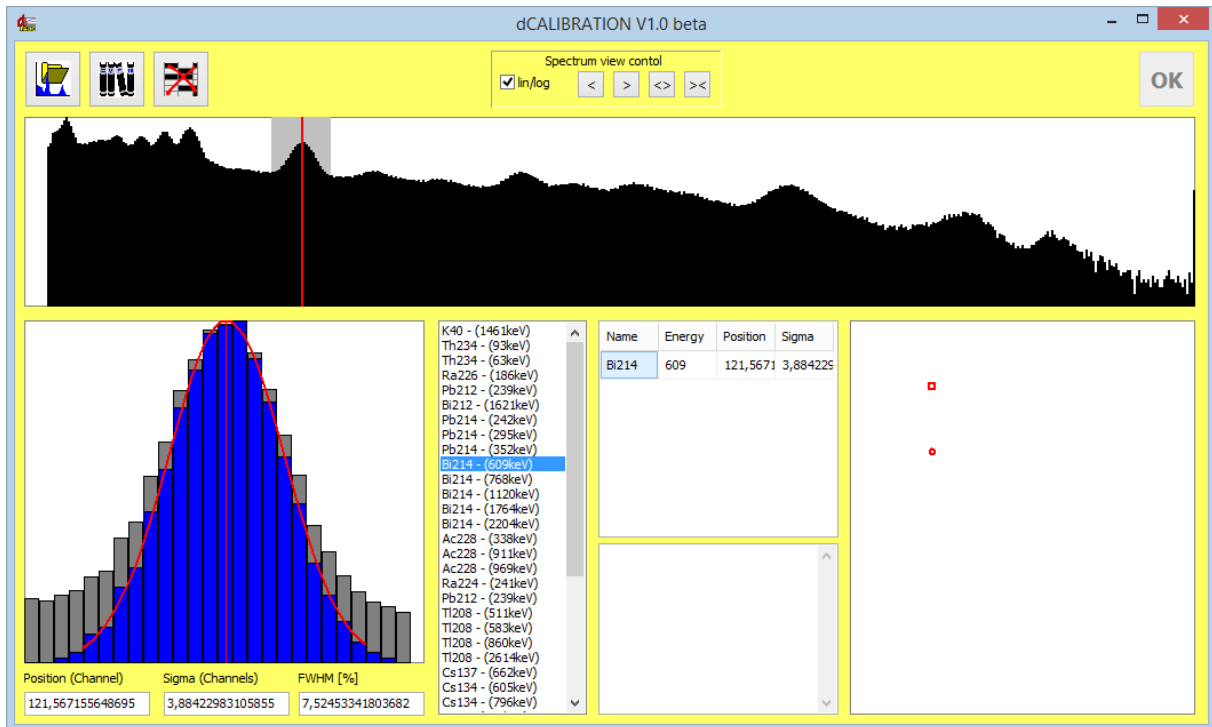
Energie- und Peakbreiten-Kalibrierung erfolgen in einem einzigen Schritt. Zunächst wird mit dem Gerät ein Kalibrier-Spektrum aufgenommen, welches möglichst viele Foto-Linien im gesamten Energiebereich beinhalten sollte. Unsere Empfehlung ist ein festes Radium- oder Thorium-Präparat. Die Messzeit muss so gewählt werden, dass die statistischen Schwankungen der einzelnen Zählkanäle nicht zu einer Verfälschung der Gauß-Form der Peaks führen. Die Messdaten können nun mit dVISION vom Gerät geladen und das Kalibrierspektrum zur Ansicht gebracht werden. Der Button „CAL“ in der oberen rechten Ecke des Fensters öffnet die Tools für Gamma Detektoren. Nach Eingabe des Administrator-Passwortes ist die Schaltfläche „Energy/Peak width calibration“ verfügbar. Diese öffnet ein interaktives Fenster, welches bereits das Kalibrier-Spektrum erhält. Folgende Schritte sind durchzuführen:

1. Öffnen einer Nuklidbibliothek. Diese Textdatei muss die zur Kalibrierung verwendeten Foto-Linien enthalten. Die Installation der Software dVISION beinhaltet die Standard-Bibliotheksdatei „Gamma-Library.txt“



