



MIRION
TECHNOLOGIES

CANBERRA



Raumluftüberwachung als Komponente des Strahlenschutzes

Hans-Juergen Lange, Mirion Technologies (Canberra) GmbH;
Email: hjlange@mirion.com

Radiation Safety. **Amplified.**

Warum Raumlufüberwachung?

Erster Strahlenschutz: Marie Curie: Es riecht nach Ozon!
Wir müssen das Labor räumen!



Externe Dosis durch
Strahlungsfeld

Freisetzung durch
chemische
Trennung oder
physikalische
Effekte

⇒ Raumluf-
konzentration
⇒ Kontaminationen
Interne Dosis

Warum Raumlufüberwachung?

Freisetzung durch chemische Trennung oder physikalische Effekte

⇒ Lokale Raumlufkonzentration

⇒ Freisetzungsorte

⇒ Abluftanlage (Abzüge)

⇒ Fenster

⇒ Einbauten

⇒ Positionierung von Sammlern oder Monitoren

⇒ Inhalation

⇒ Kontaminationen

⇒ Aufnahme durch Hände oder Staub

⇒ Ingestion



Warum Raumlufüberwachung: Gefahr interner Kontaminationen

- Beim Umgang mit künstlichen oder natürlichen Radionukliden sind sowohl kontinuierliche als auch spontane Freisetzungen möglich.
 - Kontinuierliche Freisetzungen bedeuten eine konstante Emission von einer Quelle und können zu einer Anreicherung langlebiger Radionuklide an verschiedenen Orten und in Personen, die sich in dem Raum aufhalten, führen.
 - Filter in der Abluft, Abluftkanäle aber auch Orte mit spezieller Luftbewegung
=> Kontaminationen und Spontane Freisetzungsgefahr
 - Aufkonzentration in verschiedenen Organen (Biokinetik) bei kontinuierlicher Zufuhr (zusätzliche Zufuhr über den Kontaminationspfad)
 - Beispiele für spontane Freisetzungen sind das Zerstören einer Wandung eines Gefäßes, in dem sich “flüchtige” Radionuklide befinden, das Öffnen einer Handschuhbox, ein Brand oder eine Explosion.
 - Kontaminationen
 - Zeitlich begrenzte Zufuhr über definiertes Zeitintervall

Was ist ein Monitor?

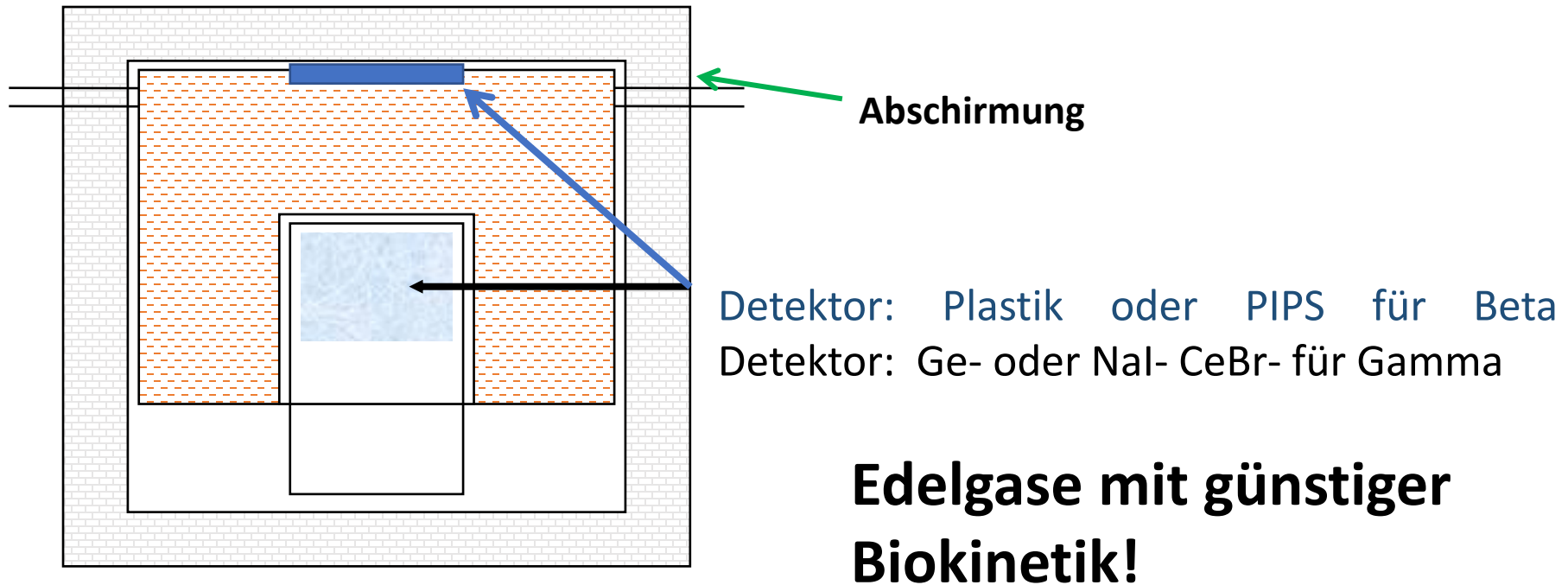
- Monitoring ist ein Überbegriff für die unmittelbare systematische Erfassung eines Vorgangs oder Prozesses mittels technischer Hilfsmittel. Dabei ist die wiederholte regelmäßige Durchführung ein zentrales Element um anhand von Ergebnisvergleichen Schlussfolgerungen ziehen zu können
 - Protokollierung
 - Überwachung
- ⇒ Feststellung einer Freisetzung / Dokumentation der Raumluftkonzentration
- ⇒ Kontinuierliche/Quasikontinuierliche Aufzeichnung
- ⇒ Alarmierung

Raumluft-Monitore

- Welche Bedingungen muss ein Raumluftmonitor erfüllen?
- Aufnahme aller für die Messung relevanter Parameter
 - Durchflussmenge
 - Temperatur/Luftfeuchtigkeit/Luftdruck
 - Spannungsversorgung
- Regelmäßige Qualitätssicherungsmaßnahmen
- Signalisierung
 - RS232, Ethernet, 4-20 mA, ...
- Alarmierung
 - Optische und akustische Signalgebung

Vermeidung von Inkorporation

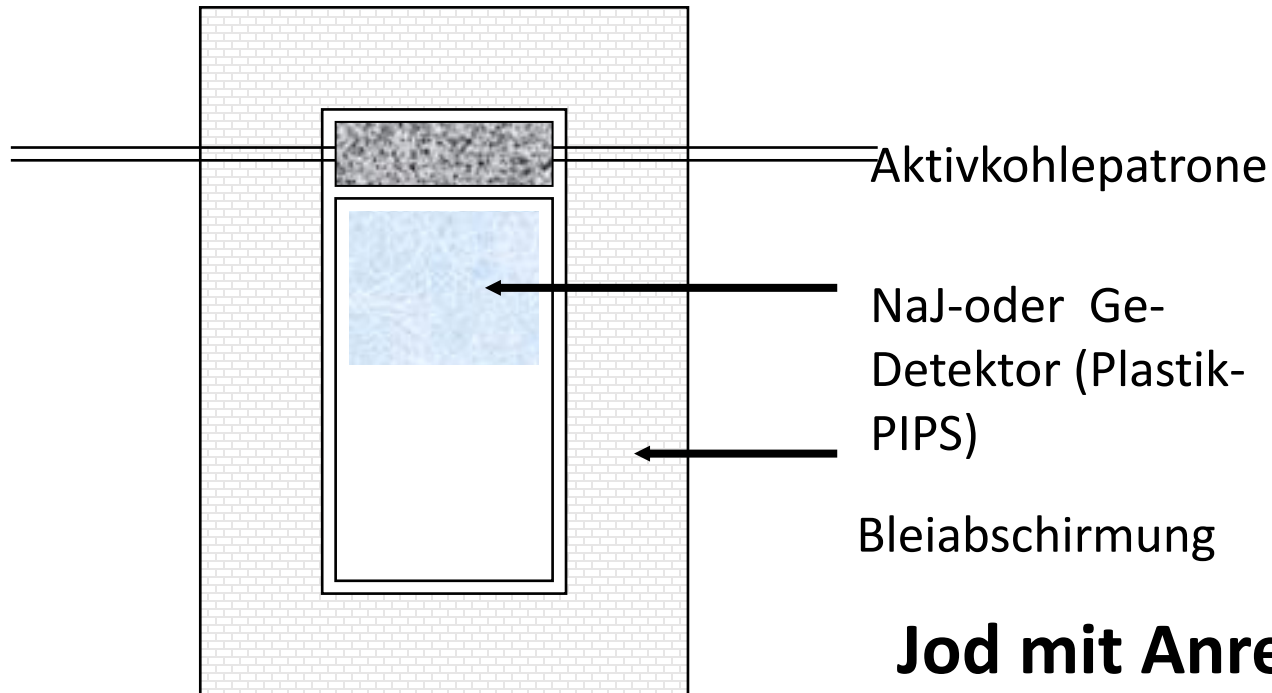
Raumlftüberwachung: **Edelgasmonitore**
Alpha-Beta-Aerosolmonitore
Jodmonitore



Zählrate korreliert direkt mit kurzem Zeitverzug mit der Raumlftkonzentration

Vermeidung von Inkorporation: Jodmonitore

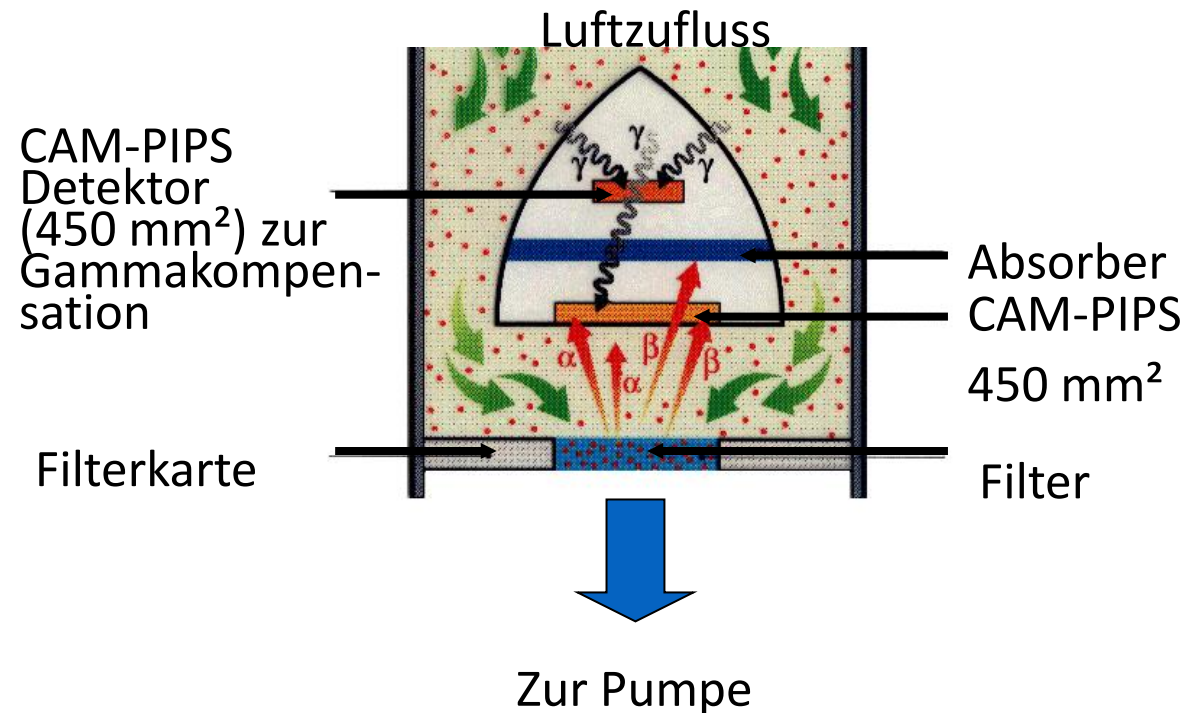
Raumluftüberwachung: Alpha-Beta-Aerosolmonitore
Edelgasmonitore
Jodmonitore



