



Bundesamt
für Strahlenschutz

Trennung von Actinium-225 aus Urin mittels DGA, RE, TK221 & TK222

Einflüsse von Fällungsmethoden und Säulenmaterialien auf die Ac-225-
Ausscheidungsanalyse

Dr. Sven Hartmann, Bundesamt für Strahlenschutz, Medizinischer und Beruflicher
Strahlenschutz, Inkorporationsüberwachung

Triskem International – Anwendertreffen Deutschland 2025

23. Oktober 2025, Frankfurt am Main



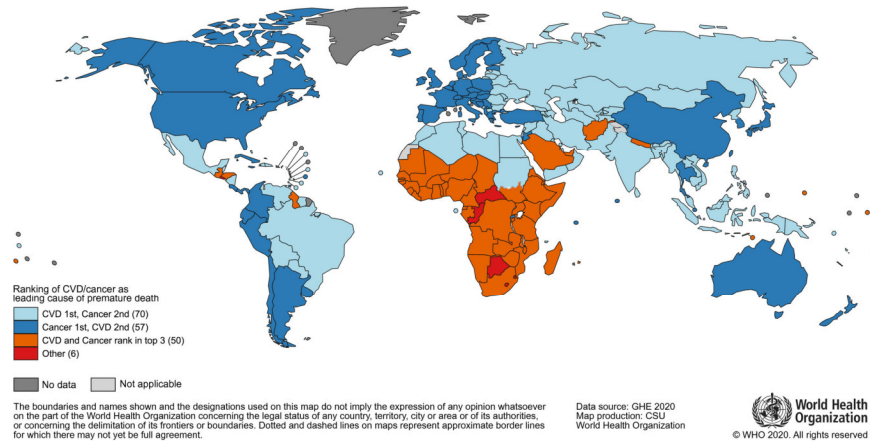


Abbildung 1 Ranking der häufigsten Ursachen für vorzeitige Todesfälle bei nichtübertragbaren Krankheiten 2020. [1]

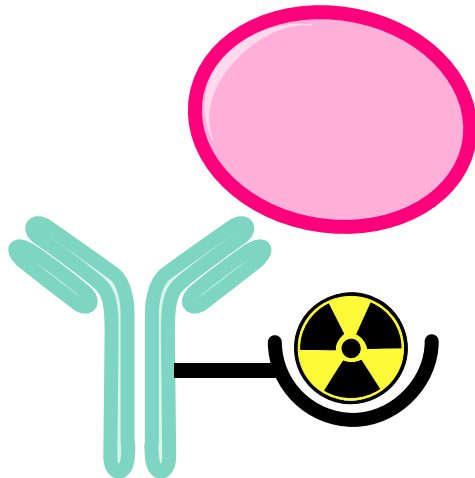


Abbildung 2 Schema eines TAT-Konjugats. [2]

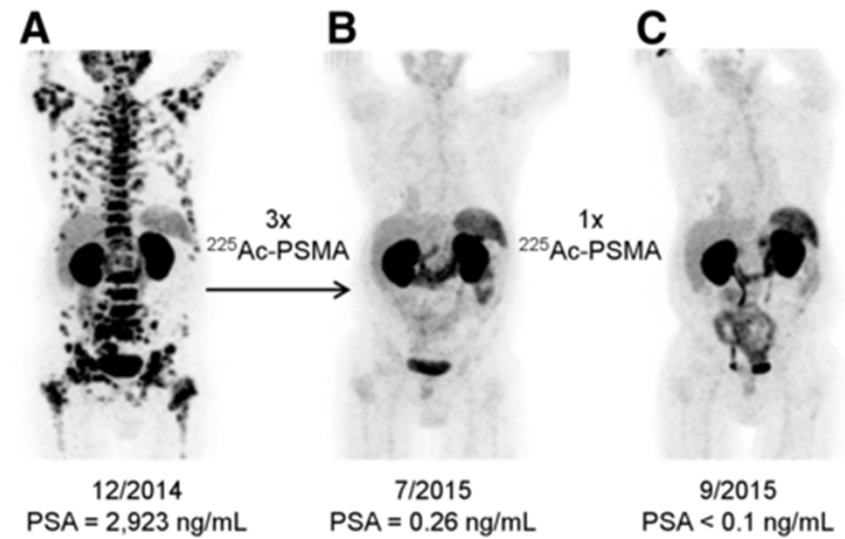


Abbildung 3 Behandlung von metastasierenden Prostatakrebs mit ²²⁵Ac-PSMA. [3]

