



Natürliche Radionuklide in Rückständen aus der Trinkwasseraufbereitung, Teil II

Abschlussbericht zum 31.03.2008





Natürliche Radionuklide in Rückständen aus der Trinkwasseraufbereitung, Teil II

Abschlussbericht zum 31.03.2008

Impressum

Abschlussbericht Ermittlung von Arbeitsfeldern mit erhöhten Expositionen durch natürliche Radioisotope und von Überwachungsbedürftigen Rückständen – Rückstände aus der Trinkwasseraufbereitung, Teil II

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: (08 21) 90 71-0
Fax: (08 21) 90 71-55 56
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung:

LfU, Ref. 41/Dr. Christine Vornehm

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Druck:

Eigendruck Bayer. Landesamt für Umwelt
Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

Stand:

Januar 2009

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Praktische Durchführung	5
2.1	Probenahme von Rückspülschlämmen	5
2.2	Umfrage bei den Wasserversorgungs-Unternehmen	7
2.3	Messung der spezifischen Aktivitätsgehalte der Radionuklide	7
2.4	Abschätzung der Effektiven Dosis	8
2.5	Messung von Spurenstoffen und organischem Kohlenstoffgehalt	11
3	Georegionen, Trinkwasseraufbereitung und Radionuklide	12
3.1	Hydrogeologische Teilräume („Georegionen“)	12
3.2	Arten der Trinkwasseraufbereitung in den Georegionen	18
3.3	Vorkommen von Radionukliden in Gesteinen	26
3.4	Radionuklide im Grundwasser	28
4	Spezifische Aktivitäten in den Rückspülschlämmen	30
5	Entsorgung der Rückspülschlämme	34
5.1	Anfallende Schlamm-Mengen	34
5.2	Entsorgungswege der Wasserwerks-Schlämme	37
5.3	Abfallrechtliche Rahmenbedingungen	43
5.4	Zusammensetzung der untersuchten Schlämme	45
6	Exposition bei Arbeiten mit den Rückspülschlämmen	50
6.1	Strahlenschutzrechtliche Grundlagen	50
6.2	Dosisabschätzung für verschiedene Szenarien der Entsorgung	52
6.3	Strahlenschutzrechtliche Stellungnahme	57
7	Geologische und hydrochemische Zusammenhänge	58
7.1	Radionuklide und Georegion	58
7.2	Radionuklide und Aufbereitungsart	66
7.3	Radionuklide und Wasserchemie	68
8	Zusammenfassung und Ausblick	74
	Literatur	78
	Anhang	82

1 Einleitung

Mit der Novellierung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) im Jahr 2001 wurde erstmals auch der Schutz von Mensch und Umwelt vor natürlichen Strahlungsquellen bei Arbeiten in die Gesetzgebung aufgenommen. Neben den Grundpflichten zur Dosisbegrenzung und Dosisreduzierung ist in Teil 3, Kapitel 3 der StrlSchV der Schutz der Bevölkerung bei natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen, insbesondere bei überwachungsbedürftigen Rückständen (§ 97 StrlSchV) geregelt. In Anlage XII, Teil A der StrlSchV werden überwachungsbedürftige Rückstände aufgelistet, bei deren Verwertung und Beseitigung der Strahlenschutz zu berücksichtigen ist (sog. „Positivliste“). Darüber hinaus sind weitere Materialien, sog. „NORM-Rückstände“ (Naturally Occuring Radioactive Material) mit z. T. erhöhten Gehalten an natürlicher Radioaktivität bekannt. Hierzu gehören auch Rückstände aus der Wasseraufbereitung. Bei der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) fallen größere Mengen an Rückständen an, die natürliche Radionuklide enthalten können. Ob und in wie weit diese Rückstände strahlenschutzrechtlich relevant sind, d. h. ob für Beschäftigte oder die Bevölkerung eine Gefährdung durch die radioaktiven Eigenschaften des Materials ausgeht, ist jedoch bisher nur unzureichend bekannt.

Erste Untersuchungen am Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) durch TRAUTMANNSSHEIMER (1997 – 2002) und MALLICK (2002 – 2004) gaben Hinweise auf eine Anreicherung von natürlichen Radionukliden in Schlämmen aus der Trinkwasser- und Mineralwasser-Aufbereitung. Es wurde deshalb am LfU ab 2004 ein Projekt zur genaueren Untersuchung der natürlichen Radioaktivität in Rückständen aus der Trinkwasseraufbereitung durchgeführt, mit dem Ziel, die Dosis durch natürliche Radioaktivität in Wasserwerksschlämmen und eine mögliche Gefährdung der Beschäftigten abzuschätzen. Dabei wurden auch der Einfluss durch die Aufbereitungsart und die geologischen Gegebenheiten untersucht (MALLICK 2006). Insgesamt wurde in diesem Teilprojekt etwa die Hälfte der Bayerischen Wasserversorger, die eine Aufbereitungsanlage betreiben, erfasst. Es stellte sich jedoch heraus, dass der Einfluss der Geologie und die hydrochemischen Verhältnisse sowie die Entsorgung der Schlämme noch näher untersucht werden müssten. Das Projekt wurde deshalb bis März 2007 verlängert, um die Schlämme der restlichen bayerischen Wasserversorger unter diesen Aspekten zu überprüfen. Ziel des zweiten Teilprojektes war es letztendlich auch, neben der Betrachtung von Aktivitätskonzentrationen, Dosisabschätzung, Entsorgungswegen und geologisch-hydrochemischen Zusammenhängen, den Wasserversorgern Leitlinien zur Dosisreduzierung beim Umgang mit ihren Rückständen an die Hand zu geben.

Von den insgesamt ca. 2500 Wasserversorgungs-Unternehmen (WVU) in Bayern betreiben etwa 700 eine Wasseraufbereitung. Diese Unternehmen wurden im Rahmen der beiden Teilprojekte gebeten, eine Probe ihres Rückstandes zur Verfügung zu stellen, sofern dies möglich war. Die Teilnahme am Projekt war dabei erfreulicherweise sehr hoch. An dieser Stelle möchten wir uns deshalb bei den Wasserversorgungs-Unternehmen noch einmal für ihre Kooperationsbereitschaft bedanken.

Der vorliegende Bericht behandelt die Ergebnisse, die von April 2007 bis März 2008 untersucht wurden. Eine spätere Zusammenführung der Daten aus den beiden Teilprojekten ist geplant.

2 Praktische Durchführung

2.1 Probenahme von Rückspülschlämmen

Im Rahmen des ersten Teilprojektes von MALLICK (2006) wurde bereits eine Liste der Wasserversorgungs-Unternehmen (WVU) in Bayern erstellt, die eine Aufbereitung betreiben (703 WVU in Bayern). Bei den nach dem ersten Teilprojekt noch verbleibenden 399 WVU wurde zunächst telefonisch angefragt, ob ein Rückspülschlamm in der Trinkwasseraufbereitung anfällt und ein Absetzbecken vorhanden ist, in dem der Schlamm gesammelt wird. Viele WVU besitzen kein Sedimentationsbecken, in dem die Feststoffe aus den Rückspülwässern gesammelt werden, sondern leiten die nur gering Feststoff führenden Wässer in die Kanalisation oder in ein Gewässer ein. Bei diesen WVU wurde versucht, durch mehrmaliges Absetzen in Eimern oder Kanistern eine ausreichende Schlamm-Menge für die Messung zu erhalten. Die erzielten Feststoffmengen waren jedoch meist für eine auswertbare gamma-spektroskopische Messung zu gering und konnten wegen des hohen Messfehlers nicht ausgewertet werden.

Von den 399 angefragten WVU (s. Tab. 1) war bei 197 Unternehmen keine Probenahme oder Messung möglich (kein Schlamm oder zu geringe Menge, kein Absetzbecken oder Messungen wegen zu geringer Probenmenge nicht möglich; nur ein WVU hat die Teilnahme am Projekt von vornherein verweigert). Die WVU, die am Projekt teilnahmen, wurden daraufhin schriftlich gebeten, eine Probe ihres Schlamms per Post an das LfU zu schicken, wobei ihnen ein Probengefäß (1-Liter PE-Flasche) und ein Fragenkatalog zugesandt wurden. Die WVU wurden gebeten, den Wasseranteil bei der Probenahme möglichst gering zu halten. Einige Proben wurden vom LfU vor Ort mit einem Schöpfbecher aus dem Absetzbecken entnommen (Abb. 1 und 2). 169 WVU haben dem LfU mindestens eine Probe von Rückspülschlamm zur Verfügung gestellt. Nur 33 WVU haben bis März 2008 keine Probe geschickt. Insgesamt wurden 211 Proben von Rückständen aus der Trinkwasseraufbereitung untersucht (neben Rückspülschlamm-Proben auch andere Rückstände wie z.B. beladene Aktivkohle und Ablagerungen in Rohrleitungen).

Teilnahme am Projekt	Anzahl WVU
WVU in Bayern mit Aufbereitung	703
angefragt in diesem Teilprojekt	399
keine Probe verfügbar oder nicht messbar	196
keine Probe geschickt bis März 2008	33
Teilnahme verweigert	1
Probe(n) für Projekt zur Verfügung gestellt	169

Tab. 1: Teilnahme am Projekt (dieses Teilprojekt)



Abb. 1: Probenahme vor Ort aus einem Schacht



Abb. 2: Probenahme vor Ort aus einem offenen Absetzbecken

2.2 Umfrage bei den Wasserversorgungs-Unternehmen

Mit der Anforderung der Schlämme wurden bei den WVU Angaben zur Wasserversorgung, Aufbereitung und zu Anfall und Entsorgung der Schlämme abgefragt. Dabei wurde im Wesentlichen der Fragenkatalog von MALLICK (2006) aus der ersten Hälfte des Projektes übernommen und um einige Angaben ergänzt (Brunnentiefe, genaue Lage des Wasserwerks, physikalisch-chemische Parameter des Rohwassers) (s. Anhang I). Der Fragebogen wurde bis auf ein WVU von allen Teilnehmern des Projektes ausgefüllt und zurück gesandt. Die Fragen wurden jedoch oft unterschiedlich aufgefasst und manche Fragen nicht oder nicht ausreichend beantwortet, so dass ein sehr heterogener Datensatz vorliegt. Ursache dafür ist auch die unterschiedliche Struktur der Wasserversorgungs-Unternehmen in Bayern vom überregionalen Großversorger mit mehreren Wasserwerken und Aufbereitungsanlagen bis hin zur kleinen Wassergenossenschaft. Dieser Heterogenität konnten die Fragen oft nicht gerecht werden.

2.3 Messung der spezifischen Aktivitätsgehalte der Radionuklide

Die Proben wurden mit einem hochauflösenden Gammaskpektrometer mit Germanium-Halbleiterdetektor (HPGe: High Purity Germanium-Detektor) der Firma Canberra nuklidspezifisch gemessen (Abb. 3). Die Radionuklide können anhand der Energien ihrer Gammalinien identifiziert und quantifiziert werden. Mit der Gammaskpektroskopie können folgende Radionuklide bestimmt werden:

Uran-Thorium-Reihe:

Th-234, Pa-234m, U-234, Th-230, Ra-226 (häufig überlagert mit U-235), Pb-214, Bi-214, Pb-210.

U-238 wurde aus U-235 berechnet.

Uran-Actinium-Reihe:

U-235, Pa-231, Th-227, Ra-223, Pb-211.

Thorium-Reihe:

Ra-228 (über Ac-228), Ac-228, Th-228 (häufig überlagert mit Röntgenlinien), Ra-224,

Pb-212, Bi-212, Tl-208.

Zusätzlich: K-40.



Abb. 3: Hochauflöser-
der Gamma-Detektor

Zur Probenvorbereitung wurden die Rückspülschlammproben 12 Stunden bei 80 °C getrocknet. Zur Bestimmung der nuklidspezifischen Aktivität ist es notwendig, die Proben in eine genau definierte Form einzubringen. Je nach Probenart und -menge werden die homogenisierten Proben in eine kalibrierte Messgeometrie eingebracht und anschließend gemessen. Die Geometrien werden entsprechend der Menge der Rückspülschlammproben ausgewählt. Die Messzeit beträgt 50.000 Sekunden. Die Bestimmungs- und Nachweisgrenze der einzelnen Messungen hängt im Wesentlichen vom zählstatistischen Fehler der Messung ab und wird bei jeder Messung von der Auswertesoftware nach DIN 25482-5 (1993) berechnet. Nach der Messung wird abhängig von Medium und Schüttdichte eine Dichtekorrektur durchgeführt.

Im komplexen Gammaspektrum können durch Interferenzen Gammalinien so nahe beieinander liegen, dass sie trotz der hohen Energieauflösung des Halbleiterdetektors nicht mehr als Einzelpeaks sondern nur noch als nicht aufgelöste Multipletts gemessen werden. Dadurch wird die exakte Bestimmung der Peakflächen erschwert. Die Gammalinien zweier Nuklide können auch komplett überlagert werden. Eine Korrektur ist hier nur möglich, wenn mindestens ein Nuklid eine weitere ungestörte Linie besitzt, über die der Anteil des Nuklids aus der gemeinsamen Linie herausgerechnet werden kann. Häufig treten Interferenzen bei Thorium-228 (Überlagerung mit Röntgenlinien) und Radium-226 (Überlagerung mit Uran-235) auf. Wegen der kürzeren Halbwertszeit der Tochternuklide von Th-228 befinden sich diese mit dem Mutternuklid im Gleichgewicht, so dass für die Dosisberechnungen bei einem ungleich hohen Wert von Th-228 und einer festgestellten Überlagerung die Werte eines der Tochternuklide verwendet wurden. Ebenso kann Ra-228 über die Aktivitätskonzentration von Ac-228 bestimmt werden, mit dem es sich im Gleichgewicht befindet.

2.4 Abschätzung der Effektiven Dosis

Die Abschätzung der Exposition durch den Umgang mit den Rückständen aus der Wasseraufbereitung wurde im Wesentlichen nach der „Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität“ („Berechnungsgrundlage Bergbau“, BMU 1999) durch-

geführt. Es wurden alle Radionuklide der drei natürlichen Zerfallsreihen (U-238, U-235, Th-232 und Folgeprodukte) sowie das natürliche Radioisotop K-40 berücksichtigt, soweit sie mit Hilfe der Gammastrahlung ermittelt werden können (s. Kap. 2.3). So wird die gesamte natürliche Gammastrahlung, der der Beschäftigte ausgesetzt ist, mit einbezogen. Das Ergebnis der Dosis-Abschätzung wird dadurch allerdings nicht wesentlich erhöht, da die Aktivitäten der zusätzlichen Radionuklide meist nur sehr geringe Werte aufweisen und häufig sogar unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

Die Effektive Dosis, die für den Beschäftigten (Angestellten eines Wasserwerks, einer Entsorgungsfirma, Deponiearbeiter, etc.) berechnet wird, setzt sich aus der Abschätzung der Exposition durch direkte Strahlung (E_{dir}), durch Inhalation (E_{inh}) und durch Ingestion (E_{ing}) zusammen (Gl. 1). Im Folgenden werden die einzelnen Teil-Expositionen erläutert (Gl. 2 ff).

$$E_{\text{eff}} = E_{\text{dir}} + E_{\text{inh}} + E_{\text{ing}} \quad (\text{Gl. 1})$$

Direkte Exposition

$$E_{\text{dir}} = f_{\text{con}} * H_{\text{dir}} / 1000 \quad [\text{mSv}] \quad (\text{Gl. 2})$$

$$\text{mit } H_{\text{dir}} = \Delta H_{\text{ex}} * t_{\text{exp}}$$

$$\Delta H_{\text{ex}} = \text{Ortsdosisleistung } [\mu\text{Sv/h}]$$

$$t_{\text{exp}} = \text{Expositionszeit [h]}$$

$$f_{\text{con}} = \text{Abstand, berechnet mit 1 m}$$

Da die Schlämme mit der Post geschickt wurden, konnte die Ortsdosisleistung (ODL), die in die Berechnungen der direkten Exposition eingeht, vor Ort nicht bestimmt werden. Es wurde deshalb der Mittelwert für die ODL in Bayern (0,05 $\mu\text{Sv/h}$) verwendet. Es wurde festgestellt, dass an Probenflaschen (Trockenrückstand) der Mittelwert der ODL nur bei Proben mit höheren Aktivitäten überschritten wird. In diesen Fällen wurde der Wert korrigiert und die ODL am Trockenrückstand der Probe verwendet. Da der Wasser-Anteil der Original-Probe meist über 50 % liegt, wird die Strahlung des Feststoffs abgeschirmt, so dass am Trockenrückstand im Vergleich dazu ein höherer ODL-Wert gemessen wird.

Die Ortsdosisleistung kann nur als Richtwert aufgefasst werden, da die Geräte auf Cäsium geeicht sind und die natürliche Radioaktivität somit nur ungenau erfasst werden kann. Auch die Probenmenge hat einen entscheidenden Einfluss auf den Wert der ODL. Bei einigen Schlämmen mit mittleren Aktivitäten konnte die Entsorgung direkt mit Messungen begleitet werden. Hier konnte an der Gesamt-Menge des Schlammes nur ein geringfügig erhöhter Wert im Vergleich zum Hintergrundwert von 0,05 $\mu\text{Sv/h}$ festgestellt werden (ODL von maximal 0,06 $\mu\text{Sv/h}$), so dass für Schlämme von geringer bis mittlerer Aktivität der Mittelwert der ODL in Bayern von 0,05 $\mu\text{Sv/h}$ für die Berechnungen ausreicht.

Exposition durch Inhalation

$$E_{\text{inh}} = V * t_{\text{exp}} * \sum(i) [C_i * g_{\text{inh},i}] * 1000 \quad [\text{mSv}] \quad (\text{Gl. 3})$$

$$E_{\text{inh}} = V * t_{\text{exp}} * C_{1/2} * \sum(i) [a_i * g_{\text{inh},i} * AF] * 1000 \quad [\text{mSv}]$$

$$\text{mit } C_i = C_{\text{Staub}} * a_i * AF$$

$$a_i = \text{Spez. Aktivität [Bq/g]}$$

$$g_{\text{inh},i} = \text{Dosiskoeffizient Inhalation [Sv/Bq]}$$

$$V = \text{Atmungsrate, } 1,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C_{\text{Staub}1} = \text{Staubkonzentration } 0,01 \text{ g/m}^3 \text{ (E-Staub)}$$

C_{staub2} = Staubkonzentration 0,003 g/m³ (A-Staub)

AF = Aufkonzentrations-Faktor, gleich 1 gesetzt (keine Aufkonzentration oder Fraktionierung)

t_{exp} = Expositionszeit [h]

Bei der Inhalation wird davon ausgegangen, dass die maximal zulässige Staub-Konzentration in der Atemluft am Arbeitsplatz (MAK-Werte) nicht überschritten wird. Diese beträgt für einatembaren Staub (E-Staub) 0,01 g/m³ und für alveolengängigen Staub (A-Staub) 0,003 g/m³.

Exposition durch Ingestion

$$E_{\text{ing}} = U_{\text{Bod}} * t_{\text{exp}} * AF * \sum(i) [a_i * g_{\text{ing},i}] * 1000 \quad [\text{mSv}] \quad (\text{Gl. 4})$$

a_i = Spez. Aktivität der einzelnen Radionuklide [Bq/g]

$g_{\text{ing},i}$ = Dosiskoeffizient Ingestion [Sv/Bq]

U_{Bod} = Aufnahme rate Boden, 0,006 g/h

AF = Aufkonzentrationsfaktor, gleich 1 gesetzt (keine Aufkonzentration)

t_{exp} = Expositionszeit [h]

Die Dosiskoeffizienten für die effektive Dosis sind Tab. 2 zu entnehmen (BMJ 2001). Sie zeigt, dass die Dosisfaktoren für die Inhalation höher liegen als für die Ingestion. Insbesondere die Radionuklide U-238, U-234, Th-230, Ra-226, Pb-210, Ra-228, Th-228, Ra-224, U-235, Pa-231, Th-227 und Ra-223 sind dosisrelevant.

Nuklid	Inhalation	Ingestion
	g_{inh} [Sv/Bq]	g_{ing} [Sv/Bq]
U-238	1,60E-06	4,40E-08
Th-234	5,30E-09	3,40E-09
Pa-234m	5,50E-10	5,10E-10
U-234	2,10E-06	4,90E-08
Th-230	2,80E-05	2,10E-07
Ra-226	2,20E-06	2,80E-07
Pb-214	4,80E-09	1,40E-10
Bi-214	2,10E-08	1,10E-10
Pb-210	1,10E-06	6,80E-07
Ra-228	1,70E-06	6,70E-07
Ac-228	2,90E-08	4,30E-10
Th-228	2,20E-05	7,20E-08
Ra-224	2,40E-06	6,50E-08
Pb-212	3,30E-08	5,90E-09
Bi-212	3,90E-08	2,60E-10
U-235	1,80E-06	4,60E-08
Th-231	3,70E-10	3,40E-10
Pa-231	8,90E-05	7,10E-07
Th-227	6,20E-06	8,90E-09
Ra-223	5,70E-06	1,00E-07
Pb-211	5,60E-09	1,80E-10
K-40	3,00E-09	6,20E-09

Tab. 2: Dosiskoeffizienten (effektive Dosis) für berufliche Strahlenexposition

2.5 Messung von Spurenstoffen und organischem Kohlenstoffgehalt

Bestimmung von Schwermetallen und Spurenstoffen

Schwermetalle sowie weitere Spurenstoffe wurden mit der Röntgen-Fluoreszenz-Analyse (RFA) bestimmt. Die RFA basiert auf der Anregung von Atomen durch Röntgenstrahlen und der Detektion der dabei emittierten Fluoreszenzstrahlung, die für die in der Probe vorhandenen Elemente charakteristisch ist. Während die leichteren Elemente (Wasserstoff bis Fluor) nur eine sehr geringe Fluoreszenz aufweisen und nicht analysiert werden können, lassen sich die Elemente ab dem Natrium bis zum Uran in einem Analysenschritt bestimmen. Die Proben können ohne den sonst bei spektroskopischen Analyseverfahren notwendigen Säureaufschluss in der Regel direkt als Feststoff analysiert werden. Die Nachweisgrenzen befinden sich im Bereich von 5-100 mg/kg, hängen aber stark von der Röntgenabsorption durch die Probenmatrix ab. Die Schlämme wurden vor der Analyse getrocknet (s. Gammaspektroskopie) und analysenfein vermahlen. Für die anschließende Tablettierung wurden mindestens 4 g eingewogen. Das Analyseverfahren wurde mit dem Gerät X-Lab 2000 der Firma Spectro nach DIN 51418-2 (1996) durchgeführt. Das für die Untersuchung angewendete energie-disperse Verfahren ermöglicht ein schnelles Screening über das gesamte Periodensystem, hat jedoch einen Fehler von bis zu 20 %.

Bestimmung des organischen Kohlenstoffs (TOC)

Der Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff wurde nach DIN EN 13137 (2001) bestimmt. Aufgrund der Vielzahl möglicher organischer Kohlenstoffverbindungen ist die quantitative Bestimmung aller organischen Einzelkomponenten natürlicher und anthropogener Herkunft nicht möglich. Man ist daher auf die Messung der summarischen Größe des TOC (total organic carbon) angewiesen. Der TOC ist die Menge an Kohlenstoff, die bei der Verbrennung zu Kohlenstoffdioxid umgesetzt und bei der Behandlung mit Säure nicht als Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird. Das angewendete sog. „Direkte Verfahren“ gilt für Abfallproben mit mehr als 1 g C pro kg Trockenmasse (0,1%). Bei diesem Verfahren wird das vorhandene Karbonat (anorganischer Kohlenstoff) zuerst aus der getrockneten Probe durch Säurebehandlung entfernt. Das bei dem nachfolgenden Verbrennungsschritt frei werdende Kohlenstoffdioxid wird bestimmt und stellt ein direktes Maß für den TOC dar.

In einen Probenträger werden 2-5 g der getrockneten und homogenisierten Probe eingewogen. Um den anorganisch gebundenen Kohlenstoff zu entfernen, wird die Probe vorsichtig mit einem kleinen Volumen einer nichtoxidierenden Mineralsäure (Phosphorsäure) versetzt. Die Säuremenge muss so gering wie möglich sein, aber ausreichen, um die Probe vollständig zu befeuchten und den anorganisch gebundenen Kohlenstoff vollständig auszutreiben. Die angesäuerte Probe wird abweichend der DIN-Norm bei 100 °C getrocknet, da die angegebenen 40°C nicht ausreichen. Die Probe wird anschließend in einem sauerstoffhaltigen, kohlenstofffreien Gasstrom verbrannt (900 bis 1500 °C). Das dabei verbrannte Kohlenstoffdioxid wird mit der Methode der Wärmeleitfähigkeits-Detektion gemessen und als Kohlenstoff angegeben. Die Werte, die nach diesem Verfahren mit Mehrfachbestimmung ermittelt wurden, haben Standardabweichungen von bis zu 10 %.

3 Georegionen, Trinkwasseraufbereitung und Radionuklide

3.1 Hydrogeologische Teilräume („Georegionen“)

Bereits im ersten Teil des Projektes wurden die Schlämme verschiedenen „Georegionen“ zugeordnet, die auf einer Karte der „Grundwasserlandschaften“ des ehemaligen Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft basieren (BAYLFW 1994) (Abb. 4). Diese Einteilung wird auch im zweiten Teil des Projektes beibehalten. Die Georegionen stellen im Wesentlichen den obersten Haupt-Grundwasserleiter, der für die Trinkwasserversorgung genutzt wird, dar.

Die Georegionen sind wie folgt aufgeteilt:

- 1) Buntsandstein
- 2) Mainfränkische Muschelkalkplatten
- 2a) Fränkischer Gips-Keuper
- 3) Fränkischer Sandstein-Keuper
- 4) Ostbayerisches Trias-Kreide Bruchschollenland
- 5) Kristallines Grundgebirge
- 6) Schwäbischer und Fränkischer Jura
- 6a) Malm-Kalksteine
- 6b) Dogger-Sandsteine
- 7) Tertiärhügelland/Schotterflächen und Flusstalfüllungen
- 8) Voralpiner Moränengürtel
- 9) Alpiner Raum

Während im ersten Teil des Projektes die Wasserversorgungsunternehmen (WVU) den Regionen zugeordnet wurden, werden nun die einzelnen Proben in eine Georegion eingestuft, um eine differenziertere Zuordnung zu ermöglichen. Dabei konnten Informationen aus dem „Bodeninformationssystem Bayern“ verwendet werden, das in vielen Fällen genaue Angaben zu den erschlossenen geologischen Einheiten der Brunnen enthält. Die Angaben ermöglichen somit auch eine tiefenbezogene Einstufung. In vielen Georegionen wird nicht der oberste Grundwasserleiter für die Wasserversorgung genutzt, sondern tiefer liegende Wasserressourcen erschlossen. Diese können auch zu einer anderen Georegion gehören, die sich unter der Einheit an der Oberfläche fortsetzt. (s. Abb. 5). Ein Beispiel dafür ist das Abtauchen der Malmkalke (Georegion 6) unter das Molassebecken (Georegion 7) oder die Schichtstufen des Mesozoischen Deckgebirges (Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper, Jura, Kreide). Innerhalb der Geologischen Einheit des Jura (Georegion 6) befinden sich unter den Kalksteinen des Malm die Eisensandsteine des Dogger und Lias. Da diese sehr unterschiedliche chemische Eigenschaften des Rohwassers hervorrufen, wurde diese Georegion unterteilt (Georegion 6a: Malm und 6b: Dogger und Lias).

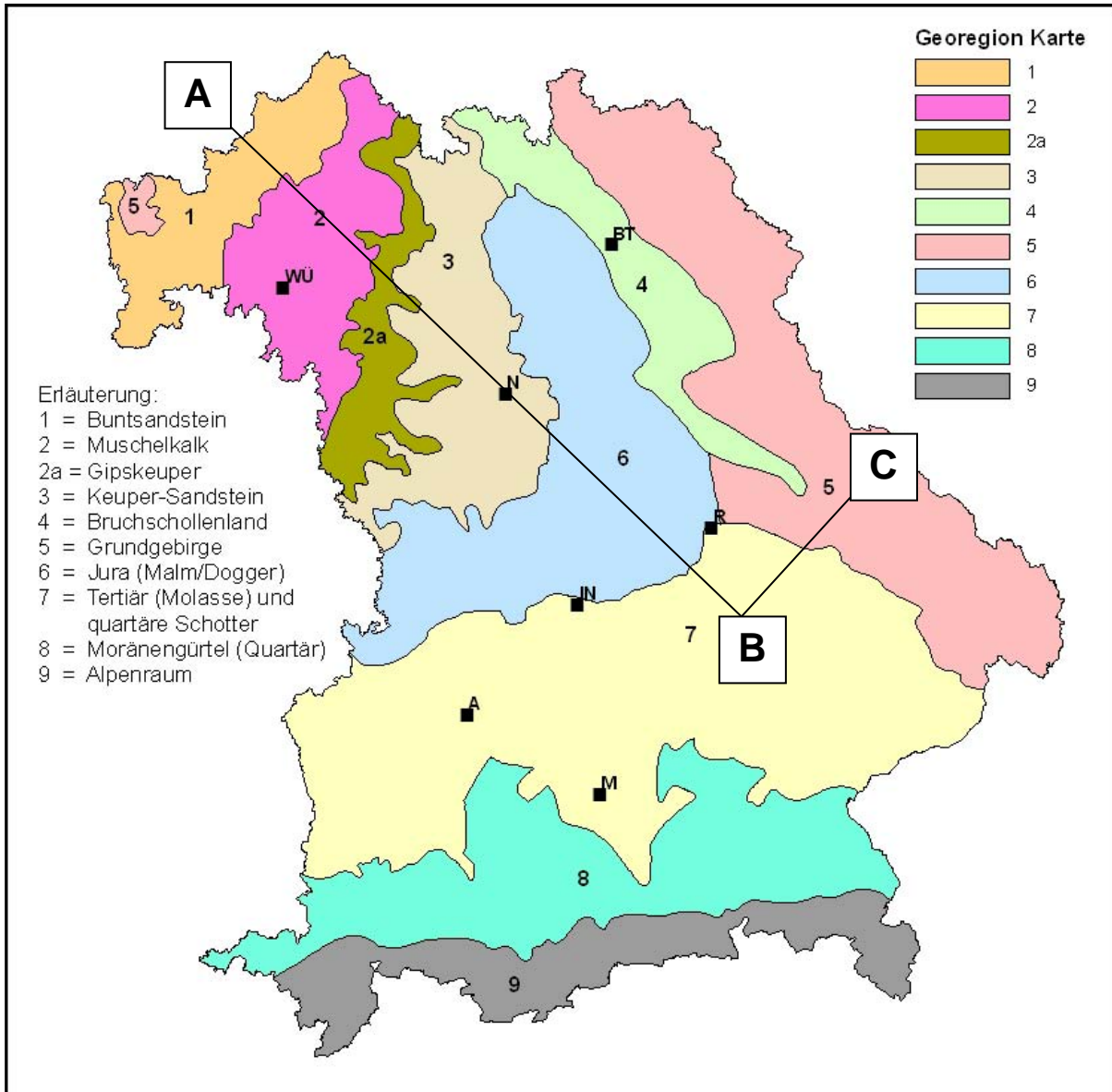


Abb. 4: Georegionen in Bayern mit Profilschnitt A – B – C

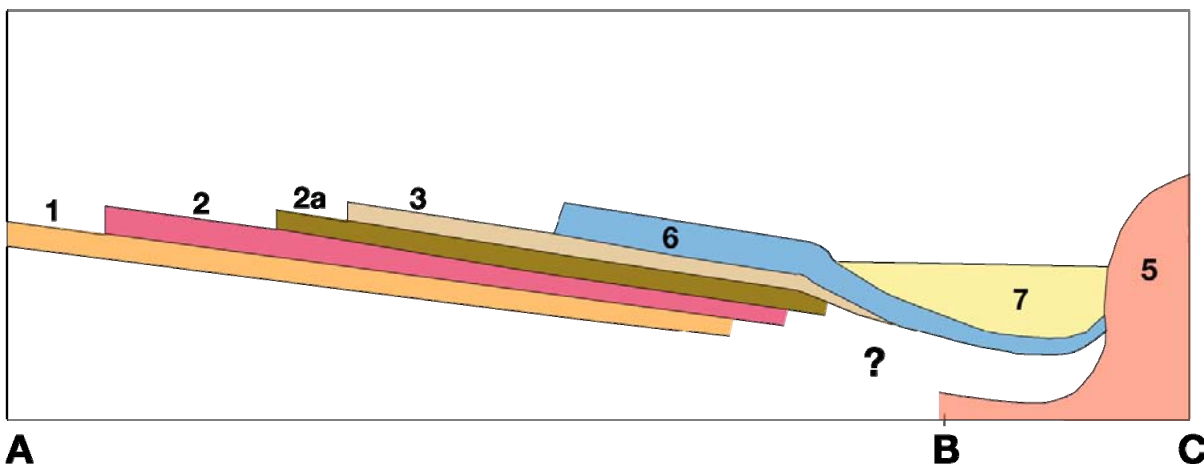


Abb. 5: Schematisches Profil durch das Deckgebirge (Profilschnitt A – B – C in Abb. 4)

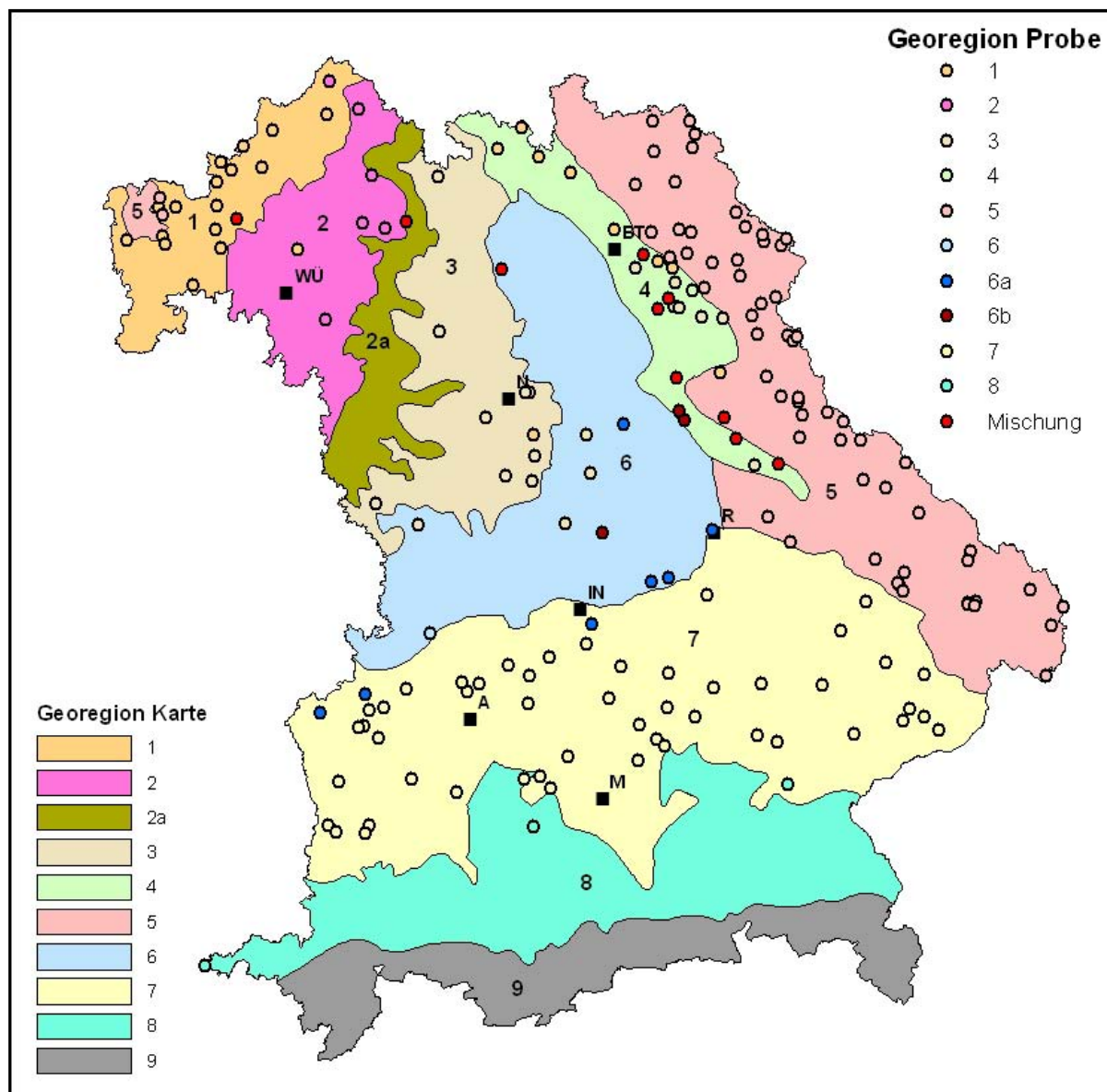


Abb. 6: Georegionen der einzelnen Proben

In Abb. 6 sind alle Proben dieses Teilprojektes eingetragen. Die farbliche Kennzeichnung der Probenahmeorte stellt die Georegion dar, aus der das Grundwasservorkommen des genutzten Trinkwassers stammt (Georegion Probe). Die Darstellung der Punkte über den flächenhaften geologischen Einheiten der Karte ermöglicht eine schnelle Identifizierung der Proben, deren erschlossenes Grundwasservorkommen von der Geologie der Georegion abweichen (Geologie Karte). Es handelt sich vor allem um Proben in Randgebieten der Georegionen, wo sich diese häufig bereits in geringen Tiefen überlagern. In Region 6 werden unter den Malmkalken (6a) die Eisensandsteine des Doggers (6b) erschlossen. Tiefere Brunnen fördern in dieser Region auch Wasser aus den Keuper-Sandsteinen der Region 3. In der Georegion Keuper-Sandsteine reicht ein tiefer Brunnen angeblich bis in den Buntsandstein. Eine Besonderheit stellt das Bruchschollenland dar (Region 4): hier werden durch den kleinräumigen Wechsel der Gesteinseinheiten aufgrund der Bruchtektonik Rohwässer aus dem Buntsandstein, dem Keuper-Sandstein und dem Doggersandstein (Regionen 1, 3, 6b) gewonnen. In allen Regionen werden bei Brunnenbohrungen häufig mehrere Grundwasserleiter erschlossen, so dass Mischwasser gefördert wird (rote Symbole).