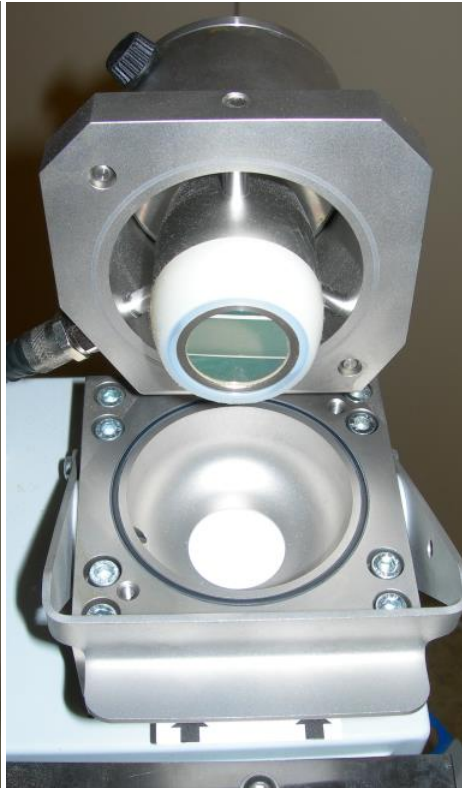
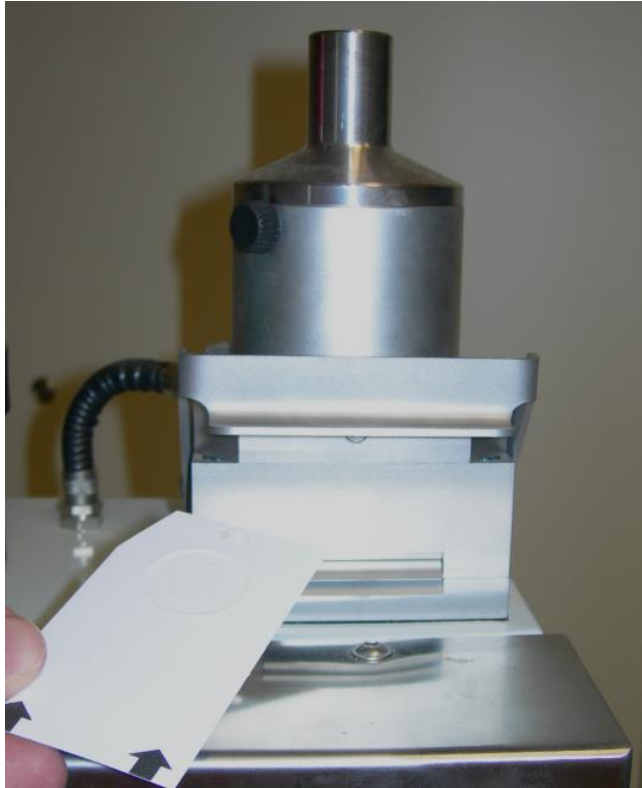
**Jod mit Anreicherung in
Schilddrüsengewebe!**

Vermeidung von Inkorporation

Raumluftüberwachung: **Alpha-Beta-Aerosolmonitore**
Edelgasmonitore
Jodmonitore



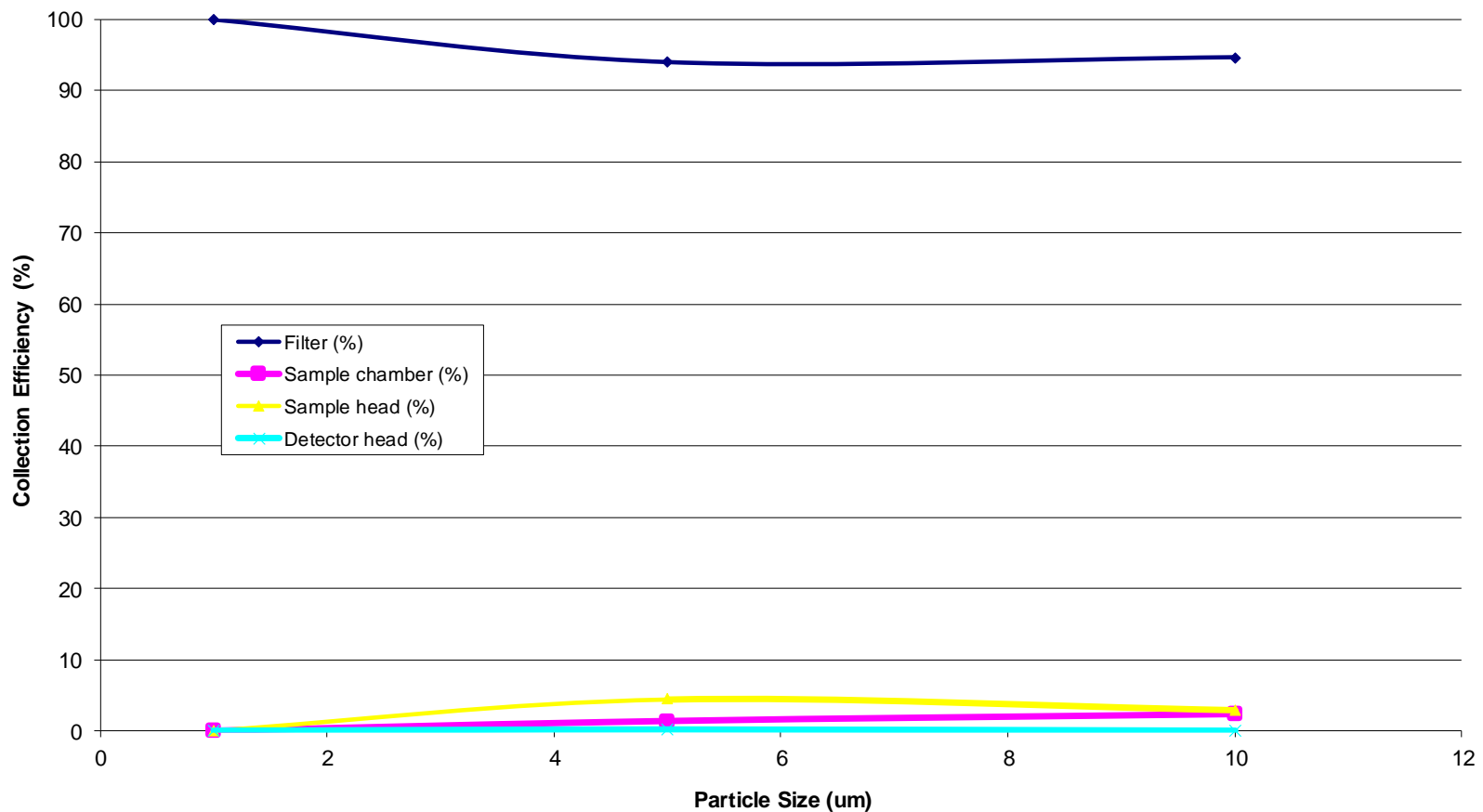
Messkopf eines Aerosolmonitors



Radionuklide müssen auf dem Filter
deponiert werden und hier verbleiben!
Die Messung integriert über die
Sammelzeit! => Zeitinformation!

iCAM – Hoher Abscheidungsgrad auf dem Filter

Polymer Latex Particle Test Results @ 37 L/min



i CAM – Alpha-Nachweiswahrscheinlichkeit

i-CAM. Alpha-ray Detection Efficiency		4π Detection Efficiency	
Condition	Alpha Emission Energy Range	Standard Test Source (19 mm diameter)	Filter (25 mm diameter)
With background compensation:	Energies up to 5.7 MeV	28 %	24.5 %
	Cm-244 (5.8 MeV)	-----	< 5 %
	Cm-242 (6.1 MeV)	-----	negligible
Without background compensation:	All alpha energies	28 %	24.5 %

- 0.0435 cps for 1 DACr on filter (1 DAC ^{239}Pu = 0.08 Bq/m³)
- Capability to measure ^{244}Cm if window opened up to 5.8 MeV

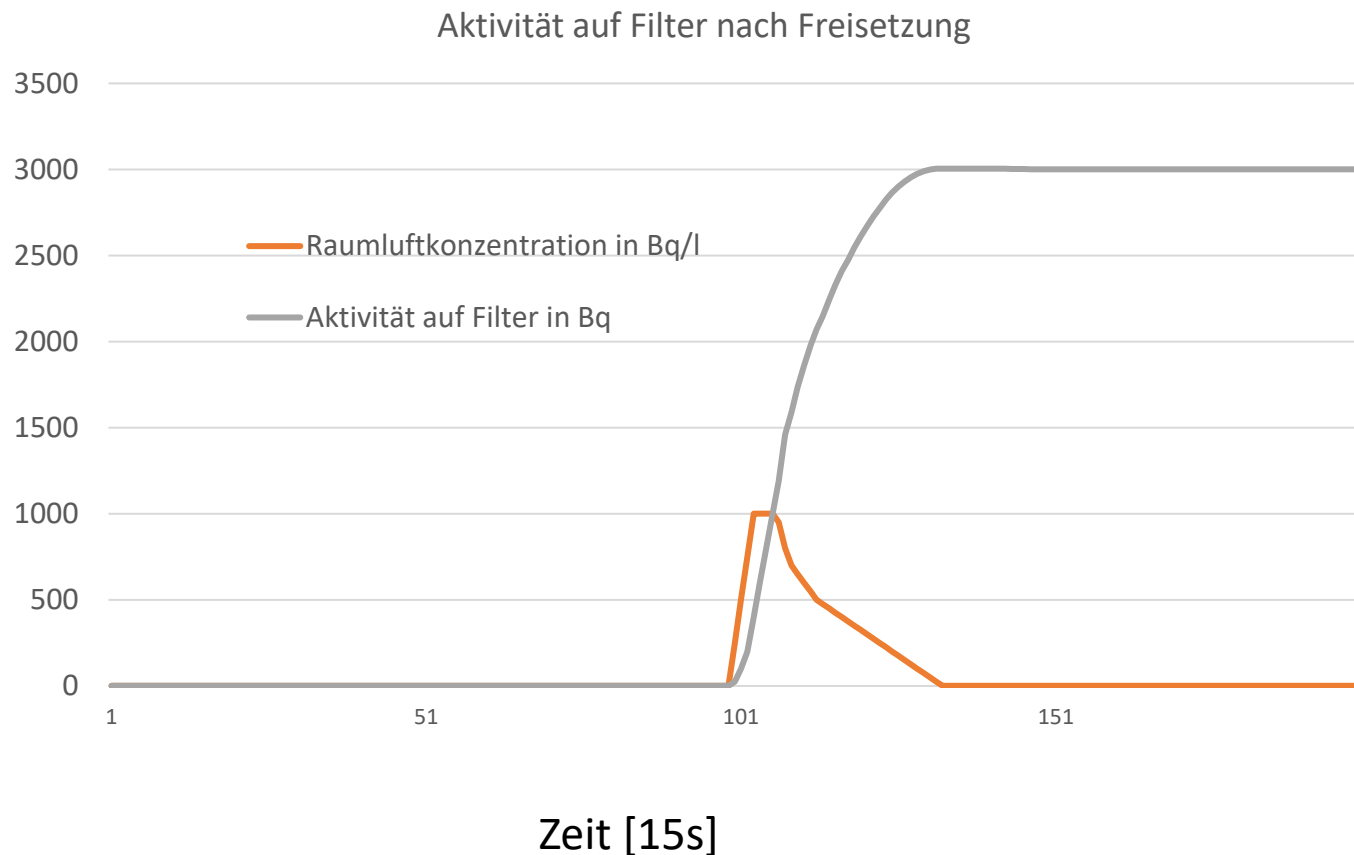
i CAM - Beta Nachweiswahrscheinlichkeit

i-CAM. Detection Efficiency (for max temp 50°C)			4π Detection Efficiency	
Nuclide	Maximum Beta Energy	Mean Beta Energy	Standard Test Source (19 mm active diameter)	Filter (25 mm diameter)
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	546 keV (⁹⁰ Sr) 2284 keV (⁹⁰ Y)	196 keV (⁹⁰ Sr) 935 keV (⁹⁰ Y)	27.5%	24%
³⁶ Cl	710 keV	251 keV	27%	23.5 %
¹³⁷ Cs	514 keV	174 keV	25.5%	22%
⁹⁹ Tc	294 keV	85 keV	18.5%	16 %
⁶⁰ Co	318 keV	96 keV	18 %	15.5 %
¹⁴⁷ Pm	225 keV	62 keV	14%	12%
¹⁴ C	156 keV	49 keV	10.5 %	9 %

- NB Higher efficiencies can be achieved if a reduced upper temperature limit is acceptable