Inkorporationsüberwachung für Ac-225

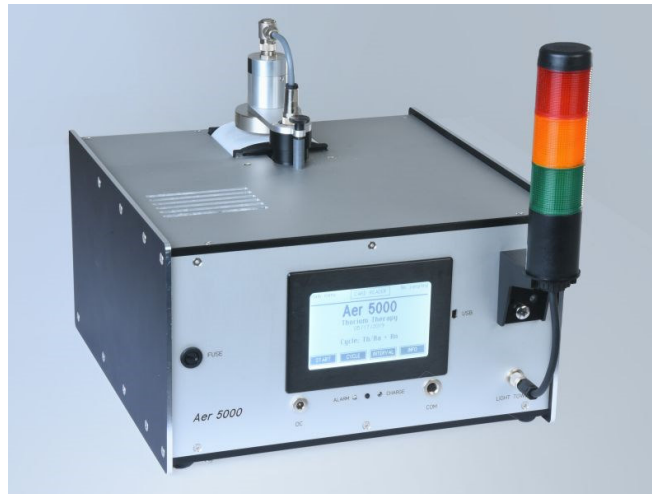
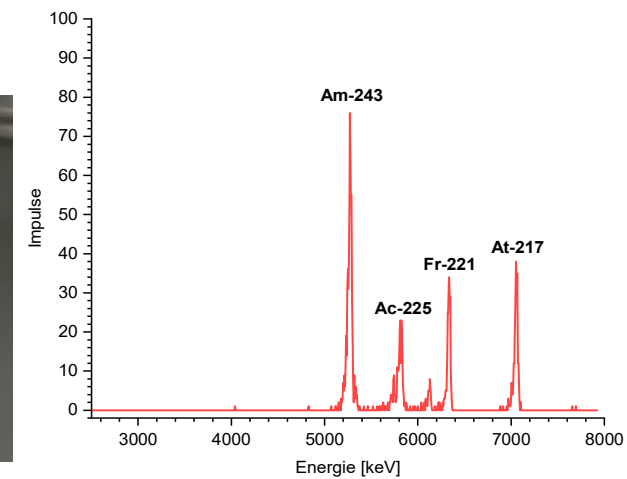
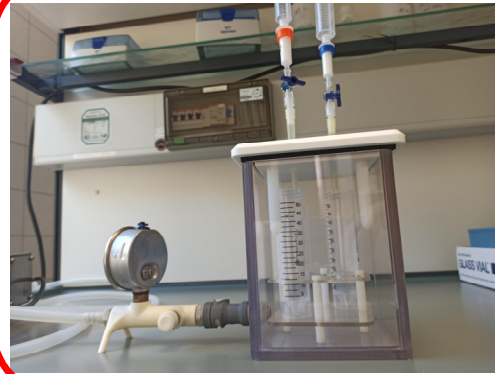


Abbildung 4 Aer 5000 : Continuous Air Monitor als Tischgerät der Firma SARAD GmbH. [4]



Methode für eine Ausscheidungsanalyse



Solid-phase extraction of ^{225}Ac using ion-imprinted resin and ^{243}Am as a radioactive tracer for internal dosimetry and incorporation measurements



Ruslan Cusnir ^{a, b, *}, Pascal Froidevaux ^a, Pierre Carbonez ^b, Marietta Straub ^{a, b}

Actinium-225 as an example for monitoring of internal exposure of occupational intakes of radionuclides in face of new nuclear-medical applications for short-lived alpha emitting particles

Sven Hartmann¹  · Kerstin Taubner¹ · Tobias Vogt¹ · Oliver Meisenberg¹  · Uwe-Karsten Schkade² · Christian Steyer³ · Marian Meckel³ · Christian Kesenheimer³

- Erste beschriebene Methode, verwendet selbst synthetisiertes Säulenmaterial „Y-imprinted resin“ [5]
 - Idee: mittels Yttrium „Taschen“ wie in Knete formen, die ideal für diverse Lanthanide/Actinide sind
 - Ionenradius Y^{3+} mit 1,0 Å liegt zwischen den Radien von Am^{3+} (0,98 Å) und Ac^{3+} (1,2 Å)
 - Methode liefert sehr gute Ausbeuten und ein Nachweis von ca. 50 mBq Ac-225 möglich
- Adaption der Methode von Cusnir et al. mit dem Ziel eine breite Anwendung für deutsche Inkorporationsmessstellen zu ermöglichen
 - Verwendung von ausschließlich kommerziell erhältlichen Materialien/Geräten
 - Methode im „Feldversuch“ einer Inkorporationsüberwachung getestet
 - Ausbeuten für Tracer Am-243 sehr gut, jedoch für Ac-225 nicht ausreichend (< 5 %)

Mögliche Ursachen für die geringen Ac-225-Ausbeuten

Komplexierung der Ac-225-Ionen?