Für die Auswertungen wurde stets die Georegion der Probe berücksichtigt. Für die flächenhafte Darstellung in den Karten werden die Georegionen des obersten Haupt-Grundwasserleiters beibehalten. Auf Abweichungen wird im Einzelfall hingewiesen.

Im Folgenden werden die einzelnen Georegionen und ihre hydrogeologischen Eigenschaften näher beschrieben (u. a. nach BAYGLA 1996, BÜTTNER ET AL. 2003, BAYLFU 2008):

Georegion 1: Buntsandstein

Bei den Gesteinen der geologischen Einheit „Buntsandstein“ handelt es sich vorwiegend um Sandsteine. Meist sind die Buntsandsteine durch einen erhöhten Anteil von Eisenoxiden rötlich gefärbt. Teilweise sind mehrere Grundwasser-Stockwerke ausgebildet, die durch geringmächtige Ton- und Schluffsteinlagen getrennt werden. Die Sandsteine sind zwar an sich gering durchlässig, durch Klüftung wird ihre Ergiebigkeit jedoch erhöht (Kluft-Grundwasserleiter). Besonders am Rande des Grundgebirgs-Körpers des Spessarts wird die Wasserwegsamkeit durch Störungen und Verwerfungszonen noch weiter verstärkt. Im Westen liegt der Buntsandstein auf dem Kristallin des Spessarts auf (Region 5) und wird im Osten von Muschelkalkplatten überlagert (Region 2). Die quartären und tertiären Kiese des Maintals, die über dem Buntsandstein abgelagert sind, bilden aufgrund ihrer hohen Durchlässigkeit ergiebige Grundwasserleiter von lokaler bis regionaler Bedeutung.

Georegion 2: Mainfränkische Muschelkalkplatten

In den Kalksteinen und Mergelsteinen der geologischen Einheit „Muschelkalk“ sind bis zu drei Grundwasserstockwerke ausgebildet, die jeweils durch Tonsteine voneinander getrennt sind. Die oberen Bereiche des Muschelkalks sind gut geklüftet und deshalb ergiebige Grundwasserleiter von regionaler Bedeutung. Im Muschelkalk kommen auch Gipslagen vor. Die Gips- und Kalkgesteine sind zum Teil verkarstet. Im Maintal ist der Muschelkalk von quartären Kiesen und Sanden überlagert, die eine hohe Durchlässigkeit besitzen und deshalb ergiebige Grundwasserleiter darstellen.

Georegion 2a: Fränkischer Gips-Keuper

Zwischen dem Muschelkalk und dem Sandstein-Keuper tritt an der Oberfläche ein schmaler Streifen Gipsgestein (Kalzium-Sulfat) zu Tage, das in der geologischen Zeit des „Keupers“ abgelagert wurde. Durch Klüftung und Verkarstung wird die geringe Durchlässigkeit dieses Festgesteins-Grundwasserleiters erhöht. Für die Grundwassererschließung ist das Gebiet jedoch von untergeordneter Bedeutung, da die Wässer wegen des hohen Sulfatgehaltes für die Trinkwasserversorgung schlecht geeignet sind.

Georegion 3: Fränkischer Sandstein-Keuper

Hauptgrundwasserleiter dieser Georegion sind die Sandsteine des Mittleren Keupers, insbesondere die Einheiten des Burg- und Blasensandsteins. Sie sind mit Tonsteinen vertikal verzahnt. Die Keuper-Sandsteine sind ein mächtiger Kluft-Poren-Grundwasserleiter von regionaler Bedeutung. Die mäßige Durchlässigkeit nimmt nach Norden hin ab. Nach Osten und Südosten tauchen die Keuperschichten unter die Kalke und Sandsteine des Jura ab. Grundwasser wird häufig erst in tieferen Schichten der Keuper-Sandsteine erschlossen, die von gering durchlässigen Tonschichten überdeckt sind. Das Liefergebiet für die Sedimente der Keuper-Sandsteine enthielt zahlreiche Granite, weshalb in sie z. T. erhöhte Mengen an Uran enthalten (s. Kapitel 3.3).

Georegion 4: Ostbayerisches Trias-Kreide-Bruchschollenland

Das Bruchschollenland befindet sich im Bereich einer Störungszone zwischen dem Schichtstufenland (Muschelkalk, Buntsandstein, Keuper, Jura, Kreide) und dem Nordost-Bayerischen Grundgebirge. Aufgrund der Bruchtektonik sind hier alle Einheiten des Schichtstufenlandes an der Oberfläche aufgeschlossen. Eine einheitliche Charakterisierung dieser „bunten Mischung“ ist somit nicht möglich, der Einzelfall muss berücksichtigt werden. Vorwiegend handelt es sich um Festgesteins-Grundwasser-

leiter mit mäßiger bis geringer Durchlässigkeit. Auch Reste von Tertiären Sanden und Kiesen mit Braunkohle führenden Tonen kommen vor. Durch die starke tektonische Beanspruchung dieses Bereichs sind die Wasserwegsamkeiten durch Störungen jedoch teilweise erhöht. Die einzelnen Einheiten stehen häufig miteinander in hydraulischem Kontakt, so dass Mischwässer entstehen. Durch die unmittelbare Nachbarschaft des Kristallinen Grundgebirges (Georegion 5) und die Störungszonen im Grenzbereich ist auch ein Zufluss von Grundwasser aus dieser Georegion möglich. Das Kreidebecken der Bodewöhrer Bucht hat als Grundwasserleiter eine regionale bis überregionale wasserwirtschaftliche Bedeutung. Quartäre Kiese und Sande des Regen- und Naabtals stellen weitere regional bedeutende Grundwasserleiter dar.

Georegion 5: Kristallines Grundgebirge

Kristalline Gesteine treten in Bayern im Nordostbayerischen Grundgebirge (Oberpfälzer und Bayerischer Wald, Fichtelgebirge, Frankenwald), im Spessart und als Basis unterhalb der Deckschichten (Schichtstufenland, Molassegebiet) auf. Im Kristallinen Grundgebirge kommen vorwiegend metamorphe Gesteine vor (Gneise, kristalline Schiefer), die von jüngeren Graniten durchsetzt sind, die in diese Gesteine eingedrungen sind. Im Oberpfälzer und Bayerischen Wald überwiegen Gesteine mit hohem Metamorphosegrad, die sich in ihrem Gesteins-Chemismus relativ wenig unterscheiden (sog. „Monotone Serie“). Nach Nordwesten hin werden die Gesteine vielfältiger (sog. „Bunte Serie“). Neben Gesteinen mit geringerem Metamorphosegrad treten hier auch Gesteine vulkanischen Ursprungs auf. Im Fichtelgebirge kommt lokal begrenzt der Wunsiedler Marmor vor, ein metamorphes Kalkgestein, das z. T. verkarstet und wasserwirtschaftlich regional bedeutend ist. Auf dem Kristallin des Spessarts, das ebenfalls aus Gneisen und Graniten besteht, liegen noch vereinzelt kleinere Einheiten des Rotliegend und Zechsteins (v. a. Sandsteine, Konglomerate, Mergelsteine und Karbonatsteine) auf. Die an der Basis des Zechsteins auftretenden Kupferletten weisen z. T. hohe Arsengehalte auf, die auch im Grundwasser gelöst sein können.

Die Grundwasserführung im Grundgebirge hängt stark von der Klüftigkeit des Gesteins ab. Diese wechselt auf engem Raum und nimmt generell mit der Tiefe ab. Neben der steigenden Anzahl von Brunnen, die in den letzten Jahren wegen zunehmender Wasserknappheit im Grundgebirge gebohrt werden, gibt es eine Vielzahl von Quellen, die der Verwitterungszone entspringen und den Großteil der Wasserversorgung bilden. Diese Zersatzzone hat gegenüber dem Festgestein eine erhöhte Durchlässigkeit und stellt einen Poren-Grundwasserleiter dar, der dem Festgestein aufliegt und mit ihm in hydraulischem Kontakt steht. So ist auch ein Aufstieg von tieferem Grundwasser aus den Klüften des Festgesteins in die Verwitterungszone möglich. Die Mächtigkeit der Zersatzzone sowie ihre Korngröße (Kies, Sand, Lehm) wechseln stark und kleinräumig. Die Grundwasservorkommen sind deshalb meist nur von lokaler Bedeutung, was auch die große Anzahl der einzelnen Wasserversorgungsunternehmen zeigt, die sich in dieser Region befinden. Die WVU gewinnen Wasser aus zahlreichen (z. T. über 100) Einzelquellen aus der Zersatzzone, die damit den wichtigsten Grundwasserleiter im Kristallin darstellt.

Georegion 6: Schwäbischer und Fränkischer Jura

Im Bereich der Fränkischen und Schwäbischen Alb stehen an der Oberfläche Kalksteine, Dolomitsteine und Mergel des Malm (Jura) an. Es handelt sich um karbonatische Gesteine, die zum Teil stark verkarstet sind (Erweiterung der Klüfte durch Lösungsvorgänge bis zur Entstehung von Höhlen). Aufgrund der unterschiedlich starken Verkarstung ist die Wasserführung dieses Grundwasserleiters stark wechselnd. Die tieferen Grundwasserleiter sind jedoch meist sehr ergiebig und von regionaler bis überregionaler Bedeutung. Durch die schnellen Fließgeschwindigkeiten in den Karsthohlräumen und häufig fehlende Deckschichten ist das Grundwasser jedoch unzureichend vor Stoffeinträgen geschützt, weshalb häufig tiefere Grundwasserleiter für die Trinkwasserversorgung herangezogen werden.

Unter den Malmkalken befinden sich die Ton-, Mergel- und Sandsteine aus den geologischen Einheiten Doggers und Lias. In einem schmalen Streifen im Norden, Westen und Osten um die Malmkalke kommen sie auch an der Oberfläche vor. Den Hauptgrundwasserleiter bildet der Dogger-Sandstein, ein mit Tonsteinlagen und eisenhaltigen Flözen durchzogener, mürber, kalkhaltiger Sandstein („Eisensandstein“). Wasserwirtschaftlich ist er von lokaler bis regionaler Bedeutung. Die Brunnen dieser Region sind häufig sehr tief und über beide Einheiten (Malm und Dogger) verfiltert, so dass Mischwasser gefördert werden. Im Süden tauchen die Einheiten des Jura unter die Voralpine Molasse ab (Region 7), wo vor allem die Malm-Kalksteine als ergiebiger Grundwasserleiter mit erhöhten Wassertemperaturen für die Thermalwassernutzung und Energiegewinnung erschlossen werden.

Georegion 7: Tertiärhügelland mit quartären Schotterflächen und Flusstalfüllungen

Das Süddeutsche Molassebecken ist aus tertiären Lockergesteinen aufgebaut, die durch Erosion der umliegenden Gebiete (Grundgebirge und Alpen) abgelagert wurden. Die Kiese, Sande, Tone und Schluffe entstammen Ablagerungen von Flüssen, Seen oder Meeren. Ergiebige Grundwasserleiter sind vor allem die Sande und Kiese, die jedoch mit geringer durchlässigen Sedimenten (Tonen und Mergeln) kleinräumig verzahnt sind. Auch graduelle Übergänge oder plötzliche Änderungen der Korngrößen, z.B. in Rinnenstrukturen, kommen vor. Durch die Schichtung der unterschiedlich durchlässigen Sedimente sind mehrere Grundwasser-Horizonte ausgebildet. Die Mächtigkeit der tertiären Sedimente nimmt von Norden nach Süden zu, von wenigen zehner Metern am Fuße der Fränkischen/Schwäbischen Alb bis zu mehreren 1000 Metern am Alpenrand. Oberster ergiebiger Grundwasserleiter ist die Obere Süßwassermolasse, die aus bis zu 200 m mächtigen, gut durchlässigen Kiesen und Sanden besteht. Im Osten des Molassebeckens sind tiefere Einheiten der älteren Tertiär-Schichten aufgeschlossen, die aus feineren Sedimenten (Feinsanden und Schluffen) aufgebaut sind als die westliche Molasse und z. T. stark verfestigt sind. Bei diesen Mergel- und Schluffsteinen beruht die Wasserführung neben der geringen Porendurchlässigkeit auch auf Klüften. Für die öffentliche Wasserversorgung ist dieser Grundwasserleiter von regionaler Bedeutung.

Über den tertiären Sedimenten lagern großflächige quartäre Schotterflächen (z.B. Iller-Lech-Schotterplatten, Münchner Schotterebene). Diese Kiese und Sande sind Poren-Grundwasserleiter mit sehr hoher bis hoher Durchlässigkeit und stellen die ergiebigen Grundwasserleiter in Bayern dar. Hauptliefergebiet der Sedimente sind die nördlichen Kalkalpen. Die Mächtigkeit der Schotter kann stark schwanken und liegt i. d. R. im Zehner-Meter-Bereich. Die Grundwassersohle dieses Grundwasserleiters bilden die feinkörnigen Tertiär-Sedimente. Gelegentlich ist eine Mischung mit Tertiärwasser durch fehlende Trennschichten möglich. Dann kommt es durch die Mischung von sauerstoffarmem, eisenhaltigem Tiefenwasser mit sauerstoffreichem Quartärwasser zur Ausfällung von Eisenoxiden (Verockerung).

Georegion 8: Süddeutsches Moränenland

In dieser Region am Nordrand der Alpen kommen quartäre Ablagerungen der Eiszeiten, hauptsächlich Moränensedimente, vor. Es handelt sich um Lockergesteine mit stark wechselnden Korngrößen und Durchlässigkeiten. Für die Grundwasserführung bedeutend sind kiesig-sandige Ablagerungen (zahlreiche kleinere Schotterkörper und -rinnen, Talfüllungen sowie kiesige Moränenbereiche). Diese Sedimente sind gut bis mittel durchlässig und häufig mit sehr gering durchlässigen Ablagerungen (z.B. Seetonen) horizontal und vertikal verzahnt. Mehrere kleine übereinanderliegende Grundwasserstockwerke sind ausgebildet. Lokale Grundwasservorkommen sind häufig von Seetonen oder Mooren überlagert. Im tektonisch stark überprägten Bereich der „Faltemolasse“, der sich am Fuß der Alpen befindet, kommen tertiäre Festgesteins-Grundwasserleiter mit Kluft-Durchlässigkeit vor. Diese sind jedoch wasserwirtschaftlich von geringer Bedeutung.

Georegion 9: Alpen

Die Nördlichen Kalkalpen bestehen aus Karbonatgesteinen und sind durch eine ausgeprägte Tektonik und Verfaltung charakterisiert. Es handelt sich um Festgesteins-Grundwasserleiter mit Kluft- und

Karstdurchlässigkeit. Der älteste Teil der Schichtenfolge besteht aus Grundwasser hemmenden Ton-, Sand-, Mergel- und Kalksteinen, die teilweise Gips und Salz führen. Nach oben folgen mächtige Karbonatgesteine der Trias (z.B. Wettersteinkalk und -dolomit, Hauptdolomit), die teilweise ergiebige Kluft- und Karst-Grundwasserleiter darstellen. Als Wasser hemmende Zwischenschichten sind Tonstein-, Sandstein- und Mergellagen ausgebildet (z. B. Raibler Schichten). Grundwasser tritt auch in den gering mächtigen, darüber liegenden Kalk- und Mergelsteinen des Juras auf, die von gering durchlässigen Mergeln, Sandsteinen und Konglomeraten der Kreide überdeckt sind. Aufgrund der starken Verfaltung und Überschiebungen tritt nur selten die gesamte Gesteinsabfolge zusammenhängend auf. In tektonisch stark beanspruchten Gebieten kommen Mischzonen mit Gesteinen aus verschiedenen Einheiten vor, die jedoch wasserwirtschaftlich ohne Bedeutung sind.

Durch das starke Relief können ganze zusammenhängende Bereiche wasserfrei sein bzw. nur zeitweise Grundwasser führen. Die Grundwasserführung ist insgesamt stark niederschlags-abhängig, Quellschüttungen sind oft jahreszeitlich stark unterschiedlich oder teilweise versiegend. In den größeren Tälern werden bereichsweise Quartärschotter mit höherer Mächtigkeit angetroffen. Die Grundwasservorkommen in den Alpen werden wegen der schwierigen Erschließbarkeit nur in geringem Umfang, hauptsächlich in Form von Quelfassungen für private Einzelversorger, genutzt.

3.2 Arten der Trinkwasseraufbereitung in den Georegionen

Je nach geologischen und hydrochemischen Gegebenheiten müssen vor der Nutzung des Grund- oder Oberflächenwassers als Trinkwasser bestimmte Stoffe entfernt oder zugeführt werden. Bei der Aufbereitung des „Rohwassers“ aus Brunnen, Quellen oder Oberflächenwasser (Abb. 7 und 8) zu „Reinwasser“ können im Wasserwerk Rückstände anfallen, in denen auch natürliche Radionuklide enthalten sein können.

Die Schlämme und Rückstände, die bei der Trinkwasseraufbereitung entstehen, werden in mehrere Arten unterteilt. Im Wesentlichen sind dies eisenhaltige Schlämme, kalkhaltige Schlämme, Aktivkohlen mit Rückständen (beladene Aktivkohle) und Schlämme mit Flockungs-Hilfsmitteln (Aluminium- oder Eisen-Salzen) (DVGW W 221-3, 1999). In Bayerischen Wasserwerken fallen vor allem Schlämme aus der Enteisung/Entmanganung (eisenhaltige Schlämme) und kalkhaltige Schlämme aus der Entsäuerung an.



Abb. 7: Rohwasser aus Quellen



Abb. 8: Rohwasser aus Brunnen

Schlämme aus der Enteisung und Entmanganung

Anlagen zur Entfernung von Eisen sind meist mit einer Entmanganung gekoppelt (BAYLFW 1992, MUTSCHMANN & STIMMELMAYR 2007). Reine Entmanganungsanlagen (ohne Eisen-Aufbereitung) kommen im untersuchten Datensatz nicht vor. Häufig wird bei diesen Wässern auch Arsen entfernt. Eine reine Entarsenung (gekoppelt mit einer Entsäuerung) wurde nur einmal im gesamten Datensatz angetroffen. Eisen, Mangan und Arsen gehen vor allem in sauerstoffarmen Tiefenwässern (O_2 -Gehalt < 1 mg/L) in Lösung. Das Eisen ist zwar nicht gesundheitsschädlich, aber optisch und geschmacklich unerwünscht. Der Grenzwert nach TrinkwV (2001) für Eisen liegt bei 0,2 mg/L, es sollte aber bereits ab Gehalten von 0,05 mg/L entfernt werden. Durch Sauerstoffzufuhr und die Hilfe von Eisen oxidierenden Bakterien wird das reduzierende Wasser belüftet und das Eisen als Eisenoxid bzw. -Hydroxid gefällt. Auch Mangan (Grenzwert 0,05 mg/L) und Arsen (Grenzwert 0,01 mg/L) werden mit diesem Verfahren entfernt, jedoch häufig mit geringerem Wirkungsgrad.

Eine Aufbereitungsanlage für die Eisen- und Manganentfernung besteht meist aus zwei geschlossenen Kesseln: In einem Oxidator wird dem Rohwasser Sauerstoff zugegeben (geschlossene Druck-Belüftung), wobei sich im Kessel zur besseren Vermischung Reaktionskörper befinden (Keramikkörperchen oder Gitter-Körper aus Kunststoff). In einem zweiten geschlossenen Kessel wird das ausgefällte Material in einem Mehrschicht-Sandfilter abfiltriert. (Abb. 9). Da bei der Oxidation des gelösten zweiwertigen Eisens zu dreiwertigem Eisenoxid Protonen freigesetzt werden, wird der pH-Wert des Wassers herabgesetzt. Bei Wässern mit geringen Ausgangs-pH-Werten wird dann eine Entsäuerung zur pH-Wert-Anhebung nachgeschaltet.

Die Feststoffe, die im Filterkessel abfiltriert und angesammelt werden, müssen regelmäßig durch eine Rückspülung mit Luft und Wasser entfernt werden, um ein Zusetzen der Filter zu vermeiden (Abb. 10). Dabei läuft das Schlammwasser in der Regel über einen Trichter in ein Sedimentationsbecken (Absetzbecken) (Abb. 11).



Abb. 9: Geschlossener Filterkessel zur Enteisung/Entmanganung



Abb. 10: Durchführung der Rückspülung mit Luft und Wasser



Abb. 11: Auslauf des Schlammwassers in einen Trichter

Kalkhaltige Schlämme aus der Entsäuerung

Wässer mit geringen pH-Werten ($< 6,5$ pH-Einheiten, Grenzwert nach TRINKWV, 2001) und aggressiver Kohlensäure werden durch die Filtration über Kalkstein-Filtermaterial aufgehärtet. Bei geringen pH-Werten oder niedrigen Sauerstoffgehalten können in solchen Wässern auch Eisen und andere Metalle gelöst sein, die über die Anhebung des pH-Wertes mit ausgefällt werden. Es bildet sich dann ein bräunlicher Belag auf dem Filtermaterial. Deshalb müssen auch diese Filter rückgespült werden. Dabei werden auch Feinpartikel des kalkigen Filtermaterials mit ausgespült, so dass die Schlämme als Kalkschlämme bezeichnet werden können. Häufig handelt es sich um offene Filteranlagen, bei

denen das Rohwasser über eine Riesler-Anlage auf dem Material verteilt wird (Abb. 12). Bei Entsäuerung über Verdüsung, Flachbelüfter, Riesler oder Kaskaden wird die gelöste gasförmige Kohlensäure physikalisch aus dem Wasser entfernt. Es findet keine chemische Ausfällung statt, so dass auch kein Rückspülschlamm anfällt.



Abb. 12: Entsäuerungsanlage mit offenem Filterbecken

Sonstige Schlämme

Nur in einem großen Wasserwerk in Bayern fällt Kalkschlamm aus einer **Entkarbonisierung** an. Unter Zugabe von Kalkwasser (CaOH_2), das aus Branntkalk gewonnen wird, wird die Karbonathärte (CaHCO_3)₂ des Rohwassers in Form von Calciumcarbonat (CaCO_3) ausgefällt.

Im selben Wasserwerk wird aus dem enthärteten Wasser in einem biologischen Prozess Nitrat entfernt (autotrophe **Denitrifikation**). Dabei werden Wasserstoff als Energiequelle, Kohlensäure als Kohlenstoffquelle und zur pH-Wert-Regulierung sowie Phosphat als Nährstoff und Eisen-II-Sulfat als Mineralstoff zugegeben. Die in den Bioreaktoren (geschlossene Kessel) angesiedelten Mikroorganismen, die in jedem Wasser vorhanden sind, veratmen den im Nitrat (NO_3^-) enthaltenen Sauerstoff und vermehren sich bei diesem Prozess. Der im Nitrat enthaltene Stickstoff (N_2) entweicht als Gas aus dem Wasser. Um überschüssige und abgestorbene Mikroorganismen auszutragen, werden die Reaktoren in regelmäßigen Abständen rückgespült.

Der untersuchte Datensatz enthält außerdem einige wenige Wasserwerke mit Ultrafiltrationsanlagen, Ionenaustauschern, **Aktivkohlefiltern** und Filtration über Sandfilter zur Trübstoffentfernung. Aktivkohlefilter werden hauptsächlich zur Entfernung von organischen Schadstoffen sowie Geruchs- und Geschmacksstoffen entfernt. Meist wird körniges Material verwendet, das nur unmittelbar vor und nach dem Kohlewechsel rückgespült wird, da die Schichtung innerhalb der Filterlaufzeit erhalten bleiben soll. Die Filterlaufzeit bis zum Kohlewechsel beträgt 2 Monate bis 1 Jahr. Das verbrauchte Material kann vom Hersteller regeneriert werden, wird dann jedoch nicht mehr für die Trinkwasseraufbereitung eingesetzt. **Ionenaustauscher** bestehen meist aus organischen Harzen. Auch sie werden nach Verbrauch entfernt, so dass kein Rückspülschlamm entsteht. **Ultrafiltrationsanlagen** entfernen Partikel $< 0,01 \mu\text{m}$ (z.B. Trübstoffe, Bakterien, Viren, Makromoleküle, Kolloide). Sie bestehen aus mehreren Kolonnen (Abb. 13), die regelmäßig zurück gespült und mit Hilfe von Chemikalien (z.B. Säure-

ren, Laugen oder Desinfektionsmitteln) gereinigt und regeneriert werden. Die Schlamm-Mengen, die bei dieser Aufbereitungsart entstehen, sind jedoch gering. Die Membran selbst besteht aus organischen Polymeren oder anorganischen Materialien (z.B. Keramik). Diese müssen nach 3 – 10 Jahren ersetzt werden (MUTSCHMANN & STIMMELMAYR 2007).



Abb. 13: Ultrafiltrationsanlage

Für eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Aufbereitungsarten wird auf die Ausführungen in zahlreichen wasserwirtschaftlichen Veröffentlichungen verwiesen, z.B. (MUTSCHMANN & STIMMELMAYR 2007) und (BAYLFW 1992).

In Tab. 3 sind die untersuchten Schlämme nach ihrer Schlammart und der zugehörigen Georegion aufgeschlüsselt. Die meisten Proben wurden in den Georegionen 5 und 7 entnommen, was auf die kleinräumig strukturierte, dezentrale Wasserversorgung dieser Gebiete hinweist. Entsprechend der chemischen Eigenschaften der dort auftretenden Grundwässer fallen in Bayern hauptsächlich eisenhaltige Schlämme und Schlämme aus der Entsäuerung an.

Georegion	Proben gesamt	Eisen- Schlämme	Entsäuerungs- Schlämme	Sonstige
Georegion 1	27	7	17	3
Georegion 2	8	5	1	2
Georegion 2a	0	-	-	-
Georegion 3	21	18	2	1
Georegion 4	8	2	5	1
Georegion 5	63	14	48	1
Georegion 6	9	8	0	1
Georegion 7	49	49	0	0
Georegion 8	3	2	0	1
Georegion 9	0	-	-	-
Mischproben	6	4	2	-

Tab. 3: Georegionen und Schlammarten

Abb. 14 zeigt die räumliche Verteilung der untersuchten Proben nach der Art der Trinkwasseraufbereitung.

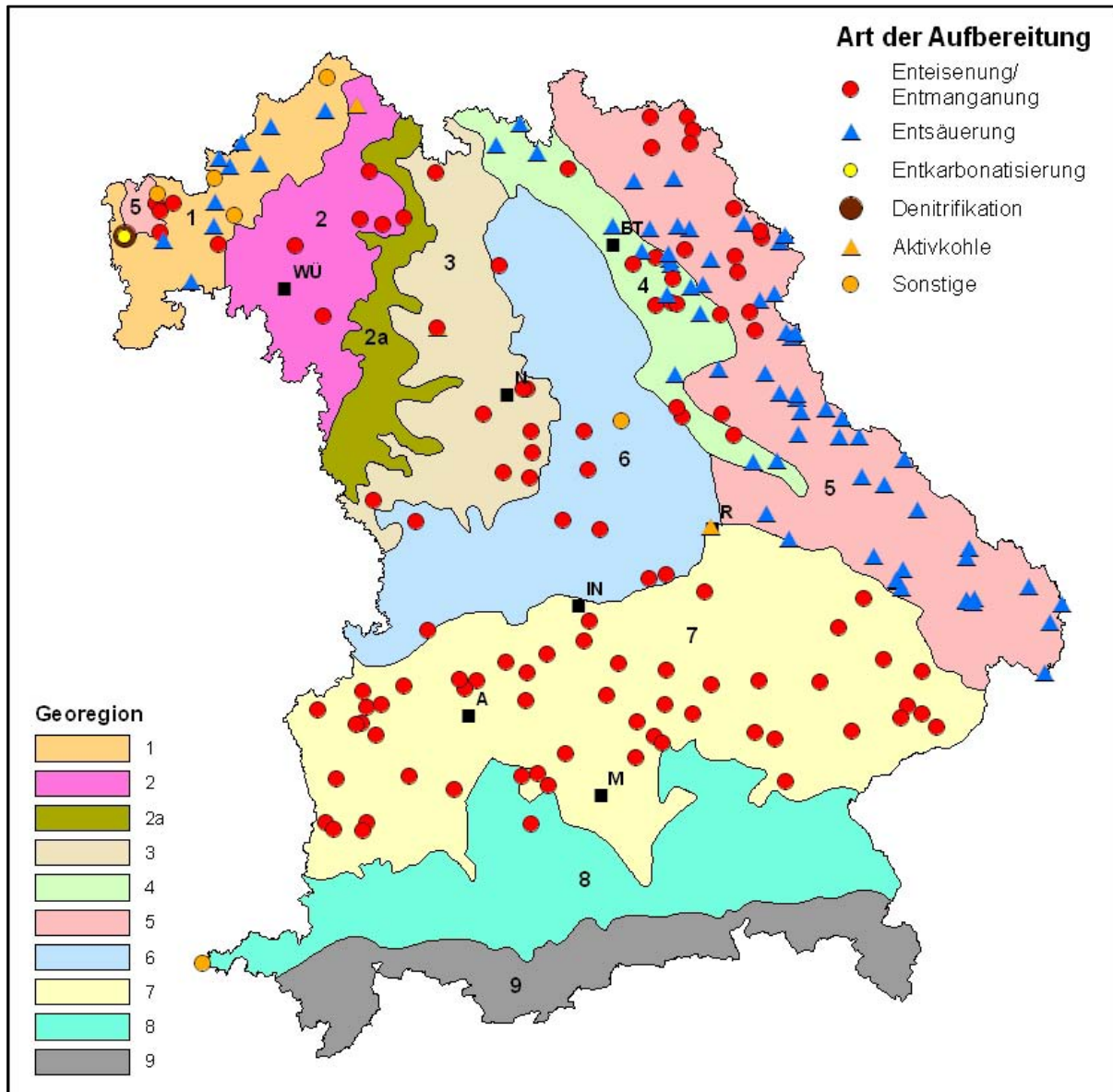


Abb. 14: Art der Trinkwasseraufbereitung in den Georegionen

Im Folgenden werden die Wässer und Aufbereitungsarten in den Georegionen näher beschrieben:

Georegion 1 (Buntsandstein)

Die meisten Rohwässer im Buntsandstein sind wegen der geringen Pufferkapazität der Sandsteine leicht sauer und müssen deswegen entsäuert werden (17 von 27 Wasserwerken). In 7 Wasserwerken fällt Eisenschlamm an, wobei die Enteisenung in allen Fällen mit einer Entmanganung gekoppelt ist. Durch das Verfahren wird der ohnehin niedrige pH-Wert der Buntsandstein-Wässer zusätzlich abgesenkt, so dass in allen Fällen eine Entsäuerung nachgeschaltet wird. In zwei Fällen wird zusätzlich eine Entarsenung durchgeführt, in einem Fall läuft das Wasser abschließend über einen Aktivkohlefilter. Bei drei Wasserwerken fallen „sonstige“ Schlämme an: aus einer Ultrafiltrationsanlage, gekoppelt mit einer Entsäuerung, aus einer biologischen Nitratentfernung (mit Flockungs-Hilfsmittel Fe-III-Chlorid) und aus einer Entkarbonisierung. Die Anlage zur Entkarbonisierung und zur Nitratentfernung befindet

sich im selben Wasserwerk. Das Wasser stammt aus kalkhaltigen tertiären Sanden und Kiesen in einer Talfüllung über dem Buntsandstein, deren Liefergebiet vermutlich der Muschelkalk ist.

Georegion 2 (Muschelkalk)

Durch die Lösung der Kalkgesteine sind die Wässer aus dem Muschelkalk normalerweise stark kalkhaltig (harte Wässer). Bei den 8 Proben dieser Region überwiegen die Anlagen zur Enteisung (5 Proben), die z. T. mit einer Entmanganung gekoppelt sind. In einer Anlage kommen zusätzlich Ultrafiltration, Ionenaustausch und Aktivkohlefilter zum Einsatz. In zwei Anlagen werden Trübstoffe entfernt (einmal mit Aktivkohle, einmal mit Hilfe eines Flockungs-Hilfsmittels und Filtration). In einer Anlage wird das Rohwasser entsäuert, obwohl es einen pH-Wert von 7,2 hat. Vermutlich ist das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht (Delta-pH-Wert als Maß für die Aggressivität der Kohlensäure) hier zu niedrig.

Die Georegion 2a (Gipskeuper) kommt nur im Zusammenhang mit Wasser aus anderen Georegionen vor, so dass hier nur Mischwässer vorliegen. Wegen des hohen Sulfatgehalts sind die Wässer dieser Region meist für die Trinkwasserversorgung nicht geeignet.

Georegion 3 (Sandstein-Keuper)

Grundwasser aus dem Sandstein-Keuper wird häufig in tieferen Schichten erschlossen und ist deshalb meist sauerstoffarm. Unter den reduzierenden Bedingungen kann in den Sandsteinen enthaltenes Eisen und Mangan gelöst werden. Auch Arsen wird in hohen Konzentrationen im Rohwasser beobachtet (nach LFW MATERIALIEN 13, 1992: 50-80µg/L). Bei den 21 Proben dieser Region wird in 18 Fällen eine Enteisungs-Anlage betrieben, die z. T. mit Entmanganung und Entarsenung, aber auch mit Entsäuerung und Aktivkohlefiltern (zweimal) gekoppelt ist. Einmal kommt eine reine Aktivkohlefilter-Anlage vor, zweimal wird das Wasser nur entsäuert.

Georegion 4 (Trias-Kreide-Bruchschollenland)

In dieser Region treten wegen der starken Wechselhaftigkeit der Geologie (Bruchschollen) Wässer auf, die die hydrochemische Charakteristik der Georegionen 1 bis 6 aufweisen. Durch den kleinräumigen Wechsel sind Mischungen die Regel. Bei den acht Proben werden 5 Wässer entsäuert, bei zwei Proben stammt der Schlamm aus einer Enteisungs-Anlage und einmal wird ein Aktivkohlefilter eingesetzt.

Georegion 5 (Grundgebirge)

Durch das geringe Puffervermögen der Silikatgesteine sind die pH-Werte der Wässer sauer. In Gesteinen vulkanischen Ursprungs ist das Puffervermögen und damit der pH-Wert etwas höher. In Bereichen mit hohem Gehalt an organischen Stoffen (Moorgebiete) oder tieferen Brunnen mit lehmigen Deckschichten kommen Wässer mit geringem Sauerstoffgehalt vor, so dass Eisen in Lösung gehen kann. Bei sehr sauren pH-Werten können Aluminium und andere Metalle im Grundwasser gelöst sein. Von den 63 Proben aus dem Grundgebirge stammen 48 Proben aus Anlagen zur Entsäuerung. 14 Proben stammen aus Enteisungsanlagen, die z.T. mit einer Entmanganung und immer mit einer Entsäuerung gekoppelt sind. In einem Wasserwerk wird eine Arsenungsanlage mit einer Entsäuerung betrieben. Diese Probe stammt aus dem Spessart, wo aus den Kupferletten, die dem Grundgebirge auflagern, Arsen in das Grundwasser gelangen kann.

Georegion 6 (Jura – Malm und Dogger)

Die Brunnen, die die Doggerschichten erschließen, sind meist sehr tief und haben geringe Sauerstoffgehalte, so dass Eisen und Mangan in Lösung gehen können. Im Schwäbischen und Fränkischen Jura (Malm-Kalksteine und Dogger-Sandsteine) stammen 8 von 9 Proben aus einer Enteisungsanlage, in einem Wasserwerk wird eine Ultrafiltrationsanlage betrieben.

Georegion 7 (Südbayerisches Molassegebiet: Tertiärhügelland und Quartärschotter)

Die Brunnen in der Molasse erschließen meist tiefere, sauerstoffarme Grundwasservorkommen, so dass Eisen, Mangan und auch Arsen im Grundwasser gelöst sind. Besonders im Ostteil der Molasse sind die Brunnen sehr tief (bis 200 m) und nahezu sauerstofffrei, weshalb hier stark reduzierende Wässer mit Schwefelwasserstoff- und Methangehalten auftreten. Auch Eisen ist in größeren Mengen gelöst. Alle 49 Proben aus dieser Georegion stammen daher aus Enteisungsanlagen, die meist mit einer Entmanganung gekoppelt sind. Viermal wird zusätzlich Arsen entfernt, fünfmal wird eine abschließende Aufbereitung über Aktivkohlefilter betrieben.

Die oberflächennahen Wässer der Schotterflächen sind hingegen reich an Sauerstoff und kalkhaltig. Durch die hohe Grundwasserneubildung in den gut durchlässigen Schottern ist bei geeigneten Schutzgebieten die Wasserqualität für die Trinkwasserversorgung so gut, dass die Wässer nicht aufbereitet werden müssen (z.B. Stadt München, Stadt Augsburg). Dadurch fallen hier auch keine Schlämme an.