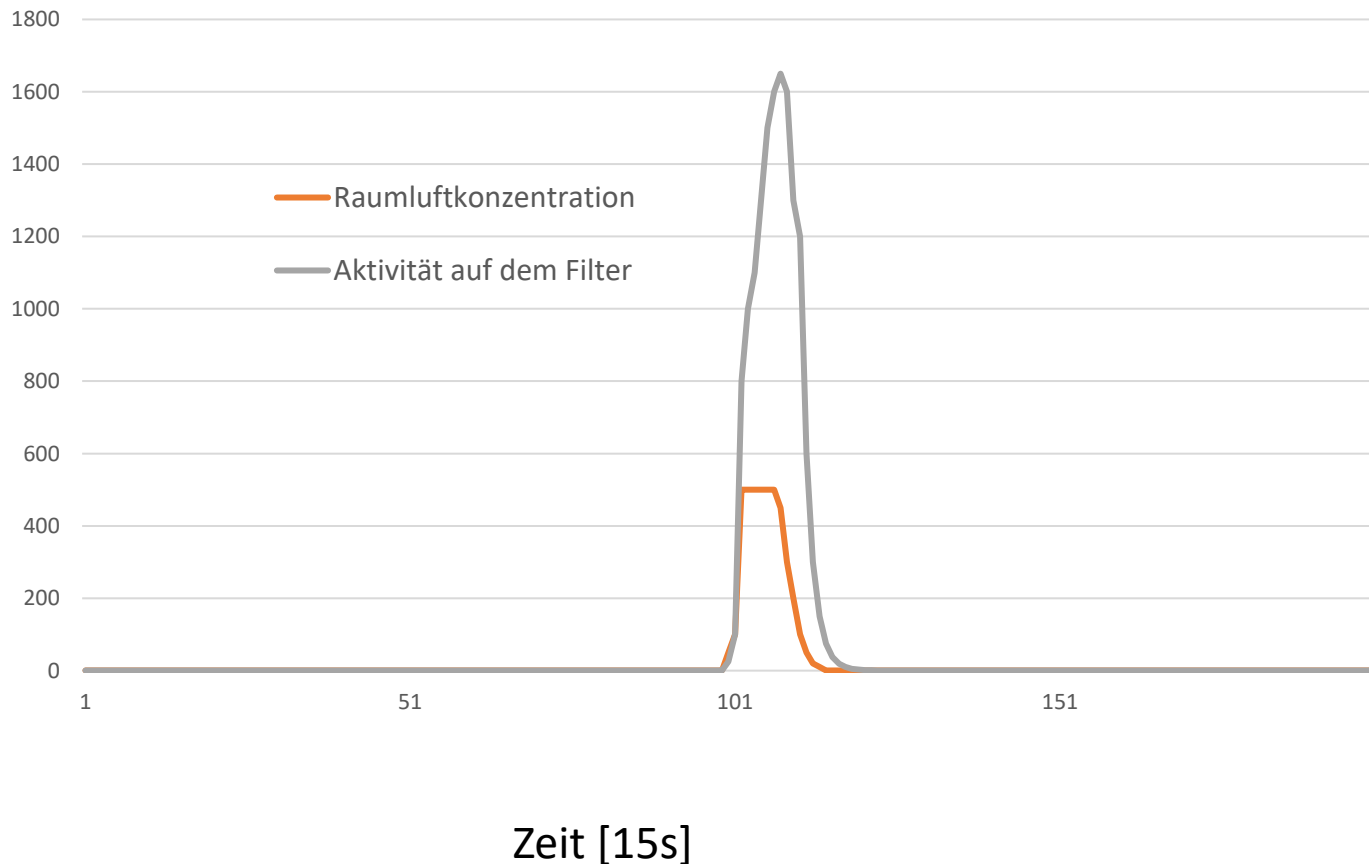
Zählrate zu Raumluftkonzentration

Nach einer Freisetzung benötigt die Aktivität Zeit, sich auf dem Filter zu sammeln, verbleibt dann aber dort! Unterschiedliche Auswirkungen bei verschiedenen Halbwertzeiten! Hier lange Halbwertzeit!

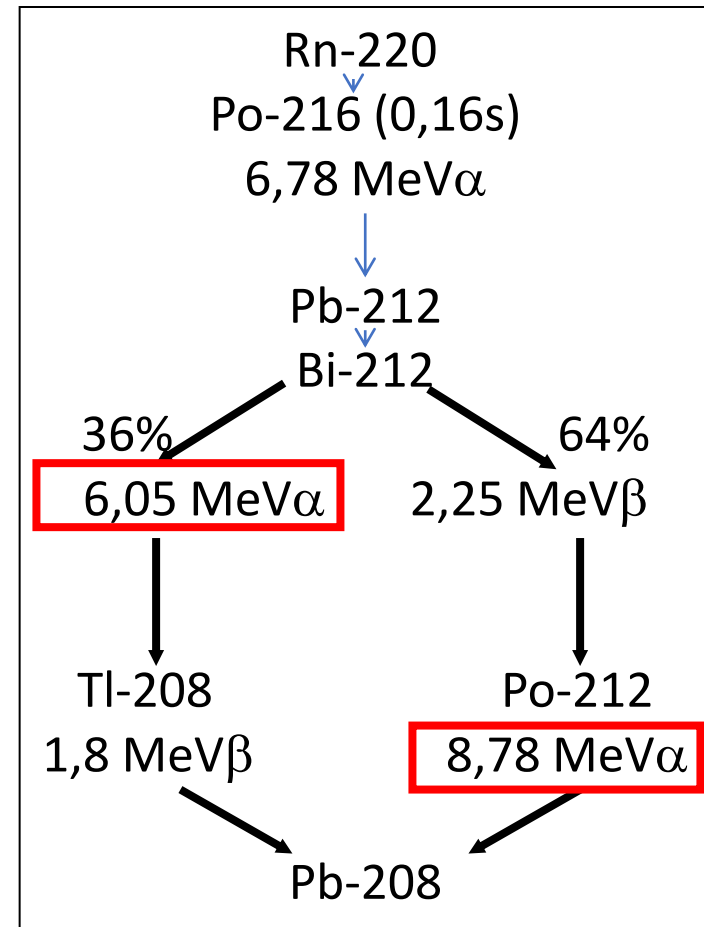
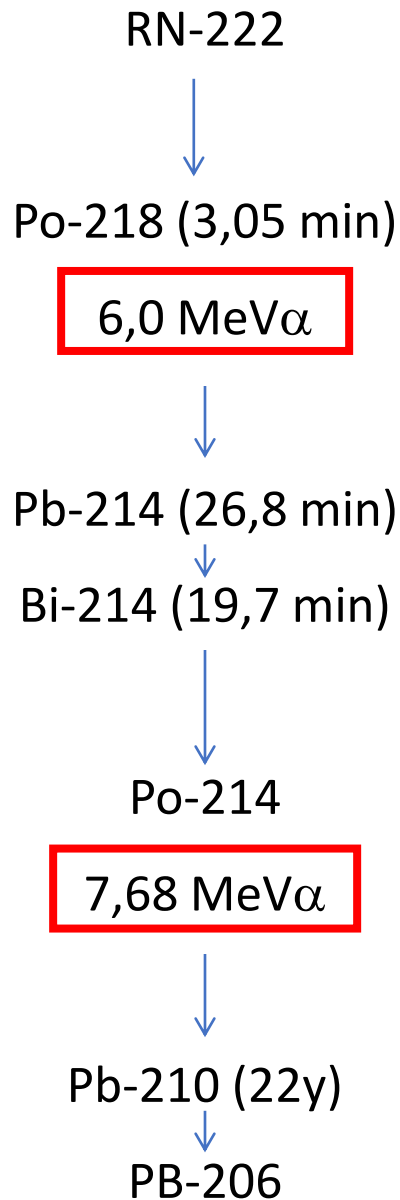


Zählrate zu Raumluftkonzentration

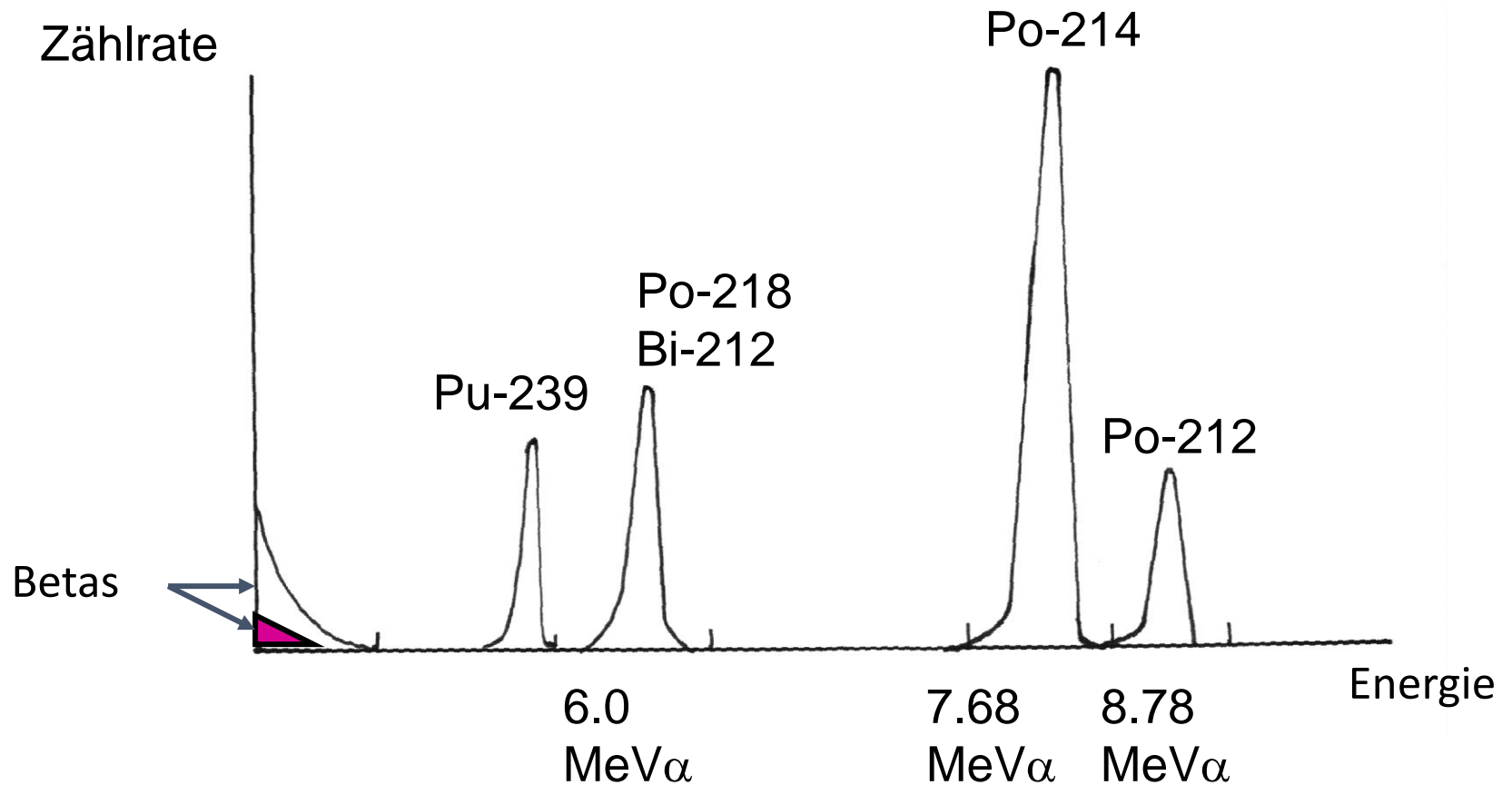
Nach einer Freisetzung benötigt die Aktivität Zeit, sich auf dem Filter zu sammeln, verbleibt dann aber dort! Unterschiedliche Auswirkungen bei verschiedenen Halbwertszeiten! Hier 15 s Halbwertszeit!



Radontöchter als Untergrund



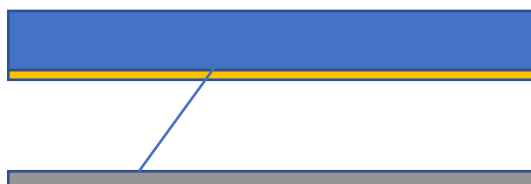
Ideales Alpha- Betaspektrum mit natürlichem Untergrund