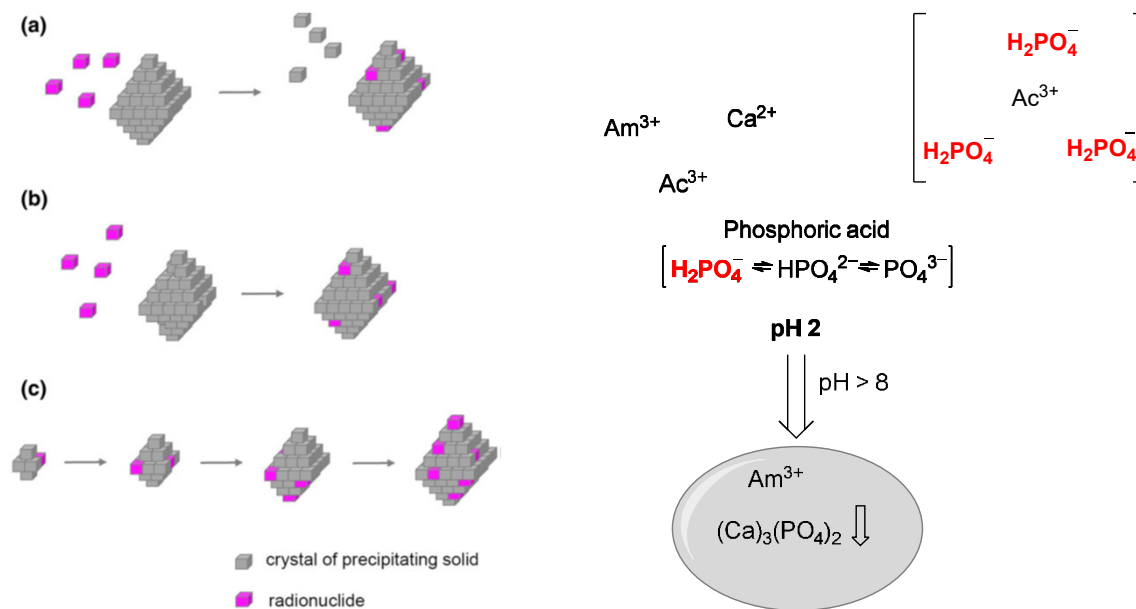


Abbildung 6 Drei bekannte Mechanismen für die Einlagerung von Ionen während der Kopräzipitation. [6]

Verwendetes Säulenmaterial DGA-branched?

- DGA-branched scheint mit den gewählten Bedingungen sehr gut für Am-243 aber weniger gut für Ac-225 zu sein
- Störfaktor könnte u.a. Ca^{2+} sein (für DGA bei Am bekannt)

J Radioanal Nucl Chem (2013) 295:2181–2188
DOI 10.1007/s10967-012-2257-1

Rapid method for determination of ^{228}Ra in water samples

Sherrod L. Maxwell · Brian K. Culligan ·
Robin C. Utsey · Daniel R. McAlister ·
E. Philip Horwitz

- Vielleicht aber auch nicht geeignet für die Verwendung von Ac und Am gleichzeitig?

Einfluss Kopräzipitationsmethode

- Vergleich der drei „gängigsten“ Kopräzipitationsmethoden:
 1. Calciumphosphat
 2. Calciumoxalat
 3. Eisenhydroxid
- Messung des Überstandes nach der Fällung mittels
Gammaspektrometrie

Kopräzipitations- methode	Ausbeute	
	Am-241	Ac-225
Calciumphosphat	> 99 % (<i>n</i> = 4)	98 % (<i>n</i> = 1)
Calciumoxalat	> 98 % (<i>n</i> = 1)	95 % (<i>n</i> = 2)
Eisenhydroxid	86 % (<i>n</i> = 1)	-