Georegion 8 (Moränengebiet)

Die Grundwasser führenden Schichten dieser Region werden gelegentlich von Seetonen und Mooren überlagert. Der Sauerstoffgehalt dieser Wässer ist dann gering, so dass Eisen und Mangan in Lösung gehen können. Da das Liefergebiet der Sedimente die Kalkalpen sind, ist auch das Wasser kalkhaltig. Aus dieser Georegion konnten nur 3 Proben untersucht werden, von denen zwei aus Enteisungs-/ -Entmanganungs-Anlagen stammen. Bei einer Probe wird Oberflächenwasser über eine Filtrationsanlage (Sandfilter) aufbereitet. Viele Wässer dieser Gegend müssen wegen geeigneter Wasserqualität nicht aufbereitet werden, so dass kein Schlamm anfällt.

Aus **Georegion 9** konnte keine Probe untersucht werden, da hier meist keine Aufbereitungsanlagen für das Trinkwasser nötig sind. In vielen Wasserwerken wird lediglich eine Entkeimung vorgenommen oder steht für Ausnahmefälle bereit. Ein Schlamm fällt dabei nicht an.

Mischproben

Häufig kommt es vor, dass Brunnen über mehrere Grundwasserleiter verfiltert sind und somit Wässer aus unterschiedlichen Tiefen und unterschiedlichen Georegionen gemischt fördern. Zur Mischung im Wasserwerk kommt es, wenn Wässer mehrerer Gewinnungsgebiete, die aus unterschiedlichen Georegionen stammen, gemeinsam aufbereitet werden. Diese Wässer sind nicht repräsentativ für die einzelnen Georegionen und werden deshalb gesondert betrachtet. Von den 6 Mischproben unseres Datensatzes stammen zwei Schlämme aus der Aufbereitung von Buntsandstein- und Muschelkalkwasser (einmal wird das Wasser entsäuert, einmal wird Eisen entfernt). Eine Probe stammt aus Buntsandstein- und Keupersandstein-Einheiten (Entsäuerung), eine aus Keupersandstein und Muschelkalk (Enteisung), in einer Probe werden Tiefbrunnen aus dem Bruchschollenland mit Flachbrunnen aus dem Grundgebirge gemischt (Enteisung) und einmal stammt das Rohwasser aus dem Doggersandstein und dem Keuper-Sandstein (Enteisung).

3.3 Vorkommen von Radionukliden in Gesteinen

Natürlich vorkommende Radionuklide entstehen aus den drei Zerfallsreihen der Radionuklide U-238, Th-232 und U-235 (Abb. 15). Diese waren bereits bei der Erdentstehung vorhanden (primordiale Nuklide) und sind aufgrund ihrer langen Halbwertszeiten noch heute in der Natur zu finden. So werden auch die Folgeprodukte durch radioaktiven Zerfall kontinuierlich nachgebildet.

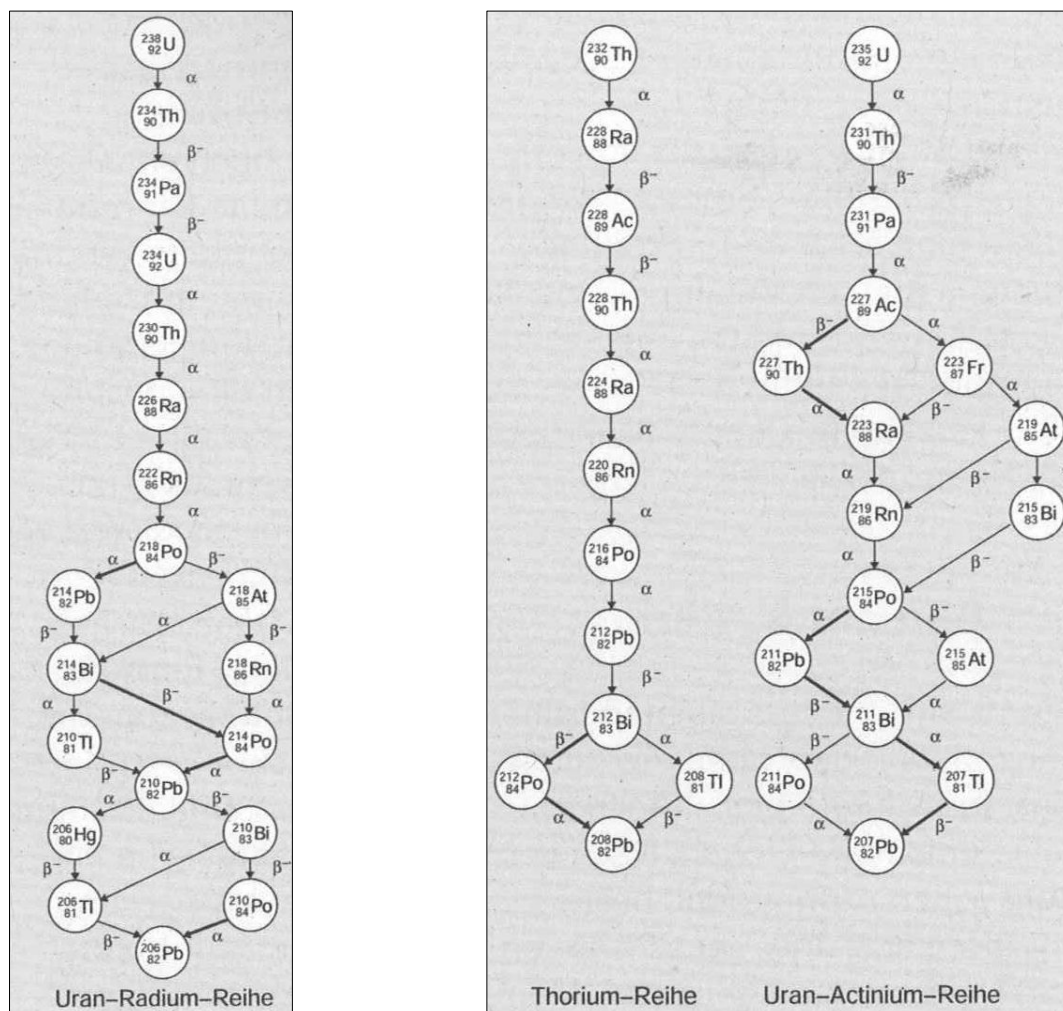


Abb. 15: Zerfallsreihe von U-238

Zerfallsreihe von Th-232 und U-235

Vorkommen von Uran

Höhere Urangelhalte kommen in kristallinen Gesteinen, v. a. in Graniten und Ganggesteinen sowie in hydrothermalen Gangfüllungen und Pegmatiten vor (z. B. Fichtelgebirgsgranite, Flossenbürger Granit, Dreisesselgranit). In Metamorphen Gesteinen (z. B. Gneisen und metamorphen Schiefen) sind die Urangelhalte geringer. Ebenso sind Anreicherungen von Uran im Zusammenhang mit Sulfidierz- und Flussspatlagerstätten (Wölsendorfer Flußspatrevier), wie auch im organischen Milieu, z. B. in Kohlen (Stockheimer Steinkohlenrevier, Pechkohle in Oberbayern, Braunkohle in Wackersdorf) und in Seeskalen (Nördlinger Ries) bekannt (GUDDEN ET AL. 1974).

Auch in manchen Sedimentgesteinen können erhöhte Urangelhalte auftreten. Der Ursprung der Urananreicherung liegt hier im ehemaligen Liefergebiet, das bei der Bildung der Sedimente abgetragen wurde. Besonders der Burgsandstein in Mittelfranken ist bekannt für seine erhöhten Urangelhalte (ABELE ET AL. 1962), die bei Uran-Prospektionen durch das Bayerische Geologische Landesamt im

Jahre 1956 festgestellt wurden. Es konnten jedoch keine zusammenhängenden, abbauwürdigen Lagerstätten gefunden werden. Diese feldspathhaltigen Sandsteine mit auffällig hohen Urangelhalten werden auch als „Aktivarkosen“ bezeichnet. Sie entstanden in einer Bucht, die von granithaltigen Gebirgen umrahmt wurde. Durch Erosion von Sanden und Tonen wurde die Bucht sukzessive aufgefüllt. Später wurden die Sedimente zu Sandsteinen diagenetisch verfestigt und tektonisch überprägt. Das Uran, das vermutlich in gelöster Form in das Sedimentgebiet eingedrungen ist, wurde wahrscheinlich aus episodischen Tümpeln und aus dem Grundwasser ausgeschieden, da es bevorzugt an feine Sedimente (Lettenlagen) gebunden ist, die sich nur im Stillwasser-Bereich ablagern. Die Mächtigkeit der Sandsteine liegt zwischen 70 und 80 m, die dazwischen liegenden Lettenlagen können bis zu 18 m aufweisen. Die Urangelhalte der Aktivarkosen sind stark variabel und betragen 105 bis über 500 g/t (Uran-Äquivalentgehalte). Das Uran ist häufig in Form von Knollen und Scherben oder flächhaft auf Bankungsfugen und Platten angereichert. Die Anreicherungen stehen auch häufig mit dem Mineral Apatit (Kalzium-Phosphat) in Verbindung. Die Fällung des Urans erfolgte vermutlich durch Milieuänderung von reduzierenden zu oxidierenden Verhältnissen.

In Karbonatgesteinen sind die Urankonzentrationen in der Regel gering, da Uran-Karbonatkomplexe gut löslich sind und der Kalkstein ein geringes Adsorptionspotential besitzt, so dass das Uran in gelöster Form ausgetragen wurde.

Vorkommen von Thorium

Thorium kommt wie Uran vor allem in granitischen Gesteinen des Grundgebirges vor. In solchen Magmatiten wird es bei deren Entstehung durch Differenziation der abkühlenden Schmelze angereichert (KEMSKI ET AL. 1996). In Böden über solchen Gesteinen ist Thorium in der Regel gegenüber dem Ausgangsgestein angereichert und häufig in Eisenoxiden und Tonmineralen zu finden (ROSHOLT 1959 und HANSE & STOUT 1968). In Sedimentgesteinen ist es in schwer löslichen silikatischen Bindungen sowie in Sulfiden und Eisenoxiden gebunden (GREEMAN 1992). Dies spricht dafür, dass Thorium schwer löslich ist und somit als „Rest“ im Boden verbleibt. Meist wird es in Suspension an feinkörnigen Gesteinsteilchen transportiert. Deshalb ist in Tonsteinen mehr Thorium zu finden als in Sandsteinen.

Vorkommen von Radium

Radium ist ein Erdalkali-Metall und verhält sich ähnlich wie Barium, Kalzium und Magnesium. Es kann anstatt dieser in das Kristallgitter von Mineralien eingebaut (substituiert) werden. So ist Radium oft sekundär gebunden, z.B. an Sulfatausfällungen (Baryt, Anhydrit, Kalzit, Dolomit). Auch an Eisenoxide kann es gebunden sein, da es mit diesen ausgefällt wird. Häufig wird es an Festpartikel, organische Stoffe oder kolloide Bestandteile sorbiert (KEMSKI ET AL. 1996). Das Radium kommt als Zerfallsprodukt von Uran und Thorium vor allem im Grundgebirge und in Sedimentationsgebieten vor, die ein granitisches Ausgangsmaterial haben. Spuren von Ra-226 sind jedoch in jedem Gesteinstyp vorhanden.

Da die natürlichen Radionuklide auf den Zerfall von Uran-238, Uran-235 und Thorium-232 zurückzuführen sind (s. Abb. 15), sind sie dort angereichert, wo auch die Ausgangsprodukte angereichert sind. Selektive Anreicherungen können durch chemische Prozesse entstehen.

Vorkommen von Kalium

Das natürliche Radionuklid K-40 kommt nahezu überall in der Natur vor. Kalium ist in zahlreichen Silikatgesteinen enthalten und häufig an Tonminerale austauschbar gebunden. So ist es vorwiegend in feinen Sedimenten (z.B. Tone im Tertiär der Molasse) und tonigen Verwitterungsrückständen (z. B. in der Verwitterungszone des Grundgebirges) angereichert.

3.4 Radionuklide im Grundwasser

Die Radionuklide, die sich im Rückspülschlamm angereichert haben, sind durch das Grundwasser, das für die Trinkwasserversorgung genutzt wird, aus dem Ausgangsgestein gelöst worden. Lösungen von Radionukliden finden dabei in der Regel nicht nuklid-spezifisch sondern element-spezifisch statt. Bei der Lösung und Fällung von Elementen spielen häufig die physikalisch-chemischen Bedingungen wie Sauerstoffgehalt (oxidierende/reduzierende Verhältnisse) oder der pH-Wert eine wichtige Rolle. Viele Elemente, so auch Radionuklide, werden mit anderen Stoffen mitgefällt. Ein radioaktives Gleichgewicht der natürlichen Radionuklide und ihrer Folgeprodukte ist im Wasser nicht gegeben. Der Grund dafür ist die unterschiedliche Mobilität der einzelnen Radionuklide im offenen System von Luft, Wasser und Boden (RÜHLE 1996).

Uran besitzt eine vergleichsweise hohe Mobilität. Unter natürlichen Bedingungen liegt Uran in Festphasen als schwer lösliches U^{4+} vor. Es wird zusammen mit Oxiden, Hydroxiden, Phosphaten, Sulfaten, Karbonaten, Arsenaten oder Silikaten gebildet. Die Abscheidung erfolgt im reduzierenden Milieu, in dem es ausschließlich stabil ist. Durch Oxidation entsteht das sechswertige Uran, das gut löslich ist und in Anwesenheit von Wasser Uranylkomplexe (UO_2^{2+}) bildet. Je nach chemischem Milieu dominieren Hydroxid-, Fluorid-, Sulfat-, Phosphat-, oder Karbonat-Komplexe. Die Löslichkeit des sechswertigen Urans ist in saurem Milieu höher. Sie hängt jedoch nicht allein vom pH-Wert sondern auch von Komplexbildnern ab (BFS 2001). Auch gelöste organische Säuren können die Mobilität von Uran erhöhen. Durch Adsorption oder Ionenaustausch kann gelöstes Uran dem zirkulierenden Wasser wieder entzogen werden (z.B. Fe/Mn-Hydroxide, Tonminerale, Phosphate, organische Substanzen) (KLINGEL ET AL. 1995).

Thorium ist ein häufiges Element der Erdkruste (7 – 13 ppm) und wird – wie Uran – bei der Differenzierung der Schmelze von Magmatiten angereichert. Th^{4+} und U^{4+} haben einen ähnlichen Ionenradius und können sich daher im Kristallgitter wechselseitig ersetzen (BFS, 2001). Nur das vierwertige Thorium ist in Wasser stabil und fällt bei Übersättigung aus. Bei Anwesenheit von Sulfat bilden sich $Th-SO_4$ -Komplexe. Es wird nur bei sehr sauren pH-Werten ($pH < 3$) gelöst. Da solche pH-Werte im Grundwasser normalerweise nicht vorkommen, ist nur wenig Thorium im Rohwasser zu finden. Th^{4+} neigt außerdem zur Adsorption an Kolloiden, Tonmineralen, Oxiden und Hydroxiden, so dass es insgesamt geochemisch als immobil angesehen werden kann.

Das Erdalkalimetall Radium kommt in wässriger Lösung zwischen pH 4 und pH 8 als zweiwertiges Ion vor (KEMSKI ET AL. 1996, LANGMUIR & RIESE 1985). Radium ist vor allem in reduzierten, schwach mineralisierten Wässern in Form von Ra^{2+} vorhanden. In höher mineralisierten Wässern bildet es Komplexe und fällt aus. Vor allem unter oxidierenden Bedingungen neigt es zur Mitfällung an Sulfaten, Eisen- und Mangan-Oxiden. Sorbiert wird es auch an organisches Material und Tonminerale (RÜHLE 1996). Durch die Sorptionsfähigkeit liegt Radium häufiger als Uran in austauschbarer Form vor.

Eine ausführlichere Beschreibung der Löslichkeit der einzelnen Radionuklide in Wasser findet sich auch im ersten Teilbericht des Projektes (MALLICK 2006).

Im Rahmen einer deutschlandweiten Untersuchung von Radionukliden im Trinkwasser durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BFS 2006) sowie durch eigene Untersuchungen des LfU (LFU 2003) wurden 111 Wässer bayerischer Wasserwerke auf natürliche Radionuklidgehalte untersucht. Die statistischen Kennzahlen (Minimum, Median und Maximum) für die wichtigsten Radionuklide in den untersuchten Rohwässern zeigt Tab. 4.

Tab. 4: Radionuklidgehalte der untersuchten Rohwässer in den verschiedenen Georegionen

(Werte in mBq/L, außer Rn-222)		Georeg. 1	Georeg. 2+2a	Georeg. 3	Georeg. 4	Georeg. 5	Georeg. 6	Georeg. 7	Georeg. 8+9
Anzahl Proben		7	11	30	6	21	7	18	10
U-238	Minimum	0,7	3,0	2,4	8,0	0,7	9,0	0,7	1,0
	Median	1,8	17,6	60,5	52,5	3,4	30,0	11,8	14,0
	Maximum	26	319	422	350	70	166	99	170
U-234	Minimum	0,7	10,0	3,8	8,0	0,7	30,0	0,7	1,6
	Median	2,0	33,7	118,0	82,5	5,5	66,0	17,4	19,0
	Maximum	49	400	675	490	73	223	100	272
Ra-228	Minimum	2,7	3,4	5,3	5,8	1,0	3,0	1,6	1,0
	Median	4,4	8,4	18,0	10,4	2,0	164,0	8,0	2,5
	Maximum	11	19	115	66	128	208	44	12
Ra-226	Minimum	3,0	4,0	3,5	9,5	0,1	4,0	1,0	2,6
	Median	4,0	6,4	18,2	16,4	4,5	134,0	11,0	3,3
	Maximum	15	27	256	300	130	175	48	14
Rn-222 in Bq/L	Minimum	6,8	14,0	7,0	21,0	5,5	6,0	5,0	4,0
	Median	18,5	24,7	19,5	54,0	44,0	17,1	10,0	7,9
	Maximum	30	43	369	307	1510	107	57	15
Pb-210	Minimum	2,0	1,0	1,7	4,0	1,8	1,6	1,0	1,0
	Median	3,6	5,3	3,4	9,0	29,0	1,8	2,7	3,0
	Maximum	6	130	29	11	222	10	14	21
Po-210	Minimum	2,2	1,0	0,4	2,5	0,6	1,8	0,4	0,6
	Median	4,7	3,1	1,0	4,6	7,0	3,4	1,0	1,0
	Maximum	12	35	14	15	34	10	11	7

Hohe Werte der Uran-Isotope U-238 und U-234 kommen vor allem in den Keuper-Gesteinen vor, die in Region 3, 4 und 2a zu finden sind (LGL/LFU 2008). Aber auch in den Eisensandsteinen des Jura (Dogger, tiefe Bereiche Region 6) und in Mooregebieten des Alpenvorlandes und des Alpenraumes (Region 8 und 9) kommen höhere Aktivitätskonzentrationen der Uranisotope vor. In den Keuper-Gesteinen sind wegen des erhöhten Urangehalts der Sedimentgesteine auch die Medianwerte höher, während in den übrigen Georegionen nur wenige Maximalwerte bei geringer Grundbelastung auftreten. Aus kernphysikalischen Gründen liegen die Aktivitätskonzentrationen des U-234 über denen des U-238.

Radium, das vor allem in den Isotopen Ra-226 und Ra-228 im Grundwasser vorkommt, wird vor allem in Georegion 6 beobachtet (Malmkalke und Dogger-Sandsteine). Hier sind sowohl Maximalwerte als auch Medianwerte erhöht. Die Anzahl der untersuchten Proben (N = 6) ist jedoch gering, so dass keine gesicherten statistischen Ergebnisse vorliegen. Auffällig ist hier, dass die Aktivitätskonzentrationen des Ra-228 über denen von Ra-226 liegen. Einige höhere Maximalwerte kommen auch in den Georegionen 4 (Bruchschollenland), 3 (Keuper-Sandsteine) und 5 (Kristallines Grundgebirge) vor, die Medianwerte sind hier jedoch deutlich niedriger. Die Aktivitätskonzentrationen des Ra-226 liegen hier in der Regel über denen des Ra-228.

Die maximalen Werte an Radon (Rn-222) werden erwartungsgemäß im kristallinen Grundgebirge (Region 5) beobachtet. Hier wird das Radon vor allem in den uranhaltigen Graniten als Zerfallsprodukt gebildet und gelangt über die Zersatz- und Bodenzone ins Grundwasser. Der Median ist mit 44 Bq/L dagegen eher gering. Dies ist darin begründet, dass zahlreiche Trinkwässer im Grundgebirge aus Gneisgebieten gewonnen werden, die geringere Urangehalte aufweisen. Höhere Radon-Werte (Maximum und Median-Wert) werden auch im Bruchschollenland (Region 4) beobachtet. Diese Region befindet sich am Rand zum kristallinen Grundgebirge und ist durch geologische Störungszonen geprägt. Das Radon kann hier entlang der Störungen in oberflächennahe Schichten gelangen. In den uranhaltigen Keuper-Sandsteinen werden ebenfalls einige höhere Radonwerte beobachtet. Die Medianwerte sind jedoch gering.

Auch die Aktivitätskonzentrationen von Pb-210 und Po-210 sind im kristallinen Grundgebirge erhöht. Beide sind Zerfallsprodukte des Radon-222. Pb-210 kann außerdem aus erhöhten Bleigehalten im Gestein stammen, die in den Gneisen und Graniten des Grundgebirges häufig vorkommen.

4 Spezifische Aktivitäten in den Rückspülschlamm

In den Rückspülschlamm wurden die Aktivitäten der in Kap. 2.3 aufgeführten Radionuklide bestimmt (Zerfallsreihen von U-238, Th-232, U-235 sowie K-40). Minima, Maximalwerte sowie die unteren und oberen Quartile (25%- und 75%-Quantil) der untersuchten Proben sind in Tab. 5 dargestellt. Wegen der wenigen hohen Maximalwerte wurde anstatt eines Mittelwertes der Median berechnet. Die gesamten Messdaten der Proben mit Fehlerangaben befinden sich in Anhang II.

Tab. 5: Statistische Kennwerte der spezifischen Aktivitäten der Schlamm in Bq/g

NUKLID	Minimum	25%-Quantil	Median	75%-Quantil	Maximum
U-238 (ber. aus U-235)	0,022	0,067	0,149	0,291	4,2
Th-234	0,001	0,021	0,039	0,104	1,5
Pa-234m	0,027	0,108	0,169	0,388	2,1
U-234	0,017	0,024	0,031	0,039	0,0
Th-230	0,035	0,054	0,088	0,142	0,2
Ra-226	0,006	0,051	0,183	0,874	45,6
Pb-214	0,002	0,017	0,042	0,127	24,4
Bi-214	0,001	0,014	0,038	0,108	21,4
Pb-210	0,003	0,094	0,200	0,407	18,4
Ra-228 (über Ac-228)	0,001	0,017	0,104	0,525	13,5
Ac-228	0,001	0,017	0,104	0,525	13,5
Th-228	0,001	0,030	0,184	0,459	13,5
Ra-224	0,005	0,042	0,139	0,309	12,8
Pb-212	0,001	0,014	0,062	0,220	12,5
Bi-212	0,001	0,019	0,078	0,221	10,9
U-235	0,001	0,003	0,007	0,014	0,2
Th-231	alle < NWG				
Pa-231	alle < NWG				
Th-227	0,001	0,007	0,012	0,022	2,4
Ra-223	0,004	0,007	0,014	0,040	2,2
Pb-211	0,005	0,010	0,018	0,090	2,4
K-40	0,003	0,034	0,087	0,293	1,3

Die Medianwerte der untersuchten Radionuklide sind generell gering und schwanken im Bereich zwischen 0,007 und 0,2 Bq/g. Die höchsten Werte treten bei Pb-210 (0,2 Bq/g), Th-228 (0,18 Bq/g) und Ra-226 (0,18 Bq/g) auf. Die höchste Aktivität eines Nuklids im Schlamm wurde bei Ra-226 gemessen (46 Bq/g). Auch die Maxima der Folgeprodukte des Ra-226 weisen noch Werte zwischen 24,4 und 18,4 Bq/g auf. Höhere Werte werden ebenfalls bei Ra-228 und seinen Zerfallsprodukten gemessen (> 10 Bq/g). Die Werte der Uran-Actinium-Zerfallsreihe sind meist gering (Maximum 2,4 Bq/g). Th-231 und Pa-231 konnten in keinem der untersuchten Schlämme nachgewiesen werden.

Die Medianwerte und auch das obere Quartil (75%-Quantil) der gemessenen Aktivitäten liegen weit unter dem jeweiligen Maximalwert. Dies belegt, dass sehr hohe Aktivitäten nur in einigen wenigen Proben auftreten. Für die statistischen Auswertungen in Tab. 5 wurden nur Werte oberhalb der Nachweisgrenze berücksichtigt. Das Minimum gibt also den kleinsten bestimmbaren Wert des Datensatzes an. Im Gegensatz dazu wurde für die Darstellung der Häufigkeitsverteilungen (Histogramme) für Werte unterhalb der Nachweisgrenze die halbe Nachweisgrenze verwendet. Hier wird deutlich, dass viele Werte unterhalb und knapp oberhalb der Nachweisgrenze liegen. (Abb. 16 für Ra-226 und Abb. 17 für Ac-228, das der Aktivität von Ra-228 entspricht).

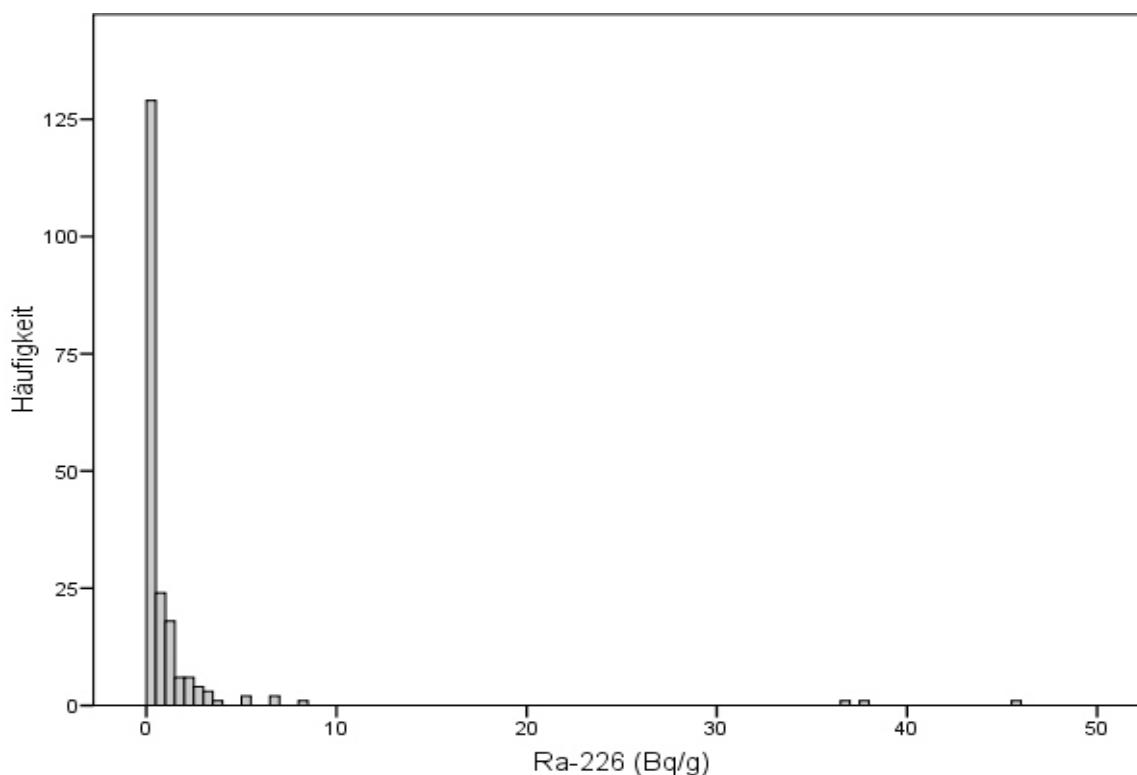


Abb. 16: Histogramm der Aktivitäten von Ra-226 in Bq/g

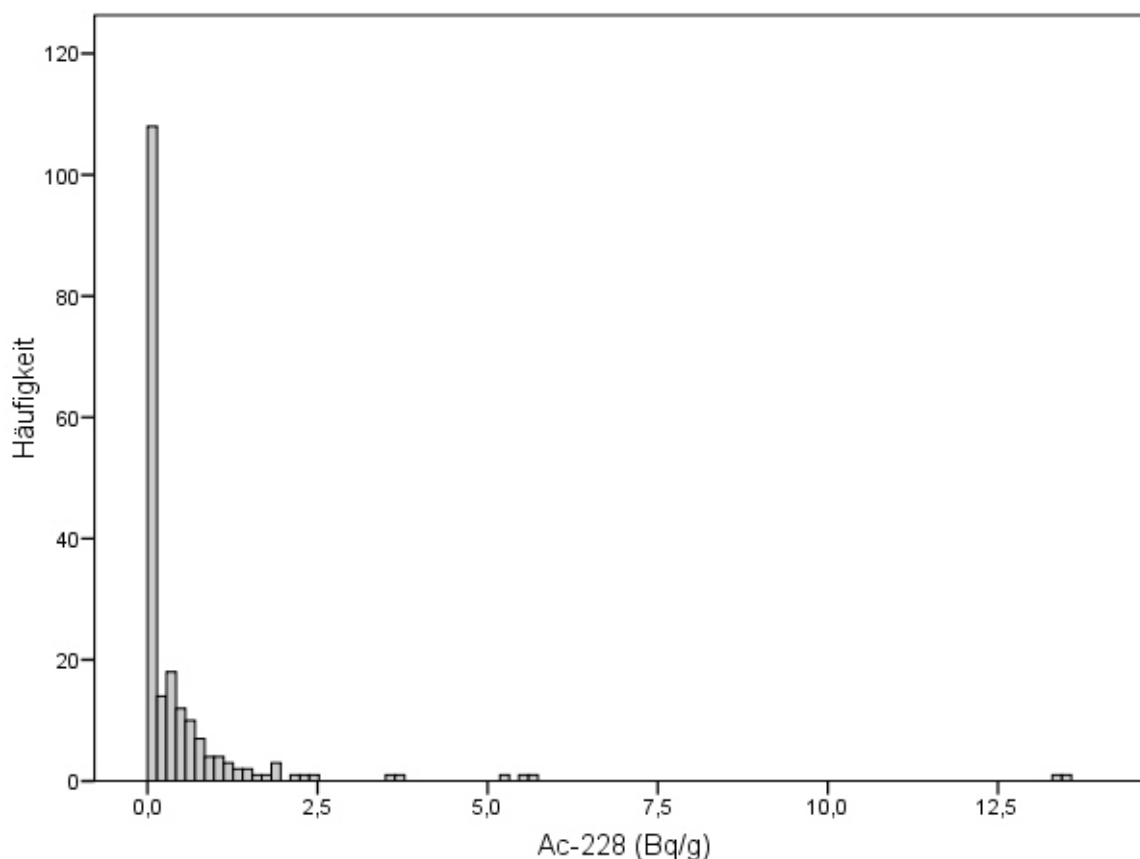


Abb. 17: Histogramm der Aktivitäten von Ac-228 in Bq/g (entspricht Ra-228)

Bei den Radionukliden der Zerfallsreihe U-238 fällt auf, dass sich die einzelnen Radionuklide nicht im Gleichgewicht befinden. Von U-238 bis Th-230 werden kaum messbare Aktivitäten festgestellt, während Ra-226 z. T. sehr hohe Aktivitäten aufweist (s. Messdaten in Anhang II). Auch die Zerfallsprodukte des Ra-226 befinden sich nicht im Gleichgewicht, da das Folgeprodukt Rn-222 aus dem System entweichen kann (sowohl im Schlamm vor Ort als auch in der Probe bei Vorbereitung und Messung im Labor). Im Gegensatz dazu befinden sich die Radionuklide der Zerfallsreihe Th-232 wegen ihrer kürzeren Halbwertszeiten in etwa im Gleichgewicht. Deshalb kann anstelle der gemessenen Aktivität von Th-228, das häufig von Röntgenlinien überlagert und schwer zu bestimmen ist, der Wert eines anderen Nuklids der Zerfallsreihe für die Auswertungen verwendet werden (Mutter- oder Tochternuklid). In der Daten-Tabelle im Anhang II ist der Original-Messwert angegeben. Die Aktivität von Ra-228 kann über das Tochternuklid Ac-228 bestimmt werden, da es sich bereits nach 60 Stunden mit dem Mutternuklid im Gleichgewicht befindet.

In den einzelnen Schlämmen dominieren meist die Produkte der Zerfallsreihe U-238 ab Ra-226. Auch Folgeprodukte der Zerfallsreihe Th-232 sowie K-40 können die höchsten Aktivitäten in den Schlämmen aufweisen (Tab. 6). Meist dominieren die Radionuklide Ra-226, Pb-210 und K-40, aber auch U-238 und Ac-228 sind häufig vorherrschend. Das sekundäre Maximum (Max 2) bilden neben Ra-226 und K-40 auch häufig die Radionuklide Ac-228 und Pb-210. An dritter Stelle (Max 3) treten neben Th-228 die Radionuklide Ra-226 und Ac-228 auf. Nur in seltenen Fällen sind die Radionuklide der Zerfallsreihe U-235 (Th-227, Pb-211) in einem Schlamm dominierend. Da sich das Radionuklid Ra-228 mit Ac-228 im Gleichgewicht befindet und über dieses bestimmt wird, gelten die Angaben für Ac-228 analog für Ra-228.

RADIONUKLID	Max 1	Max 2	Max 3
Anzahl_U-238	12	5	5
Anzahl_Th-234	2	6	11
Anzahl Pa-234m	0	4	4
Anzahl Th-230	0	2	2
Anzahl Ra-226	79	49	33
Anzahl Pb-214	1	8	24
Anzahl Bi-214	0	1	4
Anzahl Pb-210	53	23	5
Anzahl Ac-228/ Ra-228	13	49	33
Anzahl Th-228	6	17	42
Anzahl Ra-224	2	11	17
Anzahl Th-227	0	1	2
Anzahl Ra-223	0	1	1
Anzahl Pb-211	1	0	1
Anzahl K-40	39	26	13

Tab. 6: Dominierendes Radionuklid im Schlamm

Zur Abschätzung eines Mengen-Aktivitäts-Gerüsts wurde in Anlehnung an die Definition der Überwachungsgrenze in Anlage XII Teil B der StrlSchV die Summe der maximalen Aktivitäten der Zerfallsreihen U-238 und Th-232 berechnet. Die anfallenden Schlamm-Mengen wurden für verschiedene Aktivitätsbereiche aufaddiert (Tab. 7), so dass erkennbar wird, wie viel Schlamm mit entsprechenden Aktivitäten anfällt. Die Angabe der Schlamm-Mengen in m³/a bezieht sich dabei auf den vom Wasserversorger zu entsorgenden Dünnschlamm, der zu mindestens 50 % aus Wasser besteht. Aus den Daten wird deutlich, dass nur eine geringe Menge an Rückspülschlämmen, nämlich jährlich 0,6 m³, Aktivitäten über 50 Bq/g erreicht und dass die Schlämme in nur 3 Wasserwerken dieses Datensatzes (Hälfte der WVU in Bayern) anfallen. Die Menge entspricht etwa 0,005 % der Gesamtmenge. Hingegen haben 95,2 % der Schlämme (12.398 m³/a in 60 Wasserwerken) Aktivitäten unter 0,2 Bq/g. Schlämme mit Aktivitäten über 1 Bq/g fallen in 52 Wasserwerken an und betreffen etwa 1,75 % der Schlämme (222,6 m³/a).

Spez. Aktivität (Anlage XII B)	Menge [m ³ /a]	Menge [%]	Anzahl Proben
< 0,2 Bq/g	12398	95,2	60
0,2 - 1 Bq/g	397	3,1	62
1 - 10 Bq/g	207	1,6	46
10 - 50 Bq/g	15	0,1	3
> 50 Bq/g	0,6	0,005	3

Tab. 7: Aktivitäts-Mengen-Gerüst
(Dünnschlamm)

5 Entsorgung der Rückpülschlämme

5.1 Anfallende Schlamm-Mengen

In Bayern gibt es eine Vielzahl von meist kleinen Wasserversorgungs-Unternehmen, so dass sich die Schlamm-Mengen auf eine große Anzahl Wasserwerke verteilen. Dabei gibt es nur wenige große Wasserwerke, die eine Wassermenge von über 1 Mio m³/a fördern und aufbereiten (ca. 8 % der WVU). Das größte Wasserwerk im Datensatz dieser Untersuchung fördert jährlich 11,5 Mio m³, das kleinste 1000 m³/a. Der Median liegt bei einer jährlichen Fördermenge von 170.000 m³.