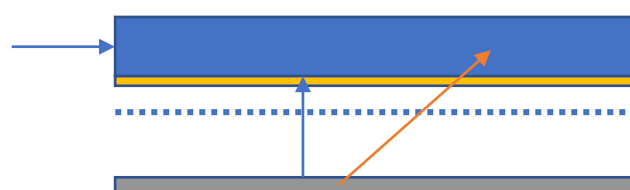
Alpha-Beta-Aerosolmonitore

2 Detektorkopfansätze

Hohe Effizienz

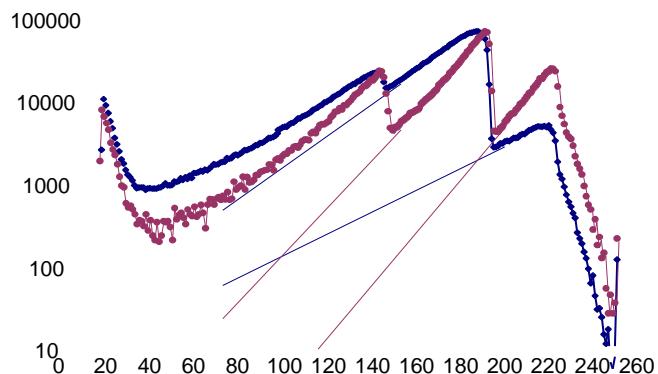


Detektor
Aktives
Volumen
Fenster
Luft
Filter

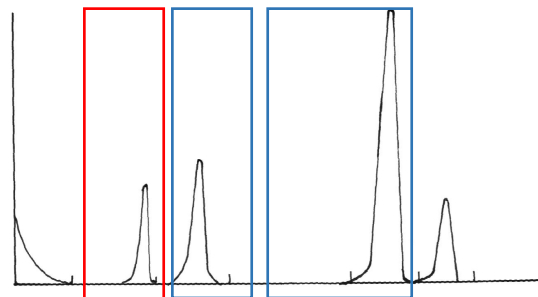


Kollimator

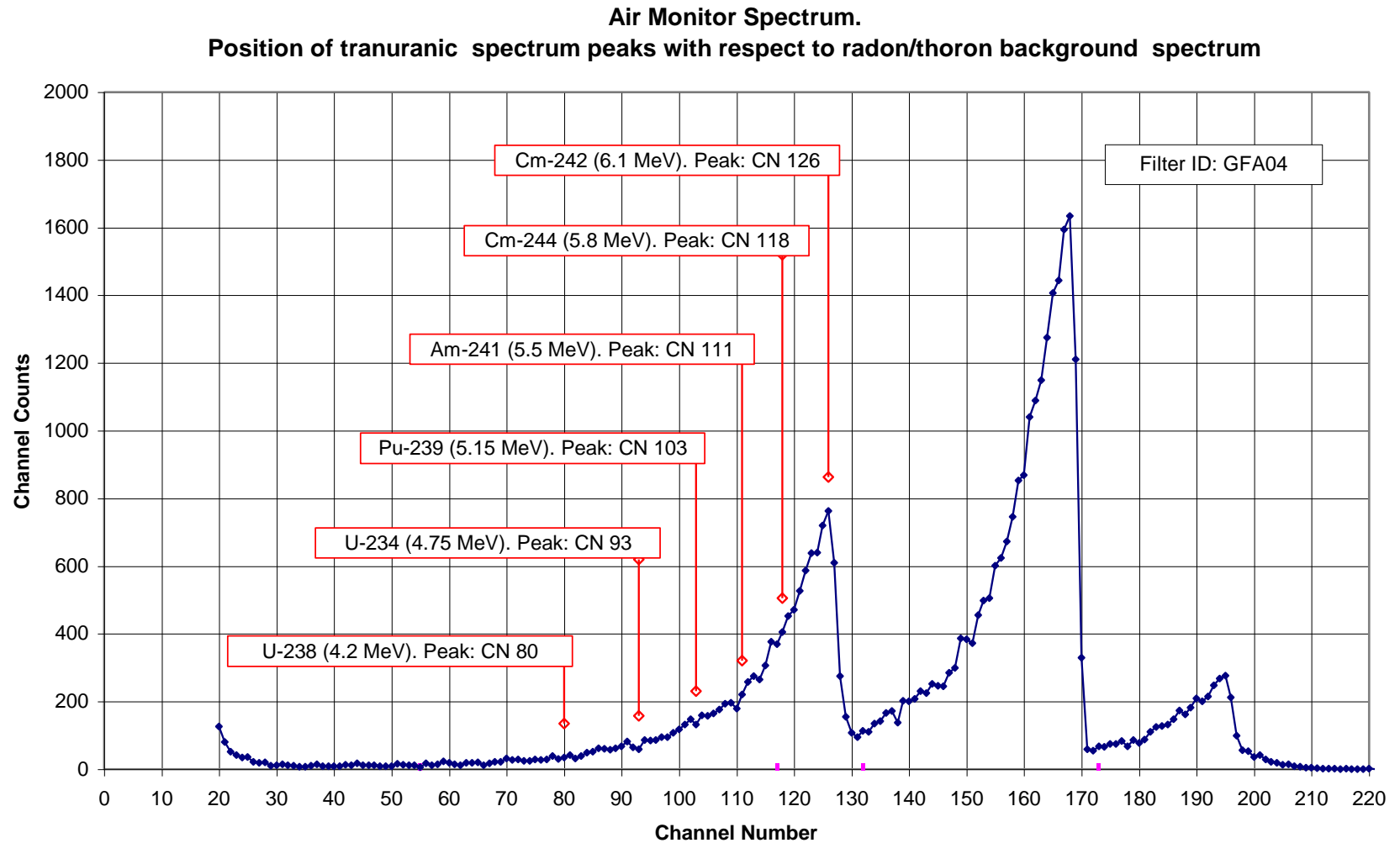
Energieverlust in Filter, Luft
und inaktivem Detektorfenster
Mit $1/\cos(\alpha)$ Weglänge über
alle Winkel => Spektrometrie



Energieverlust in Filter, Luft
und inaktivem Detektorfenster
Mit $1/\cos(0^\circ)$ Weglänge
=> Fenstermethode



Weshalb Korrektur...

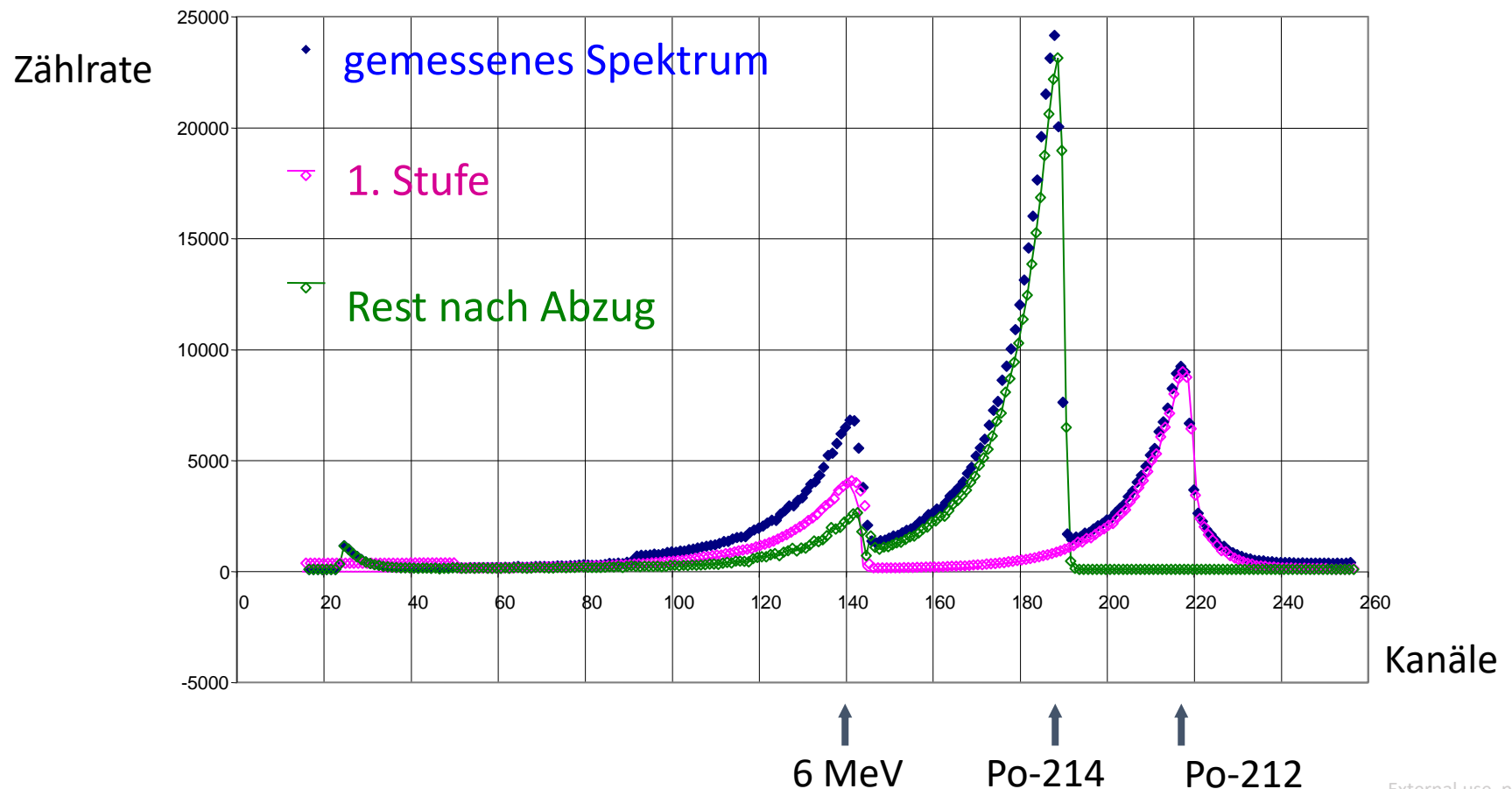


Radonkompensation

Erste Stufe:

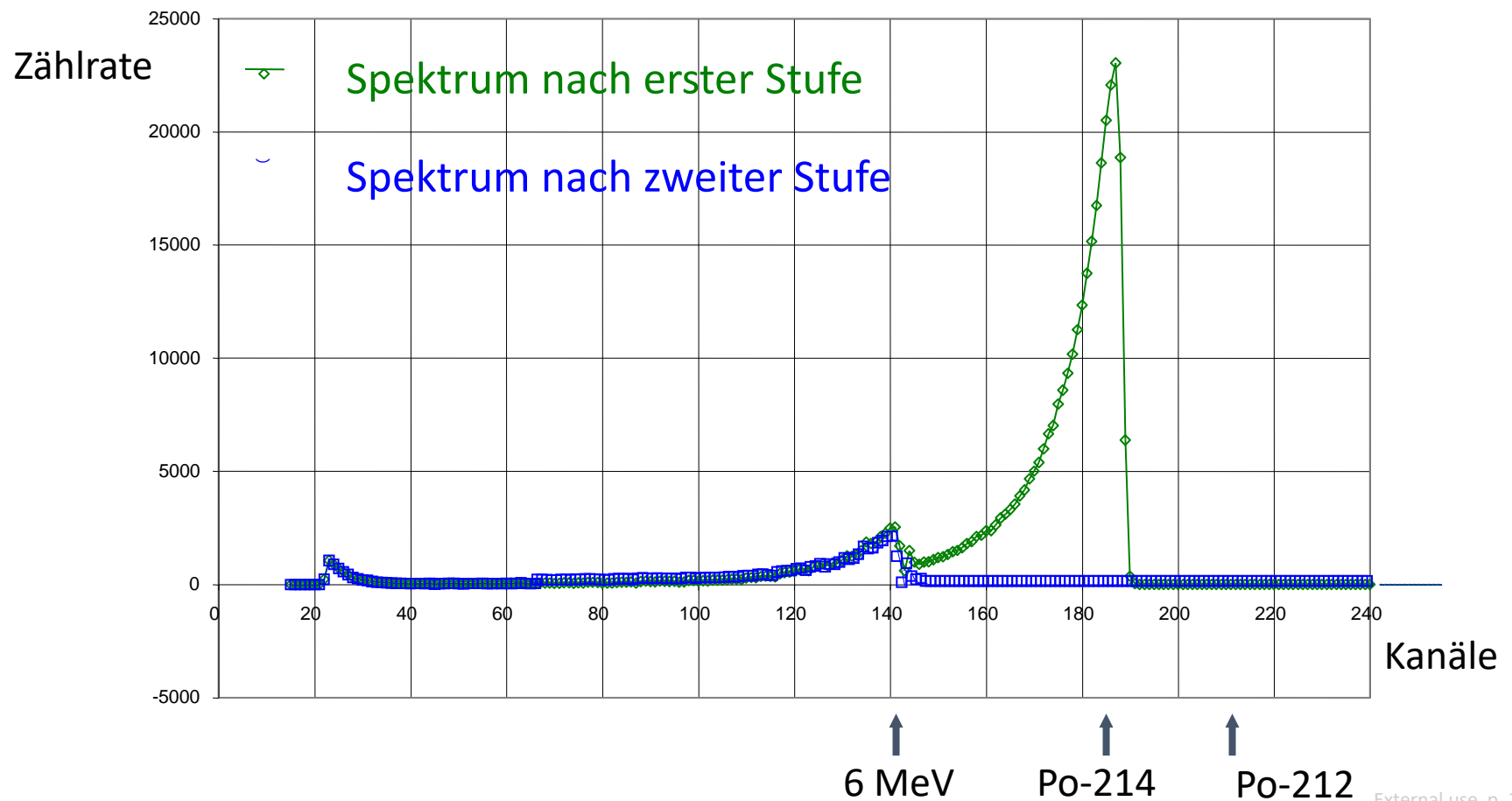
Berechnung des Peakanteils von Bi-212 bei 6 MeV