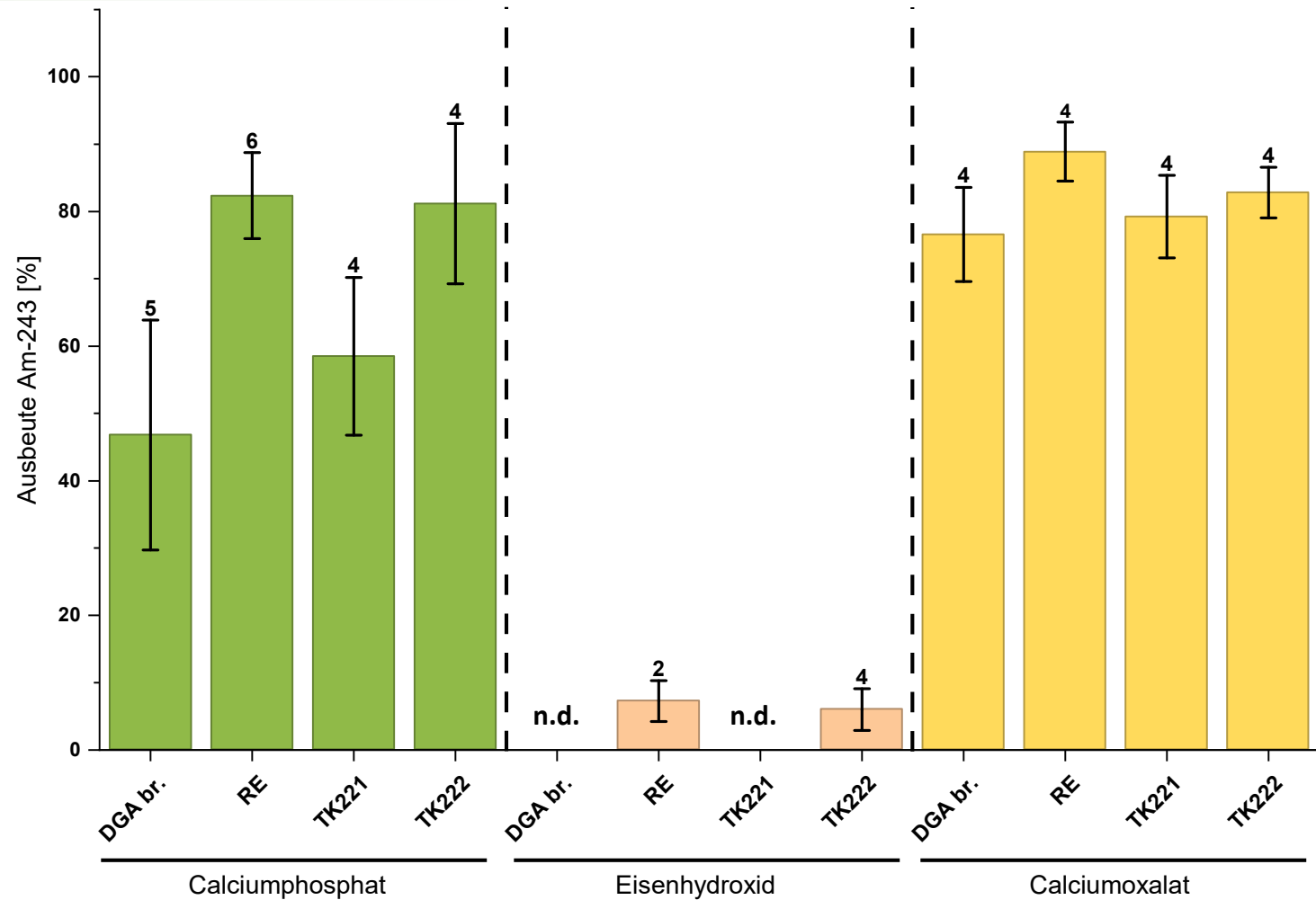
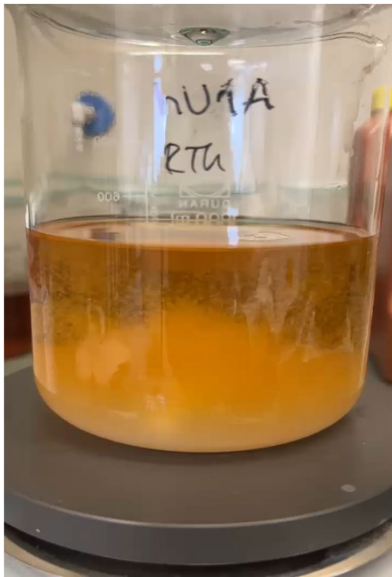


