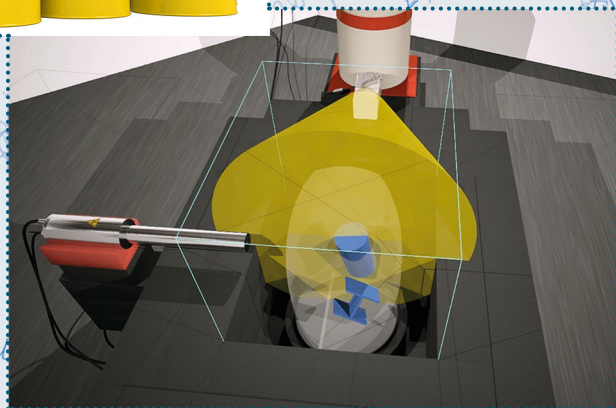


Stoffliche Charakterisierung radioaktiver Abfallprodukte durch ein Multi-Element-Analyseverfahren basierend auf der instrumentellen Neutronen-Aktivierungs-Analyse – MEDINA –

Andreas Wilhelm Havenith



Energie & Umwelt /
Energy & Environment
Band/ Volume 248
ISBN 978-3-95806-033-3

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung
Nukleare Entsorgung und Reaktorsicherheit (IEK-6)

Stoffliche Charakterisierung radioaktiver Abfallprodukte durch ein Multi-Element-Analyse- verfahren basierend auf der instrumentellen Neutronen-Aktivierungs-Analyse – MEDINA –

Andreas Wilhelm Havenith

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 248

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-033-3

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung & Zielsetzung.....	13
2.	Entsorgung radioaktiver Abfälle in der BRD.....	19
2.1	Gesetzliche Grundlagen & Herkunft radioaktiver Abfälle.....	20
2.2	Endlagerung radioaktiver Abfälle.....	23
2.3	Produktkontrolle radioaktiver Abfälle.....	29
2.4	Zerstörungsfreie Charakterisierungsverfahren	36
2.4.1	Strukturelle Charakterisierungsverfahren	38
2.4.2	Radiologische Charakterisierungsverfahren	43
2.5	Anforderungen an ein Analyseverfahren zur stofflichen Charakterisierung	47
3.	Stand von Wissenschaft und Technik in der Neutronen-Aktivierungs-Analyse.....	53
3.1	Historische Entwicklung.....	54
3.2	Physikalische Grundlagen	56
3.3	Neutronen-Selbstabschirmung	58
3.3.1	Aktivierung einer Kugel.....	62
3.3.2	Aktivierung einer Platte	62
3.3.3	Aktivierung eines Zylinders	63
3.4	Gamma-Selbstabschirmung	65
3.4.1	Gamma-Selbstabschirmungsfaktor einer Platte.....	68
3.4.2	Gamma-Selbstabschirmungsfaktor eines Zylinders.....	68
3.4.3	Gamma-Selbstabschirmungsfaktor einer Kugel	68
3.5	Industrielle Anwendung der Neutronen-Aktivierungs-Analyse	70
3.5.1	Bohrlochmessungen zur Exploration von Öl- und Gaslagerstätten.....	72
3.5.2	Online-Qualitätskontrolle von Rohstoffmassenströmen beim Bergbau	73
3.5.3	Korrosionsfortschritt von stahlarmierten Betonstrukturen	74
3.5.4	Westinghouse-Prototyp zur Abfallcharakterisierung.....	76
3.5.5	REGAIN-Messzelle	77