aus der Linie von Po-212 und Abzug vom Gesamtspektrum



Radonkompensation

Zweite Stufe: PEAKFIT des Po-212 Peaks und Abzug



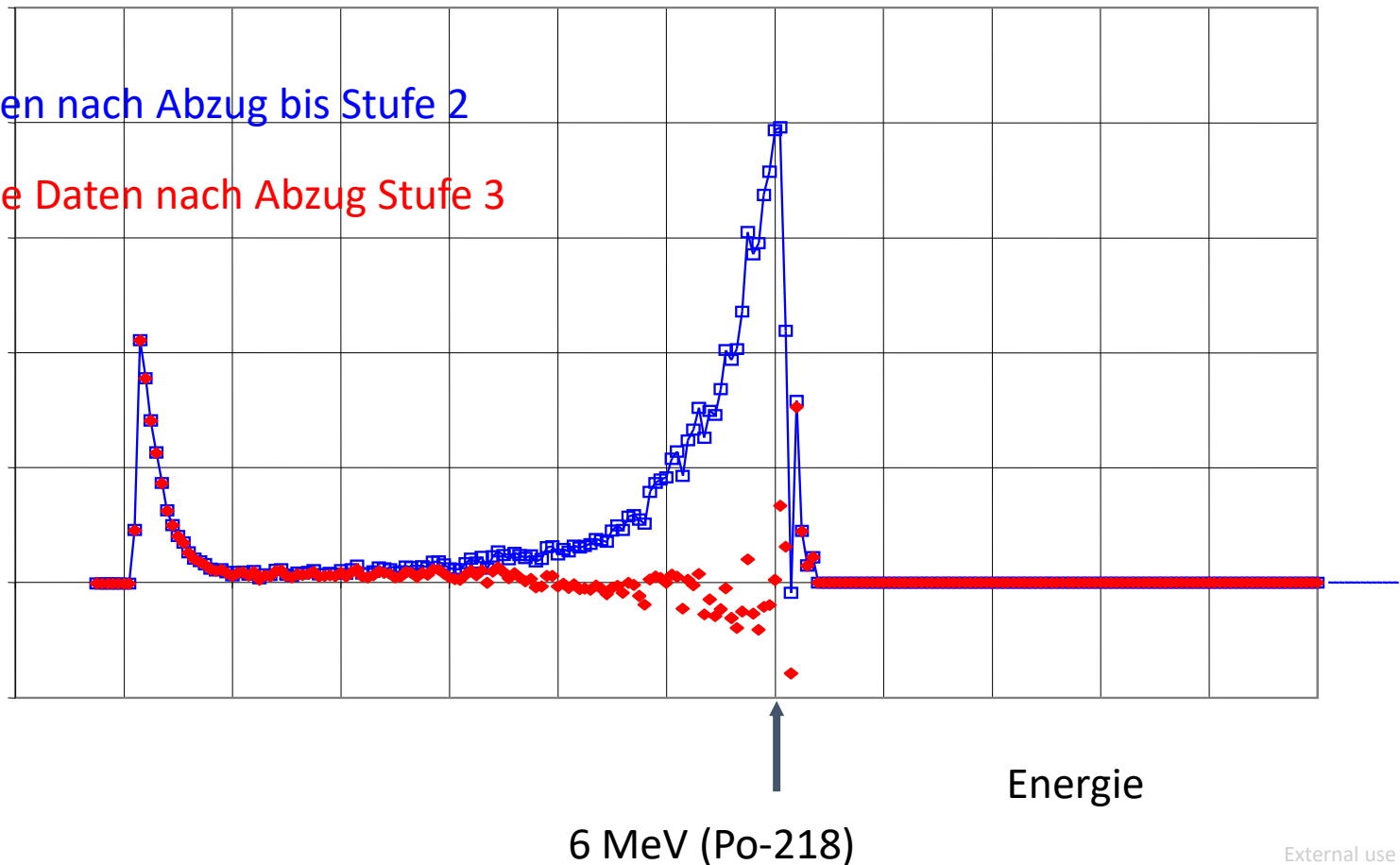
Radonkompensation

Dritte Stufe: PEAKFIT des Po-218 Peaks und Abzug

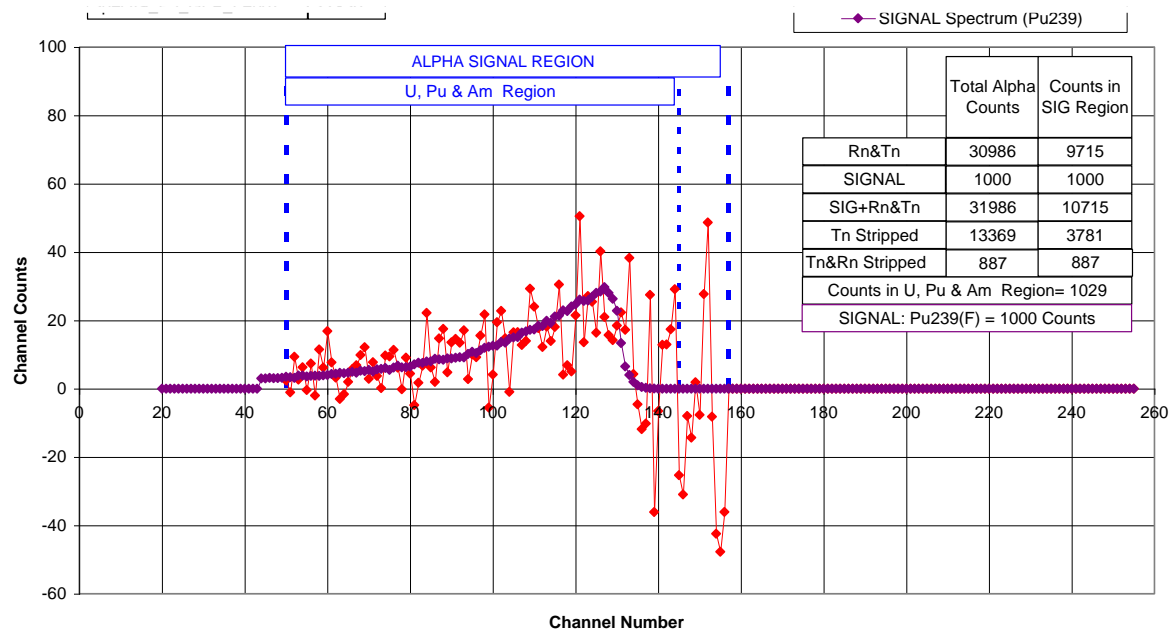
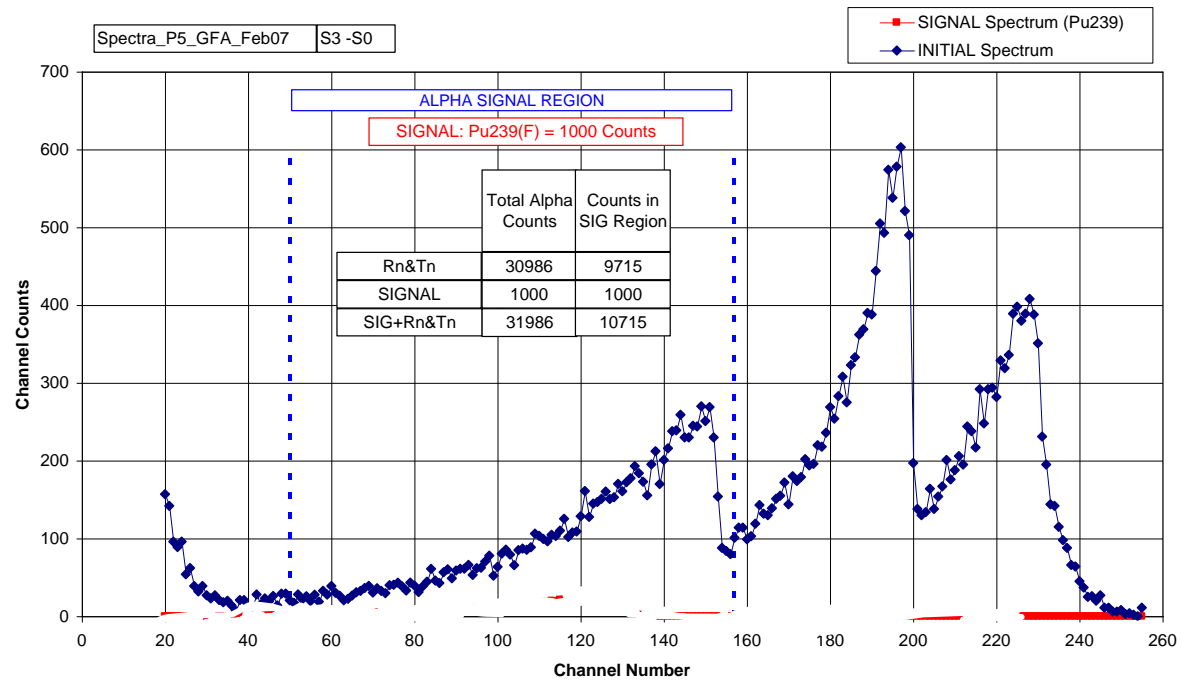
Zählrate

▢ Messdaten nach Abzug bis Stufe 2

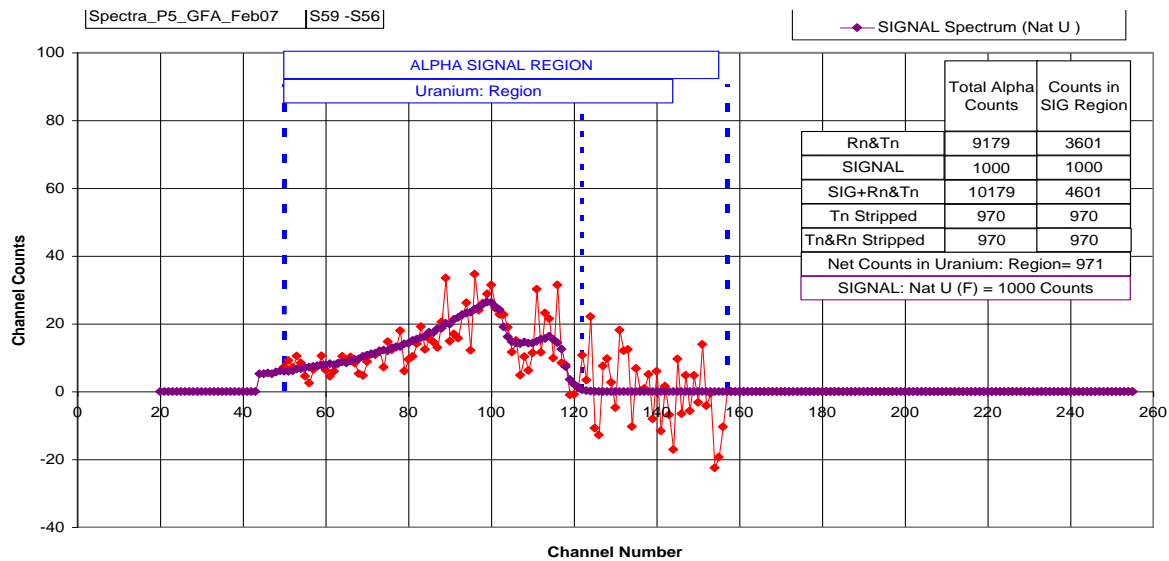
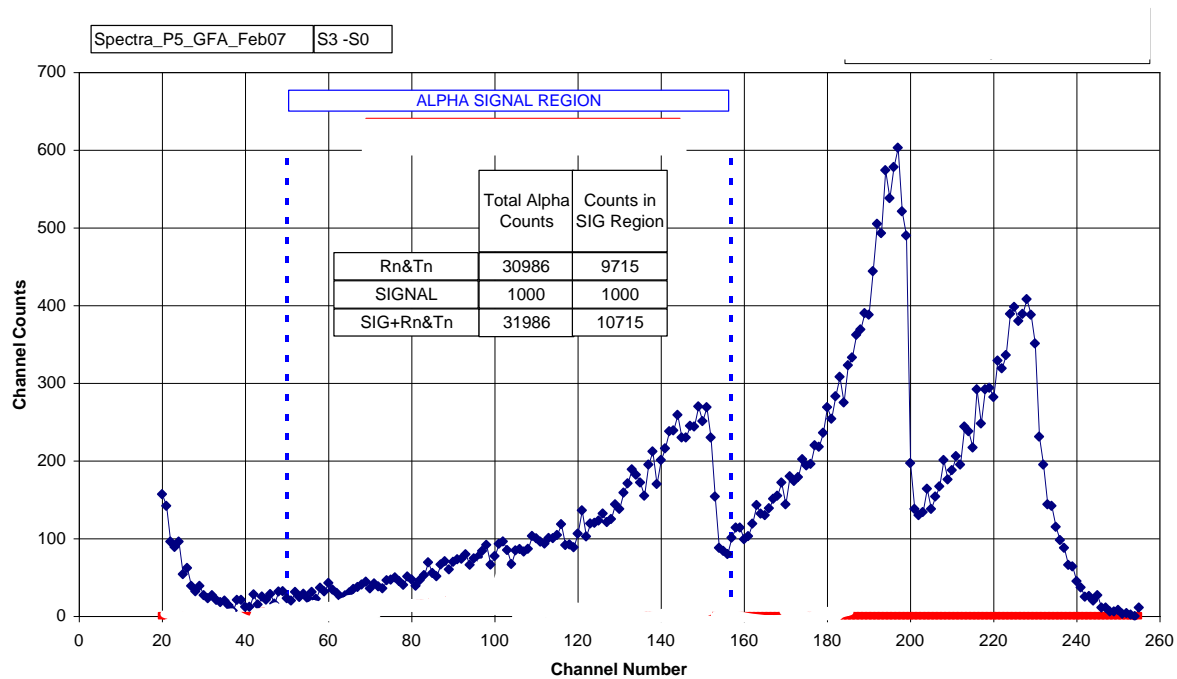
◆ Korrigierte Daten nach Abzug Stufe 3