Einfluss Säulenmaterial – Vorversuche mit Am-243

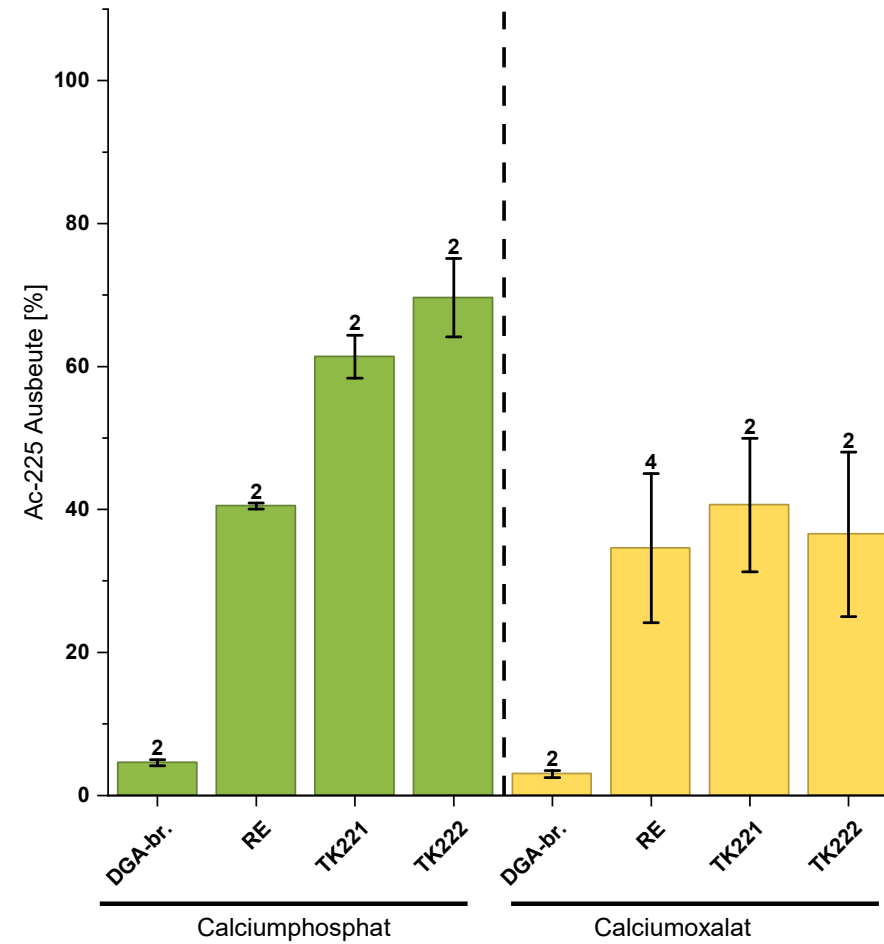
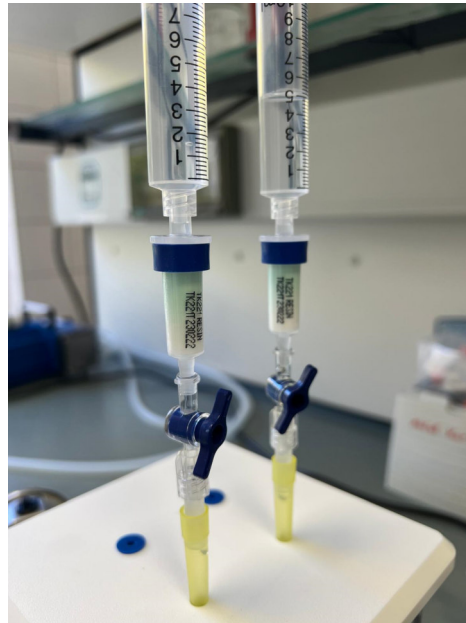
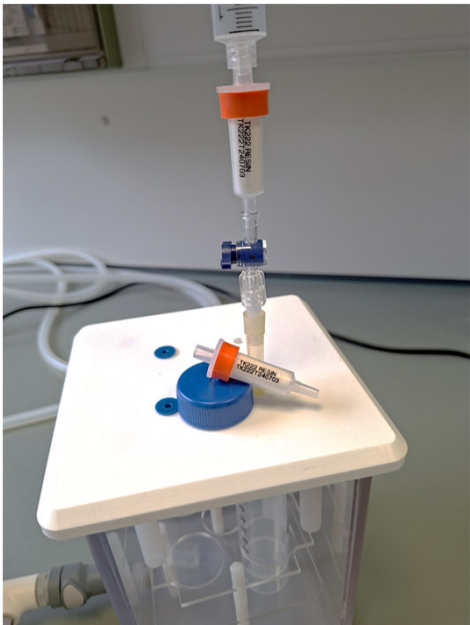
- Im Vergleich zur Literatur wurde „direkte“ Einfluss der Säulenmaterialien getestet
 - Ausgang für alle Experimente war eine 4 M HNO₃ Lösung mit zugesetzter Am-243 Aktivität (50 – 100 mBq)
 - Die Flussrate des Vakuumbox-Systems betrug 1 – 2 mL/min
 - Für alle Säulen wurden die gleichen Lösungen für Waschen und Elution verwendet (4 M HNO₃ Waschen, 0,25 M HCl Elution [8])
 - Das Eluat wurde anschließend für eine schwefelsaure Elektrodeposition vorbereitet
 - Die Elektrodeposition auf Edelstahlplättchen erfolgte bei 1,2 A und pH 1,9 für 75 min
 - Die Messung erfolgte mit einem Alpha Analyst™ und PIPS® Detektoren für 20000 s