Die schlammhaltigen Wässer, die bei der Filterspülung anfallen, enthalten ungelöste Stoffe in überwiegend absetzbarer Form (LFW 2003). Schlamm fällt nur dort an, wo ein Absetzbecken für das Rückpülwasser vorhanden ist. Meist handelt es sich um einen Schacht mit einem trichterförmigen Schlammfang (Abb. 18 und 19). Der Schlammfang beträgt nach LFW (2003) etwa ein Viertel des Schachtvolumens. Häufig dient auch ein künstlicher Teich auf dem Gelände des Wasserwerks zur Sedimentation des Rückpülschlammes. In der Regel ist eine Absetzzeit von 24 Stunden ausreichend, bevor das überstehende Klarwasser abgeleitet werden kann. Gelegentlich kommen Schlammstapelbehälter mit Kammer-Filterpressen oder Filtercontainer zum Einsatz. Außer der Entwässerung als physikalischer Vorbehandlung wurde an den untersuchten Schlämmen keine Konditionierung durchgeführt.

Der abgesetzte oder entwässerte Schlamm wird in unregelmäßigen Abständen entsorgt. Die Häufigkeit der Entsorgung variiert stark je nach Größe des Wasserwerks und anfallender Schlamm-Menge. In einem großen WVU wird Schlamm aus der biologischen Nitrataufbereitung zur Betriebszeit des Wasserwerks stündlich der Kläranlage zugeführt. Im selben Wasserwerk wird Rückstand aus Branntkalk alle 2-3 Tage entsorgt und Rückstände aus der Entkarbonisierung alle 2-3 Wochen einer Verwertung zugeführt. Diese häufige Entsorgung stellt jedoch eine Ausnahme dar. Im Mittel werden die Schlämme nur alle 6 Jahre entsorgt: 25 % der Schlämme werden mindestens einmal pro Jahr entsorgt, 50 % liegen länger als 4 Jahre im Absetzbecken und 25 % der Schlämme sogar länger als 8 Jahre (Maximum: 36 Jahre).

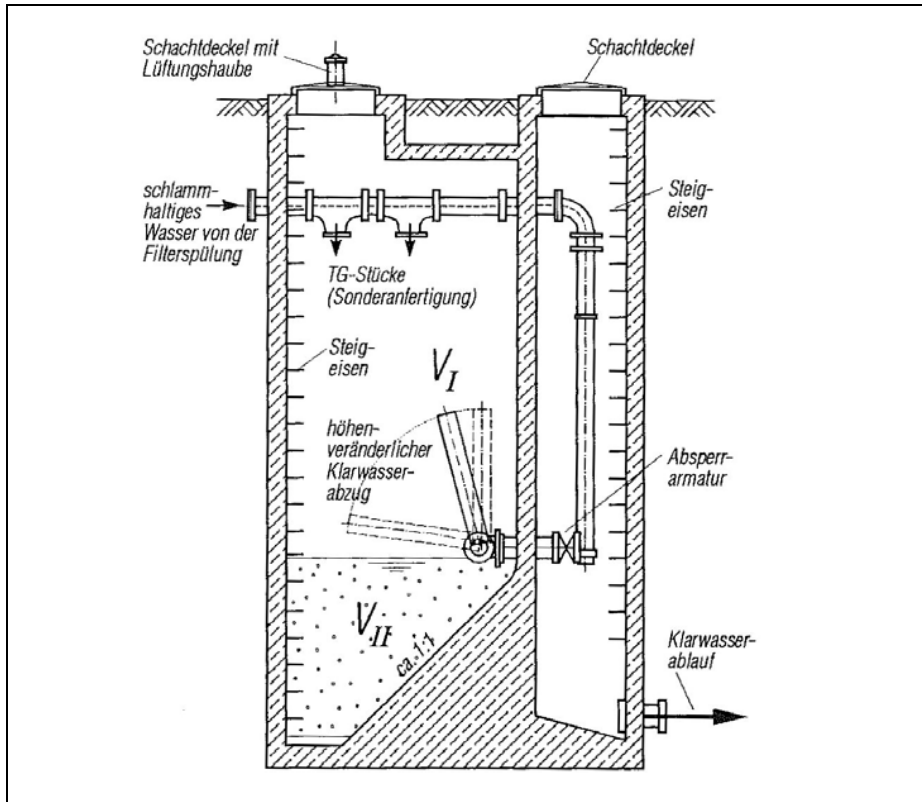


Abb. 18: Schnitt durch ein Absetzbecken (aus MUTSCHMANN & STIMMELMAYR, 2007)



Abb. 19: Entleertes Absetzbecken mit Schlammfang

Insgesamt fallen in den untersuchten Wasserwerken 13.031 m^3 Dünnschlamm im Jahr an. Davon werden $12.200 \text{ m}^3/\text{a}$ im oben genannten großen WVU produziert. Die restlichen $831 \text{ m}^3/\text{a}$ entfallen auf die übrigen 168 WVU. Der Median der anfallenden Schlamm-Mengen liegt bei $1,6 \text{ m}^3/\text{a}$.

In Anlehnung an die Einteilung von Wasserwerksrückständen im DVGW-Merkblatt W 221-3 (1999) können die Rückstände aus der Trinkwasseraufbereitung in bayerischen Wasserwerken in eisenhaltige Schlämme, kalkhaltige Schlämme aus der Entsäuerung (kalkhaltiges Filtermaterial wird mit ausgespült), Schlämme aus der Nitratentfernung und sonstige Aufbereitungsarten, die nur in wenigen Wasserwerken vorkommen (Aktivkohlefilter, mechanische Filter, Ultrafiltration und Ionenaustausch, Entkarbonisierung) aufgeteilt werden. Tab. 8 gibt die zugehörige jährlich geförderte Wassermenge, die jährlich anfallende Menge an Rückspülschlamm sowie die anfallende Schlamm-Menge (in Liter) pro m³ aufbereitetes Wassers wieder.

Tab. 8: Anfallende Schlamm-Mengen im untersuchten Datensatz

Schlammart	Geförderte Wasser-menge [m ³ /a]	Rückspül-Schlamm [m ³ /a]	Schlamm pro m ³ aufbereitetes Wasser [L]
Eisenhaltige Schlämme (häufig in Kombination mit Entfernung von Mangan, Arsen u.a.)	61.724.344	448	0,007
davon mit As	5.486.317	81	0,015
Kalkhaltige Schlämme aus der Entsäuerung	17.627.223	267	0,015
Schlämme aus der biologischen Nitrat-Entfernung (mit Flockungs-Hilfsmittel Fe-III-Cl) *)	500.000	9000	18
Sonstige (Aktivkohle, mechan. Filtration, Ionenaustausch, Ultrafiltration u.a.)	14.436.615	3316	0,23
davon Ionenaustauscher und Ultrafiltration (als einzige Aufbereitungsart)	3.296.400	16	0,005
davon kalkhaltige aus Entkarbonisierung und Rückstand aus Branntkalk *)	7.100.000	3200	0,45
Summe bzw. Durchschnitt (bei Schlamm/aufber. Wasser)	94.288.182	13031	0,25

*) fällt nur bei einem WVU an

Die größte Menge Schlamm (9.000 m³/a) wird bei der biologischen Nitrat-Entfernung (Denitrifizierung) produziert, bei der Eisen-III-Chlorid als Flockungs-Hilfsmittel zugegeben wird. Diese Art der Aufbereitung kommt allerdings im Datensatz nur einmal vor, so dass die Schlamm-Menge nur in einem WVU anfällt. Ebenso verhält es sich bei den großen Mengen an Rückständen aus der Entkarbonisierung (3.200 m³/a), die aus demselben Wasserwerk stammen. Weiter fällt eine nicht unerhebliche Menge an eisenhaltigen Schlämmen an (448 m³/a). Wie man an der hohen geförderten Wassermenge sieht, ist diese Aufbereitungsart weit verbreitet und kommt in zahlreichen Wasserwerken vor (s. Kapitel 3). In die Kategorie der eisenhaltigen Schlämme sind auch Kombinationen von Eisenentfernung mit Entfernung von Mangan, Arsen und anderen Aufbereitungsmethoden (Ionenaustausch, Aktivkohle, Ultrafiltration) mit eingerechnet. Der Anteil der arsenhaltigen Schlämme ist dabei gering (81 m³/a). Zahlreiche WVU betreiben Entsäuerungsanlagen (s. Kapitel 3), bei denen durch die Rückspülung auch kalkhaltiges Filtermaterial mit ausgetragen wird. Die dadurch entstehenden Rückspülschlämme ergeben 267 m³/a.

Betrachtet man die produzierte Menge an Dünnschlamm pro aufbereiteter Wassermenge, so fällt hier wieder vor allem die Nitrat-Aufbereitung mit 18 Litern Schlamm pro m^3 aufbereiteten Wassers ins Gewicht. Auch die Schlamm-Menge bei der Entkarbonisierung ist relativ hoch ($0,45 \text{ L/m}^3$ Wasser). Hier fällt außer dem aus dem Rohwasser entfernten Kalk noch Rückstand aus Branntkalk (Kalkwasseraufbereitung) an. Wegen des ausgespülten Filtermaterials ist auch bei Entsäuerungsanlagen die Schlamm-Menge pro Wasserdurchsatz ($0,015 \text{ L/m}^3$) relativ hoch. Die produzierten Schlamm-Mengen bei der Enteisenung/Entmanganung sind dagegen mit $0,007$ Liter pro m^3 Wasser sehr gering.

5.2 Entsorgungswege der Wasserwerks-Schlämme

Die Entsorgungswege für die Wasserwerks-Schlämme sind sehr vielfältig. Einen Überblick über die Prozesse bei der Entstehung und Entsorgung von Wasserwerks-Schlämmen, die im Rahmen des Projektes ermittelt wurden, gibt die Grafik in Abb. 20.

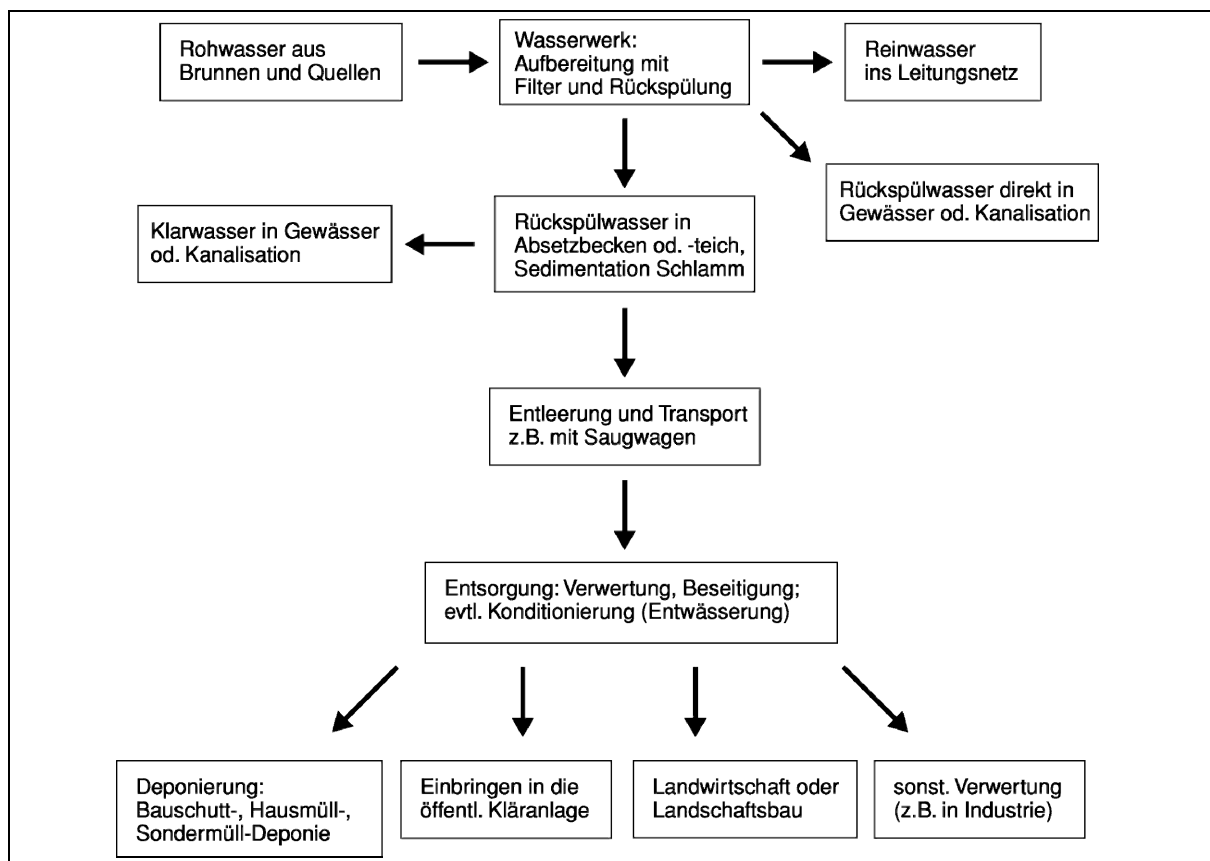


Abb. 20: Prozesse bei der Entstehung und Entsorgung von Wasserwerks-Schlämmen

Eine genaue Auflistung der Entsorgungswege, die mit Hilfe des Fragebogens (s. Anhang I) bei den WVU abgefragt wurden, ist in Tab. 9 angegeben. Abb. 21 zeigt die prozentuale Aufteilung der unterschiedlichen Entsorgungswege (prozentual bezogen auf die Schlamm-Menge). Der größte Teil der Schlämme wird über kommunale Kläranlagen (25,6 %) entsorgt. Den zweitgrößten Anteil erhalten Restmülldeponien (23,3 %). Alle Deponie-Arten zusammen erhalten einen Anteil von etwa 33 %. Viele Schlämme werden auch über zertifizierte Entsorgungsfirmen entsorgt, die sie häufig gemeinsam mit anderen Abfällen beseitigen oder einer weiteren Verwertung zuführen. Die extrem hohen Schlamm-Mengen eines großen Wasserwerks wurden für die grafische Darstellung herausgenommen. 11.000 m^3 Schlamm pro Jahr aus diesem WVU werden in die kommunale Kläranlage eingebracht, weitere $1.200 \text{ m}^3/\text{a}$ werden einer Verwertung in der Papierindustrie zugeführt.

Tab. 9: Entsorgung der untersuchten Schlämme

Entsorgung	Anzahl WVU	Menge [m ³ /a]
Deponie (nicht näher spezifiziert)	17	49
Sondermüll-Deponie (DK III)	5	2
Restmüll-/Hausmülldeponie (DK I+II)	9	189
Bauschutt-/Erdaushubdeponie (DK 0)	10	29
Kläranlage	31	11207
Entsorgungsfirma	29	165
Landwirtschaft	11	66
Verwertung *)	3	1218
Straßen-/Wegebau	1	5
Verfüllung Kiesgrube	1	0,05
keine Angabe bzw. noch nicht bekannt	61	82
Rücknahme durch Lieferant (Aktivkohle)	1	keine Angaben
Gewässer/Graben/Versickerung (ohne Absetzbecken)	12	nicht bekannt
Kanalisation (ohne Absetzbecken)	11	nicht bekannt

*) Verwertung: Papierindustrie (1200 m³/a), Heizkraftwerk, Vergärungsanlage

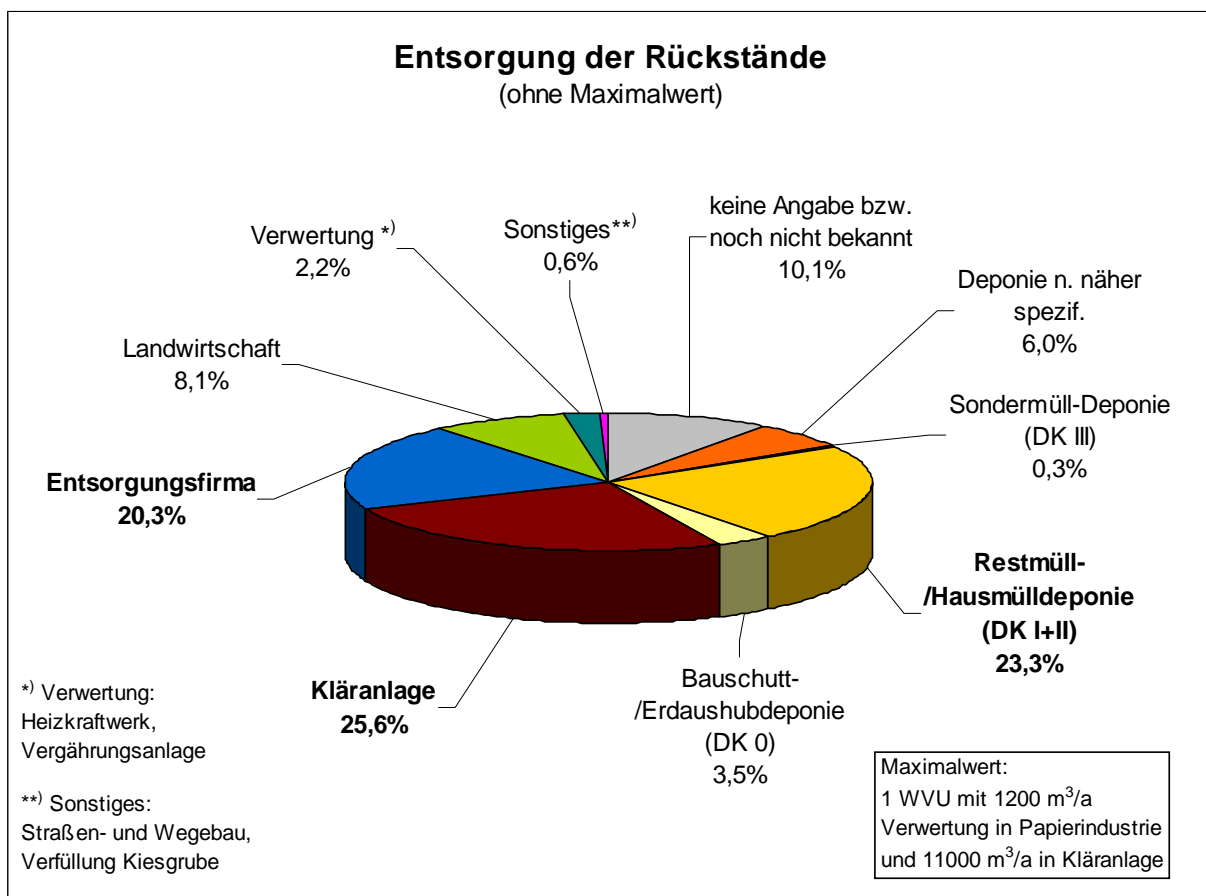


Abb. 21: Prozentuale Verteilung der Entsorgungswege

Im Folgenden werden die wichtigsten Entsorgungswege näher erläutert.

Entsorgung in der Kläranlage

Die Schlämme werden mit Hilfe eines Saugwagens aus dem Absetzbecken entfernt (Abb. 22 und 23) und zur kommunalen Kläranlage transportiert, wo sie in den Kläranlagen-Einlauf eingebracht werden. Nach DVGW W 221-3 (1999), DVGW W 222 (1999) und ATV-M 273 (1999) sind eisenhaltige Schlämme in der Kläranlage erwünscht, da sie Sulfide und Phosphate binden können. Somit kann dieser Entsorgungsweg auch als Verwertung angesehen werden. Da das Eisen in diesen Schlämmen vorwiegend als Eisen-Hydroxid vorliegt, dürfte der Effekt der Sulfid- bzw. Phosphatbindung jedoch geringer sein als beim Einsatz handelsüblicher Fällmittel (ATV-M 273, 1999). Zumindest ist das Einbringen der Schlämme in die Kläranlage auch von Seiten der Wasserwirtschaft und Abfallwirtschaft nicht unerwünscht. Die Radionuklide, die mit dem Wasserwerksschlamm in die Abwasser-Aufbereitungsanlage eingebracht werden, werden durch den restlichen Klärschlamm verdünnt, so dass sie im Klärschlamm kaum noch nachweisbar sind (MALLICK 2006). In Bayern wurden im Jahr 2006 (BAYLFU 2007a) noch ca. 21 % der Klärschlämme in der Landwirtschaft entsorgt, etwa 35 % wurden einer sonstigen stofflichen Verwertung zugeführt (z. B. Rekultivierung oder Landschaftsbau, vorwiegend außerhalb Bayerns) und rund 44 % der Klärschlämme wurden thermisch-energetisch verwertet. Die Entsorgung in der Landwirtschaft soll in Zukunft eingestellt werden, die Verbrennung nimmt hingegen stetig zu.



Abb. 22: Saugwagen zur Entleerung des Absetzbeckens



Abb. 23: Entleerung des Absetzbeckens

Entsorgung in der Land- und Forstwirtschaft

Das Ausbringen von Wasserwerksschlämmen auf landwirtschaftlich oder forstwirtschaftlich genutzten Flächen kann für den Boden von Nutzen sein: Kalkhaltige Schlämme haben eine positive Einwirkung auf den pH-Wert saurer Böden, eisenhaltige Schlämme sollen die Wasserkapazität von Ackerböden verbessern. Auch eine Zunahme der Biodiversität wurde durch das Aufbringen von Wasserwerksschlämmen (nach Korrektur um reine pH-Wert-Effekte) in fast allen behandelten Böden festgestellt (SCHNEIDER & ZIMMERMANN 1996). Tatsächlich werden jedoch nur 8 % der Schlämme in der Land- und Forstwirtschaft entsorgt. Meist handelt es sich um kalkhaltige Schlämme aus der Entsäuerung.

Bei einer direkten Entsorgung der Rückspülschlämme auf landwirtschaftlichen Flächen wird der Schlamm stark mit Wasser verdünnt (95 % Wasser, 5 % Feststoff). Meist wird er mit Tauchpumpen aus dem Absetzbecken gesaugt und mit Hilfe eines Güllefasses ausgebracht. Auch das Einbringen in Güllegruben und damit das Vermischen mit Gülle ist gebräuchlich. Ein Güllefass hat eine Größe von 8 – 18 m³, die Fläche und damit auch die Ausbringungsrate pro Flächeneinheit variiert stark, so dass keine einheitlichen Angaben für diesen Entsorgungsweg gemacht werden können. Von einem nicht genutzten Feld, auf das in den vergangenen Jahren ein eisenhaltiger Rückspülschlamm aufgebracht wurde, wurden der Ackerboden und der Grasbewuchs beprobt und auf Radionuklidgehalte untersucht. Bei der Grasprobe waren alle untersuchten Radionuklide unterhalb der Nachweisgrenze, bei der Ackerprobe wurden die Werte des unbelasteten Ackerbodens des Nachbarfeldes nicht überschritten. Es war hier somit keine Beeinflussung durch die Radionuklidgehalte des Wasserwerks-Schlammes feststellbar. Für diesen Schlamm, wie für die meisten eisenhaltigen Schlämme, die bisher auf landwirtschaftlichen Flächen entsorgt wurden, ist in Zukunft ein anderer Entsorgungsweg geplant.

Entsorgung über fachkundige Firmen (Entsorgungsfirmen)

Die Entsorgungsfirma entscheidet über den Entsorgungsweg nach einer Deklarationsanalyse des WVU (s. Kapitel 5.3). Wegen der geringen Mengen an angelieferten Wasserwerksschlämmen werden diese häufig gemeinsam mit anderen Abfällen, z. B. Spülgut aus der Kanalreinigung, entsorgt. Durch die Mischung werden die Radionuklide verdünnt und die Aktivitätskonzentration verringert. Die gemischten Abfälle werden auf Deponien gebracht oder in Bodenbehandlungsanlagen bearbeitet (biologische, thermische, trockenmechanische Verfahren, Waschverfahren, Fraktionierung/Siebung).

Nicht belastete Reste der Mischabfälle (z. B. Sande) können somit wiederverwertet werden. Den WVU ist deshalb oft nicht bekannt, wie und wohin die Schlämme letztlich entsorgt wurden.

Sonstige Verwertungswege

Schlämme aus der Entkarbonisierung können in der Regel in der Industrie verwertet werden. Das ausgefällte Kalziumkarbonat (CaCO_3) wird eingedickt und z. B. als Weißmacher in der Papierindustrie oder als Füllstoff für Dispersionsfarben eingesetzt. Rückstände mit hohem Gehalt an organischer Substanz (insbesondere Aktivkohlen) sind für eine Verbrennung geeignet (Müllheizkraftwerk). Auch in Vergärungsanlagen werden Rückspülschlämme aus der Wasseraufbereitung bei entsprechender Eignung verwertet. Eine Entsorgungsfirma gab auf Nachfrage über den Verwertungsweg eines Rückspülschlammes das Verwertungsverfahren „R3“ nach Anhang II Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG 2000) an. Es handelt sich um die „Verwertung oder Rückgewinnung organischer Stoffe, die nicht als Lösungsmittel verwendet werden (einschließlich der Kompostierung und sonstiger biologischer Umwandlungsverfahren)“.

Beseitigung auf Deponien

Die auf der Deponie angelieferten Abfälle müssen stichfest sein, d. h. die wasserhaltigen Rückspülschlämme müssen vor der Ablagerung zusätzlich zur Sedimentation im Absetzbecken entwässert werden, z.B. über eine Kammerfilter-Pressen oder einen Siebcontainer. Eine Zugabe von Hilfsstoffen zur Entwässerung (z. B. Flockungsmittel) findet bei Wasserwerksschlämmen in der Regel nicht statt. Das Material, das an der Deponie angeliefert wird, wird zunächst gewogen. Durch Sichtkontrolle wird von einem Deponiearbeiter geprüft, ob das angegebene Material angeliefert wurde. Es wird eine Abfall-Schlüssel-Nummer nach dem Europäischen Abfallkatalog (EAK 1996) vergeben. Für Wasserwerksschlämme sind die Schlüssel-Nummern mit den Anfangsziffern 1909* vorgesehen („Abfälle aus der Zubereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch oder industriellem Brauchwasser“). Aus dem Jahresbericht der Deponiebetreiber an das LfU ist ersichtlich, welche Mengen an Schlämmen aus der Trinkwasseraufbereitung jährlich auf bayerischen Deponien angeliefert werden. In den Jahren 2000 bis 2005 wurden insgesamt 1.271 t Abfälle deponiert, die mit der EAK-Schlüssel-Nr. 1909* deklariert waren. Das sind im Mittel jährlich 212 t. Tab. 10 zeigt die Menge der jährlich deponierten Schlämme und Rückstände nach EAK-Schlüssel-Nummern (gemittelt aus den Werten der Jahre 2000 bis 2005), Abb. 24 gibt die prozentuale Aufteilung wieder.

Abfallart	Menge [t/a]	Prozent [%]
Feste Abfälle aus der Erstfiltration und Siebrückstände	54	25,6
Schlämme aus der Wasserklärung	130	61,4
Schlämme aus der Dekarbonisierung	5	2,3
Gebrauchte Aktivkohle	23	10,7
Gesättigte oder gebrauchte Ionenaustauscherharze	0,03	0,02
Summe	212	100

Tab. 10: Mengen der jährlich deponierten Wasserwerksschlämme (gemittelt, 2002 bis 2005)

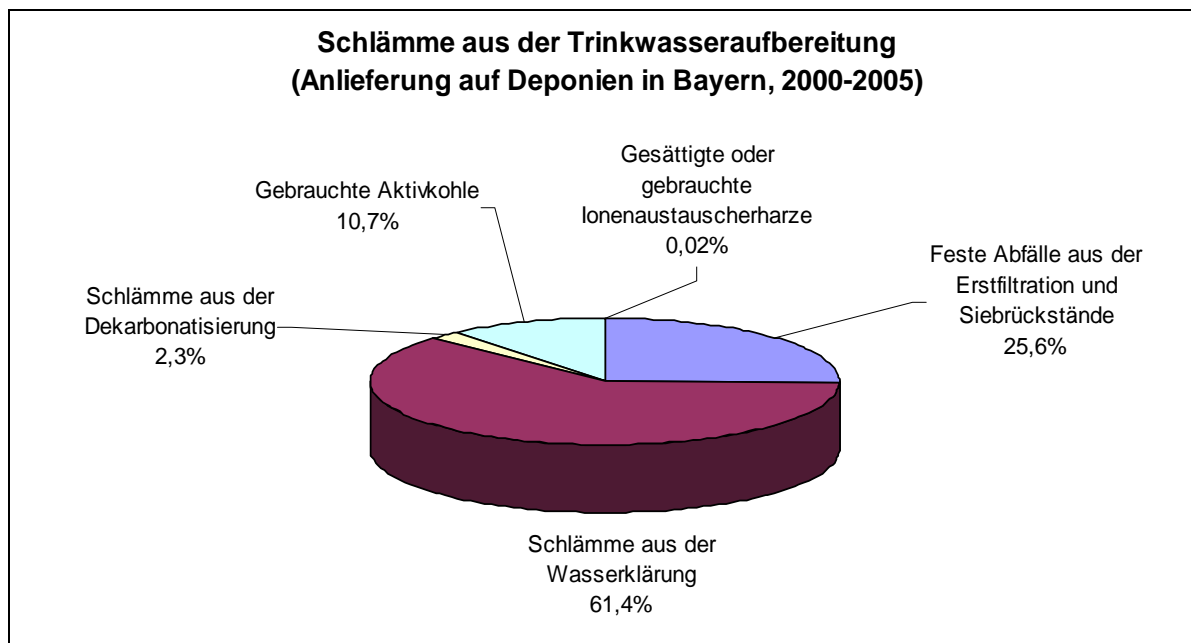


Abb. 24: Prozentuale Verteilung der deponierten Schlämme und Rückstände

Aufgrund der o. g. Mischungen werden viele Abfälle, die Wasserwerksschlämme enthalten, nicht als solche deklariert. Häufig werden auch falsche Abfallschlüssel-Nummern vergeben. Diese Schlämme sind somit in den angegebenen Werten nicht enthalten. Die Auswertung der Fragebogen hat ergeben, dass auf den Deponien sämtlicher Deponieklassen (inkl. Bauschutt-Deponie) in diesem Teilprojekt 269 m³/a Dünnschlamm entsorgt werden. Für das gesamte Projekt (etwa die doppelte Menge) wären es 538 m³/a Dünnschlamm. Da der Dünnschlamm vor der Deponierung jedoch entwässert werden muss, ist die tatsächliche Menge geringer. Eine Trocknung der Schlämme erfolgt nicht, da sonst die Gefahr der Verwehung und Staubbildung bestünde.

Entsorgung des Klarwassers

Das nach der Sedimentation im Absetzbecken überstehende Klarwasser wird meist in ein Gewässer eingeleitet (bei 75,3% der WVU, s. Tab. 11 und Abb. 25). Bei etwa 10 % der WVU wird das Klarwasser in die öffentliche Kanalisation eingeleitet. Die Versickerung des Klarwassers zur Grundwasseranreicherung wird von der Wasserwirtschaft als sinnvolle Möglichkeit erachtet und von 7,5 % der WVU durchgeführt. Eine Rückführung des Klarwassers in die Aufbereitung ist wegen der Schonung der Grundwasser-Ressourcen und Minimierung des Abwasseranfalls ebenfalls eine sinnvolle Lösung. Das Wasser muss allerdings vor der Rückführung meist entkeimt werden. Von den untersuchten WVU wird das Klarwasser bei 3,4 % der Wasserwerke zurück gewonnen, weitere 3,4 % haben keine Angaben zur Entsorgung ihres Klarwassers gemacht.

Klarwasser	Anzahl WVU	Prozent
Kanalisation	18	10,3
Gewässer	131	75,3
Rückführung	6	3,4
Versickerung	13	7,5
keine Angaben	6	3,4

Tab. 11: Entsorgung des Klarwassers

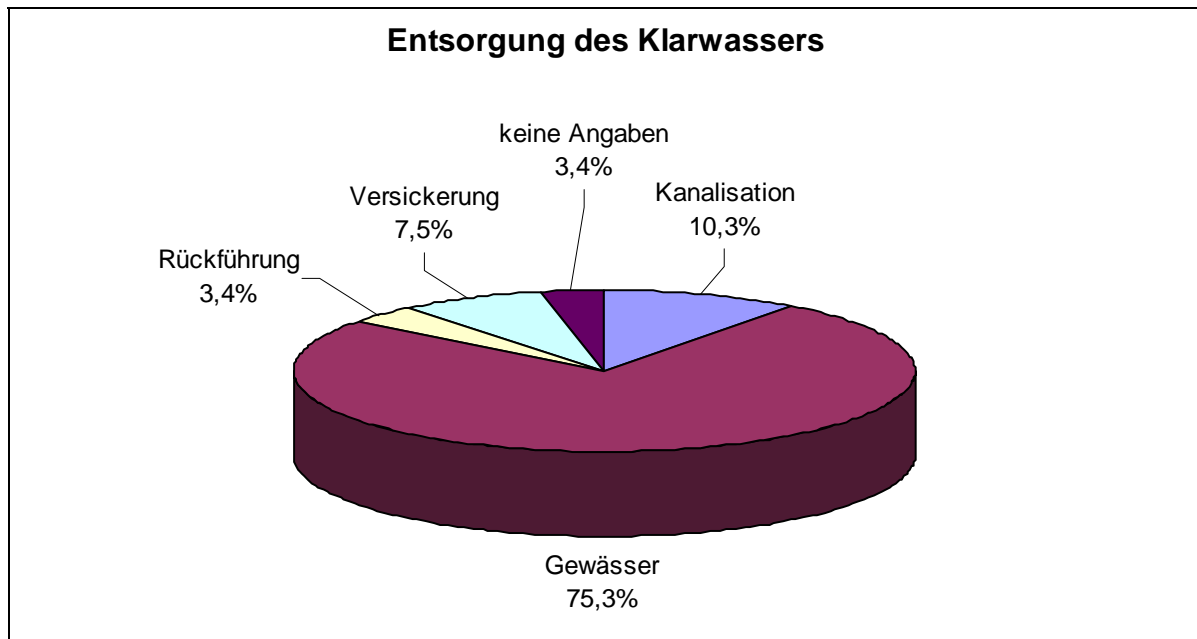


Abb. 25: Prozentuale Verteilung der Klarwasser-Entsorgung

5.3 Abfallrechtliche Rahmenbedingungen

Die in einem Absetzbecken sedimentierten Schlämme sind abfallrechtlich nicht gefährliche Abfälle, so dass ein Entsorgungsnachweis nicht erforderlich ist. Auch Mischungen mit anderen Abfällen kommen vor. Deshalb ist oft nicht mehr nachvollziehbar, wohin die Wasserwerksschlämme letztlich entsorgt wurden.

Grundsätzlich sollen Rückstände und Nebenprodukte aus der Wasseraufbereitung in erster Linie vermieden werden (DVGW W 221-1, 1999). Unvermeidbare Rückstände sind in zweiter Linie zu verwerten. Hierbei sind die Vorgaben des Abfallrechts zu berücksichtigen (z.B. Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz 2000, TA Siedlungsabfall 1993). Nicht verwertbare Rückstände sind umweltschonend zu behandeln und zu beseitigen. Dazu wurde vom DVGW ein umfassendes Regelwerk ausgearbeitet (DVGW W 221-1 bis -3, 1999).

Vorgaben, ob die Feststoffe im Rückspülwasser (Schlammwasser) aus der Trinkwasseraufbereitung in einem Absetzbecken sedimentiert werden müssen, befinden sich in der Abwasserverordnung (AbwV 2004), Anhang 31. Demnach darf für das Einleiten in öffentliche Abwasseranlagen (Kanalisation) das Schlammwasser nicht mehr als 50 mg/L abfiltrierbare Stoffe enthalten. Zum Einleiten in oberirdische Gewässer muss für die abfiltrierbaren Stoffe ein Wert von 100 mg/L eingehalten werden (LFW 2005). Besondere Vorgaben gibt es auch für andere Inhaltsstoffe des Schlammwassers, etwa für Arsen, das einen Wert von 0,1 mg/L weder für die Einleitung in oberirdische Gewässer noch für das Einleiten in die öffentliche Abwasseranlage überschreiten darf. Die direkte Einleitung in oberirdische Gewässer stellt eine Benutzung im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes dar (WHG 2002, § 2 und 7; LFW 2003). Einleiten in eine öffentliche Abwasseranlage (Indirekteinleitung) bedarf der Genehmigung der Kreisverwaltungsbehörde (Landratsamt) nach Art. 41c BayWG (1994).

Entsorgung auf einer Deponie

Für die Zuordnung des Abfalls zu einer Deponieklasse sind die Inhaltsstoffe entscheidend. Der Abfallerzeuger kontaktiert den Abfallentsorger und beschreibt seinen Abfall nach Art und Menge, eventuell mit einer Deklarations-Analyse. Für die Deponierung wird häufig die Analyse der Eluierbarkeit mit Wasser (S4-Eluat, nach DIN 38414-S4, 1984) oder ein Königswasser-Aufschluss verwendet.

Für die unterschiedlichen Deponieklassen gibt es unterschiedliche rechtliche Vorschriften und Regelwerke (Tab. 12). Für Bauschutt- oder Inertabfall-Deponien ist die Deponieverordnung (DepVO 2002) maßgeblich. Zuordnungswerte für Bauschutt-Deponien befinden sich auch in LFU (2007). Für Deponien der Klasse I und II gilt die Abfall-Ablagerungs-Verordnung (AbfAbIV 2001) bzw. die TA Siedlungsabfall (1993). Für Sondermülldeponien gilt ebenfalls die Deponieverordnung bzw. die TA Abfall (1991).

Da für nicht gefährliche Abfälle kein Entsorgungsnachweis erforderlich ist, wird von den Deponiebetreibern der DK 0 bis II nur ein Anlieferschein über die Annahme ausgestellt, der die Abfallart mit der EAK-Schlüssel-Nummer und die Menge des angelieferten Materials enthält. Ein kompletter Entsorgungsnachweis ist nur bei Beseitigung auf Sondermülldeponien erforderlich.