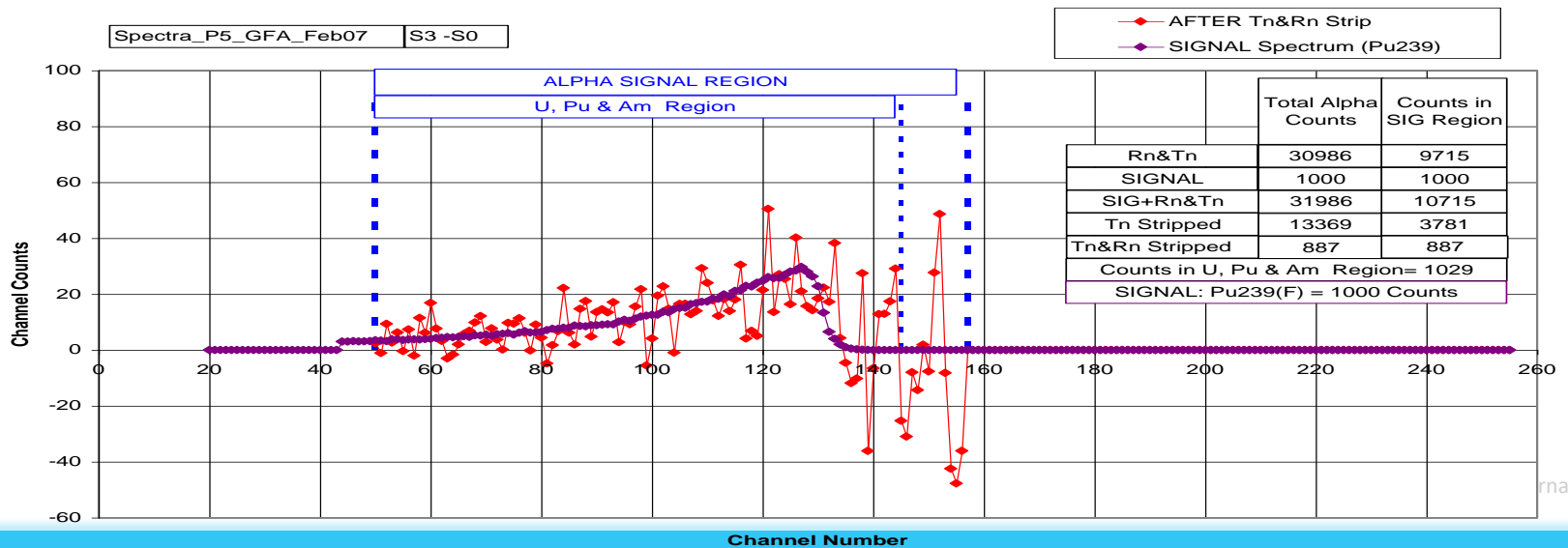
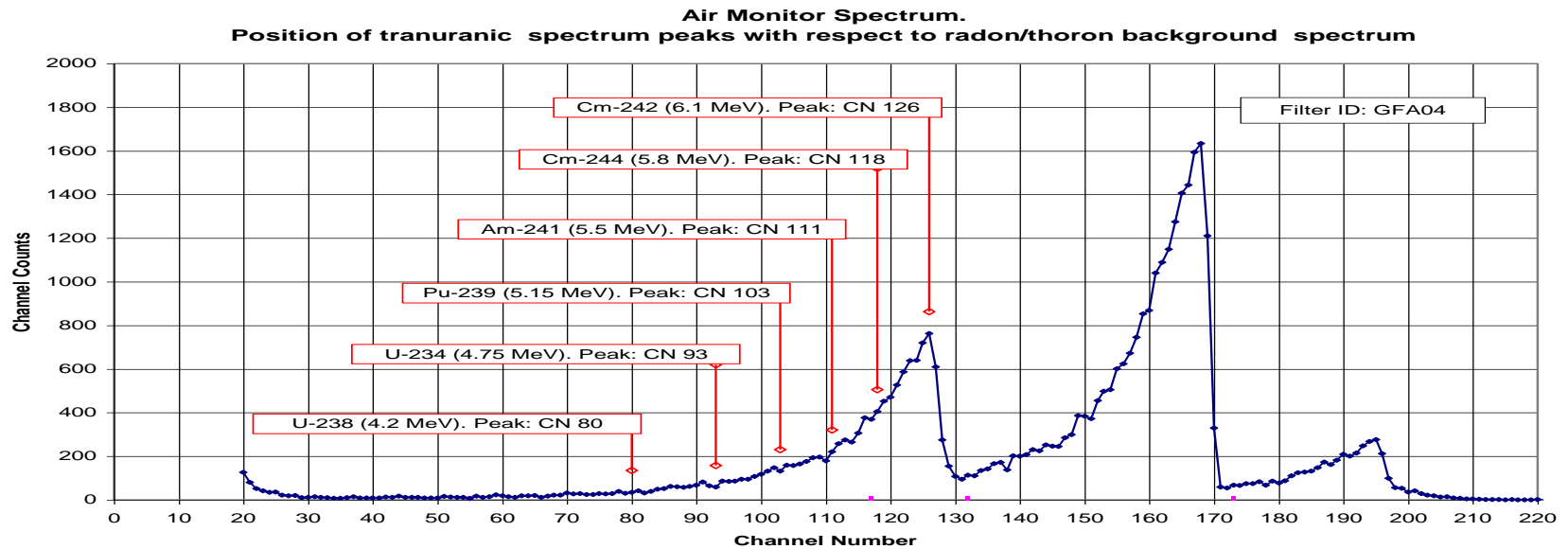
^{239}Pu