2. Markieren der Grenzen des ersten Peaks, der zur Kalibrierung verwendet werden soll. Um die Markierungen zu setzen, ist mit der rechten Maustaste rechts und mit der linken Maustaste links neben den Peak zu klicken. Der Peakbereich wird im Spektrum grau hinterlegt und erscheint separat in der Grafik-Box unter dem Spektrum. Die Grenzen sind so zu setzen, dass der gesamte Peak enthalten ist. Die Grenzkanäle werden zur linearen Untergrund-Subtraktion verwendet. Die blauen Balken zeigen den Netto-Peak nach dieser Subtraktion. Bei ausreichender Statistik und korrekter Bereichswahl sollte der Netto-Peak symmetrisch erscheinen. Das Programm überlagert eine Gauß-Kurve, die den modellierten Peak darstellt, mit den aus dem realen Spektrum ermittelten Parametern Erwartungswert (μ) und Standardabweichung (σ). Diese Parameter und die daraus resultierende Peakbreite (FWHM) werden in den Textfeldern darunter ausgegeben.

Ein Doppelklick auf das Nuklid in der Bibliothek, welches mit dem ausgewählten Peak korrespondiert fügt dessen Peak-Informationen der Liste der Kalibrierpunkte (rechts neben der Nuklidbibliothek) hinzu. Die Grafik-Box rechts unten zeigt die ersten Datenpunkte für Energie und FWHM.