Säulen- material	Am-243-Ausbeute in %		
	Cusnir et al. [9]	Hartmann et al. [10]	Diese Studie
Y-Resin [6]	72,7 ± 15,2 (n = 6)	-	-
DGA- branched	-	76,8 ± 4,0 (n = 6)	84,2 ± 6,4 (n = 4)
RE	-	-	87,3 ± 4,7 (n = 5)
TK221	-	-	77,7 ± 21,6 (n = 4)
TK222	-	-	88,5 ± 4,8 (n = 3)

Einfluss Kopräzipitationsmethoden & Säulenmaterial – Vorversuche mit Am-243

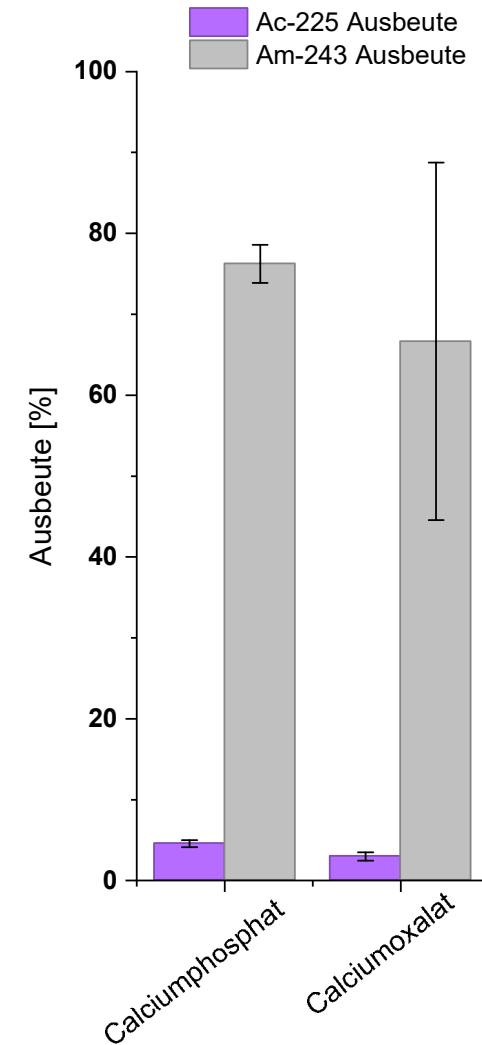


Einfluss Kopräzipitationsmethoden & Säulenmaterial – mit Ac-225



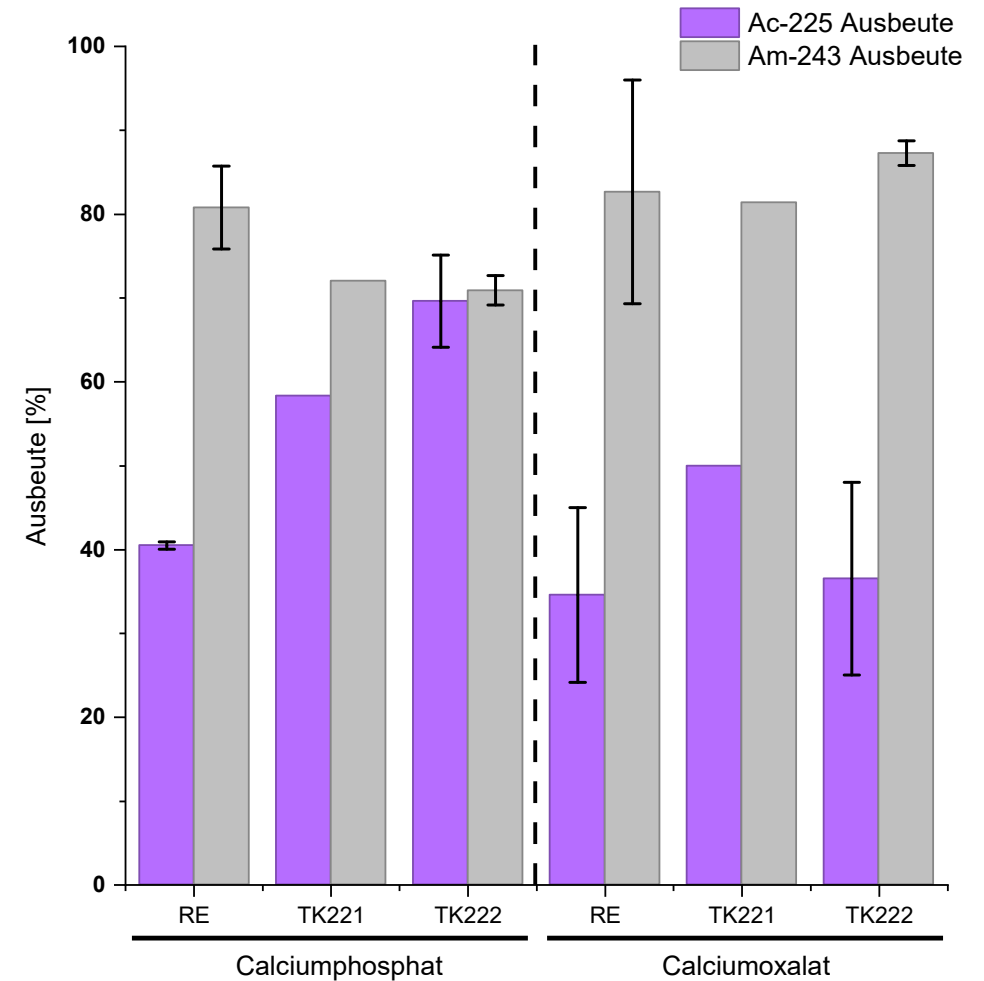
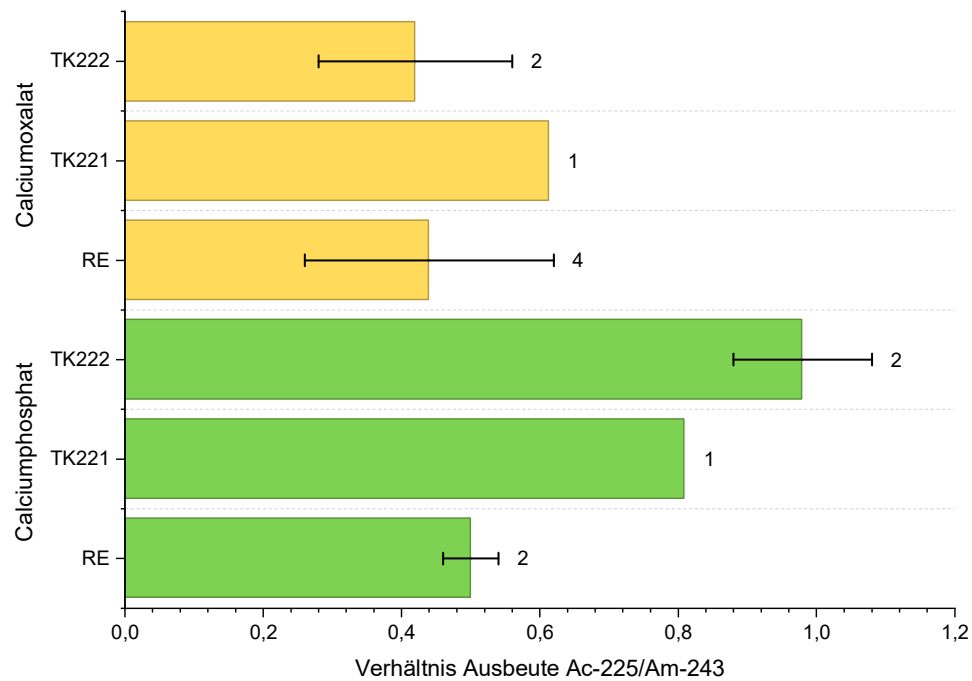
Fazit

- DGA-branched Resin ist mit den gewählten Parametern nicht für die Ausscheidungsanalyse von Ac-225 geeignet
- Dafür sind die Ausbeuten von Am-243 sehr gut im Vergleich
- Ursache könnte der Calciumgehalt sein
 - In der Veröffentlichung von Maxwell et al. [11] wurde „überschüssiges“ Calcium von DGA mittels 7 M HNO_3 entfernt
- Inwiefern dieser Effekt bei Kopräzipitationen ohne Calcium auftritt kann aktuell nicht beurteilt werden, da die Ausbeuten mittels Eisenhydroxid alleine für Am-243 $< 6 \%$ sind
 - Möglich wäre eine direkte Veraschung der Urinprobe, aber würde länger dauern und bisher keine Erfahrungen