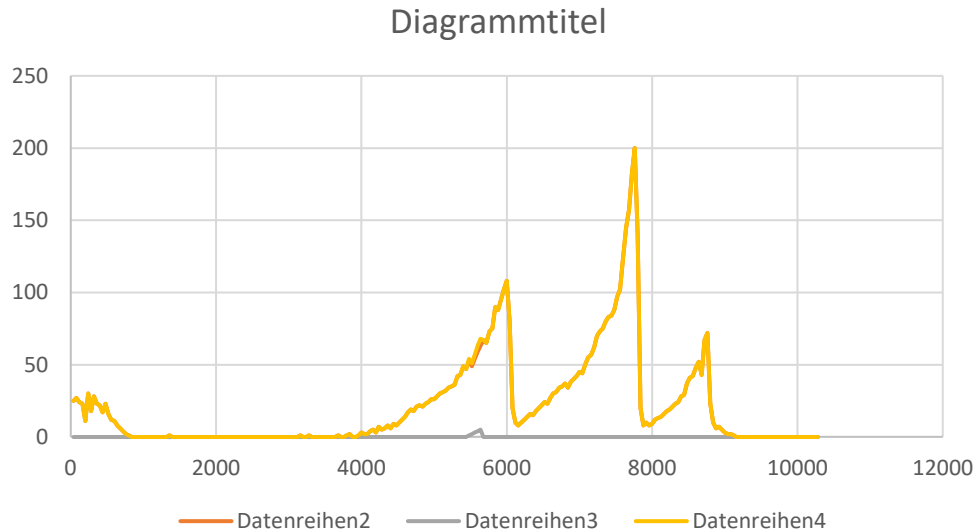
U_{Nat}



Kurzzeitanalyse 15 s (Stripping) zur Untergrundreduktion



Kurzzeitanalyse 15 s (Stripping) zur Untergrundreduktion



Rn-222

300 Bq/m³ mit 20 l/Minute

⇒ 6 Bq/Minute auf dem Filter

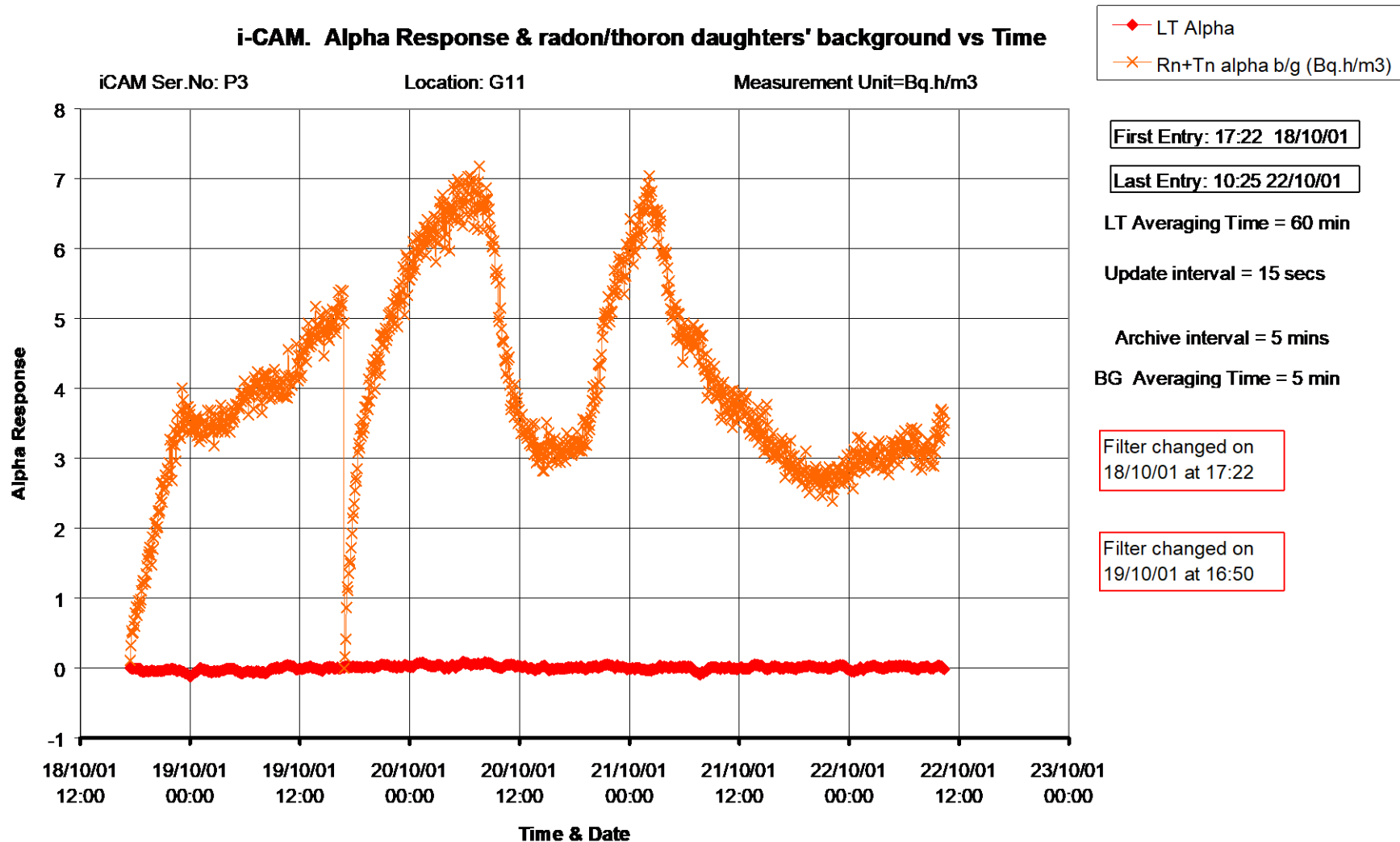
⇒ Deposition gegen Zerfall

⇒ 15 Zerfälle bei 6 MeV

⇒ 4 Signale bei Effizienz > 25%

⇒ In 15 s 60 Signale

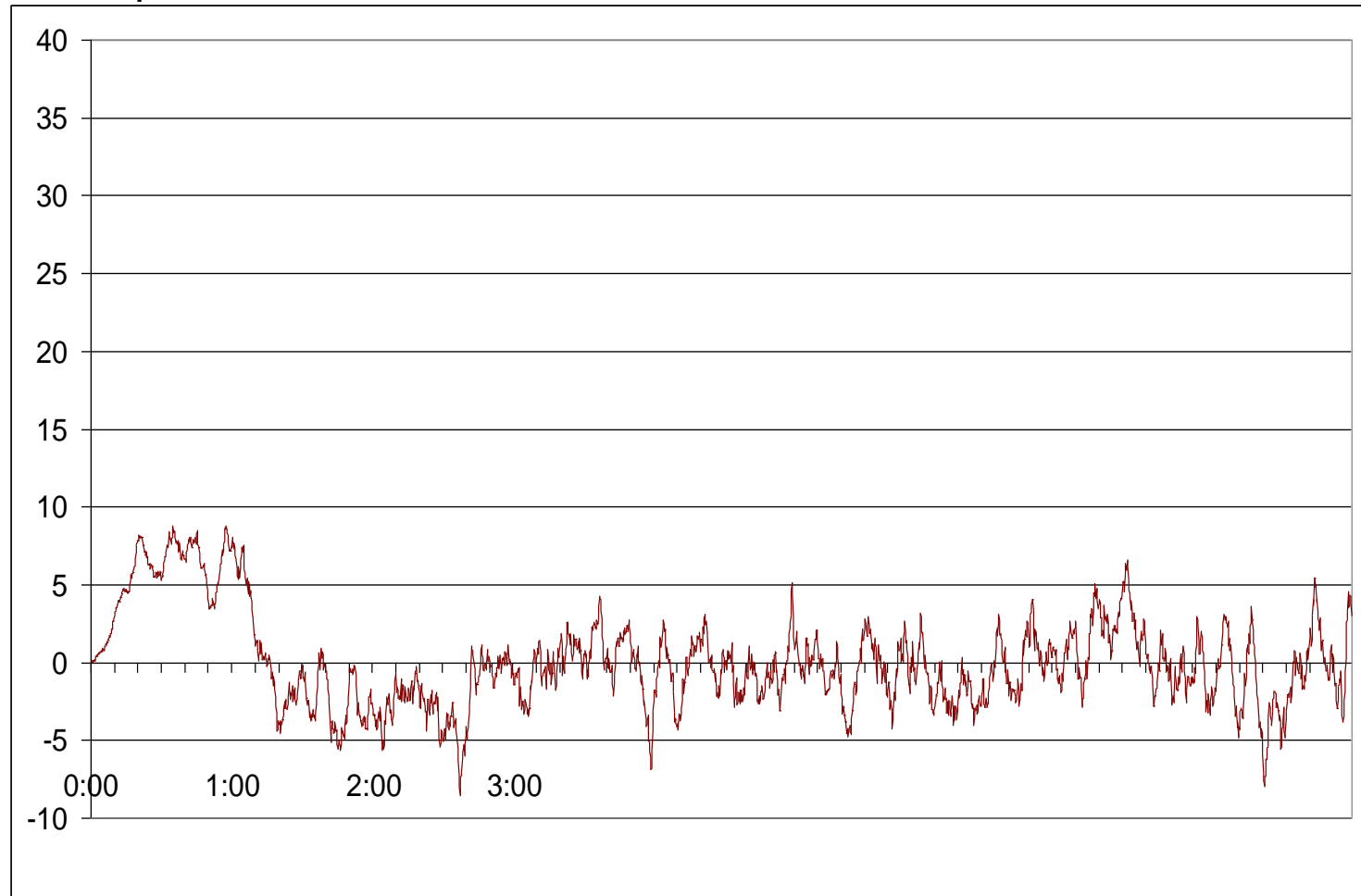
i CAM - Kurzzeit- α -Messungen Natürliche Radionuklide



Bestimmung der Beta-Aktivität mit einem Aerosolmessgerät

Nutzung der Kurzzeit-Betazählratenänderung

Aktivität in Bq



Messzeit in Stunden

Festlegung minimaler Alarmlevel bei unterschiedlichen Radon/Thoron-Konzentrationen

iCAM. Alpha Activity Measurement Uncertainties as a function of radon daughters' concentration. With relative radon daughter concentrations typical of an area ventilated at a rate of one air-change per hour. (Equilibrium factor = 0.5)										
²²² Rn Conc.	Radon Daughters' Alpha Background			Count Time	Measurement Standard Deviation			Minimum Alarm Level		
Bq/m ³	Bq	Bq.h/m ³	DACH	min	Bq	Bq.h/m ³	DACH	Bq	Bq.h/m ³	DACH
10	17	7	70	5 m	± 0.2	± 0.09	± 0.9	0.9	0.37	4
				20 m	± 0.1	± 0.05	± 0.5	0.4	0.18	2
20	34	14	140	5 m	± 0.3	± 0.13	± 1.3	1.2	0.52	5
				20 m	± 0.2	± 0.07	± 0.7	0.6	0.27	3
30	51	21	210	5 m	± 0.4	± 0.16	± 1.6	1.5	0.64	6
				20 m	± 0.2	± 0.08	± 0.8	0.8	0.32	3
40	68	28	280	5 m	± 0.4	± 0.18	± 1.8	1.8	0.73	7
				20 m	± 0.2	± 0.09	± 0.9	0.9	0.37	4
50	85	35	350	5 m	± 0.5	± 0.20	± 2.0	2.0	0.82	8
				20 m	± 0.2	± 0.10	± 1.0	1.0	0.41	4
60	102	42	420	5 m	± 0.5	± 0.22	± 2.2	2.2	0.90	9
				20 m	± 0.3	± 0.11	± 1.1	1.1	0.45	4
70	119	49	490	5 m	± 0.6	± 0.24	± 2.4	2.3	0.97	10
				20 m	± 0.3	± 0.12	± 1.2	1.2	0.49	5
80	136	56	560	5 m	± 0.6	± 0.25	± 2.5	2.5	1.04	10
				20 m	± 0.3	± 0.13	± 1.3	1.2	0.52	5
100 *	170	70	700	5 m	± 0.7	± 0.28	± 2.8	2.8	1.16	12
				20 m	± 0.3	± 0.14	± 1.4	1.4	0.58	6
150 *	255	105	1050	5 m	± 0.9	± 0.35	± 3.5	3.4	1.42	14
				20 m	± 0.4	± 0.17	± 1.7	1.7	0.71	7
200 *	340	140	1400	5 m	± 1.0	± 0.40	± 4.0	3.9	1.64	16
				20 m	± 0.5	± 0.20	± 2.0	2.0	0.82	8

Festlegung minimaler Alarmlevel bei unterschiedlichen Radon/Thoron-Konzentrationen

iCAM. Beta Activity Measurement Uncertainties and Minimum Activity Alarm Levels

as a function of radon daughters' concentration.

With relative radon daughter concentrations typical of an area ventilated at a rate of one air-change per hour. (Equilibrium factor = 0.5)

DAC= 100 Bq/m³

²²² Rn Conc.	Typical Beta Reading WITHOUT compensation for radon & thoron daughters			Typical Beta Reading WITH compensation for radon & thoron daughters			Minimum Alarm Level		
Bq/m ³	Bq	Bq.h/m ³	DAC _h	Bq	Bq.h/m ³	DAC _h	Bq	Bq.h/m ³	DAC _h
10	25	10	0.1	0 ± 3	0 ± 1	0 ± 0.01	15	5	0.1
20	50	20	0.2	0 ± 5	0 ± 2	0 ± 0.02	25	10	0.1
30	75	30	0.3	0 ± 8	0 ± 3	0 ± 0.03	40	15	0.1
40	100	40	0.4	0 ± 10	0 ± 4	0 ± 0.04	50	20	0.1
50	125	50	0.5	0 ± 13	0 ± 5	0 ± 0.05	65	25	0.1
60	150	60	0.6	0 ± 15	0 ± 6	0 ± 0.06	75	30	0.2
70	175	70	0.7	0 ± 18	0 ± 7	0 ± 0.07	90	35	0.3
80	200	80	0.8	0 ± 20	0 ± 8	0 ± 0.08	100	40	0.4
100	250	100	1	0 ± 25	0 ± 10	0 ± 0.1	125	50	0.5
200	500	200	2	0 ± 50	0 ± 20	0 ± 0.2	250	100	1

Alarmierung und Bilanzierung

Zusätzliche Aspekte der Bilanzierung und Alarmierung

1. Schnelle Alarmierung für Räumung:

- Festlegung verschiedener Energiebereiche und Zeitverlauf der Zählraten durch deponierte Radionuklide
- Bei spontaner Freisetzung schneller relativer Anstieg im Energiebereich des freigesetzten Radionuklids
- => Alarmierung

2. Kurz- und langlebige Radionuklide bei Bilanzierung

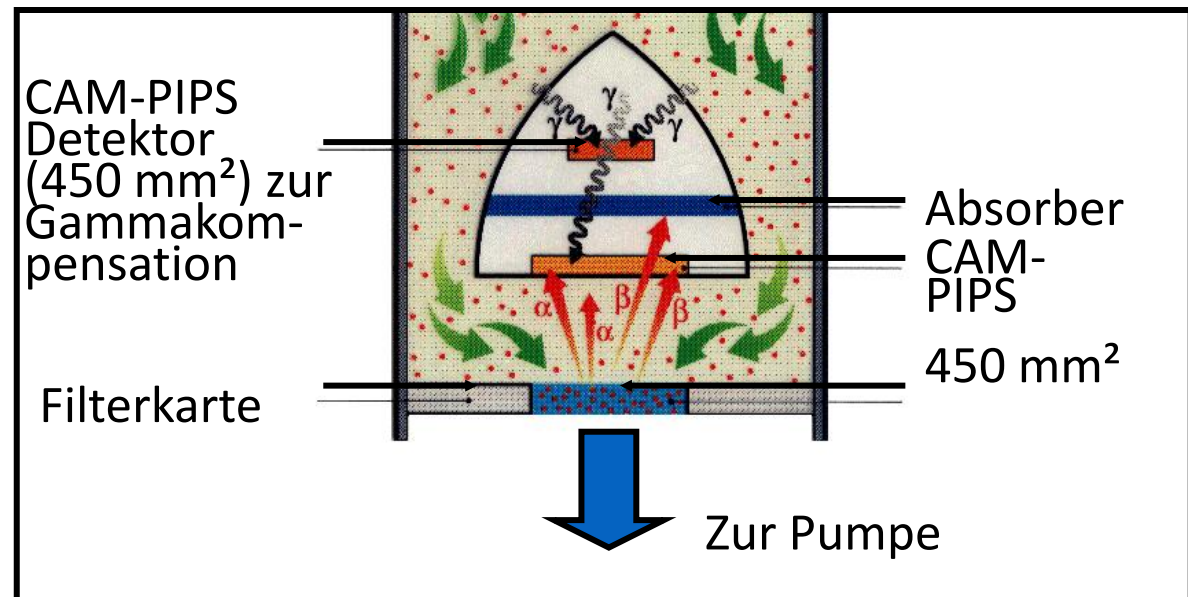
- Konstante Freisetzung einer kurzlebigen Radionuklids und spontane Freisetzung eines langlebigen Radionuklids
- => gleiche Zählrate

Aerosolmessungen Betaemitter

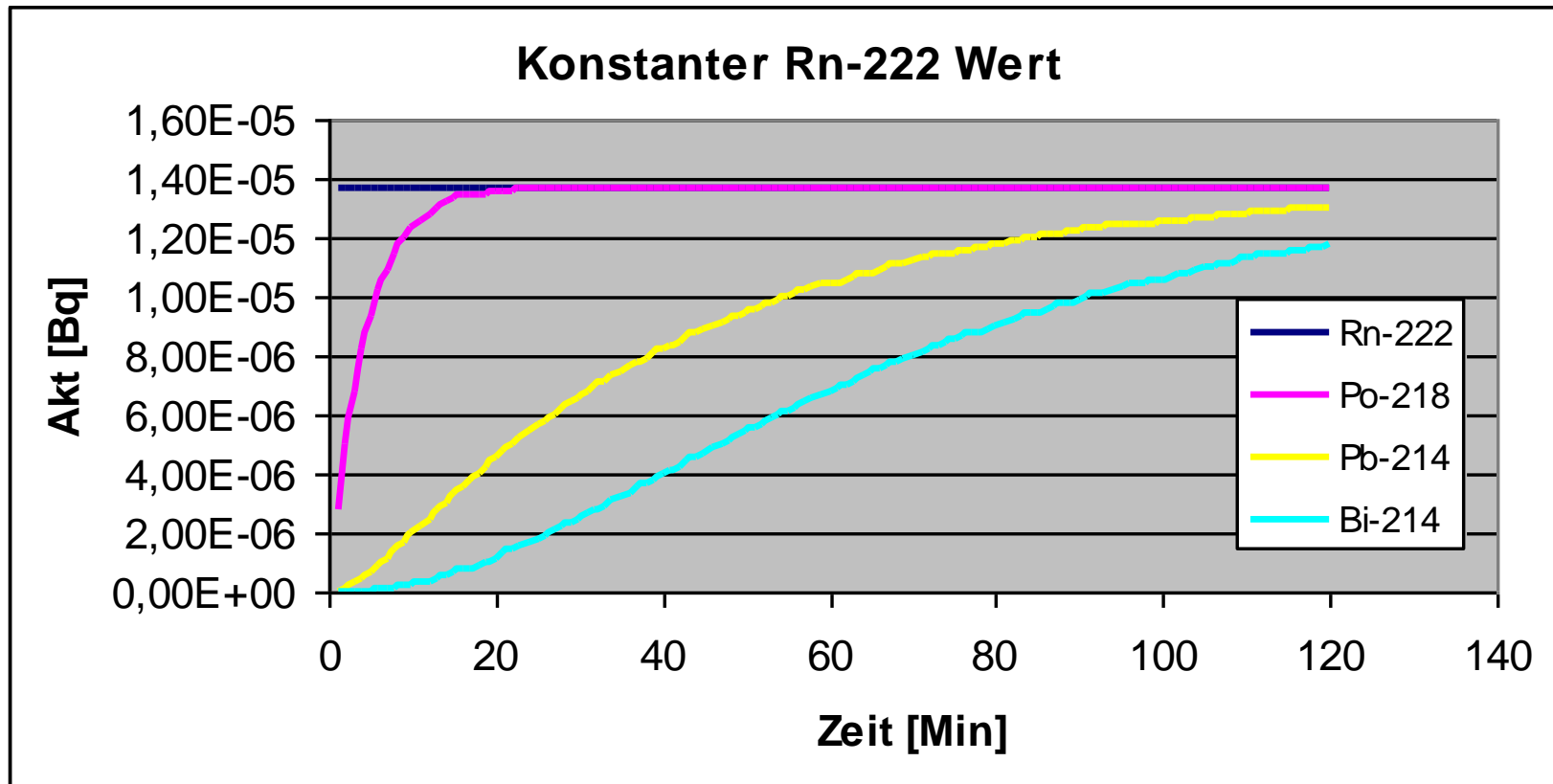
Nach der Analyse der Rn-222 und Rn-220 Zerfallsreihen auf dem Filter ist eine Berechnung der emittierten Betateilchen, die den Filter treffen und eine Energie oberhalb der elektronischen Schwelle haben, möglich und damit die Korrektur der Beta-Untergrundzählrate!