Tab. 12: Deponieklassen

Deponie-Klasse	DK 0	DK I	DK II	DK III
Art Deponie	Bauschuttdeponie/ Inertabfalldeponie	Hausmülldeponie	Hausmülldeponie	Sonderabfalldeponie
Abfall-Art	nicht gefährliche Abfälle	nicht gefährliche Abfälle	nicht gefährliche Abfälle	gefährliche Abfälle
Abdichtung	geologische Barriere (Kf-Wert 10^{-7} m/s, z.B. Tonschicht)	Basisabdichtung, mineralisch (Tonschicht mind. 1 m)	Basisabdichtung, mineralisch (mind. 1 m) und Kunststoffabdichtung	Basisabdichtung besondere Vorschriften: Tonschicht mind. 5 m und Kunststoffabdichtung
Rechtsgrundlage/ Zuordnungswerte	Deponie-Verordnung (DepVO)	Abfall-Ablagerungs- Verordnung (AbfAbIV)	Abfall-Ablagerungs- Verordnung (AbfAbIV)	Deponie-Verordnung (DepVO)
Besondere Anforderungen	entwässert (stichfest)	entwässert (stichfest)	entwässert (stichfest)	entwässert (stichfest), Entsorgungs-Nachweis (s. Abfallnachweis-VO)

Entsorgung in der Kläranlage

Detaillierte Vorgaben für die Entsorgung der Wasserwerksschlämme in der Kläranlage befinden sich im Merkblatt DVGW W 222 (1999). Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass die Schlämme keine Schwermetalle (insbesondere Arsen) enthalten, da dadurch eine Ausbringung des Klärschlammes auf landwirtschaftliche Flächen ausgeschlossen ist. Generell gilt die Klärschlamm-Verordnung (AbfKlärV 1992) für die Entsorgung der Klärschlämme.

Verwertung

Eine mögliche Verwertung unterliegt den Bestimmungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG 2000). Der Vermeidung und Verwertung von Abfällen wird generell vor der Deponierung Priorität eingeräumt (DVGW W 221-1 und W 221-3, 1999).

Entsorgung in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau

Eine direkte Entsorgung von Rückspülschlämmen auf landwirtschaftlichen Flächen muss den Anforderungen der Klärschlammverordnung (AbfKlärV 1992) genügen. §§ 3-8 sind für Wasserwerksschlämme anzuwenden. Umfangreiche Untersuchungen des Schlammes sowie des Bodens, auf dem der Schlamm ausgebracht werden soll, sind durchzuführen. Es dürfen innerhalb von drei Jahren maximal 5 t Trockenmasse pro Hektar aufgebracht werden (entspricht 1,7 t pro Hektar und Jahr). Für eine Verwendung im Landschaftsbau gelten die Vorsorgewerte nach § 12 und Anhang 2, Nr. 4 der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodschV, 1999).

5.4 Zusammensetzung der untersuchten Schlämme

Im Rahmen des Projektes wurden in 149 Schlammproben die Schwermetalle und Spurenstoffe mit Hilfe der Röntgen-Fluoreszenz-Analyse (RFA) sowie der Gehalt an organischem Kohlenstoff bestimmt (s. Kapitel 2). Die Maxima, Minima und Medianwerte der Ergebnisse, unterteilt nach den wichtigsten Aufbereitungsarten (Entsäuerung, Eisenhaltige Schlämme, Sonstige) sind in Tab. 13 zusammengefasst. Die vollständigen Analysenwerte befinden sich in Anhang III.

Tab. 13: Deskriptive Statistik der Inhaltsstoffe der Wasserwerks-Schlämme

[Werte in mg/kg]	Entsäuerung			Eisenhaltige			Sonstige		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max
Al	17200	43150	177000	15200	29000	64400	19000	30200	45200
As	5	9	412	5	181	8330	6	13	11800
Ba	56	192	991	53	1230	5930	94	312	1450
Ca	3520	361000	430000	2870	41500	419000	25100	69250	439000
Cd	5	10	103	5	9	429	-	-	-
Cr	20	34	143	22	74	277	33	47	53
Cu	8	41	1620	6	38	2350	8	75	1190
Fe	2140	6845	510000	2140	254000	509000	2720	16850	329000
K	1620	6925	20700	1680	4745	33700	5770	11250	18600
Mg	2240	5340	108000	2020	4190	89800	3040	4445	117000
Mn	159	869	23900	192	21000	394000	640	1020	2460
Mo	-	-	-	16	25	46	-	-	-
Ni	17	59	616	15	30	587	15	26	37
P	322	845	15700	339	4450	39800	303	971	10000
Pb	10	19	275	10	26	1610	10	21	26
S	617	853	3080	503	987	4320	773	4515	5450
Si	20400	40200	249000	21400	57800	205000	44500	68900	229000
Sr	17	76	370	13	229	2150	64	230	520
Ti	1010	1720	4340	1140	1780	3790	2000	2020	2920
U	10	14	190	10	16	45	10	13	17
W	11	11	18	13	15	756	18	18	18
Zn	22	84	4230	25	143	37200	22	38	262
TOC	1100	6900	730000	2400	8900	430000	-	-	-

In **Schlämmen aus der Entsäuerung** dominiert das Kalzium (Abb. 26 und 27) mit 76 %, was auf den Austrag des kalkhaltigen Filtermaterials bei der Rückspülung zurück zu führen ist. Bei geringen pH-Werten im Rohwasser wird auch Aluminium aus dem Gestein gelöst und bei der Entsäuerung mit entfernt, so dass Aluminiumgehalte in den Schlämmen bis zu 177.000 mg/kg erreichen. Bei der prozentualen Verteilung (Medianwerte) hat Aluminium einen Anteil von 9 %. Silizium kommt ebenfalls häufig vor und dürfte auf ausgespülten Sand von Silikatgesteinen (Sandsteine, Gneise, Granite usw.) zurückzuführen sein. Eisen, Kalium und Magnesium, die in Silikatgesteinen häufig vorkommen, sind mit 1-2 % vertreten, organische Anteile bilden 1,5 % der analysierten Inhaltsstoffe. Spurenmetalle (z. B. Cadmium, Kupfer, Chrom, Nickel und Zink) können in den Schlämmen aus der Entsäuerung auftreten, ebenso gelegentlich höhere Urangehalte (Abb. 30).

Die wichtigsten anorganischen Stoffe in den **eisenhaltigen Schlämmen** sind – neben dem Eisen mit rund 59 % – das Silizium (13 %) sowie Kalzium (10 %), Aluminium (7 %) und Mangan (5 %) (Abb. 26 und 28). Silizium, Kalzium und Aluminium sind wahrscheinlich auf ausgespülte Partikel des grundwasserleitenden Gesteins zurückzuführen, während Mangan mit dem Eisen gefällt wird. Häufig treten höhere Arsengehalte auf (max. 8330 mg/kg), die ebenfalls durch Kopräzipitation mit den Eisenoxiden hervorgerufen werden. Auch organische Stoffe und zahlreiche andere Metalle und Spurenstoffe wie Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink können in den Schlämmen vorkommen (Abb. 31).

In der Rubrik der „Sonstigen Schlämme“ sind sehr unterschiedliche Schlämme aus der Nitratentfernung, der Entkarbonisierung, des Ionenaustausches, Sandfiltration und Aktivkohlefiltration sowie Ultrafiltration zusammen gefasst. Dem entsprechend sind auch die Werte vielfältig und müssen im Einzelfall interpretiert werden. Der Vollständigkeit halber seien die Werte und Grafiken für diese Schlämme hier jedoch aufgeführt (Abb. 26, 29, 30).

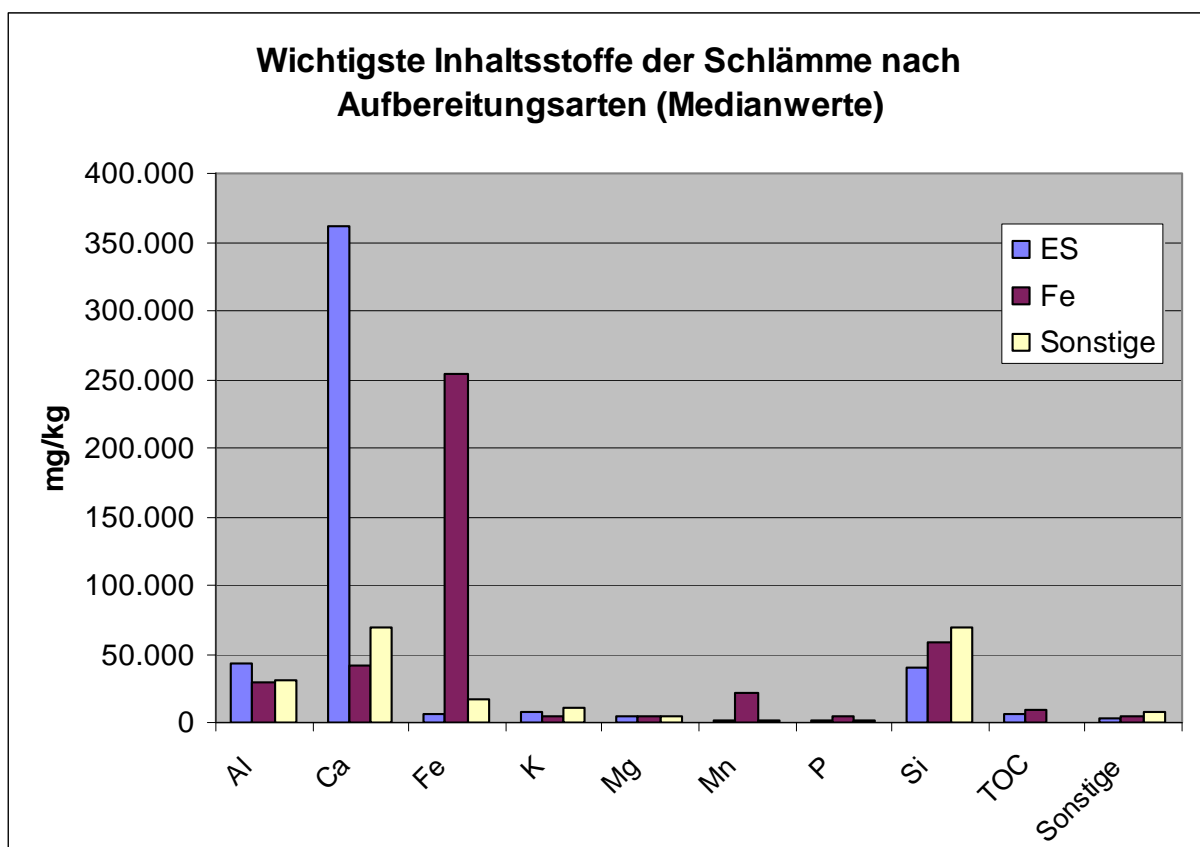


Abb. 26: Wichtigste Inhaltsstoffe der Schlämme nach Aufbereitungsarten

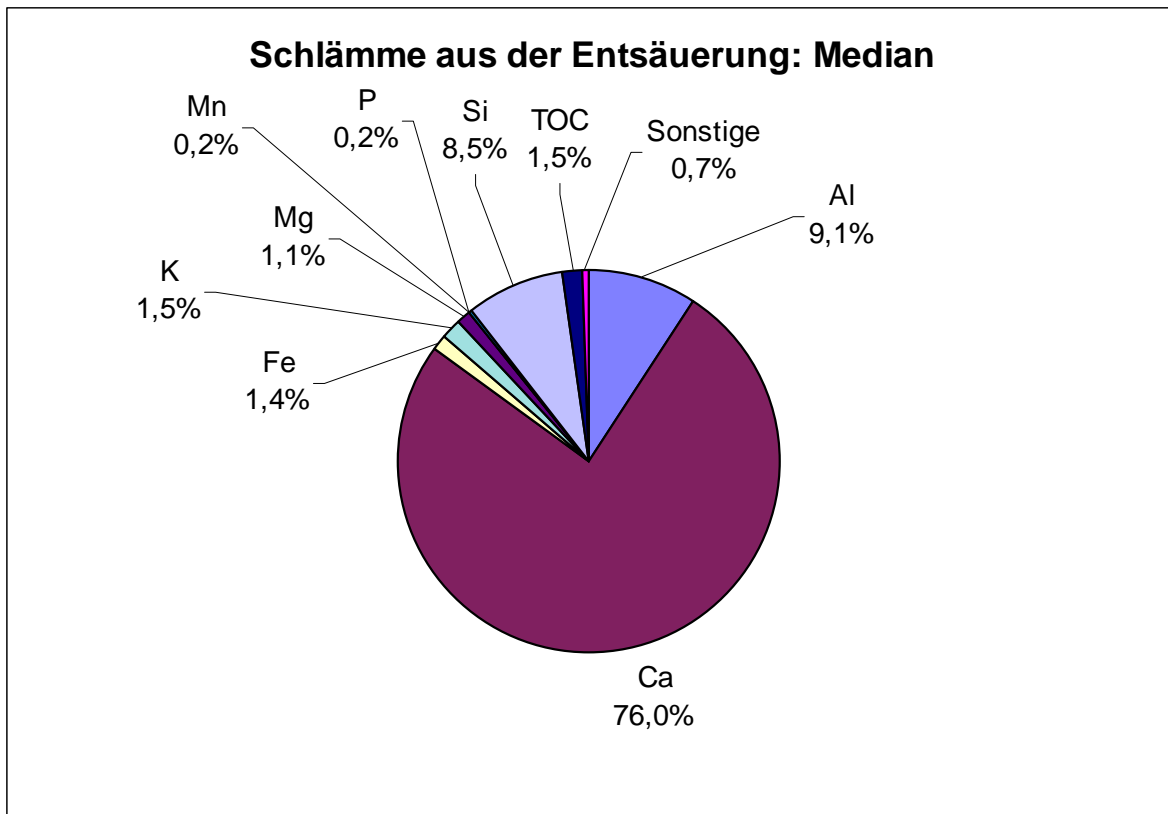


Abb. 27: Prozentuale Verteilung der Inhaltsstoffe – Schlämme aus der Entsäuerung

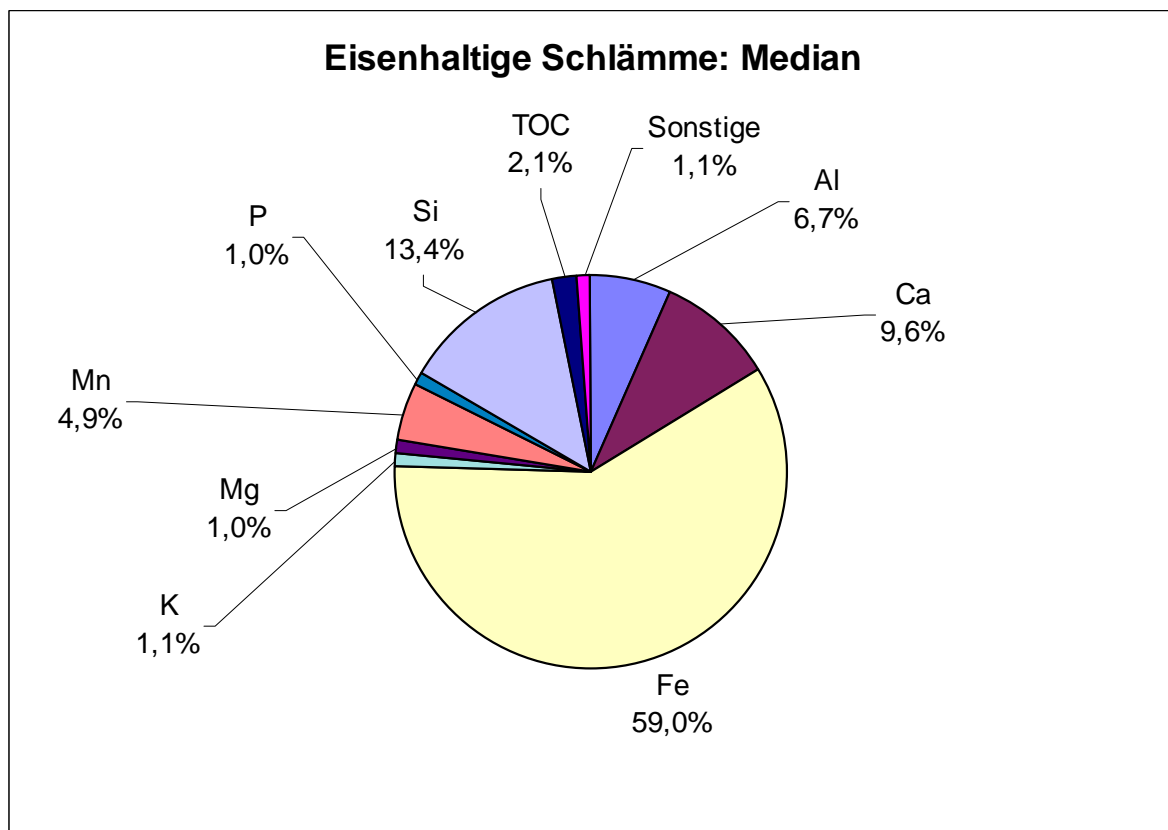


Abb. 28: Prozentuale Verteilung der Inhaltsstoffe – eisenhaltige Schlämme

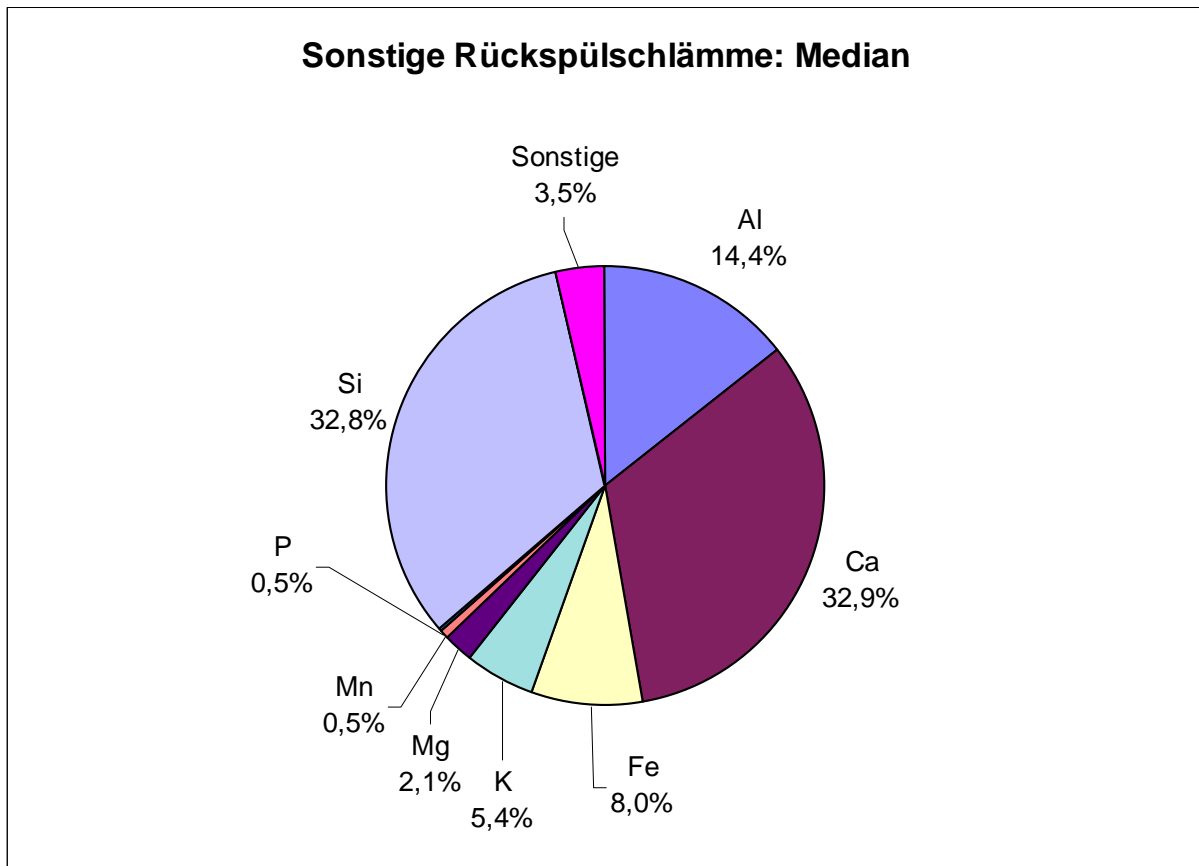


Abb. 29: Prozentuale Verteilung der Inhaltsstoffe – sonstige Schlämme

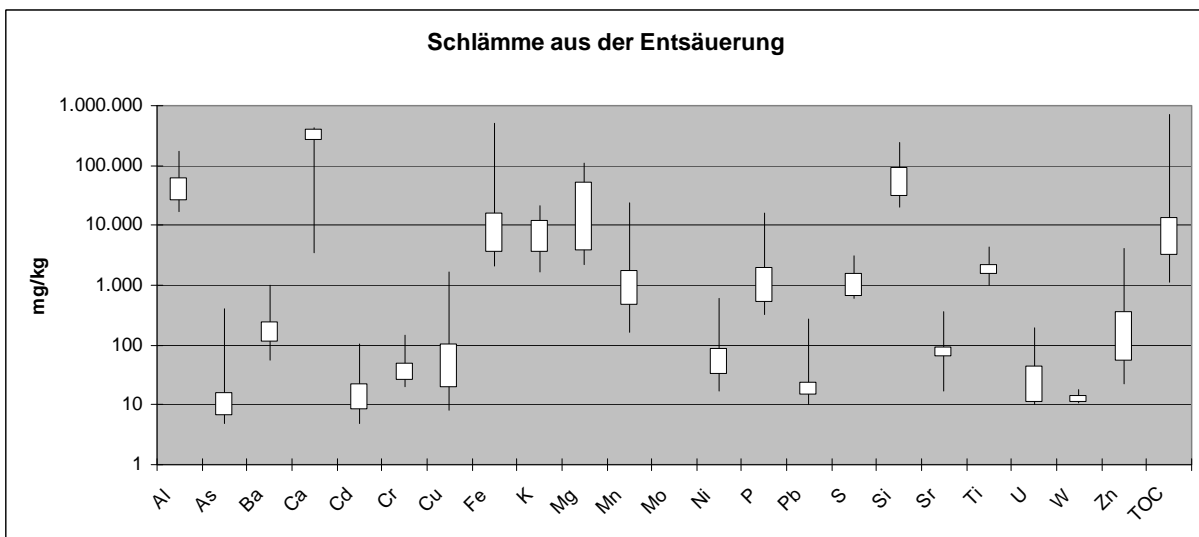


Abb. 30: Konzentration der Inhaltsstoffe – Schlämme aus der Entsäuerung

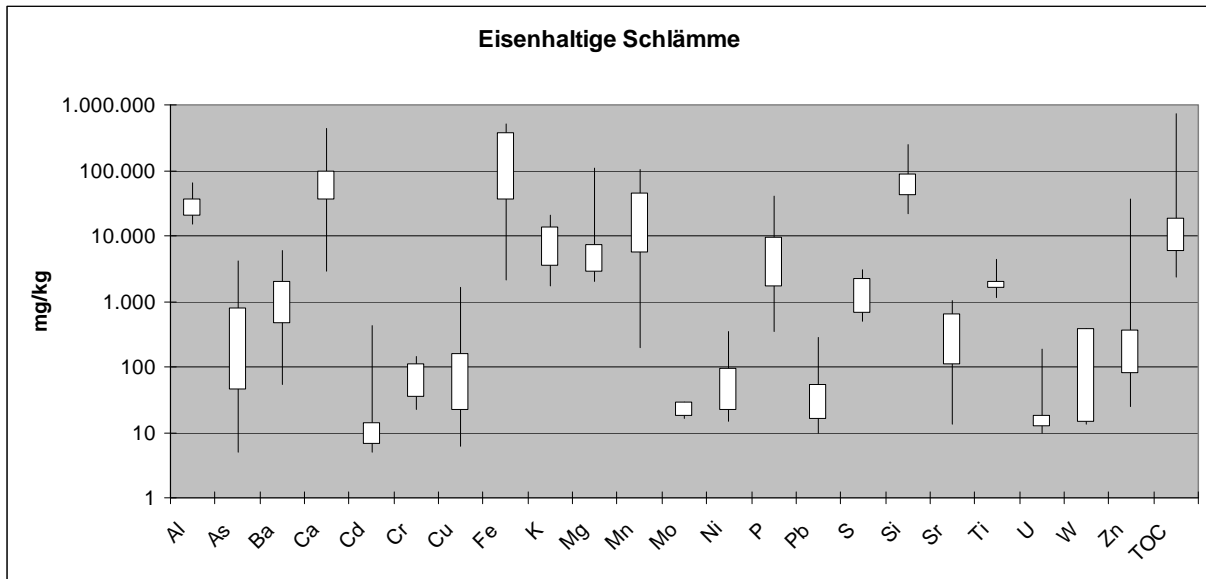


Abb. 31: Konzentration der Inhaltsstoffe – eisenhaltige Schlämme

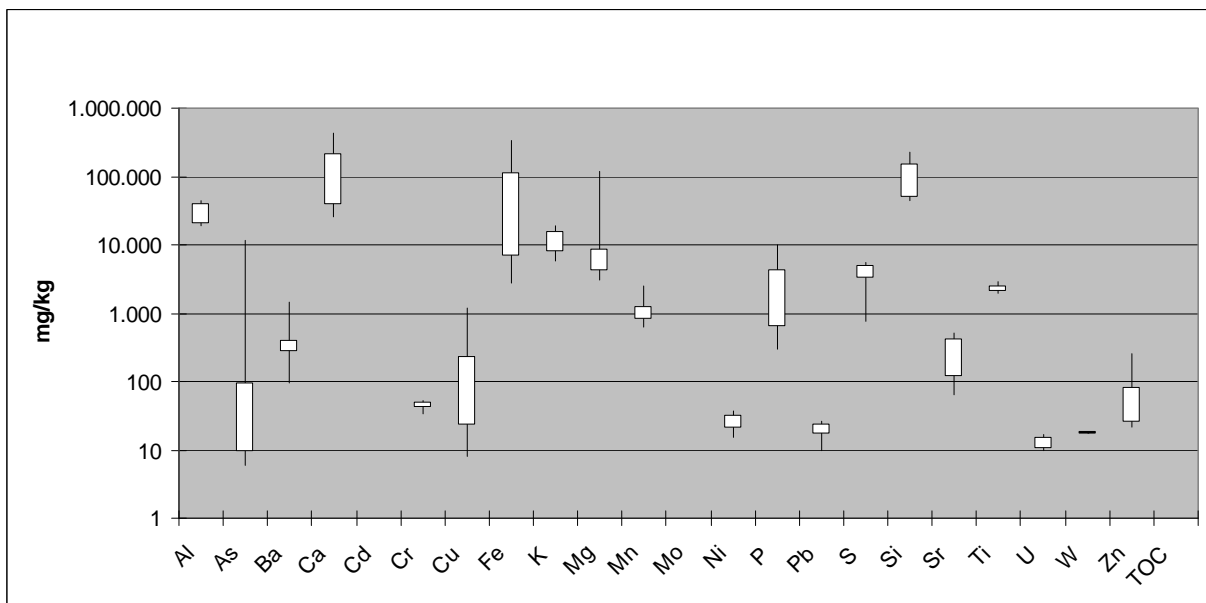


Abb. 32: Konzentration der Inhaltsstoffe – sonstige Schlämme

Als Orientierung für die abfallrechtliche Bewertung der Inhaltsstoffe der Schlämme kann die derzeit gültige Einstufung nach LAGA (1997) verwendet werden (sog. LAGA-Zuordnungs- oder Z-Werte, Tab. 14). Material, dessen Element-Gehalte den Wert Z0 unterschreiten, dürfen uneingeschränkt eingebaut und abgelagert werden. Material, dessen Gehalte den Wert Z2 überschreiten, müssen auf einer Deponie entsorgt werden. Die Zuordnung der Konzentration an Metallen und Spurenstoffen zu den LAGA-Werten wird in der Regel nach einem Königswasser-Aufschluss beurteilt. Beim Königswasser-Aufschluss werden nur die Stoffe erfasst, die durch das Verfahren gelöst werden können, bei der Feststoffanalyse mittels RFA hingegen die gesamte Menge der untersuchten Inhaltsstoffe, so dass die Ergebnisse für die Zuordnung nach LAGA eigentlich überschätzt sind. Die Feststoffanalyse gibt jedoch einen ersten Anhaltspunkt für eine Einstufung des Materials.

Element	Z 0	Z 2	Anzahl Überschreitung des Z 2-Wertes
As	< 20 mg/kg	> 150 mg/kg	38
Cd	< 0,6 mg/kg	> 10 mg/kg	11
Cr	< 50 mg/kg	> 600 mg/kg	0
Cu	< 40 mg/kg	> 600 mg/kg	10
Ni	< 40 mg/kg	> 600 mg/kg	1
Pb	< 100 mg/kg	> 1000 mg/kg	3
Tl	< 0,5 mg/kg	> 10 mg/kg	0
Zn	< 120 mg/kg	> 1500 mg/kg	6

Tab. 14: Einstufung nach LAGA-Zuordnungs-Werten

Von den untersuchten Proben wird der Zuordnungswert Z2 vor allem beim Arsen häufig überschritten (38 Proben). Auch Überschreitungen bei Cadmium (11 Proben) und Kupfer (10 Proben) sind häufig. Gelegentlich werden Überschreitungen des Z2-Wertes für Zink (6 Proben), Blei (3 Proben) und Nickel (1 Probe) beobachtet.

Für den Gehalt an Organischem Kohlenstoff (TOC) soll nach Anlage B der TA Siedlungsabfall (1993) für die Deponierung der Wert von 1 Gewichts-% (Dep.-Klasse I) bzw. 3 Gewichts-% (Dep.-Klasse II) nicht überschritten werden. Zu hohe Gehalte an organischer Substanz führen auf der Deponie zu einer Reduktion von Sauerstoff und können damit eine unerwünschte Freisetzung von Stoffen auf der Deponie zur Folge haben. Von 38 TOC-Proben überschreiten 8 Proben den Wert von 3 Gewichts-% und weitere 9 Proben den Wert von 1 Gew.-%.

An 5 Schlammproben wurden Elutionsversuche nach DIN 38414-S4 (1984) durchgeführt. Die anschließende Messung der Metalle und Spurenstoffe im Eluat ergab lediglich eine Überschreitung der LAGA-Zuordnungswerte (für Eluate) für das Element Chrom für die Ablagerung auf einer Deponie der Klasse I.

6 Exposition bei Arbeiten mit den Rückspülschlämmen

6.1 Strahlenschutzrechtliche Grundlagen

Im Vertrag der EURATOM (Europäische Atomgemeinschaft) vom 25.03.1957 wurden einheitliche Sicherheitsnormen (Grundnormen) für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte erarbeitet. Die Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, diese in den Richtlinien 96/29 und 97/43 EURATOM festgelegten Grundnormen in die nationale Gesetzgebung zu übernehmen. Grundsätzlich soll im Rahmen der nationalen Strahlenschutz-Gesetzgebung von den Grundnormen weder im Sinne einer Verschärfung noch im Sinne einer Erleichterung abgewichen werden. In der deutschen Gesetzgebung ist diese Richtlinie in der nach §§ 11, 12 Atomgesetz (AtG 1985) erlassenen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 20. Juli 2001 umgesetzt. Teil 3 der StrlSchV befasst sich mit dem Schutz von Mensch und Umwelt vor natürlichen Strahlungsquellen bei Arbeiten. Dabei sind Arbeiten „Handlungen, die ohne Tätigkeit zu sein, bei natürlich vorkommender Radioaktivität die Strahlenexposition oder Kontamination erhöhen können“. Es handelt sich hier also um ein „zufälliges“ Vorkommen der Radionuklide, wobei die radioaktiven Stoffe nicht (wie bei der Tätigkeit) wegen ihrer Radioaktivität genutzt werden.

In Teil 3 Kapitel 1 StrlSchV sind die Grundpflichten der „Dosisbegrenzung“ (§ 93) und der „Dosisreduzierung“ (§ 94) festgeschrieben. Dies bedeutet, dass Grenzwerte nicht überschritten werden dürfen und alle Maßnahmen zu treffen sind, die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten.

Der Schutz der Bevölkerung bei natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen ist in Teil 3 Kapitel 3 StrlSchV geregelt. Für unsere Thematik wichtig ist dabei der § 97: „Überwachungsbedürftige Rückstände“:

„Wer in eigener Verantwortung Arbeiten ausübt oder ausüben lässt, bei denen überwachungsbedürftige Rückstände anfallen, durch deren Verwertung oder Beseitigung für Einzelpersonen der Bevölkerung (bzw. den Beschäftigten) der Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv/Kalenderjahr überschritten werden kann, hat Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung zu ergreifen.“

Dieser Paragraph bezieht sich allerdings nur auf die sog. „Positivliste“ der überwachungsbedürftigen Rückstände in Anlage XII Teil A StrlSchV. Hierin sind Wasserwerksrückstände nicht enthalten. Die Aufnahme wird jedoch in Deutschland diskutiert.

Nicht in der „Positivliste“ enthaltene Materialien können über § 102 der StrlSchV – „Überwachung sonstiger Materialien“ – geregelt werden:

„Kann durch Arbeiten mit Materialien, die nicht Rückstände im Sinne der Anlage XII Teil A sind oder durch die Ausübung von Arbeiten, bei denen solche Materialien anfallen, die Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung **so erheblich erhöht werden**, dass Strahlenschutzmaßnahmen notwendig sind, trifft die zuständige Behörde die erforderlichen Anordnungen. Sie kann insbesondere anordnen,

1. dass bestimmte Schutzmaßnahmen zu ergreifen sind,
2. dass die Materialien bei einer von ihr zu bestimmenden Stelle aufzubewahren oder zu verwahren sind oder
3. dass und in welcher Weise die Materialien zu beseitigen sind.“

Als „erheblich erhöht“ wird in Anlehnung an § 97 eine Strahlenexposition von über 1 mSv/a betrachtet.

Eine Hilfestellung bei der Einstufung der Materialien gibt Anlage XII Teil B der StrlSchV, die jedoch ebenfalls nur für die überwachungsbedürftigen Rückstände nach Anlage XII Teil A gilt. Hierfür werden die jeweils höchsten Aktivitäten der Radionuklide der Zerfallsreihen U-238 und Th-232 addiert. Liegt die spezifische Aktivität für jedes Radionuklid einer der Nuklidketten unter 0,2 Bq/g, bleibt die jeweilige Nuklidkette unberücksichtigt. Liegt der Summenwert dieser Berechnung oberhalb der Überwachungsgrenze von 1 Bq/g, so erfolgt für das Material eine Dosisabschätzung, die die Strahlenexposition der Bevölkerung oder des Beschäftigten angibt (s. Kap. 2.4). Unterhalb dieser Überwachungsgrenze ist es nicht notwendig, eine Dosisabschätzung durchzuführen, da davon auszugehen ist, dass die Exposition weit unterhalb von 1 mSv/a liegt. Im Projekt wurde jedoch für sämtliche Schlämme die effektive Dosis mit verschiedenen Szenarien ermittelt. Lediglich als Überblick zur Einstufung der Aktivitäten der Schlämme wurde die Berechnung nach Anlage XII Teil B durchgeführt. Hierbei wurde auch Anlage XII, Teil B, Nr. 4 berücksichtigt, der eine Reduzierung der Aktivität von Pb-210 um den Faktor 0,5 festlegt, falls dieses das maximale Nuklid der Zerfallsreihe U-238 darstellt und mindestens um einen Faktor 5 höher ist als die nächst höhere Aktivität eines Nuklids dieser Zerfallsreihe. Der Grund für diese Reduzierung liegt darin, dass sich das Pb-210 am Ende der Zerfallsreihe befindet und nach relativ kurzer Zeit (ca. 10 HWZ = 222 Jahre) vollständig in das stabile Isotop Pb-206 zerfällt.

6.2 Dosisabschätzung für verschiedene Szenarien der Entsorgung

Nach der Methode zur Abschätzung der effektiven Dosis, die sich aus externer Strahlendosis, Ingestions- und Inhalations-Dosis zusammensetzt (s. Kap. 2.4), wurden 4 Szenarien der Exposition für Beschäftigte beim Umgang mit Rückspülschlämmen berücksichtigt. Die Abschätzungen für die einzelnen Szenarien unterscheiden sich nur in der Expositionszeit, die Faktoren für Ingestion und Inhalation sind überall gleich.

Eine generalisierte Abschätzung der Expositionszeiten ist schwierig, da die WVU in Bayern sehr unterschiedlich strukturiert sind, viele verschiedene Entsorgungswege auftreten und auch die anfallenden Schlamm-Mengen stark variieren. Für eine genaue Ermittlung der Dosis ist eine individuelle Erfassung und Berechnung für jedes einzelne WVU erforderlich, was jedoch im Rahmen des Projektes nicht möglich war. Es wurden die von MALLICK (2006) bereits verwendeten Szenarien für Wasserwart, LkW-Fahrer und Deponiearbeiter berücksichtigt. Nach Recherchen in einigen WVU hat sich jedoch herausgestellt, dass die von uns sehr konservativ angenommenen Expositionszeiten eher überschätzt sind. Nach StrlSchV Anlage XII Teil D, Nr. 1 sind bei der Ermittlung der Strahlenexposition **realistische** Expositionspfade und Annahmen zu verwenden. Für eine konservative Abschätzung wurde dennoch mit einer erhöhten Expositionszeit von 100 Stunden pro Jahr gerechnet (entspricht 2 Stunden pro Arbeitswoche), um die Auswirkung eines eventuell auftretenden längeren Aufenthalts mit dem Rückspülschlamm auf die effektive Dosis zu ermitteln. Die Expositionszeiten der einzelnen Szenarien sind in Tab. 15 zusammengefasst.