3.5.6	PGNAA-Testeinrichtung zur zerstörungsfreien Charakterisierung von 50-l-Fässern.....	78
4.	Zyklische Neutronen-Aktivierungs-Analyse mit einer hochenergetischen Quelle.....	81
4.1	Moderation von schnellen Neutronen.....	82
4.2	Gepulste Neutronen-Aktivierungs-Analyse	87
4.3	Fälle der Elementquantifizierung bei der zyklischen Neutronen-Aktivierung-Analyse	93
5.	MEDINA-Testeinrichtung.....	105
5.1	Aufbauort und Systemkomponenten.....	106
5.2	Die Neutronenquelle.....	107
5.3	Bestrahlungskammer.....	112
5.4	Trägermaterial der Bestrahlungskammer.....	118
5.5	Fassdrehteller	121
5.6	Gamma-Spektrometer	123
5.7	Aktivierung des Detektorkristalls und Detektorabschirmung.....	126
5.8	Optimierung der Nuklearelektronik	128
5.9	Standardbestrahlungs- und Messparameter	131
5.10	Probabilistische Simulation.....	133
6.	Herstellung von Referenzfässern	137
6.1	Spezifikation des 200-l-Referenzfasses	138
6.2	Herstellung von Betonformkörpern	139
6.3	Elementanalyse der Betonmatrix	142
7.	Experimentelle Anlagenparametrisierung	143
7.1	Bestimmung der Photopeak-Effizienz mittels Punktquellen	144
7.2	Effizienzkalibrierung für 200-l-Fässer	149
7.3	Passives Untergrundspektrum.....	152
7.4	Aktives Untergrundspektrum.....	154
7.5	Residualaktivität der Bestrahlungseinrichtung	162
7.6	Einfluss von radioaktivem Inventar	164
7.7	Lebensdauer der thermischen Neutronen	168
8.	Bestimmung von Neutronenflüssen.....	175

8.1	Bestimmung des thermischen und epithermischen Neutronenflusses im Mittelpunkt eines leeren Fasses	176
8.2	Validierung des experimentell ermittelten Neutronenflusses im Mittelpunkt eines leeren 200-l-RRW-Fasses	179
8.3	Integraler Neutronenfluss im Fasskörper.....	182
8.4	Integraler Neutronenfluss in der Betonmatrix.....	185
8.5	Residualaktivität von Probematerial.....	188
9.	Gamma-Signaturen ausgewählter Elemente.....	195
9.1	Gamma-Signaturen von Beiprodukten in radioaktiven Abfällen	196
9.1.1	Aluminium.....	196
9.1.2	Kupfer.....	198
9.1.3	Zirkonium	200
9.1.4	Tantal.....	202
9.2	Gamma-Signaturen von wassergefährdenden Leitsubstanzen	204
9.2.1	Beryllium	204
9.2.2	Arsen.....	207
9.2.3	Selen	209
9.2.4	Quecksilber	212
10.	Studie über räumlich konzentrierte Elemente in 200-l-Fässern	217
10.1	Korrelationsstudie über die Aktivierung eines Cadmiumblechs in einem 200-l-Fass mit einer Betonmatrix	218
10.2	Auswertung der winkelabhängigen Zählratenverteilungen	223
10.3	Lokalisierung räumlich konzentrierter Elemente.....	231
10.4	Inhomogener Neutronenfluss in der Betonmatrix.....	234
11.	Quantifizierung der Elementmasse.....	237
11.1	Verfahrensablauf zur Elementquantifizierung	238
11.2	Quantifizierung einer Elementmasse bei homogener Elementverteilung in einer Fassmatrix.....	243
11.3	Einflussfaktoren bei der Quantifizierung von räumlich konzentrierten Elementverteilungen.....	246
11.3.1	Rotation einer räumlich konzentrierten Elementverteilung.....	247

11.3.2	Gamma-Abschwächung in der Fassmatrix sowie in der Stahlwandung des Fasses	251
11.3.3	Inhomogenität des Neutronenflusses	254
11.4	Quantifizierung einer Elementmasse bei räumlich konzentrierten Elementverteilungen	268
12.	Nachweisgrenzen	273
12.1	Nachweisgrenzen von homogen verteilten Elementen in einer Abfallmatrix	274
12.2	Nachweisgrenzen von räumlich konzentrierten Elementen	279
13.	Zusammenfassung und Ausblick	283
13.1	Eignung von MEDINA im Endlagerungsverfahren	284
13.2	Optimierungsansätze für MEDINA	287
14.	Abkürzungsverzeichnis	293
15.	Begriffsdefinitionen	295
16.	Literaturverzeichnis	303

Energie & Umwelt /
Energy & Environment
Band / Volume 248
ISBN 978-3-95806-033-3