Durch den zweiten abgeschirmten PIPS Detektor ist die Analyse der Gamma-Umgebungszählrate möglich und damit die Korrektur des Gammaeinflusses der Umgebung.

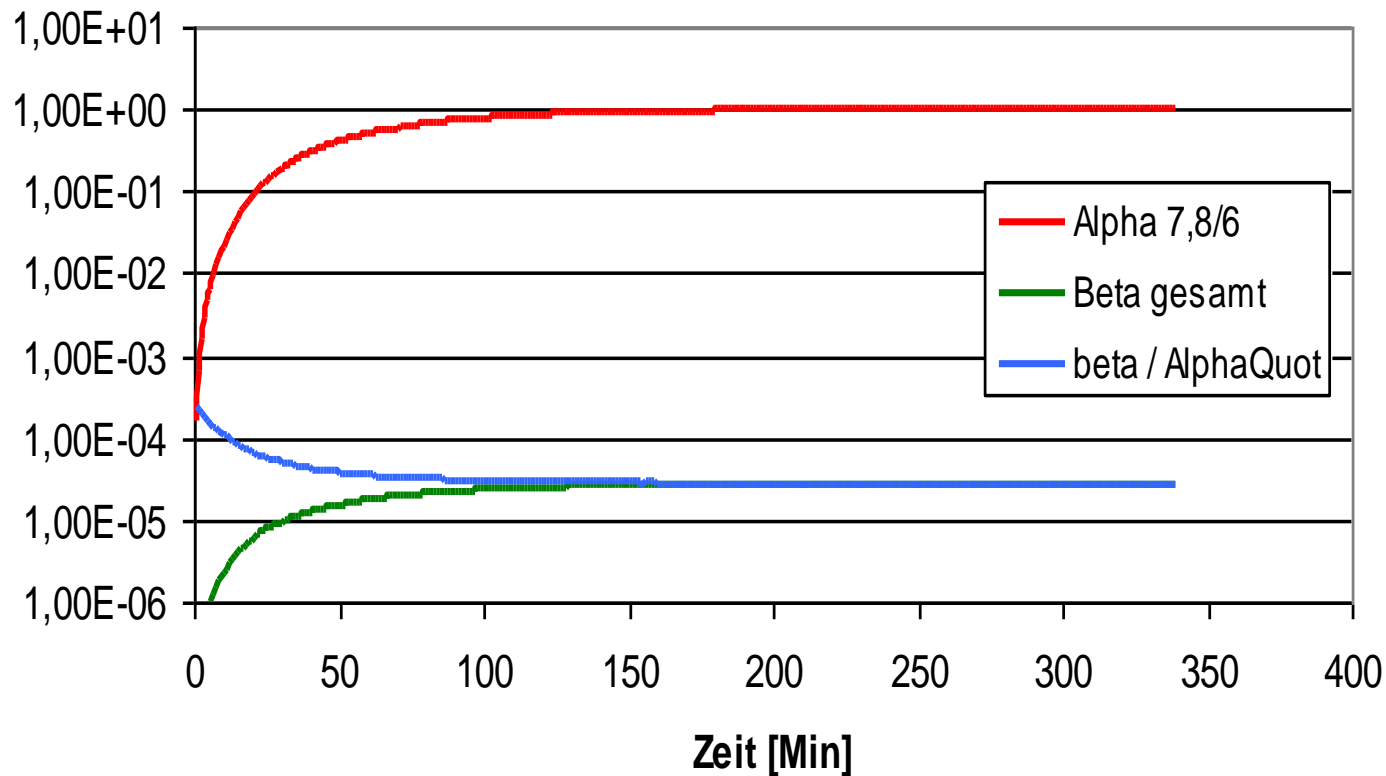
⇒ Idealer Aerosolmonitor
Sowohl für Alpha und Beta-
Emitter.



Das Problem: Emission von Betateilchen in den natürlichen Zerfallsreihen



Das Problem Betauntergrundsberechnung



^{222}Rn ($T_{1/2}=3.8$ d)

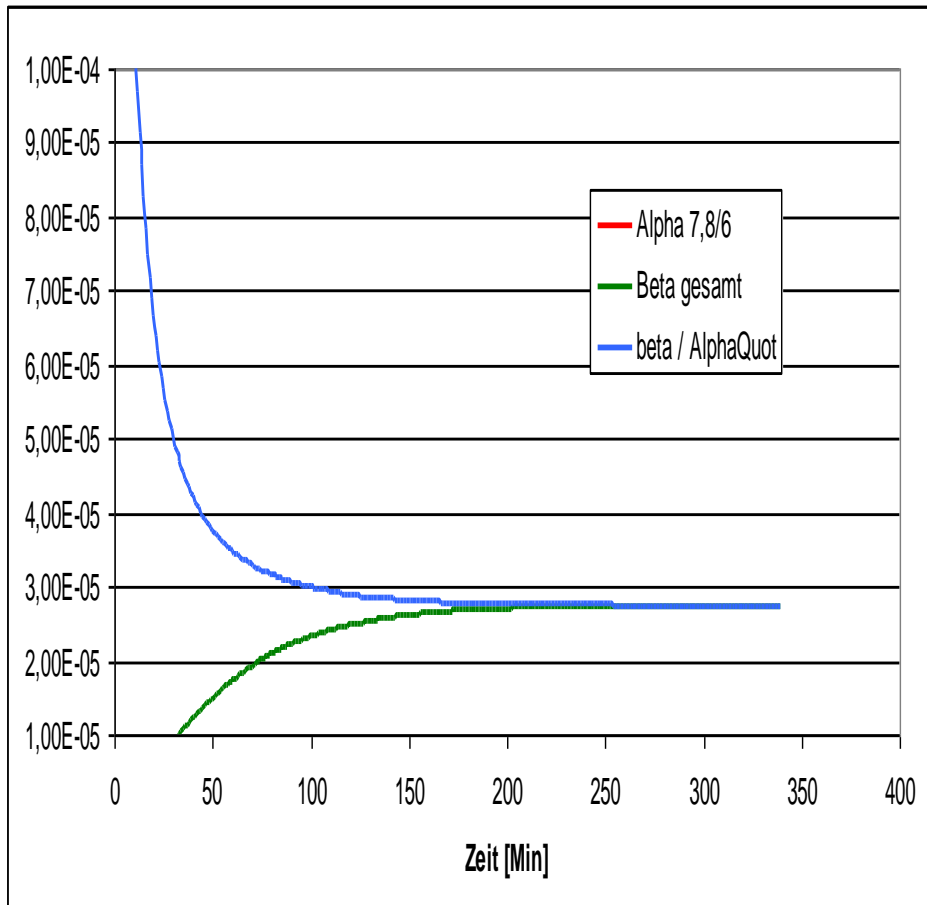
^{218}Po ($T_{1/2}=3.05$ m)

^{214}Pb ($T_{1/2}=26.8$ m)

^{214}Bi ($T_{1/2}=19.8$ m)

^{214}Po ($T_{1/2}=162$ μs)

Das Problem

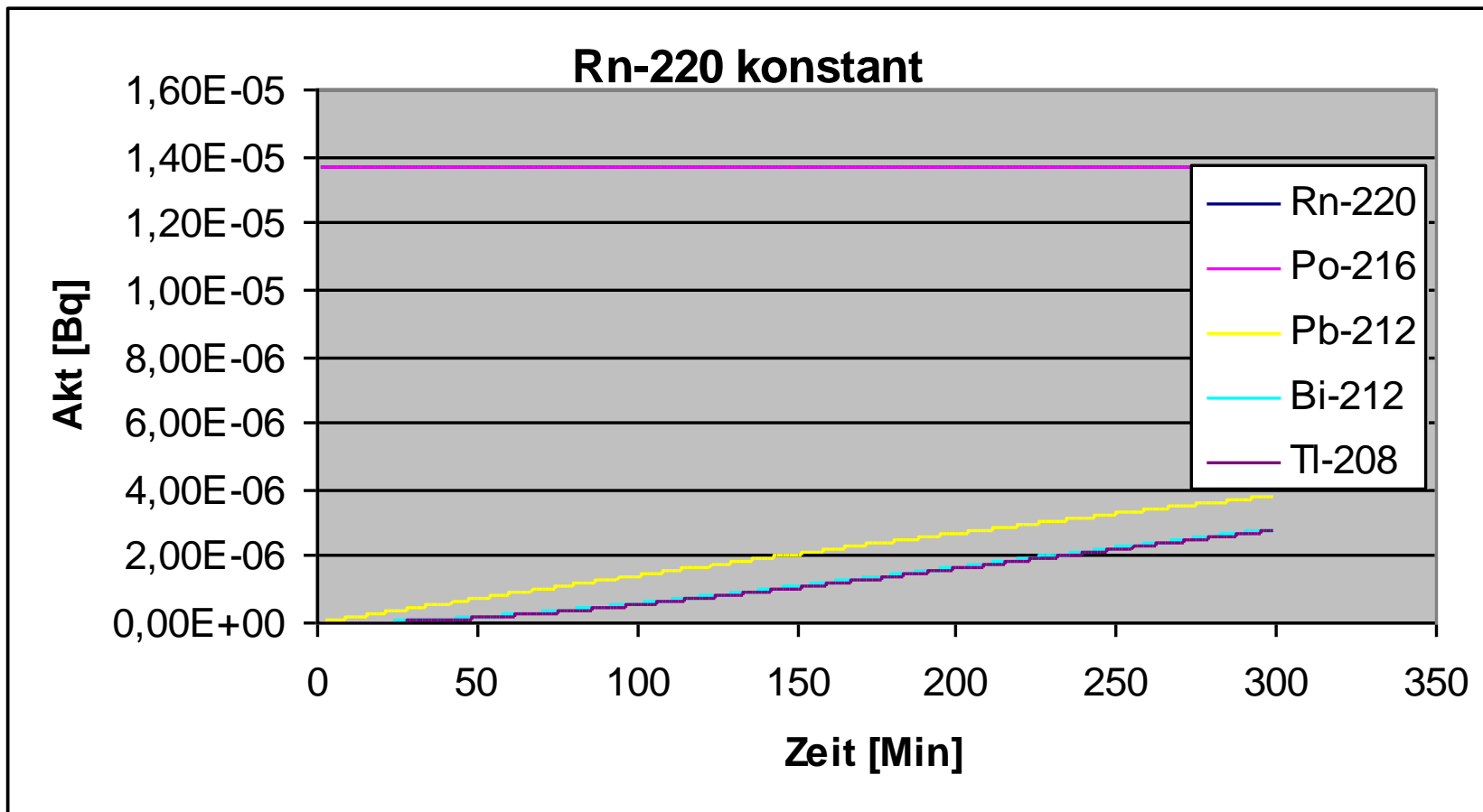


In der Ra-226 Zerfallsreihe bildet sich aus vorhandener reiner Ra-226 Konzentration ohne Töchter und nachfolgende konstante Emanation innerhalb von ca 60 Minuten ein Gleichgewicht,

so dass die Anzahl der Betaemissionen oberhalb der Detektionsschwelle (Energie) berechnet werden kann.

Vorher werden mehr Betas emittiert, weshalb in den ersten Minuten die Alarmschwelle für Betas übertroffen werden kann.

Das Problem





Das Problem

Die 6.7 MeV Emission von Po-216 ist auf dem Filter kaum zu sehen!

Beim dualen Zerfall von Bi-212 wird entweder direkt mit 36,2% Wahrscheinlichkeit ein Alphateilchen der Energie 8.8 MeV emittiert oder über Betazerfall das Tochternuklid Po-212 gebildet, dessen Halbwertszeit 0.3 μ s beträgt. Dieses führt einen Alphazerfall durch mit einer Energie von 6.05 MeV. Daher treten diese Linien immer im gleichen Verhältnis auf: **0.362:0.638**

Da Po-216 nicht zu sehen ist und alle nach Pb-212 kommenden Isotope kurzlebig sind, existiert ein festes Verhältnis der Betaemissionen zu den Alphaemissionen.