Expositionszeiten	t_{exp}
Szenario 1 (Wasserwart)	20 h/a
Szenario 2 (LkW-Fahrer)	3 h/a
Szenario 3 (Deponie-Arbeiter)	8 h/a
Szenario 4 (Expos.zeit 100 h)	100 h/a

Tab. 15: Szenarien und Expositionszeiten

Szenario 1: Exposition Wasserwart

Die Exposition berücksichtigt die Rückspülung, sowie die Entleerung und Reinigung des Absetzbeckens (Abb. 33 und 34). Die Rückspülung der Filter, die häufig automatisiert durchgeführt wird, findet in den meisten Wasserwerken wöchentlich statt. Dabei besteht jedoch kein direkter Kontakt mit dem Rückspülschlamm. Der gesamte Rückspül-Vorgang dauert in etwa eine halbe Stunde, die Expositionszeit ist aber wesentlich geringer, da nur am Anfang der Spülung größere Mengen an Schlamm ausgespült werden und der Wasserwart nicht während des gesamten Vorgangs neben der Anlage steht. Beim eigentlichen Rückspülwasser handelt es sich außerdem um stark wässrigen Dünnschlamm, der dann im Absetzbecken sedimentiert wird. Die Entleerung des Absetzbeckens wird in den meisten Wasserwerken nicht jährlich durchgeführt sondern oft im Abstand von mehreren Jahren (s. Kapitel 5.1).

Für die Entleerung des Absetzbeckens (meist mit Hilfe eines Saugwagens durch eine Entsorgungsfirma) und anschließende Reinigung des Beckens wird nach Aussagen mehrerer Wasserwerke jährlich eine Zeit von maximal einem Arbeitstag benötigt (8 Stunden). In seltenen Fällen werden die Schlämme zweimal jährlich entsorgt. Konservativ werden für die Expositionszeit der Wasserwerke 20 Stunden angesetzt. Eine höhere Expositionszeit könnte für Wasserwerke entstehen, die die technische Betreuung für mehrere Wasserwerke übernehmen. Hier ist der Einzelfall zu betrachten.



Abb. 33: Entleerung und Reinigung eines Absetzbeckens ohne trichterförmigem Schlammfang



Abb. 34: Reinigung des Absetzbeckens

Szenario 2: Exposition LkW-Fahrer

Der aus dem Absetzbecken entleerte Schlamm wird durch einen LkW-Fahrer zur Entsorgungsstelle transportiert. Der Fahrer ist meist Angestellter einer Entsorgungsfirma. Mit Hilfe eines Saugwagens wird der Schlamm aus den Absetzschächten entfernt und danach zum Entsorgungsort (Entsorgungsfirma oder Deponie) gebracht. Der Beschäftigte der Entsorgungsfirma hilft bei der Reinigung des Beckens und entleert den Schlamm am Entsorgungsort (Abb. 35). Im Regelfall liegt dieser innerhalb des Gemeindegebietes oder in der näheren Umgebung, so dass eine Expositionszeit von 3 Stunden im Jahr nicht überschritten sein dürfte. Laut Aussage einer Entsorgungsfirma wird in der Regel maximal einmal im Jahr Schlamm aus der Trinkwasseraufbereitung transportiert.



Abb. 35: Entleerung des Saugwagens bei einer Entsorgungsfirma

Szenario 3: Exposition Deponiearbeiter

Die an der Deponie angelieferten Schlämme werden gewogen, durch Sichtkontrolle kurz überprüft, ob es sich um das angegebene Material handelt und dann auf der Deponie abgeladen. Die Einebnung mit Hilfe einer Raupe erfolgt bei kleineren Mengen nicht sofort sondern meist erst nach Anlieferung weiteren Materials. Die Arbeitszeit richtet sich somit stark nach der Menge des angelieferten Materials. Als Richtwert wurde eine Arbeitszeit von etwa 1 Stunde für 15 m³ Schlamm angegeben. Die Expositionszeit von 8 Stunden im Jahr würde demnach einer Menge von 120 t/a entsprechen. Da in Bayern im Jahresmittel auf allen Deponien insgesamt 212 t Schlämme aus der Trinkwasseraufbereitung angeliefert werden (s. Kap. 5.2), würde dies der Arbeitszeit für die Hälfte aller deponierten Wasserwerks-Schlämme in Bayern entsprechen. Die Expositionszeit von 8 h/a ist somit eine konservative Annahme.

Szenario 4: Fiktive Expositionszeit von 100 h

Eine Expositionszeit von 100 Stunden entspricht 2 Arbeitsstunden pro Woche. Diese besonders konservative Annahme wurde für eventuell auftretende Fälle berechnet, in denen die Expositionszeiten der angenommenen Szenarien überschritten werden könnten. Beispielsweise kann ein Wasserwart eine größere Anzahl von Wasserwerken betreuen, so dass jährlich mehrere Schlämme anfallen, oder eine externe Firma hat die Betriebsführung für mehrere WVU übernommen. Auch die Exposition eines LkW-Fahrers, der jährlich mehrere Rückspülschlämme transportiert, oder eines Deponiearbeiters, der jährlich mehrmals eine größere Menge von Rückspülschlämmen angeliefert bekommt, ist hier berücksichtigt.

Für das Ausbringen auf landwirtschaftlichen Flächen wurde kein Szenario berechnet, da die Expositionszeit stark von der Ausbringungsrate (Schlamm-Menge pro Flächeneinheit) abhängt und diese wegen der starken Verdünnung nicht bekannt ist. Nach der Klärschlammverordnung dürfen maximal 5 t pro Hektar in 5 Jahren aufgebracht werden. Das entspricht etwa 1,7 t/ha im Jahr. Die Ausbringung

von Wasserwerksschlämmen ist in der Klärschlammverordnung streng geregelt. Ein unkontrolliertes Ausbringen von großen Mengen ist daher unwahrscheinlich, da in der AbfKlärV (1992) festgelegt ist, wo der Schlamm ausgebracht werden darf und welche Parameter eingehalten werden müssen. Die Entsorgung auf landwirtschaftlichen Flächen kommt ohnehin nur bei wenigen Wasserversorgern vor und betrifft in Bayern nur Schlämme mit geringer Aktivität (meist Kalkschlämme) (s. Kapitel 5.2).

Für jedes Szenario wurde die Berechnung mit zwei unterschiedlichen Staubkonzentrationen für die Dosis durch Inhalation berechnet ($c_{\text{Staub}} = 0,01 \text{ g/m}^3$ und $c_{\text{Staub}} = 0,003 \text{ g/m}^3$) (Kap. 2.4).

Die Abschätzung der effektiven Dosis im Rahmen des Projektes zeigt, dass bei jedem Szenario der Richtwert von 1 mSv/a durch keinen der Schlämme überschritten wird. Selbst bei einer Expositionszeit von 100 h/a liegt die effektive Dosis in allen Fällen unterhalb von 1 mSv/a. Der höchste auftretende Wert von 0,6 mSv/a wurde bei der Berechnung für 100 h und einer Staubkonzentration von $0,01 \text{ g/m}^3$ ermittelt. Die statistischen Kenngrößen (Minimum, Maximum, Median, unteres und oberes Quartil) sind in den Tabellen 16a bis 16d (Werte in mSv/a) dargestellt. Die Werte der einzelnen Proben befinden sich in Anhang IV.

Szenario 1: Wasserwart, Expositionszeit 20 h		
QUARTILE	$C_{\text{staub}} 0,01 \text{ g/m}^3$	$C_{\text{staub}} 0,003 \text{ g/m}^3$
Minimum	0,0010	0,0010
25%-Quantil	0,0012	0,0011
Median	0,0019	0,0013
75%-Quantil	0,0040	0,0019
Maximum	0,1237	0,0549

Tab. 16a: Szenario 1 (Werte in mSv/a)

Szenario 2: LkW-Fahrer, Expositionszeit 3 h		
QUARTILE	$C_{\text{staub}} 0,01 \text{ g/m}^3$	$C_{\text{staub}} 0,003 \text{ g/m}^3$
Minimum	0,0002	0,0002
25%-Quantil	0,0002	0,0002
Median	0,0003	0,0002
75%-Quantil	0,0006	0,0003
Maximum	0,0186	0,0082

Tab. 16b: Szenario 2 (Werte in mSv/a)

Szenario 3: Deponie-Arbeiter, Expositionszeit 8 h		
QUARTILE	$C_{\text{staub}} 0,01 \text{ g/m}^3$	$C_{\text{staub}} 0,003 \text{ g/m}^3$
Minimum	0,0004	0,0004
25%-Quantil	0,0005	0,0004
Median	0,0007	0,0005
75%-Quantil	0,0016	0,0008
Maximum	0,0495	0,0220

Tab. 16c: Szenario 3 (Werte in mSv/a)

Szenario 4: Expositionszeit 100 h		
QUARTILE	C _{staub} 0,01 g/m ³	C _{staub} 0,003 g/m ³
Minimum	0,0050	0,0050
25%-Quantil	0,0060	0,0053
Median	0,0093	0,0065
75%-Quantil	0,0199	0,0097
Maximum	0,6187	0,2747

Tab. 16d: Szenario 4 (Werte in mSv/a)

An den Medianwerten (0,0093 mSv/a für 100 h und $c_{\text{Staub}} = 0,01 \text{ g/m}^3$) ist bereits ersichtlich, dass durch die meisten Schlämme nur eine geringe effektive Dosis resultiert. Abb. 36 verdeutlicht noch einmal diesen Sachverhalt, dass – wie bereits bei den Aktivitäten festgestellt – nur wenige Rückspülschlämme eine geringfügig erhöhte Dosis bewirken, die jedoch noch weit unterhalb von 1 mSv/a liegt.

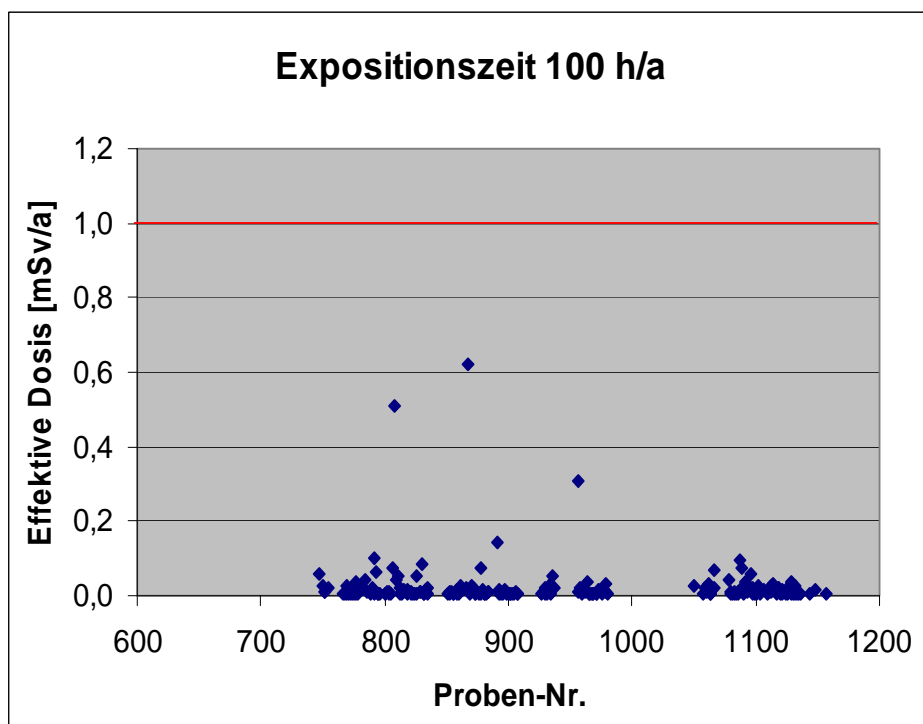


Abb. 36: Effektive Dosis der Proben bei Expositionszeit 100 h

Generell hat bei der Abschätzung die Teil-Dosis durch Inhalation die größte Auswirkung auf die effektive Dosis. Die meisten Schlämme werden jedoch nass entsorgt, so dass die angenommenen Staubkonzentrationen weit unterschritten werden. Auch die äußere Exposition bezüglich der Gammastrahlung fällt bei höheren Aktivitäten stärker ins Gewicht. Die externe Dosis kann jedoch wegen der Unsicherheit bei der ODL-Messung leider nicht exakt erfasst werden (s. Kapitel 2.4). Die Ingestion von Rückspülschlamm ist dagegen mit 6 mg/h eher überschätzt.

Die Dosisrelevanz eines Radionuklids ist durch den jeweiligen Dosisfaktor (s. Kapitel 2.4) festgelegt. Im Dosisfaktor ist die biologische Wirkung der Strahlung auf den menschlichen Körper berücksichtigt. Höhere Dosisfaktoren, z. B. bei der Inhalation, werden für die folgenden Radionuklide angegeben

(absteigend sortiert, Bereich 10^{-5} bis 10^{-6} Sv/Bq): Pa-231 > Th-230 > Th-228 > Th-227 > Ra-223 > Ra-224 > Ra-226 > U-234 > U-235 > Ra-228 > U-238 > Pb-210. Erhöhte Aktivitäten kommen jedoch nur bei einigen dosisrelevanten Radionukliden vor, insbesondere bei **Th-228** (Median 0,18 Bq/g), **Ra-224** (Median 0,14 Bq/g), **Ra-226** (Median 0,18 Bq/g), **Ra-228** (Median 0,10 Bq/g), **U-238** (Median 0,15 Bq/g) sowie **Pb-210** (Median 0,20 Bq/g). Die übrigen dosisrelevanten Radionuklide konnten nicht nachgewiesen werden oder weisen nur sehr geringe Aktivitäten auf (s. Kap. 4).

Die Abschätzungen der effektiven Dosis wurden mit den Dosisfaktoren für einen Beschäftigten durchgeführt. Da die Schlämme in der Regel so entsorgt werden, dass für eine Person der Allgemeinbevölkerung keine Strahlenexposition auftritt, wurde für diesen Personenkreis keine Dosisabschätzung durchgeführt (Entsorgung auf abgeschlossener Deponie oder Verdünnung der Radionuklide bei anderen Entsorgungswegen, s. Kapitel 5.2). Rückspülschlämme, die einer Verwertung zugeführt werden, haben im untersuchten Datensatz nur geringe Aktivitäten (Kalkschlämme).

6.3 Strahlenschutzrechtliche Stellungnahme

Die Dosisabschätzungen an den Schlämmen des Projektes haben gezeigt, dass bei keinem der berechneten Szenarien zur Entsorgung eine Dosis von 1 mSv/a für den Beschäftigten überschritten wird. Es handelt sich hier also nicht um „sonstige Materialien“ nach § 102 StrlSchV. Selbst bei einer angenommenen Arbeitszeit von 100 Stunden pro Jahr wird der Richtwert nicht überschritten (s. Kapitel 6.2). Die spezifische Aktivität der Rückspülschlämme kann damit außer acht gelassen werden. Dies bedeutet, dass das Material kein radioaktiver Stoff im Sinne des Atomgesetzes (AtG 1985) ist und damit keiner strahlenschutzrechtlichen Überwachung unterliegt.

Unabhängig davon besteht jedoch nach § 94 StrlSchV die generelle Pflicht zur Dosisreduzierung. Es sollten deshalb aufgrund der erhöhten Aktivitäten (insbesondere von Ra-226) in einigen Schlämmen die folgenden allgemeinen Arbeitsschutz-Maßnahmen eingehalten werden:

- Verringerung der Aufenthaltszeit mit dem Material (z. B. Büroarbeitsplatz nicht im Raum der Aufbereitungshalle, insbesondere nicht neben den Filterkesseln).
- Aufteilung der Arbeiten auf mehrere Mitarbeiter.
- Schutzkleidung und Handschuhe tragen, v. a. bei Reinigung von Filterbehältern und Absetzbecken.
- Staubentwicklung vermeiden! Wenn nicht möglich, dann Atemschutz-Maske (FFP 3) und Kopfbedeckung tragen.
- Generell Verschleppung des Materials vermeiden.
- Während des Umgangs mit dem Material nicht Essen, Trinken, Rauchen oder auf die Toilette gehen.
- Verschmutzte Geräte reinigen, stark verschmutzte Arbeitskleidung separat waschen.

Die abfallrechtlichen Vorgaben sind für die Entsorgung des Materials in jedem Fall gesondert zu berücksichtigen und durch eine fachkundige Stelle zu prüfen. Durch die Regelungen des Abfallrechts ist der Entsorgungsweg für die Rückspülschlämme in den meisten Fällen ohnehin bereits festgelegt (s. Kapitel 5.3). Von Seiten des Strahlenschutzes empfehlen wir den WVU, bei der Entsorgung von Schlämmen mit erhöhten Aktivitäten Folgendes zu berücksichtigen:

- Keine Entsorgung in der Landwirtschaft oder im Landschafts-, Straßen- und Wegebau, da hier die Radionuklide unkontrolliert verbreitet und angereichert werden können.

- Bei Entsorgung auf einer Deponie ist eine gute Basisabdichtung erforderlich (DK I, II oder III, keine Bauschuttdeponie), damit die Radionuklide nicht in den Boden oder das Grundwasser gelangen.
- Bei der Entsorgung von mehreren Rückspülschlämmen (z. B. bei Betreuung mehrerer Wasserwerke oder Betriebsführung für mehrere Wasserversorger) oder einer Aufenthaltszeit von mehr als 2 Stunden pro Arbeitswoche mit dem Material wird empfohlen, eine Dosisabschätzung durch die zuständige Behörde (hier das Bayerische Landesamt für Umwelt) durchführen zu lassen. Dafür sind genaue Angaben zur Expositionszeit und Messungen der Ortsdosisleistung vor Ort notwendig.

Eine generelle Aufnahme von Rückständen aus der Trinkwasseraufbereitung in die Positivliste nach Anlage XII Teil A der Strahlenschutzverordnung, wie sie in Deutschland im Zuge des Strahlenschutzes beim Umgang mit „NORM-Rückständen“ (Naturally Occuring Radioactive Material) diskutiert wird, ist nach Ansicht des BayLfU nicht erforderlich, da nach den Erkenntnissen dieser Studie bei sehr konservativer Abschätzung eine Dosis von 1 mSv pro Kalenderjahr nicht überschritten wird. Mit schriftlichen Empfehlungen an die WVU, deren Schlamm eine Aktivität nach Anlage XII Teil B über 1 Bq/g aufweist, und dem Appell an den Schutz der Mitarbeiter in deren eigenem Interesse wird dem § 94 zur Dosisreduzierung Rechnung getragen. (Empfehlungen an die Wasserversorger zur Dosisreduzierung und Entsorgung der Rückstände aus der Trinkwasseraufbereitung s. Anhang V). Die empfohlenen Maßnahmen werden dabei mit der Einhaltung der allgemeinen Bestimmungen zum Arbeitsschutz bereits zum großen Teil erfüllt.

7 Geologische und hydrochemische Zusammenhänge

7.1 Radionuklide und Georegion

Ziel des Projektes ist es u. a., die Zusammenhänge des Vorkommens von erhöhten Aktivitätskonzentrationen in Rückspülschlämmen und der geologischen Verhältnisse zu untersuchen. Als Anhaltspunkt für erhöhte Aktivitäten kann die Überwachungsgrenze von 1 Bq/g für Rückstände nach § 97 StrlSchV verwendet werden, die jedoch für Rückstände aus der Trinkwasseraufbereitung nicht gilt (s. Kap. 6.1). Zur Beurteilung der Aktivitätskonzentrationen in den Schlämmen wird dafür die Summe der maximalen Aktivitäten der Nuklide der Zerfallsreihen U-238 und Th-232 nach der Berechnungsmethode in Anlage XII Teil B der StrlSchV (2001) berechnet. Für eine graphische Darstellung der Aktivitäten in der Karte der Georegionen (Abb. 37) wurden die Ergebnisse dieser Berechnung in fünf Klassen eingeteilt: 0 – 1 Bq/g, 1 – 10 Bq/g, 10 – 25 Bq/g, 25 – 50 Bq/g und Werte > 50 Bq/g.

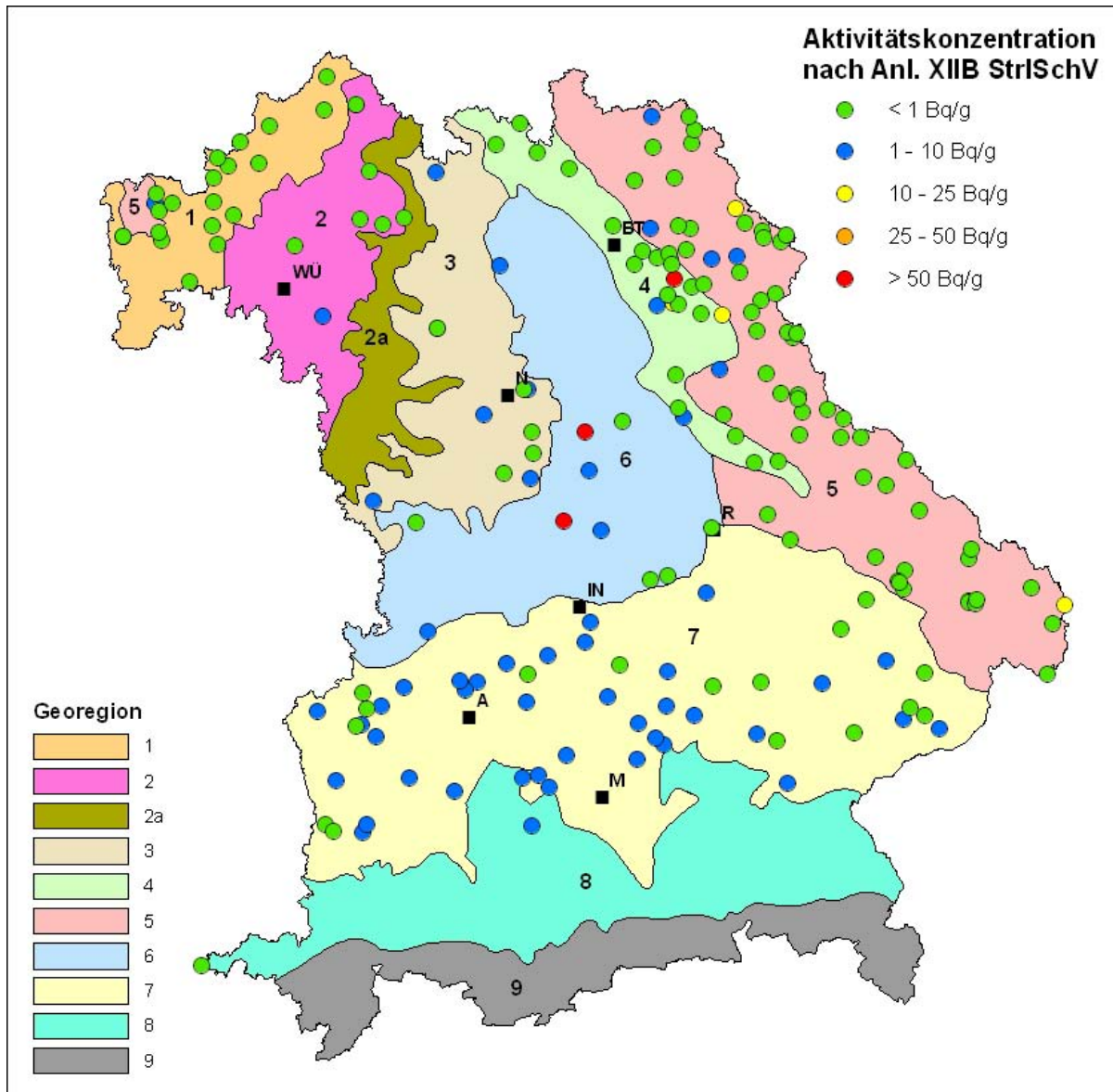


Abb. 37: Aktivitätskonzentrationen berechnet nach Anlage XII Teil B StrlSchV in den verschiedenen Georegionen

Aus der Karte ist ersichtlich, dass Werte über 1 Bq/g in allen Georegionen vorkommen. Sehr häufig sind leicht erhöhte Aktivitätskonzentrationen mit Werten zwischen 1 und 10 Bq/g. Diese sind besonders im Tertiär (Region 7) anzutreffen. Werte zwischen 10 und 25 Bq/g kommen vereinzelt im kristallinen Grundgebirge (Region 5) und in Region 4 (Bruchschollenland mit sehr unterschiedlichen geologischen Einheiten) vor. Werte zwischen 25 und 50 Bq/g konnten nicht festgestellt werden. Die höchsten Aktivitäten (> 50 Bq/g) treten nur in sehr wenigen Proben der Georegion Keuper-Sandstein auf (Region 3). Auch die Probe in Region 4 ist einer Keuper-Sandstein-Einheit zuzuordnen. Während diese Sandsteine durch ihre erhöhten Gehalte an natürlichen Radionukliden auffallen, kommen in Schlämmen aus Buntsandstein-Wässern vergleichsweise wenig natürliche Radionuklide vor (durchweg unter 1 Bq/g). Die maximalen Aktivitäten stehen alle mit einer Dominanz des Radionuklids Ra-226 in Verbindung.

Betrachtet man, welches Radionuklid in den Schlämmen jeweils die höchste Aktivität aufweist (Abb. 38, vgl. auch Tab. 5, Kap. 4), so fällt auf, dass in einigen Georegionen bestimmte Radionuklide vorherrschend sind. Die Radionuklide der U-238 Zerfallsreihe haben generell den größten Anteil an den vorherrschenden Radionukliden. In allen Regionen, jedoch vor allem in den Sandsteinen (Region 1, 3, tiefere Schichten von Region 6) sowie in den tertiären Sedimenten (Region 7) kommt Radium-226 als vorherrschendes Radionuklid im Schlamm vor. Das Mutternuklid U-238 tritt hingegen seltener in den Vordergrund. Im Grundgebirge (Georegion 5) tritt häufig Pb-210 als dominierendes Nuklid in Erscheinung. Als Folgeprodukt von Rn-222 mit einer Halbwertszeit von 22,3 Jahren kann es im Schlamm angereichert werden. Es zerfällt über die kurzlebigen Folgeprodukte Bi-210 (HWZ 5 Tage) und Po-210 (HWZ 138 Tage) zum stabilen Pb-206.

In manchen Schlämmen (verteilt über alle Georegionen) liegen alle anderen gemessenen Aktivitäten unterhalb der des natürlichen Radioisotops K-40. Für den Strahlenschutz ist dieses Radionuklid nur von untergeordneter Bedeutung, da es einen niedrigen Dosisfaktor besitzt (s. Tab. 2 in Kap. 2.4) und somit im Allgemeinen nicht dosisrelevant ist. Es kommt in der Natur nahezu überall vor, auch im menschlichen Körper. In tonhaltigen Gesteinen (Sedimenten) und Silikaten ist Kalium ein häufig auftretendes Element. Interessant ist die Häufung der K-40-dominierten Rückspülschlämme in manchen Gebieten, beispielsweise im Osten der Molasse (Region 7). Die feinkörnigen Sedimente enthalten viele Tone, in die große Mengen Kalium eingebaut sind. In den meist alten Tiefenwässern dieser Gesteine hat sich an den Tonmineralen des Grundwasserleiters ein Kationenaustausch vollzogen. Im Wasser gelöstes Kalzium (Ca^{2+}) kann wegen der höheren Ladung fester an die Tonminerale des Grundwasserleiters gebunden werden und wird deshalb gegen Kalium (K^+) ausgetauscht. Das Kalium tritt dabei in die Wasserphase über. Durch Fällungsreaktionen oder Adsorptionsprozesse bei der Trinkwasseraufbereitung oder durch Austrag von feinen Sedimentpartikeln mit dem Wasser, die bei der Aufbereitung abfiltriert werden, gelangt das Kalium in den Rückspülschlamm. Auch in Sandsteinen der Region 1 ist K-40 häufig das dominierende Radionuklid im Schlamm. Dies ist möglicherweise auch auf den generell geringen Lösungsinhalt der Wässer aus dem Buntsandstein zurückzuführen: Wenn keine anderen Radionuklide gelöst werden, ist K-40, das überall auftritt, das vorherrschende Radionuklid.

Bei den Radionukliden der Zerfallsreihe Th-232 (blaue Symbole in Abb. 38) sind Ac-228, Th-228 und Ra-224 dominierend. Da sich diese Zerfallsreihe jedoch im radioaktiven Gleichgewicht befindet, sind die Aktivitätsunterschiede nur gering. Wegen des radioaktiven Gleichgewichts kann das Radionuklid Ac-228 hier auch synonym für Ra-228 verwendet werden (s. Kap. 2.4). Sie prägen vor allem Rückspülschlämme im Osten der Molasse (Region 7), wo feinkörnige Sedimentgesteine und stark reduzierende Wässer vorherrschen. Aber auch in anderen Georegionen bilden Radionuklide dieser Zerfallsreihe das Maximum der Aktivität. In Georegion 4 ist entsprechend der stark variablen geologischen Einheiten auch das vorherrschende Radionuklid im Schlamm sehr unterschiedlich.

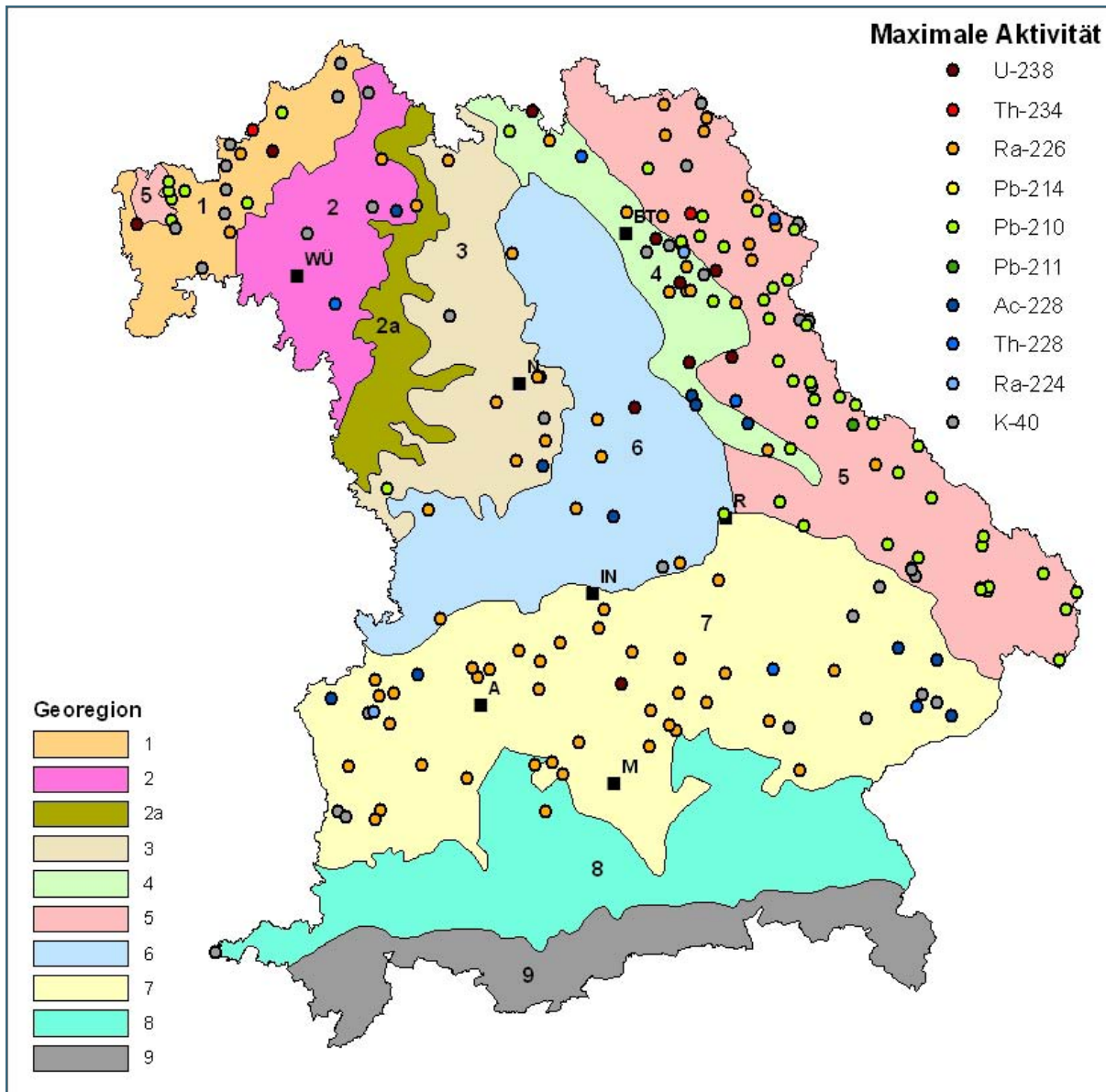


Abb. 38: Vorherrschende Radionuklide im Schlamm (Aktivitäts-Maximum)

Die Aktivitätskonzentrationen der wichtigsten Radionuklide in den Rückspülschlämmen (U-238, Ra-226, Pb-210 und Ac-228), aufgeschlüsselt nach Georegionen, zeigt Tab. 17. Da sich die Folgeprodukte von Ac-228 mit diesem meist im Gleichgewicht befinden, wird es als einziges Radionuklid der Zerfallsreihe Th-232 betrachtet. Für die deskriptive Statistik (Maximum, Minimum, Median) wurden nur nachweisbare Gehalte berücksichtigt (Werte kleiner Nachweisgrenze nicht berücksichtigt). In manchen Georegionen waren die Datensätze zu klein für statistische Berechnungen (grau hinterlegte Felder). Viele Werte von U-238 lagen unterhalb der Nachweisgrenze (s. Anhang II), für Region 2a und 9 war keine Probe verfügbar, in Region 6b wurde nur eine Probe entnommen, in Region 8 waren nur 3 Proben verfügbar. Für die Einteilung nach Georegionen wurden außerdem nur „reine Proben“ berücksichtigt, also keine Mischung von Wässern aus verschiedenen Georegionen in der Aufbereitungsanlage.

Tab. 17: Aktivitätskonzentrationen nach Georegionen (wichtigste Radionuklide)

Georegion	U-238			Ra-226			Pb-210			Ac-228			Anzahl Proben
	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	
Georegion 1 (Buntsandstein)	0,041	2,60	0,127	0,006	0,96	0,040	0,009	1,75	0,161	0,001	0,84	0,021	19
Georegion 2 (Muschelkalk)				0,031	0,64	0,084	0,052	0,32	0,161	0,017	0,84	0,042	8
Georegion 2a (Gipskeuper)													0
Georegion 3 (Keuper-Sandstein)	0,108	0,29	0,157	0,081	37,64	0,674	0,060	3,26	0,294	0,065	13,50	0,414	15
Georegion 4 (Bruchschollenland)	0,039	0,20	0,059	0,007	45,58	0,101	0,037	2,34	0,099	0,001	5,22	0,074	22
Georegion 5 (Grundgebirge)	0,022	4,18	0,178	0,006	6,70	0,051	0,013	18,43	0,308	0,001	5,68	0,015	61
Georegion 6a (Malm-Kalke)				0,025	0,85	0,538	0,090	0,31	0,102	0,016	1,35	0,057	6
Georegion 6b (Dogger-Sandstein)													1
Georegion 7 (Tertiär/Quartärschotter)	0,200	0,92	0,561	0,035	5,22	0,843	0,035	0,44	0,121	0,042	2,30	0,536	49
Georegion 8 (Moränen)				0,088	3,13	1,331	0,093	0,43	0,260	0,046	1,96	1,113	3
Georegion 9 (Alpen)													0

Es wird deutlich, dass die maximalen Aktivitäten im Buntsandstein (Region 1) auf U-238 und Pb-210 zurückzuführen sind (2,60 bzw. 1,75 Bq/g), wobei auch bei Ra-226 höhere Werte auftreten können (Max. 0,96 Bq/g). Im Muschelkalk (Georegion 2) ist – relativ gesehen – Ac-228 in erhöhten Aktivitäten anzutreffen (0,84 Bq/g). Insgesamt gesehen ist der Wert jedoch gering und liegt in den anderen Georegionen höher (Max. im Keuper-Sandstein mit 13,50 Bq/g). In den Keuper-Sandsteinen sind die maximalen Aktivitäten – wie auch in den anderen Georegionen – auf Ra-226 zurückzuführen (37,64 Bq/g). Das höchste Maximum bei diesem Nuklid ist in Georegion 4 (Bruchschollenland mit diversen geologischen Einheiten) mit 45,58 Bq/g zu finden. Auch dieser Wert stammt jedoch aus einer Einheit des Keuper-Sandsteins. In Georegion 5 (Grundgebirge) liegt das Maximum der Aktivitäten beim Blei-210 (18,43 Bq/g). In den kalkhaltigen Gesteinen des Malm (Region 6a) ist das Maximum wiederum beim Ra-226 zu finden (0,85 Bq/g), das insgesamt betrachtet jedoch gering ausfällt. In Georegion 7 (tertiäre Molasse und Quartärschotter) liegt das Maximum, ebenfalls Ra-226, mit 5,22 Bq/g deutlich höher. In Georegion 8 (Moränen), in der nur 3 Proben gemessen wurden, ist das Maximum ebenfalls beim Ra-226 anzutreffen (3,13 Bq/g).