Fazit

- RE, TK221 als auch TK222 scheinen sehr gut geeignet für die Ausscheidungsanalyse von Ac-225 zu sein
- Bei beiden lassen sich **Ac-225-Ausbeuten > 35 %** erzielen



Ausblick

- Kommende Arbeiten:
 - Kopräzipitationen weiter mittels Gammaskpektrometrie untersuchen
 - Weitere Analysen für genaue Aussagen zum Ausbeutenverhältnis von Ac-225:Am-243
 - Eventuell Einfluss von Calcium auf die Trennung untersuchen
 - Optimierung der Parameter für die Säulenchromatographie
 - Hierfür ggf. Verwendung eines automatischen Chromatographiesystems
 - Anwendung in der Praxis
 - Durchführung von Messungen von beruflich exponierten Personen
 - **Veröffentlichung der Ergebnisse**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Raashina Ulakanathan-Thavarajah
Katja Weinert



Prof. Dr. Lilli Geworski
Dr. Carsten Wanke



Dr. Steffen Happel



Dr. Kristian Wittke



**Bundesamt
für Strahlenschutz**

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Tel.: +49 30 18333-0

Fax: +49 30 18333-1885

E-Mail: ePost@bfs.de

www.bfs.de

Socialmedia



[@strahlenschutz@social.bund.de](https://twitter.com/strahlenschutz@social.bund.de)



[@strahlenschutz_bfs](https://www.instagram.com/strahlenschutz_bfs)



[@bfsbund](https://www.youtube.com/bfsbund)



[Bundesamt für Strahlenschutz](https://www.linkedin.com/company/bundesamt-fur-strahlenschutz)

Kontakt für Rückfragen

Dr. Sven Hartmann

shartmann@bfs.de

030183334549

Referenzen

1. Cancer, Volume: 127, Issue: 16, Pages: 3029-3030, First published: 04 June 2021, DOI: (10.1002/cncr.33587)
2. Optimization of the Synthesis of Ac-225-labelled DOTA-Radioimmunoconjugates for Targeted Alpha Therapy based on Investigations on the Complexation of Trivalent Actinides by DOTA, Stefanie Kannengießer, Dissertation, 2013
3. Kratochwil C, et al. ^{225}Ac -PSMA-617 for PSMA-Targeted α -Radiation Therapy of Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer. *J Nucl Med.* (2016) 57(12):1941-1944. doi: 10.2967/jnumed.116.178673
4. Bild kopiert von: https://www.sarad.de/product-detail.php?p_ID=81&cat_ID=2 ; Zugriff 17.10.2025; 15:30 Uhr
5. Froidevaux, P., Pittet, PA., Bühlmann, D. *et al.* Ion-imprinted resin for use in an automated solid phase extraction system for determining ^{90}Sr in environmental and human samples. *J Radioanal Nucl Chem* **330**, 797–804 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10967-021-07974-8>
6. Ko, Y.G. Preparation and characterization of electrodeposited layers as alpha sources for alpha-particle spectrometry. *J Radioanal Nucl Chem* **326**, 861–877 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07398-w>
7. Rao, V. K., Shahani, C. J. and Rao, C. L.. "Studies on the Phosphate Complexes of Actinium and Lanthanum" *Radiochimica Acta*, vol. 14, no. 1, 1970, pp. 31-34. <https://doi.org/10.1524/ract.1970.14.1.31>
8. Papp I, Vajda N, Happel S. An improved rapid method for the determination of actinides in water. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* (2022) 331, 3835-3846.
9. R. Cusnir *et al.* *Analytica Chimica Acta* (2022) 1194, 339421
10. Hartmann, S., Taubner, K., Vogt, T. *et al.* Actinium-225 as an example for monitoring of internal exposure of occupational intakes of radionuclides in face of new nuclear-medical applications for short-lived alpha emitting particles. *Radiat Environ Biophys* **63**, 385–394 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00411-024-01081-4>
11. Maxwell, S.L., Culligan, B.K., Utsey, R.C. *et al.* Rapid method for determination of ^{228}Ra in water samples. *J Radioanal Nucl Chem* **295**, 2181–2188 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10967-012-2257-1>