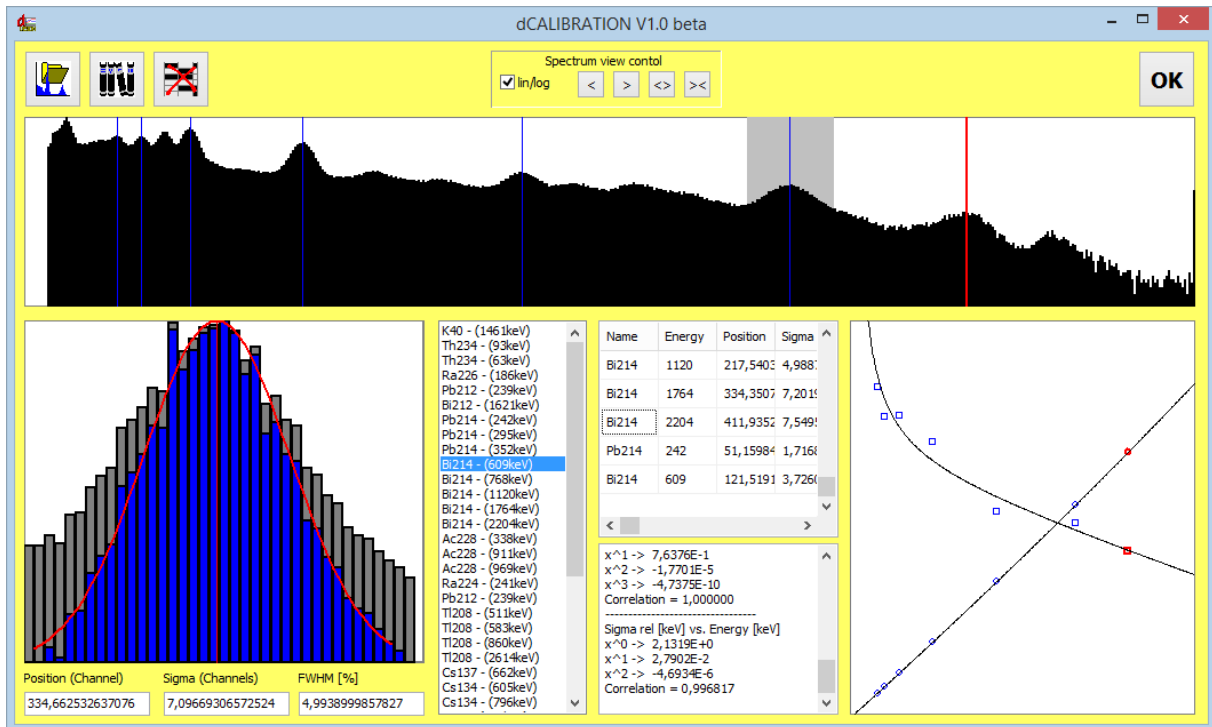



3. Wiederholung der unter Punkt 2 angegebenen Schritte für die nächsten Peaks. Bereits nach dem Einfügen des zweiten Datenpunktes werden die Kalibrierkurven berechnet. Man sollte aber beachten, dass ein Polynom dritter Ordnung als Kalibrierkurve erwartet wird. Deshalb sollten wenigstens vier Datenpunkte genutzt werden. Maximal können neun Datenpunkte verwendet werden. Gleichzeitig erfolgt auch die Peakbreiten-Kalibrierung unter Verwendung der berechneten Sigmas der einzelnen Peaks. Diese wird durch ein Polynom zweiter Ordnung beschrieben.

Um einen Peak wieder aus der Liste zu entfernen, reicht ein Doppelklick in die entsprechende Zeile der Kalibrierpunkt-Tabelle. Das Textfeld darunter enthält die berechneten Koeffizienten des Polynoms für verschiedene gerätespezifische Definitionen der Kalibrierfunktion.

Es ist möglich, die Kalibrierung unter Verwendung verschiedener Spektren (z.B. mit unterschiedlichen Quellen durchzuführen). Dazu müssen das Kalibrier-Fenster und die Tools für Gamma Detektoren zunächst geschlossen werden. Jetzt kann in ein weiteres Spektrum zur Ansicht gebracht und der Tools für Gamma Detektoren sowie das Fenster zur Energie-Kalibrierung erneut geöffnet werden. Die Kalibrierpunkte aus dem vorher verwendeten Spektrums stehen noch zur Verfügung.

Die Grafik-Box rechts unten zeigt nun den qualitativen Verlauf der Kalibrierkurven. Diese sollten monotonen steigen (Energiekalibrierung) bzw. fallen (Peakbreite). Die Abweichung der Kalibrierpunkte vom Kurvenverlauf sollte so gering wie möglich sein. Als Maß für diese Abweichungen fungiert der Korrelationskoeffizient. Dieser ist neben den Polynom-Koeffizienten in der Text-Box angegeben. Korrelationskoeffizienten größer als 0,99 deuten auf eine gute Kalibrierung hin.



Die berechneten Koeffizienten werden mit dem Button „OK“ übernommen. Die Kalibrierparameter können nun durch Anklicken der Schaltfläche „Transfer“  in das Gerät geschrieben werden (Voraussetzung ist eine geöffnete Verbindung zum Gerät).

7. 6. 3. Effizienz Kalibrierung

Um die Aktivität eines Nuklides korrekt berechnen zu können, ist neben der Kenntnis der Emissionswahrscheinlichkeit des verwendeten Foto-Peaks die energieabhängige Zählraubeute des Detektors einzubeziehen. Diese ist einerseits von der Detektorsensitivität und andererseits auch von der Absorption in der Probe bzw. Abschirmung zwischen Probe und Detektor abhängig. Für annähernd homogene Proben und Emissionslinien über 100keV kann die Effizienz durch eine Funktion der Form

$$\eta(E) = \frac{R(E)}{Z} = A * E^B$$

sehr gut beschrieben werden. Dabei sind:

- $\eta(E)$ Detektoreffizienz für den Foto-Peak mit der Emissionsenergie E
- $R(E)$ energieabhängige Zählrate des Detektors
- Z Zerfallsrate der entsprechenden Foto-Linie mit der Emissions-Energie E
- E Emissions-Energie
- A, B Formparameter der Approximationsfunktion

Daraus ergibt sich eine einfache und schnelle Möglichkeit zur Effizienz Kalibrierung anhand einer Referenzprobe. Geometrie und Dichte der Referenzprobe sollten in guter Näherung mit denen der zu analysierenden Proben übereinstimmen. Prinzipiell werden nur zwei Emissionslinien benötigt. Aufgrund des Funktionsverlaufes sollte eine Linie unterhalb 300 keV, eine weitere oberhalb von 1000 keV liegen. Besonders einfach gestaltet sich die Kalibrierung, wenn alle benötigten Linien in einem Spektrum vorhanden sind.