Die Medianwerte der einzelnen Radionuklide, aufgeteilt nach Georegionen, sind in Abb. 39 dargestellt. Die höchsten Medianwerte treten in den Georegionen 8, 7 und 3 auf. In Region 8 sind die Medianwerte allerdings nur aus 3 Proben berechnet worden und deshalb nicht aussagekräftig. Die höchsten Medianwerte dieser Regionen stellt das Ra-226 dar (1,33 Bq/g in Region 8, 0,84 Bq/g in Region 7, 0,67 Bq/g in Region 3). Auch die Werte von Ac-228 sind hoch (1,11 Bq/g in Region 8, 0,54 Bq/g in Region 7, 0,41 Bq/g in Region 3). In Region 7 ist zusätzlich der Median von U-238 erhöht (0,56 Bq/g) und stellt gleichzeitig den höchsten Medianwert dieses Nuklids in allen Georegionen dar. In den Regionen 1, 2, 4 und 5 sind die Medianwerte der Aktivitäten meist geringer (unter 0,3 Bq/g). Entsprechend der auftretenden Maximalwerte sind auch die Medianwerte von Pb-210 in den Schlämmen aus dem Grundgebirge (Region 5) erhöht (0,31 Bq/g, höchster Medianwert für Pb-210).

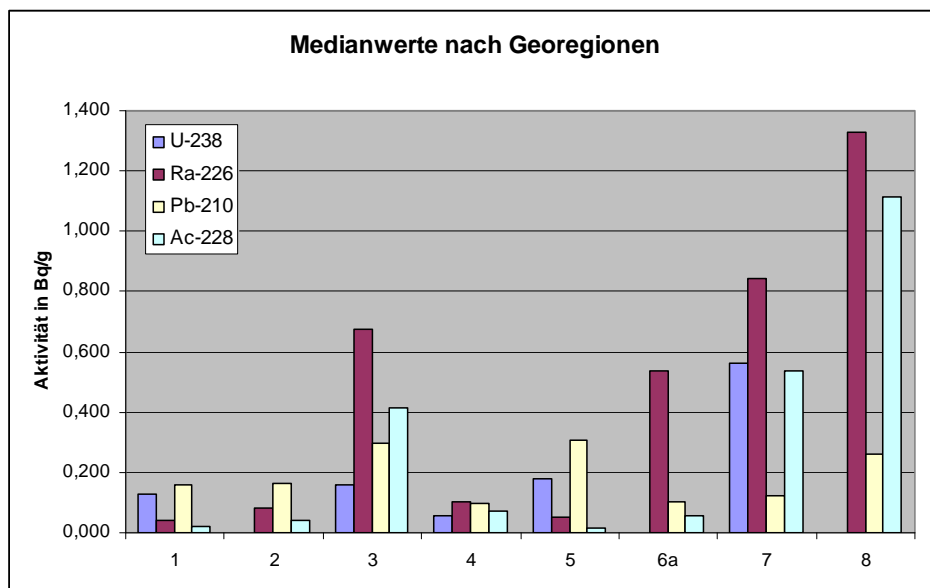


Abb. 39: Medianwerte der wichtigsten Radionuklide, aufgeteilt nach Georegionen

Die Wertebereiche der wichtigsten Radionuklide in den Georegionen wird durch Boxplot-Diagramme gut verdeutlicht (Abb. 40-43). Dabei stellt das untere Ende der Linie das Minimum dar, das untere Ende der Rechtecks-Flächen gibt das untere Quartil an (25%-Quantil), das obere Ende der Rechtecks-Fläche ist das obere Quartil (75%-Quantil) und das obere Ende der Linie stellt das Maximum der Werte dar.

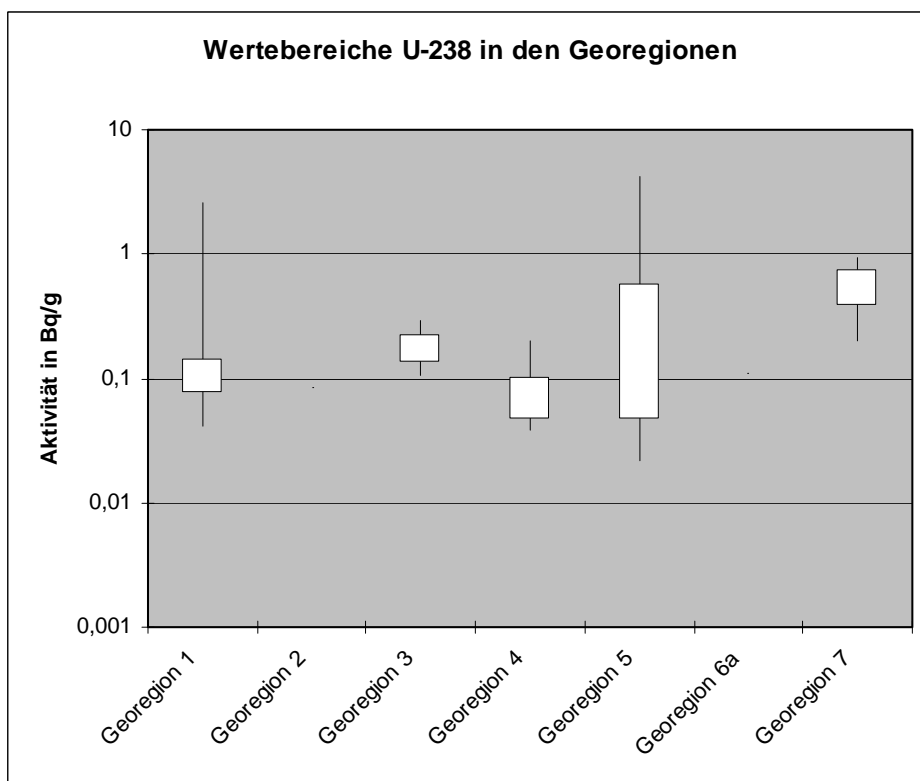


Abb. 40: Boxplot für U-238 in den Georegionen

Die Aktivitäten von U-238 liegen, wie bereits bei der tabellarischen Darstellung erwähnt, nur selten oberhalb der Nachweisgrenze. Bei den nachweisbaren Aktivitäten wird eine große Streuung der Werte im Grundgebirge beobachtet (Abb. 40). Vereinzelt treten höhere Werte auch in Region 1 (Buntsandstein) auf. Die meisten Werte (s. 75%-Quantil) sind jedoch geringer (um 0,1 Bq/g). In Georegion 7 liegen die Werte für U-238 generell höher.

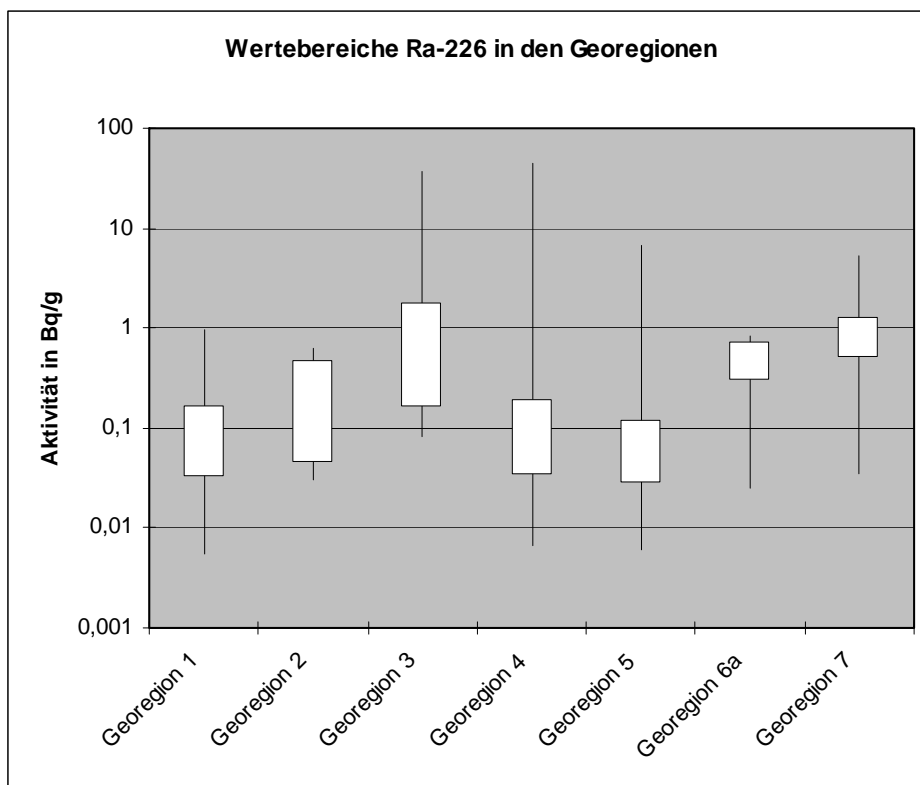


Abb. 41: Boxplot für Ra-226 in den Georegionen

Die Aktivitäten von Ra-226 sind in Georegion 3 (Keuper-Sandsteine) am höchsten (Abb. 41). Da Uran-238 in den Schlämmen dieser Region aber nicht vermehrt auftritt, scheint aus diesen ansonsten uranhaltigen Sandsteinen (s. Kap. 3) vorwiegend Radium aus dem Wasser in den Rückspülschlamm zu gelangen. Es kommen Aktivitäten zwischen 0,1 und 40 Bq/g vor. Auch viele Werte in Region 7 liegen höher (um 1 Bq/g). Die größte Schwankung der Werte tritt in Georegion 4 (Minimum 0,007 Bq/g, Maximum 45 Bq/g) auf und ist auf die unterschiedlichen geologischen Einheiten dieser Region zurückzuführen. Auch in Region 5 treten gelegentlich höhere Werte an Ra-226 auf (Maximum 7 Bq/g). In Georegion 1 (Buntsandstein), 2a (Gipskeuper) und 6a (Jura-Kalk) liegen alle Werte unterhalb 1 Bq/g.

Auch beim Pb-210 treten hohe Aktivitäten in Region 3 auf (Abb. 42), da Pb-210 ein Folgeprodukt des Ra-226 ist. Wie bereits im Rohwasser zu erkennen (s. Kap. 3.4), ist auch in den Schlämmen der Georegion 5 häufig Pb-210 in größeren Aktivitäten vorhanden. Da die Gehalte des Ra-226 in dieser Region jedoch vergleichsweise niedrig sind, ist das Pb-210 hier vor allem auf den Zerfall von Rn-222 zurückzuführen, das in manchen Wässern hohe Werte annehmen kann. Das Radon wird nicht nur durch Zerfall von Radium aus dem Gestein sondern auch durch seine hohe Mobilität aus der Bodenluft in das Wasser eingetragen, so dass sich die Werte im Wasser (und im Schlamm) gegenüber Ra-226 anreichern können. Auch der Maximalwert des Pb-210 ist in dieser Region dementsprechend hoch (18 Bq/g). In den anderen Georegionen liegen die meisten Werte unterhalb von 1 Bq/g.

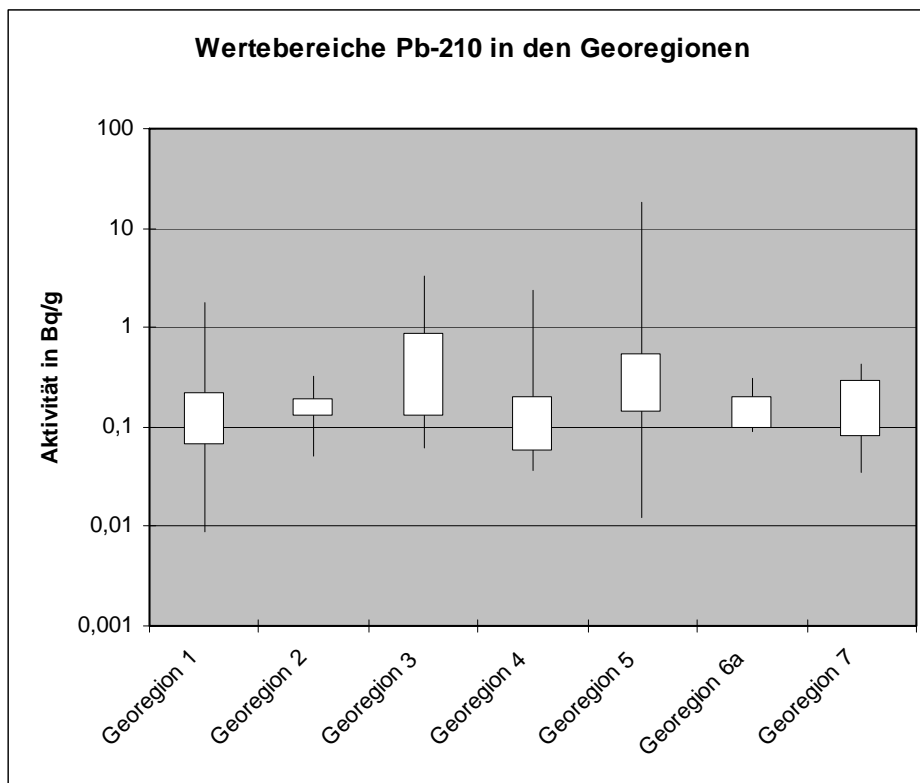


Abb. 42: Boxplot für Pb-210 in den Georegionen

Die höchsten Aktivitäten von Ac-228 treten ebenfalls in Georegion 3 auf (Abb. 43), was die Vermutung nahe legt, dass außer Uran auch Thorium in den Keuper-Sandsteinen vorkommt. Im Wasser wird auch hier wahrscheinlich das Ra-228 gelöst, das ein Folgeprodukt des Th-232 ist. Das Ra-228 wird mit der Gamma-Messung nicht erfasst, befindet sich jedoch mit Ac-228 im Gleichgewicht, so dass die Aktivitäten gleichwertig verwendet werden können. Höhere Aktivitäten von Ac-228 treten auch in Region 7 auf. Die größte Streuung ist wegen der unterschiedlichen geologischen Einheiten innerhalb der Region wieder in Georegion 4 zu beobachten. In den Georegionen 5 und 1 sind die Werte allgemein niedrig (mehr als 75 % unterhalb 0,1 Bq/g). In Georegion 5 treten jedoch gelegentlich höhere Werte auf (Maximum 6 Bq/g).

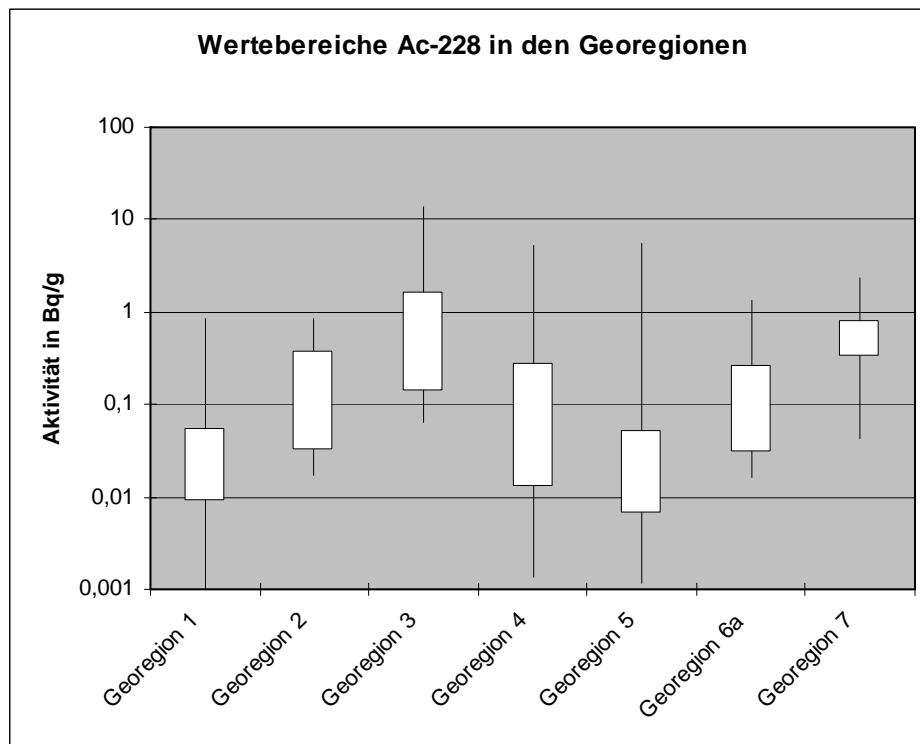


Abb. 43: Boxplot für Ac-228 in den Georegionen

Das Vorherrschen von Pb-210 in den Schlämmen aus Trinkwasser im kristallinen Grundgebirge deckt sich gut mit den Ergebnissen der Rohwasseruntersuchungen (Kap. 3.4). Das bei niedrigen pH-Werten im Rohwasser gelöste Blei wird durch die Entsäuerung über Kalkfilter ausgefällt. Die erhöhten Radium-Werte der Schlämme in den Regionen 3 und 6 sind ebenfalls bereits im Rohwasser zu finden, während Radium im Trinkwasser der Regionen 1 und 7 in vergleichsweise geringen Aktivitätskonzentrationen vorhanden ist. Hier wird das Radium im Schlamm offenbar in höherem Maße angereichert. Uran, das im Rohwasser der Keuper-Gesteine (Region 2a, 3 und teilweise 4) sowie in Georegion 6 in höheren Konzentrationen zu finden ist, wird auch in den Schlämmen der Region 3 und 4 angereichert. Man findet jedoch auch in Schlämmen der Regionen 7 und 5 erhöhte Uranwerte, die im Rohwasser nicht hervortreten.

Die Auswertung der Wasser- und Schlammdaten zeigt, dass die Anreicherung der Radionuklide aus dem Rohwasser in den Rückspülschlämmen sehr komplex ist und von vielen Faktoren bestimmt wird. Manche Rohwässer enthalten ebenso hohe Radionuklidgehalte wie ihre Reinwässer, in anderen werden bei gleicher Aufbereitungsart die Radionuklide sehr effektiv entfernt. Eine Korrelation mit der Wassermenge war bei der Berechnung der Fracht an Ra-226 in eisenhaltigen Schlämmen auf den ersten Blick nicht erkennbar. Die Einflussgrößen auf die Radionuklidanreicherung im Rückspülschlamm konnten somit in der Laufzeit des Projektes nicht erschöpfend beantwortet werden.

7.2 Radionuklide und Aufbereitungsart

Neben der unterschiedlichen Georegion kann auch die Aufbereitungsart des Trinkwassers einen Einfluss auf das Vorkommen von erhöhten natürlichen Radionuklidgehalten ausüben. Selbstverständlich hängt die Aufbereitungsart aber auch mit der Georegion zusammen, da die Wässer einer Georegion ähnliche hydrochemische Charakteristiken haben und damit ähnliche Aufbereitungsschritte nach sich ziehen.

In Tab. 18 sind die grundlegenden Kennzahlen der deskriptiven Statistik zu den Aktivitätskonzentrationen der wichtigsten Radionuklide in unterschiedlichen Arten von Rückspülschlämmen (s. Kap. 3.2) dargestellt. Auch hier wurden, wie in Kap. 7.1, nur nachweisbare Aktivitäten berücksichtigt. Sofern nur ein nachweisbarer Wert vorhanden war, wurde für das Minimum „kleiner Nachweisgrenze“ angegeben, der einzelne Wert als Maximum eingetragen und der Median nicht berechnet. Die meisten Schlämme stammen aus Enteisungs-Anlagen (z.T. gekoppelt mit Mangan- und Arsen-Entfernung und anderen Aufbereitungsarten) (109 Proben) sowie aus Entsäuerungsanlagen (73 Proben). Hier sind genügend Werte vorhanden, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Für die Aufbereitungsart „Kalkhaltige Rückstände aus der Entkarbonatisierung“ waren nur zwei Proben verfügbar, eine davon ist Rückstand aus Branntkalk, der bei der Kalkmilchherstellung anfällt. Bei den „Sonstigen“ Aufbereitungsarten sind Ionenaustausch, Ultrafiltration, Trübung-Entfernung über Sandfilter, Aktivkohlen und verschiedene Mischungen dieser Systeme zusammengefasst. Durch die große Vielfalt dieser Schlämme sind die Werte nicht besonders aussagekräftig und nur der Vollständigkeit halber aufgeführt. Für Uran-238 konnten nur zwei Werte oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt werden, weshalb der Median nicht berechnet wurde. Auch Al/Fe-Flockungs-Schlämme sind nur zweimal beprobt worden. Ein Schlamm stammt aus der biologischen Nitrat-Entfernung, bei der zusätzlich Eisen-III-Chlorid als Flockungs-Hilfsmittel zugegeben wird.

Tab. 18: Aktivitätskonzentrationen der wichtigsten Radionuklide nach Aufbereitungsart

Art Aufbereitung	U-238 [Bq/g]			Ra-226 [Bq/g]			Pb-210 [Bq/g]			Ac-228 [Bq/g]			Anzahl Proben
	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	
Kalkschlamm aus Entkarbonatisierung	< NWG	0,04	n.b.	< NWG	0,04	n.b.	< NWG	0,00	n.b.	0,003	0,01	n.b.	2
Kalkhaltige Schlämme aus Entsäuerung	0,022	4,18	0,138	0,006	3,02	0,039	0,009	18,43	0,205	0,001	0,68	0,013	73
Eisenhaltige Schlämme	0,108	0,92	0,200	0,018	45,58	0,640	0,013	3,26	0,191	0,004	13,50	0,421	109
Al/Fe-Flockungs-Schlämme	<NWG	0,11	n.b.	0,047	0,08	0,061	<NWG	0,13	n.b.	0,018	0,07	n.b.	2
Sonstige	0,111	0,30	n.b.	0,040	0,14	0,084	0,090	0,58	0,222	0,026	0,10	0,048	7

Die höchste Aktivität stammt aus einem eisenhaltigen Schlamm und wird durch das Radionuklid Ra-226 hervorgerufen (45,6 Bq/g). Auch der Maximalwert von Ac-228 ist in dieser Gruppe von Schlämmen zu finden (13,5 Bq/g). Die höchsten Aktivitäten von Pb-210 (18,4 Bq/g) und U-238 (4,2 Bq/g) werden in kalkhaltigen Schlämmen aus der Entsäuerung gemessen. Der Kalkgehalt dieser Schlämme hat dabei nichts mit dem geologischen Ausgangsmaterial zu tun. Er stammt aus Feinstpartikeln des kalkhaltigen Filtermaterials, das bei der Rückspülung mit ausgetragen wird (s. Kapitel 3.2).

Die höchsten Medianwerte der Aktivitäten treten bei den Radionukliden Ra-226 (0,64 Bq/g), Ac-228 (0,42 Bq/g) und U-238 (0,20 Bq/g) in eisenhaltigen Schlämmen auf. Besonders deutlich wird der Unterschied gegenüber den anderen Aufbereitungsarten bei Ra-226 und Ac-228 (Abb. 44). Die Medianwerte von Pb-210 sind in den drei relevanten Aufbereitungsarten in etwa gleich hoch (Werte um 0,2 Bq/g). Hier kann somit keine Differenzierung durch die Aufbereitungsart festgestellt werden. Der Peak des Pb-210 bei den Entsäuerungs-Schlämmen ist jedoch innerhalb dieser Gruppe der höchste (die Medianwerte der anderen Radionuklide sind in Entsäuerungs-Schlämmen geringer).

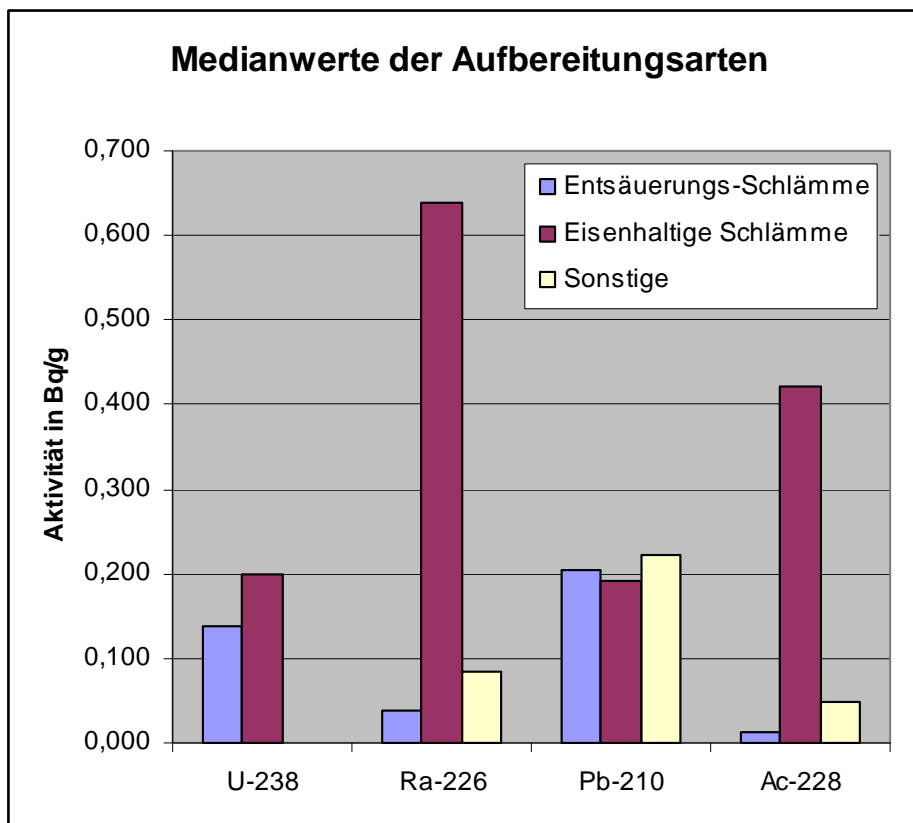


Abb. 44: Medianwerte der Aktivitäten nach Aufbereitungsarten

7.3 Radionuklide und Wasserchemie

Im Rahmen des Projektes wurden mit Hilfe des Fragebogens auch die chemisch-physikalischen Parameter des Rohwassers der einzelnen Wasserwerke abgefragt. Korrelationsanalysen mit dem Programm SPSS haben dabei einige Zusammenhänge des Vorkommens von Radionukliden mit Parametern der Wasserchemie aufgezeigt. Diese variieren auch mit den geologischen Gegebenheiten. Sofern die Zahl der Proben ausreichte, wurden die Korrelationen für jede Georegion getrennt untersucht. Da die Werte der Aktivitäten nicht normalverteilt sind, wurden die Korrelationskoeffizienten (K) nach Spearman-Rho oder Kendall-Taub verwendet.

Vor allem in den Georegionen Buntsandstein (Georegion 1) und Keuper-Sandstein (Georegion 3) wird eine signifikante positive Korrelation zwischen der Summe der Aktivität (in Bq/g) und den Metallen Eisen und Mangan sowie Arsen (in mg/kg) in den Schlämmen festgestellt (K = +0,76 mit As im Buntsandstein, K = +0,80 mit Eisen im Keuper-Sandstein, Abb. 45 und 46).

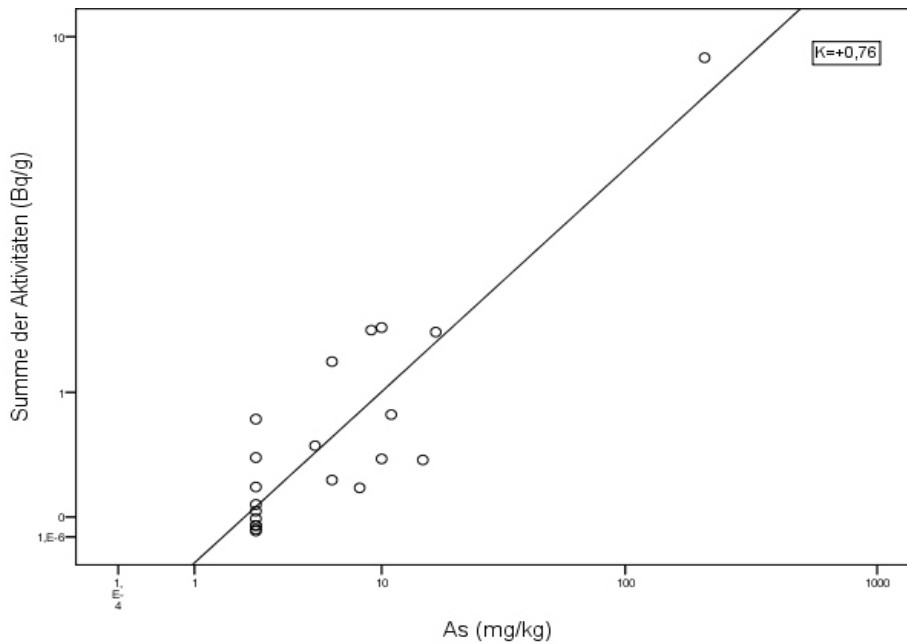


Abb. 45: Korrelation von Arsen (mg/kg) und Summe der Aktivitäten (Bq/g) im Buntsandstein ($K = + 0,76$)

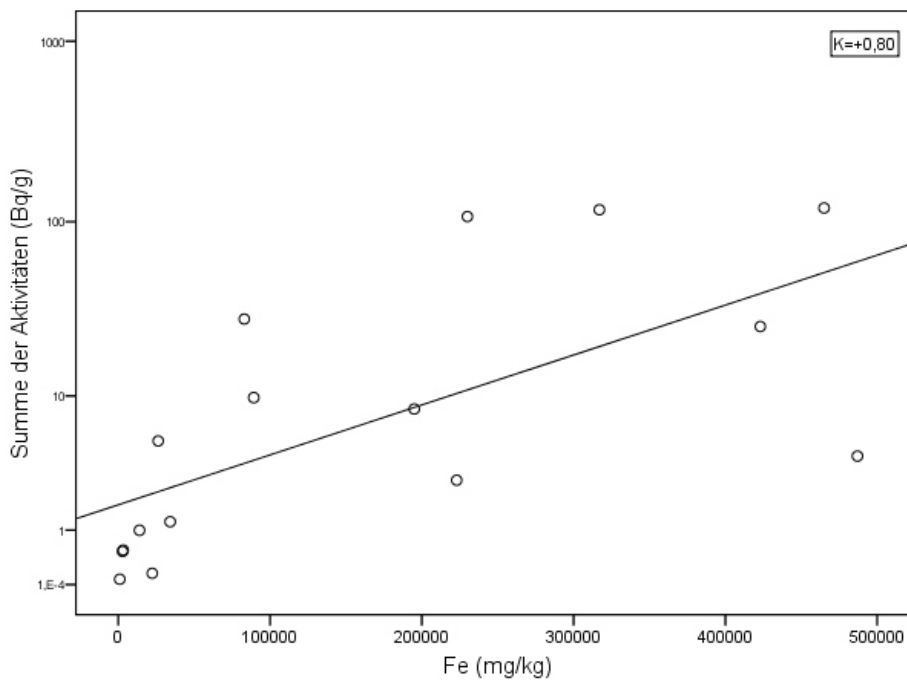


Abb. 46: Korrelation von Eisen (mg/kg) und Summe der Aktivitäten (Bq/g) im Keuper ($K = + 0,80$)

Eisen, Mangan und Arsen korrelieren oft miteinander, da sie unter denselben physikalisch-chemischen Bedingungen gelöst und ausgefällt werden. Gelöst werden sie bei einem geringen Sauerstoffgehalt im Rohwasser, was auch durch die negative Korrelation von Eisen, Mangan und Arsen mit dem Sauerstoffgehalt im Rohwasser festgestellt werden kann. Dem entsprechend wird auch häufig eine negative Korrelation der Summe der Aktivitäten im Schlamm mit dem Sauerstoffgehalt im Rohwasser festgestellt, beispielsweise in den Wässern aus dem Tertiär ($K = -0,40$) (Abb. 47). Die Korrelation befindet sich nur auf einem niedrigen Niveau, ist jedoch signifikant. Das Niveau wird vor allem durch einige wenige Ausreißer herabgesetzt.

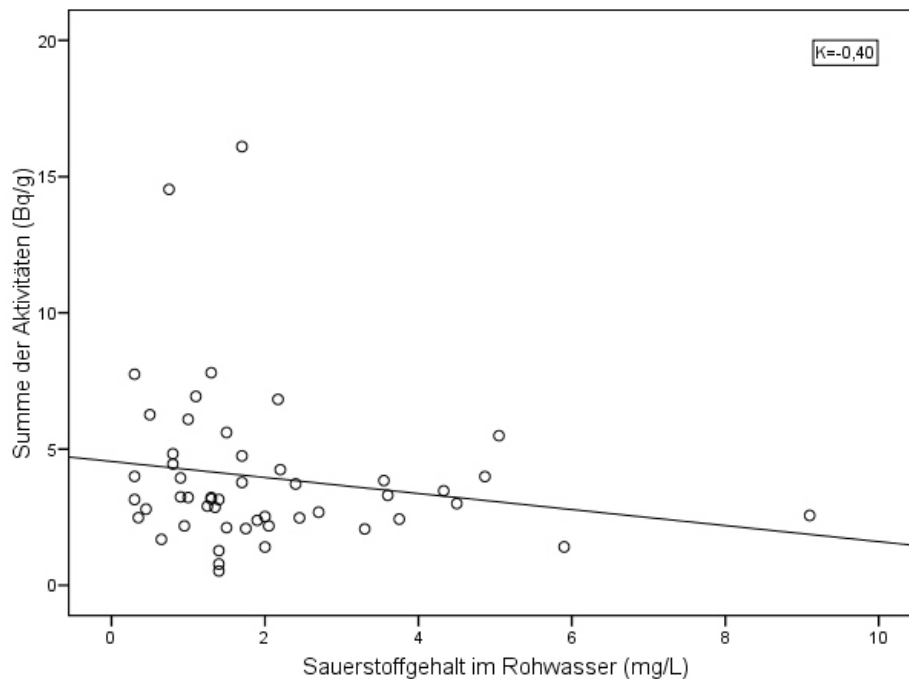


Abb. 47: Korrelation von Sauerstoffgehalt (mg/L) im Rohwasser und Summe der Aktivitäten (Bq/g) im Schlamm (K = - 0,40)

Im Grundgebirge (Georegion 5) kann keine signifikante Korrelation zwischen den physikalisch-chemischen Parametern im Rohwasser und der Summe der Aktivität im Schlamm festgestellt werden.

Bei Einstufung der Proben nach der Georegion wurde meist nur ein geringes Niveau der Korrelation erreicht. Eine andere Möglichkeit ist die Aufteilung nach der Petrographie (Gesteinsart). Auf die chemischen Bestandteile des Grundwassers haben die Zusammensetzung des Gesteins (Kalkstein, Silikatgestein, etc.) und seine Ausprägung als Festgestein oder Lockergestein einen größeren Einfluss als das geologische Zeitalter und die geologische Formation. Besonders bei Sediment-Gesteinen (z. B. Sandsteinen und Lockergesteinen) ist dabei jedoch auch das Liefergebiet von Bedeutung. Ein Beispiel dafür sind die höheren Urangehalte in Keuper-Sandsteinen durch Abtragung von granitischem Material im Liefergebiet.

Bei der Berechnung der Korrelation für alle Proben mit den einzelnen Radionukliden und der Summe der Aktivitäten im Schlamm konnte festgestellt werden, dass das Radionuklid Ra-226 einen entscheidenden Anteil an der Summe der Aktivität hat (Abb. 48). Hier kommen Korrelationen mit $K > +0,9$ vor (s. auch Kapitel 4). Deshalb wurde dieses Radionuklid für die Untersuchung der Korrelationen mit der Petrographie herangezogen.

Eine Einteilung in Sandsteine, Kalk- und Dolomitsteine, Granite, Metamorphe Gesteine (Gneise u. a.) sowie grobklastische Lockergesteine (Kies bis Sand) und feinkörnige Lockergesteine (Feinsand bis Ton) liefert zumindest für Korrelationen mit den chemisch-physikalischen Parametern des Rohwassers bessere Ergebnisse mit höheren Signifikanzen als die Aufteilung nach den Georegionen.