Voraussetzung für die Effizienz-Kalibrierung ist eine bereits erfolgte Energie- und Peakbreiten-Kalibrierung des Gerätes. Zunächst ist eine Messung der Referenzprobe durchzuführen. Die Messzeit ist so zu wählen, dass der zu erwartende statistische Fehler der ermittelten Zählsummen in den zur Kalibrierung verwendeten Foto-Peaks vernachlässigbar ist.

Nach dem Laden der Messdaten können die Tools für Gamma Detektoren aus der Spektren-Anzeige heraus geöffnet werden. Nach Eingabe des Administrator-Passwortes ist die Schaltfläche „Efficiency Calibration“ zugänglich. Zur Vereinfachung des Kalibriervorgangs sollte zunächst die Peak-Liste so angepasst werden, dass alle für die Kalibrierung benötigten Emissions-Linien darin enthalten sind (Siehe Abschnitt „Definition der Peak-Liste“). Bei korrekter Energie-Kalibrierung und hinreichender Zählstatistik erscheinen für die gewählten Peaks entsprechende Netto-Zählimpulse (Peak Area) in der Ergebnis-Box des Tool-Fensters. Diese werden gemeinsam mit den Parametern der gewählten Peaks für die Effizienz-Kalibrierung übernommen.

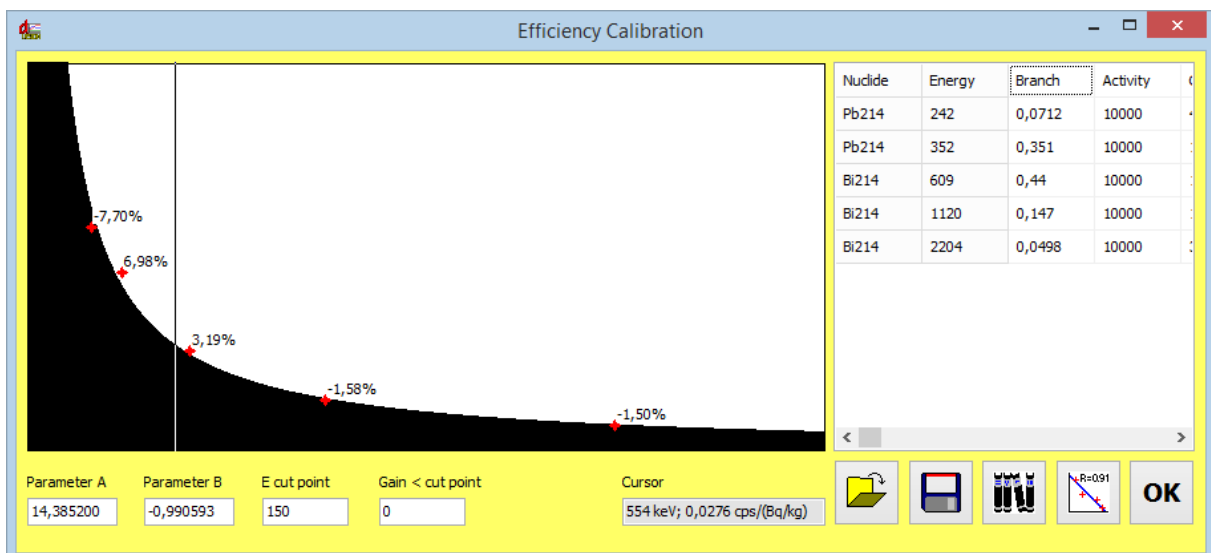
Durch einen Klick auf die Schaltfläche „Efficiency Calibration“ wird das Kalibrier-Fenster geöffnet. Zuvor erscheint jedoch eine Aufforderung zur Eingabe der Aktivität der Referenzprobe. Dieser Wert wird zunächst als Vorgabe für alle in die Kalibrierung einbezogenen Peaks verwendet. Können alle Peaks einem Nuklid oder einer Zerfallsreihe im radioaktiven Gleichgewicht zugeordnet werden, so ist später keine weitere Eingabe erforderlich. Auch hier empfehlen sich z.B. Radium- oder Thorium-Proben.


Das Kalibrier-Fenster beinhaltet links einen Grafikbereich zur Anzeige der aktuellen Effizienz-Kalibrierfunktion. Unterhalb des Grafikbereiches werden Energie und Effizienz für die aktuelle Cursor-Position angegeben. Kleine rote Kreuze markieren die aus der vorliegenden Referenzmessung und der Aktivitäts-Vorgabe ermittelten Kalibrier-Punkte.

Die Tabelle im rechten Fensterbereich beinhaltet alle zur Kalibrierung verwendeten Emissions-Linien. Die Felder für Aktivität und Zählrate können editiert werden. Den Nukliden, deren Aktivitäten nicht dem Vorgabewert entsprechen, können nun ihre tatsächlichen Werte zugeordnet werden. Außerdem kann die Peak-Liste erweitert (oder reduziert) werden, um auch Kalibrier-Punkte aus anderen Proben einzubeziehen. Ein Klick auf den Button



„Bibliothek“ öffnet den Auswahldialog. Für diese Emissionslinien müssen natürlich sowohl Zählrate als auch Referenzaktivität eingegeben werden.



Wird nun auf die Schaltfläche „Kalibrierung“  geklickt, berechnet das Programm die bestmögliche Näherung der oben beschriebenen Funktion für alle verwendeten Kalibrier-Punkte. Die dargestellte Abweichung der einzelnen Markierungen vom Funktionswert sollte maximal einige Prozent betragen, andernfalls sind die den Linien zugeordneten

Referenzaktivitäten zu prüfen und eventuell in der Tabelle rechts neben der Grafik zu ändern. Bleiben größere Abweichungen trotz korrekter Eingaben bestehen, so sind eine oder mehrere Linien zur Kalibrierung ungeeignet, z.B. durch Überlagerung einer anderen Linie oder ungenügende Zählstatistik.

Weiterhin stehen Schaltflächen zum Speichern und Laden von Effizienz-Kalibrierungen zur Verfügung. Weitere Hinweise zu deren Verwaltung sind im Abschnitt „Tools für Gamma Detektoren“ zu finden.

8. Gas-Sensoren

Das DACM System bietet die Möglichkeit eine Vielzahl unterschiedlicher Gassensoren zu integrieren. Neben eigenen Sensoren können auch OEM Baugruppen anderer Hersteller einfach integriert werden. Entsprechend der erforderlichen Signalaufbereitung werden die Sensoren entweder an einen entsprechend konfigurierten Analogeingang angeschlossen oder über ein Transmitter-Board in den internen System-Bus eingebunden. Die Transmitter-Board liefern einen bereits in der Zieleinheit berechneten digitalen Messwert inklusive Linearisierung und Temperaturkompensation.

Beim Betrieb von Gassensoren ist stets auf deren spezielle Charakteristik zu achten. Besonderes Augenmerk ist auf die erforderlichen Kalibrierzyklen und die Lebensdauer der Sensorelemente zu richten. Halbleitersensoren und elektrochemische Sensoren altern bzw. verbrauchen sich, so dass u.U. ein Wechsel erforderlich ist.

Bei vielen Gassensoren bestehen mehr oder weniger ausgeprägte Querempfindlichkeiten hinsichtlich anderer Gase. Bei Halbleitersensoren kann es bei Exposition in Silizium-Gasen zur Zerstörung des Sensors kommen.

Die über ein Transmitter-Board angeschlossenen Sensoren verfügen zum Teil über eigene Testroutinen. Bei erkannten Sensorfehlern werden dann anstelle des Messwertes negative Fehler-Codes ausgegeben.

Bitte beachten Sie unbedingt die Hinweise in unserem Dokument „Infoblatt für Gassensoren“ und die spezifischen Datenblätter der eingebauten Sensoren.

9 Entsorgungshinweise

Batterien und Akkumulatoren dürfen nicht in den Müll geworfen werden, sondern sind bei den örtlichen Sammelstellen abzugeben!

Die Messgeräte sind am Ende ihrer Betriebszeit dem Elektronikschrott zuzuführen oder dem Hersteller zur fachgerechten Entsorgung zu übergeben!

Ggf. muss vorher eine Dekontaminierung vorgenommen werden!