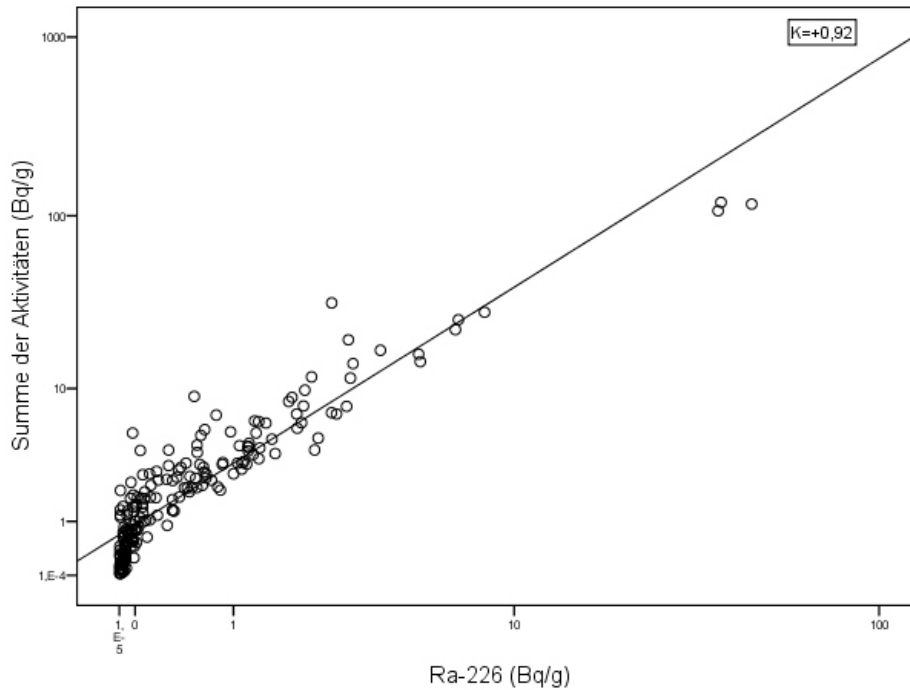


Abb. 48: Korrelation der Summe der Aktivitäten (Bq/g) mit der Aktivität von Ra-226 (Bq/g) (für alle untersuchten Schlämme, $K = + 0,92$)

Bei Trinkwasser, das aus den Gesteinsarten Sandstein, Kalkstein/Dolomitstein sowie Kies und Sand stammt, wird eine deutliche negative Korrelation der Aktivität von Ra-226 im Schlamm mit dem Sauerstoffgehalt im Rohwasser festgestellt ($K = - 0,66$ im Sandstein, $K = - 0,80$ im Kalk-/Dolomitstein, $K = - 0,60$ in Kies und Sand). In diesen Gesteinen kommen höhere Aktivitäten von Ra-226 in den Schlämmen erst bei Sauerstoffgehalten des Rohwassers von < 2 mg/L vor (Abb. 49). Allerdings ist ein niedriger Sauerstoffgehalt nicht gleichbedeutend mit einer hohen Ra-226-Aktivität, d. h. bei niedrigem Sauerstoffgehalt können auch niedrige Aktivitäten vorkommen. Analog der chemischen Löslichkeit von Eisen, Mangan und Arsen bei niedrigen Sauerstoffgehalten korrelieren auch diese Parameter gut mit der Aktivität von Ra-226 (Korrelationskoeffizienten um $K = + 0,7$).

In Lockergesteinen (Kiese und Sande, Feinsande und Tone) kann eine Tendenz zur Korrelation von hohen Aktivitäten der Schlämme mit höheren pH-Werten im Rohwasser festgestellt werden. Die Korrelation ist zwar nur gering ($K = + 0,16$), weist aber ein hohes Signifikanzniveau auf (0,3). Zumindest treten hohe Aktivitäten auch nur bei höheren pH-Werten ($> 7,7$ pH-Einheiten) auf (Abb. 50). Bei feinkörnigeren Sedimenten ist der Trend weniger ausgeprägt (nicht signifikant wegen geringer Probenzahl).

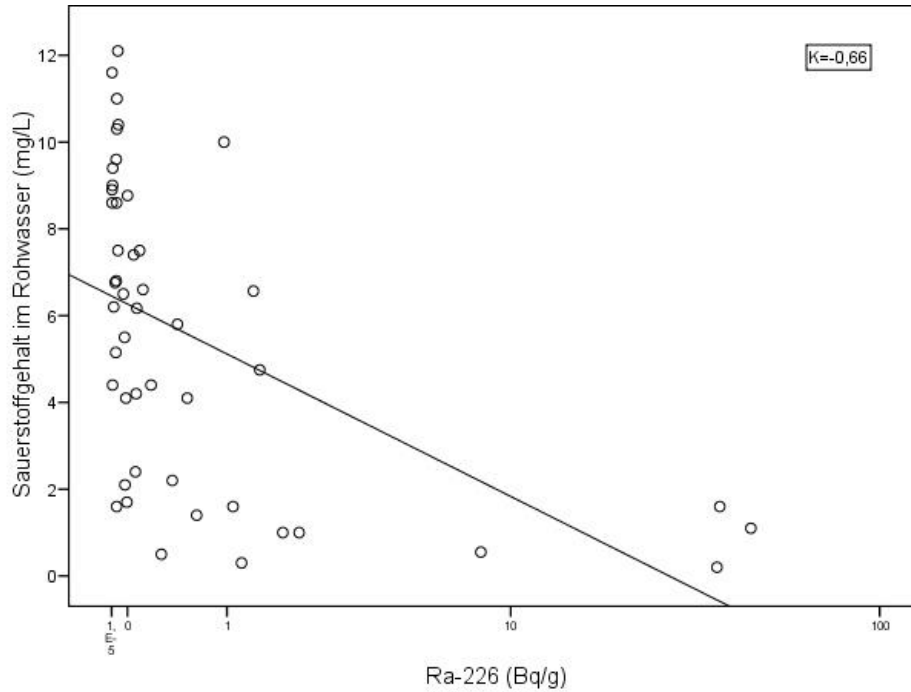


Abb. 49: Korrelation von Sauerstoffgehalt (mg/L) im Rohwasser und der Ra-226-Aktivität (Bq/g) im Schlamm bei Trinkwasser aus Sandsteinen ($K = -0,66$)

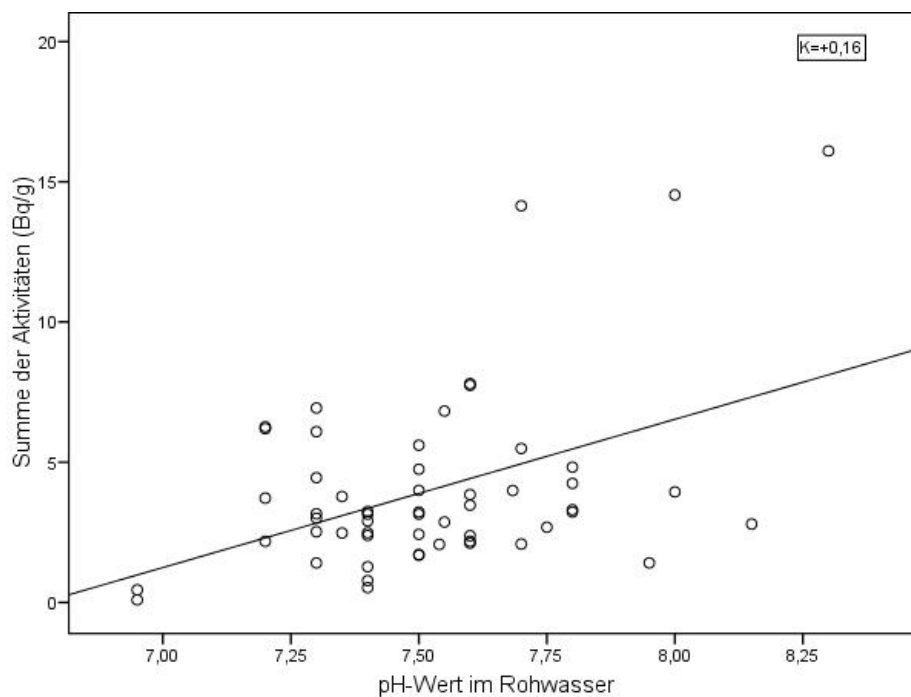


Abb. 50: (Geringe) Korrelation der Summe der Aktivitäten im Schlamm mit dem pH-Wert des Rohwassers in Kiesen und Sanden ($K = +0,16$)

Deutlicher ist die Abhängigkeit der Aktivitäten der Schlämme vom pH-Wert des Rohwassers in metamorphen Gesteinen (Gneise u. a.), jedoch in umgekehrter Richtung: hier kommen höhere Aktivitäten bei tiefen pH-Werten ($< 5,5$ pH-Einheiten) vor. Insbesondere eine Korrelation der Aktivität von Pb-214 sowie Ra-226 im Schlamm mit niedrigen pH-Werten im Rohwasser wird beobachtet (jeweils $K = -0,43$) (Abb. 51). Da Pb-214 ein Folgeprodukt des Rn-222 ist, könnte dieser Zusammenhang auch auf eine verstärkte Lösung von Rn-222 bei sauren pH-Werten hindeuten. Hier sind jedoch für eine gesicherte Aussage weitere Untersuchungen notwendig. Bei Graniten ist der Trend wegen der geringen Probenzahl ($N = 12$) weniger stark ausgeprägt (dagegen Metamorphite: $N = 41$). Bei den metamorphen

Gesteinen wird auch eine Korrelation der Summe der Aktivitäten mit Eisen, Mangan und Arsen im Schlamm festgestellt, die Korrelation ist jedoch geringer ausgeprägt als in den Sandsteinen (K von +0,5 bis +0,6). Eine Korrelation mit dem Sauerstoffgehalt kann nicht festgestellt werden, was auch daran liegt, dass die Sauerstoffgehalte in den oberflächennahen Wässern des Grundgebirges bis auf wenige Ausnahmen hoch sind (sauerstoffgesättigte Wässer). Eine Lösung von Eisen u. a. Metallen (auch Blei) wird jedoch auch durch geringe pH-Werte verursacht.

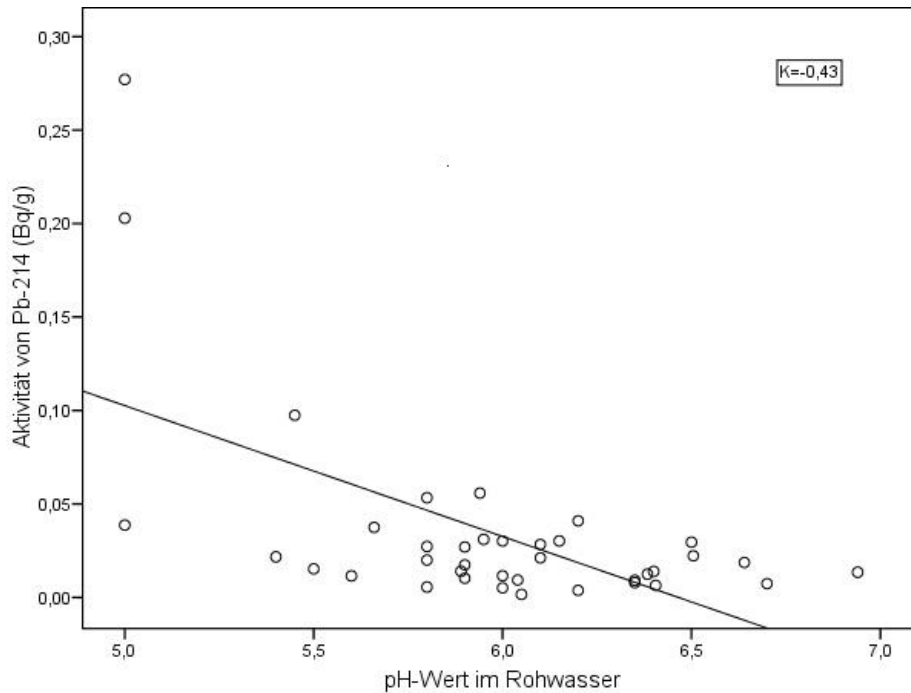


Abb. 51: Korrelation der Aktivität von Pb-214 (Bq/g) mit dem pH-Wert des Rohwassers in Metamorphiten (K = - 0,43)

Im gesamten Datensatz konnte keine Korrelation zwischen der organischen Substanz (TOC) und den Aktivitäten festgestellt werden. Die Anzahl der nachweisbaren Gehalte an organischer Substanz war jedoch mit $N = 12$ gering, so dass hier keine Aussage getroffen werden kann. Generell sind die statistischen Aussagen nur signifikant, wenn die Probenzahl hinreichend hoch ist (mindestens 30 Fälle).

8 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des zweiten Teilprojektes zu natürlicher Radioaktivität in Rückspülschlämmen aus der Trinkwasseraufbereitung wurden von April 2007 bis März 2008 insgesamt 211 Proben von Rückständen aus 169 Wasserversorgungs-Unternehmen (WVU) untersucht. An den Proben wurden mit Hilfe der Gamma-Spektrometrie die Radionuklide der drei natürlichen Zerfallsreihen U-238, Th-232 und U-235 gemessen. Von jedem Eigentümer wurden außerdem Schlamm-Menge und Entsorgungswege mit Hilfe eines Fragenkatalogs abgefragt. Für jeden Schlamm wurde eine Dosisberechnung durchgeführt, um zu überprüfen, ob eine erheblich erhöhte effektive Dosis nach § 102 StrlSchV durch die Rückspülschlämme zu erwarten ist. Dazu wurden vier verschiedene Szenarien zu Arbeiten mit den Schlämmen berechnet. Des Weiteren wurden die Zusammenhänge und Einflüsse durch die geologische Region, Aufbereitungsart und die Wasserchemie des Rohwassers untersucht.

Die Aktivitätsmessungen der einzelnen Proben zeigen, dass die höchsten Medianwerte der Aktivitätskonzentrationen bei Pb-210 (0,2 Bq/g), Th-228 (0,18 Bq/g) und Ra-226 (0,18 Bq/g) vorkommen. Die maximal vorkommende Aktivität wurde beim Radionuklid Ra-226 festgestellt (46 Bq/g). Insgesamt werden jedoch nur einige wenige hohe Werte beobachtet: 75 % der nachweisbaren Aktivitäten von Ra-226 liegen unter 0,87 Bq/g. Die Radionuklide der Zerfallsreihe U-238 befinden sich nicht im radioaktiven Gleichgewicht und sind ab Ra-226 angereichert. Vermutlich wird Radium aus dem Gestein bevorzugt gelöst und im Wasserwerk ausgefällt. In den meisten Schlämmen ist Ra-226 das dominierende Radionuklid. In Schlämmen aus dem kristallinen Grundgebirge ist Pb-210 häufig vorherrschend. Die Summe der jeweiligen maximalen Aktivitätskonzentration der Zerfallsreihen U-238 und Th-232 (nach Anlage XII Teil B StrlSchV) zeigt, dass in 95 % der Schlämme eine Aktivität von 0,2 Bq/g nicht überschritten wird. Weitere 3 % besitzen Aktivitäten zwischen 0,2 und 1 Bq/g. Nur etwa 2 % der Schlämme überschreiten den Wert von 1 Bq/g, der für überwachungsbedürftige Rückstände nach § 97 der StrlSchV angewendet werden müsste, jedoch bei Wasserwerksschlämmen keine Anwendung findet.

In den meist kleinen WVU in Bayern fallen pro Wasserwerk nur geringe Mengen an Rückspülschlamm an. Der Median liegt bei 1,6 m³/a Dünnschlamm (50 % Wassergehalt). In den untersuchten WVU beträgt die Gesamtmenge an produziertem Dünnschlamm 13.031 m³/a. Es fallen 12.200 m³ davon jährlich in einem einzigen großen WVU an (9.000 m³/a bei der biologischen Nitrataufbereitung und 3.200 m³/a bei der Entkarbonisierung). Bei den übrigen Schlämmen handelt es sich vor allem um eisenhaltige Schlämme (448 m³/a) aus der Enteisung und Entmanganung, die z. T. mit einer Arsenentfernung und anderen Aufbereitungsarten gekoppelt sind. Auch kalkhaltige Schlämme aus der Entsäuerung bilden einen größeren Anteil (267 m³/a). Bei diesen wird der Kalkgehalt durch ausgespültes Filtermaterial hervorgerufen.

Nach Aussagen der WVU werden die meisten Schlämme in den kommunalen Kläranlagen entsorgt (25,6 % der Schlamm-Menge in m³ Dünnschlamm). Ein weiterer großer Anteil wird auf Restmülldeponien der Klassen I und II beseitigt (23,3 %). Nimmt man alle Deponie-Arten zusammen, so werden insgesamt 33 % der Schlamm-Menge deponiert. Kalkschlämme aus der Entkarbonisierung werden in der Papierindustrie als Zuschlagstoff verwertet (ein großes WVU). Viele WVU entsorgen ihren Schlamm über Entsorgungsfirmen (20,3 % der Schlamm-Menge), die den Schlamm einer weiteren Verwertung oder Beseitigung zuführen. Dabei werden die Schlämme häufig mit anderen Abfällen gemischt. Der genaue Entsorgungsweg ist dann meist nicht mehr nachvollziehbar. Noch etwa 8 % der Schlämme werden derzeit auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ausgebracht. Hier handelt es sich vor allem um kalkhaltige Schlämme aus der Entsäuerung. Der Anteil dieses Entsorgungsweges ist jedoch rückläufig.

Für jeden Schlamm wurde eine Dosisberechnung für verschiedene Szenarien der Entsorgung durchgeführt (Exposition Wasserwart: 20 h/a, Exposition LkW-Fahrer: 3 h/a, Exposition Deponie-Arbeiter: 8 h/a, Exposition 100 h/a = 2 Stunden pro Arbeitswoche). Dabei wird in Anlehnung an § 97 StrlSchV eine Dosis von 1 mSv/a als „erheblich erhöht“ (§ 102) angesehen. Dieser Wert gilt zwar nicht explizit für Wasserwerks-Rückstände, kann jedoch zur Orientierung herangezogen werden. Die Berechnungen der effektiven Dosis für den Beschäftigten haben ergeben, dass für alle Szenarien alle Schlämme unterhalb von 1 mSv/a liegen. Rückstände aus der Trinkwasser-Aufbereitung sind somit keine überwachungsbedürftigen Materialien im Sinne der Strahlenschutzverordnung. Die maximale berechnete effektive Dosis eines Schlammes lag bei 0,6 mSv/a für eine Expositionszeit von 100 h/a und eine Staubkonzentration in der Luft von 0,01 g/m³. Unter denselben Bedingungen errechnet sich für 50 % der Schlämme (Median) eine effektive Dosis von 0,009 mSv/a. Für 75 % der Schlämme ergibt sich eine effektive Dosis von maximal 0,2 mSv/a. Das heißt nur durch einige wenige Schlämme werden höhere Werte der effektiven Dosis hervorgerufen. Ein Umgang mit mehreren Schlämmen könnte eine Dosis von über 1 mSv/a nach sich ziehen, wurde aber bei keinem der untersuchten WVU festgestellt. Die Annahmen für die Berechnungen sind insgesamt sehr konservativ, so dass im Regelfall nicht von einer erheblich erhöhten Dosis gesprochen werden kann. In besonderen Einzelfällen sind genauere Angaben zu Ortsdosisleistung, Expositionszeit und Entsorgungsweg notwendig.

Da in den Schlämmen dennoch nennenswerte Aktivitäten und dadurch verursachte Gammastrahlung auftreten, insbesondere beim Radionuklid Ra-226 (Maximum 46 Bq/g), sollten bei Schlämmen mit erhöhten Aktivitätskonzentrationen Arbeitsschutz-Maßnahmen bei Umgang und Entsorgung eingehalten werden.

Um Schlämme mit erhöhten Aktivitätskonzentrationen einfacher identifizieren zu können, war es auch ein Ziel des Projektes, die Einflussfaktoren auf den Radionuklidgehalt der Rückspülschlämme aus der Trinkwasseraufbereitung aufzuzeigen. Es wurden daher Zusammenhänge zwischen der Geologie, der Aufbereitungsart, der Wasserchemie des Rohwassers und den natürlichen Radionukliden im Schlamm untersucht.

Die höchsten Radionuklidgehalte (insbesondere an Ra-226) treten in der geologischen Einheit der Keuper-Sandsteine auf, die in ihrer geochemischen Zusammensetzung erhöhte Gehalte an Uran aufweisen. Auch in Schlämmen des aufbereiteten Trinkwassers aus dem Tertiärgebiet (Molasse) kommen häufig erhöhte Gehalte an Radionukliden vor (Ra-226 und U-238). Bei Trinkwasser aus dem Grundgebirge wird U-238 im Rückspülschlamm angereichert, das vorwiegend aus uran- und thoriumhaltigen Graniten stammt. In diesen Schlämmen wird vor allem Pb-210 als langlebiges Folgeprodukt von Rn-222 im Schlamm akkumuliert. Das Rn-222, das durch seine Mobilität als Gas in der Bodenluft über Granitgesteinen angereichert ist, wird im Wasser vermehrt gelöst. Seine Zerfallsprodukte (Pb-214 und Bi-214), die Feststoffe darstellen, werden dann im Schlamm angereichert, wo sie innerhalb kurzer Zeit zu Pb-210 zerfallen.

Auch die Aufbereitungsart kann als Einflussfaktor auf erhöhte Radionuklidgehalte angesehen werden, wobei sie selbstverständlich eng mit der Wasserchemie und der geologischen Einheit, aus der das Wasser stammt, zusammenhängt. Vor allem in Schlämmen aus der Enteisung und Entmanganung werden erhöhte Radionuklidgehalte festgestellt, da insbesondere Radium mit Eisenoxiden gefällt wird. Entsprechend der erhöhten Gehalte an Radon im Grundwasser aus dem Grundgebirge, v. a. aus granitischen Gesteinen, sind auch in Schlämmen aus Entsäuerungsanlagen im Grundgebirge die Folgeprodukte des Rn-222 angereichert. Pb-210 ist das vorherrschende Radionuklid in den Schlämmen aus der Entsäuerung (Grundgebirge und Buntsandstein), die Aktivitäten sind jedoch insgesamt nicht höher als bei anderen Aufbereitungsarten.

Wasserchemisch gesehen führen vor allem niedrige Sauerstoffgehalte zu einer vermehrten Anreicherung von Radionukliden im Rückspülschlamm. Bei niedrigen Sauerstoffgehalten ($< 2 \text{ mg/L}$), die vor allem in Tiefenwässern aber auch in Gebieten mit erhöhten Gehalten an organischer Substanz (Moorgebieten) vorkommen, werden Eisen, Mangan und Arsen sowie Radium aus dem Gestein gelöst. Bei der Oxidation des Rohwassers mit Sauerstoff bei der Aufbereitung wird dann mit den Eisen-Oxiden auch das Radium ausgefällt. Höhere pH-Werte ($> 7,7 \text{ pH-Einheiten}$) scheinen ebenfalls zu einem erhöhten Radionuklidgehalt in solchen Wässern beizutragen. In Wässern aus dem Grundgebirge kann Eisen bei sehr niedrigen pH-Werten auch in sauerstoffgesättigten Wässern gelöst sein. Bei der Entsäuerung über Kalkfilter wird der pH-Wert angehoben und das Eisen ausgefällt. Hier kann es zu einer Mitfällung von Radionukliden kommen. Ebenso geht Blei bei niedrigen pH-Werten in Lösung und kann durch die Aufbereitung gefällt werden. Für die hohen Gehalte an Pb-214 und Pb-210 im Rückspülschlamm sind jedoch vorwiegend hohe Radongehalte verantwortlich. Ein Zusammenhang von höheren Aktivitäten (insbesondere Pb-214) mit niedrigen pH-Werten ($< 5,5 \text{ pH-Einheiten}$) ist jedoch erkennbar. Möglicherweise besteht auch ein Zusammenhang von hohen Radon-Konzentrationen mit niedrigen pH-Werten, der jedoch eingehender untersucht werden müsste.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass in Rückspülschlämmen aus folgenden Wässern erhöhte Radionuklid-Gehalte vorkommen können:

- Tiefenwässer aus Keuper-Sandsteinen und Tertiären Sedimenten mit niedrigem Sauerstoffgehalt ($< 2 \text{ mg/L}$) und/oder höheren pH-Werten ($> 7,7 \text{ pH-Einheiten}$),
- Wässer aus Granitgebieten (Grundgebirge) mit erhöhten Radon-Konzentrationen (mehrere Hundert Bq/L),
- Wässer aus Granitgebieten (Grundgebirge) mit niedrigen pH-Werten ($< 5,5 \text{ pH-Einheiten}$),
- Wässer aus quartären Sedimenten oder Zersatzzonen mit Moorbildungen (Moränengebiet oder Grundgebirge) und niedrigen Sauerstoffgehalten ($< 2 \text{ mg/L}$).

Eine generelle Aufnahme der Wasserwerksrückstände in die Strahlenschutzverordnung, die im Rahmen der Diskussion um NORM-Rückstände (Naturally Occuring Radioactive Material) in Deutschland diskutiert wird, ist aus Sicht des BayLfU nicht erforderlich. Die Wasserversorgungs-Unternehmen müssten zahlreiche Untersuchungen durchführen, die zusätzliche Kosten verursachen und aus Sicht des Strahlenschutzes nicht erforderlich sind. Der Kosten-Nutzen-Aufwand steht daher nicht in einem sinnvollen Verhältnis. Durch die Regelungen des Abfallrechts ist eine „unkontrollierte“ Entsorgung der Rückstände weitgehend ausgeschlossen. Auch die Entsorgung in der Landwirtschaft wird in Zukunft immer weniger eine Rolle spielen und ist bereits durch strenge Vorgaben hinreichend geregelt. Durch die interne Zusammenarbeit der Behörden im Abfallrecht und Strahlenschutz werden besondere Einzelfälle (beispielsweise die Entsorgung von Anionenaustauschern mit Uranbeladung) gesondert berücksichtigt, so dass auch in solchen Fällen eine Gefahr für die Beschäftigten oder die Allgemeinbevölkerung ausgeschlossen werden kann. Durch die Untersuchungen wurden die Beschäftigten in den Wasserwerken für das Thema sensibilisiert. Den WVU, deren Schlämme erhöhte Aktivitäten (über 1 Bq/g) aufweisen, wurden Leitlinien zur Dosisreduzierung und zum allgemeinen Arbeitsschutz beim Umgang mit Stoffen mit natürlicher Radioaktivität sowie Hinweise zur Entsorgung an die Hand gegeben.

Weiterer Forschungsbedarf an Rückständen aus der Trinkwasseraufbereitung besteht bei der Mobilisierung der Radionuklide im Hinblick auf eine Deponierung. Hierfür wurden vom BayLfU bereits erste Eluationsversuche und Untersuchungen zu den Bindungsformen durchgeführt, die erweitert werden sollen. Ein derzeit laufendes Forschungsprojekt untersucht zudem Radon im Trinkwasser und die Möglichkeiten zu dessen Reduzierung im Zuge der Aufbereitung.

Die Untersuchungen dieses Berichtes beziehen sich nur auf das zweite Teilprojekt von April 2007 bis März 2008. Die Ergebnisse des ersten Teilprojektes (MALLICK, 2006) sind als PDF-Datei unter: http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_stra_00012.htm veröffentlicht. Eine Zusammenführung der Ergebnisse beider Teilprojekte ist im Rahmen einer Veröffentlichung geplant.

Literatur

- ABELE, G., BERGER, K. & SALGER, M. (1962): Die Uranvorkommen im Burgsandstein Mittelfrankens. – In: Geologica Bavarica 49, Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.)
- ATV-M 273 (1999): Einleiten und Einbringen von Rückständen aus Anlagen der Wasserversorgung in Abwasseranlagen, ATV-Merkblatt, August 1999
- BAYGLA (1996): Geologische Karte von Bayern im Maßstab 1:500.000 und Erläuterungen. – Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), 4. Auflage, München.
- BAYLFW (1992): Enteisung und Entmanganung durch Schnellfiltration. Seminar „Enteisung und Entmanganung“ vom 09.-11.12.1991 in Gunzenhausen. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.), Materialien Nr. 13, August 1992, München.
- BAYLFW (1994): Grundwasser. – Menge und Beschaffenheit des Grundwassers in Bayern. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Schriftenreihe Wasserwirtschaft in Bayern, H 28, München.
- BAYLFW (2003): Trinkwasseraufbereitung; Auslegung von Klärbehältern zur Sedimentation von schlammhaltigen Wässern aus der Filterspülung für kleine und mittlere Wasserwerke und Entsorgung von schlammhaltigem Wasser, Klarwasser und Schlamm. – Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Merkblatt Nr. 1.6/4, Oktober 2003, München.
- BAYLFW (2005): Einleitung kontaminierter Wässer. Hinweise zur Einleitung von Wasser mit Restbelastungen an Schadstoffen in oberirdische Gewässer und öffentliche Wasseranlagen. – Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Merkblatt Nr. 4.5/15, Juli 2005, München.
- BAYLFU (2007): Merkblatt für Errichtung, Betrieb und Überwachung von Deponien der DK 0 – Inertabfalldeponien nach Deponieverordnung (DepV) sowie Anpassung und Abschluss bestehender Bauschuttdeponien. – Bayerisches Landesamt für Umwelt, Merkblatt 3.6/3 der Sammlung Wasser, Augsburg.
- BAYLFU (2007a): Hausmüll in Bayern, Bilanzen 2006. Bayerisches Landesamt für Umwelt, August 2007, Augsburg.
- BAYLFU (2008): Hydrogeologische Teilräume von Bayern. – Bayerischen Landesamtes für Umwelt (Hrsg.), Augsburg. (www.lfu.bayern.de/geologie/daten/hydrogeologie/teilraum/index.htm)
- BFS (2000): Abschlussbericht zum Vorhaben SR 2416 des Bundesamtes für Strahlenschutz: Mengenaufkommen an NORM-Rückständen für das deutsche Entsorgungskonzept.
- BFS (2001): Leitfaden zur radiologischen Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten. Leitfadenfachband Sickerwasserpfund bei Halden des Alt- und Uranbergbaus. Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.), Januar 2001, Berlin.
- BMU (1999): Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen – Bergbau), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 30.07.1999, Berlin.
- BÜTTNER, G., PAMER, R. & WAGNER, B. (2003): Hydrogeologische Raumgliederung von Bayern. GLA-Fachberichte Nr. 20, Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München.
- BMJ (2001): Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition vom 23. Juli 2001, Band 1 und 2; Bundesministerium der Justiz (Hrsg.), Bundesanzeiger 53, 160b.

- DIN 25482-5 (1993): Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen; Zählende hochauflösende gammaspektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses, Juni 1993.
- DIN 38406 E29 (1999): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung: Kationen, Teil 29: Bestimmung von 61 Elementen durch Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS), Mai 1999.
- DIN 38414 S4 (1984): Eluat Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S 4), Oktober 1984.
- DIN 51418-2 (1996): Röntgenspektroanalyse - Röntgenemissions- und Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) – Teil 2: Begriffe und Grundlagen zur Messung, Kalibrierung und Auswertung, September 1996.
- DIN EN 13137, 2007 Charakterisierung von Abfall – Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) in Abfall, Schlämmen und Sedimenten; Deutsche Fassung EN 13137:2001, Dezember 2001.
- DVGW W 221-1 (1999): Rückstände und Nebenprodukte aus Wasseraufbereitungsanlagen; Teil 1: Grundsätze und Planungsgrundlagen. – DVGW-Regelwerk, Technische Regel Arbeitsblatt W 221-1, September 1999, Bonn.
- DVGW W 221-2 (1999): Rückstände und Nebenprodukte aus Wasseraufbereitungsanlagen; Teil 2: Behandlung. – DVGW-Regelwerk, Technische Regel Arbeitsblatt W 221-2, September 1999, Bonn.
- DVGW W 221-3 (1999): Rückstände und Nebenprodukte aus Wasseraufbereitungsanlagen; Teil 3: Vermeidung, Verwertung und Beseitigung. – DVGW-Regelwerk, Technische Regel Arbeitsblatt W 221-3, September 1999, Bonn.
- DVGW W 222 (1999): Einleiten und Einbringen von Rückständen aus Anlagen der Wasserversorgung in Abwasseranlagen. – DVGW-Regelwerk, Technische Mitteilung, Merkblatt W 222, August 1999, Bonn.
- DVGW W 223-1 (2005): Enteisenung und Entmanganung; Teil 1: Grundsätze und Verfahren. – DVGW-Regelwerk, Technische Regel Arbeitsblatt W-223-1, Februar 2005, Bonn.
- DVGW W 223-2 (2005): Enteisenung und Entmanganung; Teil 2: Planung und Betrieb von Filteranlagen. – DVGW-Regelwerk, Technische Regel Arbeitsblatt W-223-2, Februar 2005, Bonn.
- DVGW W 223-3 (2005): Enteisenung und Entmanganung; Teil 3: Planung und Betrieb von Anlagen zur unterirdischen Aufbereitung. – DVGW-Regelwerk, Technische Regel Arbeitsblatt W-223-3, Februar 2005, Bonn.
- GREEMAN, D.J. (1992): The geochemistry of uranium, thorium and radium in soils of the eastern United States. – Ph. D. Thesis, Pennsylvania State University. – (Zitiert in KEMSKI ET AL. 1996.)
- GUDDEN, H., SCHMID, H. & CARDOSO, J. (1974): Uran in Bayern. – Inoffizieller Bericht des Bayerischen Geologischen Landesamtes, München.
- HABERER, K. (1999): Radium 226 in Filterschlämmen der Grundwasseraufbereitung. – Vom Wasser 92, 335-345.

HANSE, R.O. & STOUT, P.R. (1968): Isotopic distributions of uranium and thorium in soils. – Soil Science, 105, 1, 44-50.

HOFMANN, J., LEICHT, R., WINGENDER, H.J., WÖRNER, J. (2000): Radiological Impact due to Wastes containing Radionuclides from Use and Treatment of Water. Report EUR 19255, European Commission Nuclear Safety and the Environment.

KEMSKI, J., KLINGEL, R. & SIEHL, A. (1996): Die terrestrische Strahlung durch natürliche radioaktive Elemente in Gesteinen und Böden. – In: Siehl, A. (Hrsg.) (1996): Umweltradioaktivität, Berlin, 69-98.

KLINGEL, R., KLINGER, C. & THEIN, J. (1995): Zur Mobilität von Uran und Radium. – In: MERKEL, B., HURST, S., LÖHNER, E.P. & STRUCKMEIER, W. (Hrsg.): Uraniummining and hydrogeology. – GeoCongress 1, 315-324.

LANGMUIR, D. & RIESE, A.C. (1985): The thermodynamic properties of radium. – Geochimica Cosmochimica Acta, 49, 1593-1601.

MALLICK, R. (2006): Ermittlung von Arbeitsfeldern mit erhöhten Expositionen durch natürliche Radioisotope und überwachungsbedürftigen Rückständen – Rückstände aus der Trinkwasseraufbereitung. Abschlussbericht zum 31. Dezember 2006, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Augsburg. (www.lfu.bayern.de/strahlung/fachinformationen/rueckstaende_mit_nat_radioaktivitaet/doc/abschlussbericht_mallik_2006_endfassung.pdf)

MERKEL, B., HURST, S., LÖHNER, E.P. & STRUCKMEIER, W. (Hrsg.) (1995): Uraniummining and hydrogeology. – GeoCongress 1.

MUTSCHMANN, J. & STIMMELMAYR F. (2007): Taschenbuch der Wasserversorgung. – 14. vollständig überarbeitete Auflage, Wiesbaden.

ROSHOLT, J.N. (1959): Natural radioactive disequilibrium of uranium series. – U.S. Geological Survey Bulletin, 1084-A.

RÜHLE, H. (1996): Radioaktivität in verschiedenen Wasservorkommen. – In: SIEHL, A. (Hrsg.) (1996): Umweltradioaktivität, Berlin, 157-178.

SCHNEIDER, S. & ZIMMERMANN, U. (1996): Kriterien für die Nutzung von Wasserwerksrückständen in der Land- und Forstwirtschaft. – Gwf 137 (1996), 137-141.

SEYLER (2008): Mündliche Mitteilung Dr. F. Seyler, Referat 67 „Kommunale und häusliche Abwasserbehandlung“ des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, Juni 2008.

SIEHL, A. (Hrsg.) (1996): Umweltradioaktivität, Berlin.

TRAUTMANN-SHEIMER, M. (2002): Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern, Abschlussbericht vom 1. Mai 2002. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.), Augsburg.

Gesetze und Verordnungen:

AbfAbIV (2001): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (Abfallablagerungsverordnung – AbfAbIV) vom 20. Februar 2001, BGBl. I S. 305.

AbfKlärV (1992): Klärschlammverordnung vom 15. April 1992, BGBl. I S. 912.

AbwV (2004): Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung), Anhang 31: Wasseraufbereitung, Kühlsysteme, Dampferzeugung, vom 17.06.2004.

AtG (1985): Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz). In der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BFBl. I S. 1565) (BGBl. III 751-1).

BayWG (1994): Bayerisches Wassergesetz, in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. Juli 1994, GVBl 1994, S. 822.

BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlasten-Verordnung (BBodSchVO) vom 12.07.1999, BGBl. I S. 1554

LAGA (1997): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln, Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Merkblatt Nr. 20, Stand 6. November 1997.

DepV (2002): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 24. Juli 2002, BGBl. I S. 2807.

EAK (1996): Verordnung zur Einführung des Europäischen Abfallkatalogs (EAK) vom 13. September 1996, BGBl. I S. 1428.

KrW-/AbfG (2000): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG) in der Fassung vom 03.05.2000 (BGBl. I, S. 632).

StrlSchV (2001): Verordnung ÜBER DEN Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, ber. 2002 I S. 1459).

TA Abfall (1991): Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall) vom 12. 03.1991.

TA Siedlungsabfall (1993): Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall) vom 14.05.1993.

TrinkwV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV) vom 21.05.2001, BGBl. I S. 959.

WHG (2002): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) in der Fassung vom 25.06.2002.

Anhang

- I. Fragenkatalog
- II. Spezifische Aktivitäten der Schlammproben
- III. Feststoffanalysen der Schlammproben (RFA und TOC)
- IV. Dosisberechnung für die einzelnen Proben
- V. Empfehlungen an die Wasserwerke zur Dosisreduzierung

Anhang I: Fragebogen

Bitte zurück senden an:

Dr. Christine Vornehm
Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Fragenkatalog

1. Name und Adresse des Wasserwerks/Wasserversorgungsunternehmens:
2. Anzahl Gewinnungsgebiete und Brunnen/Quellen, Tiefe der Brunnen:
3. Geförderte Wassermenge der einzelnen Brunnen/Quellgebiete im Jahr:
4. Anzahl der Anlagen zur Wassergewinnung und Art der Aufbereitung:

Anlage	Anzahl
Wasseraufbereitung	
Enteisung	
Entmanganung	
Entarsenung	
Entsäuerung	
Aktivkohle	
Ionenaustauscher	
Hochbehälter	
Sonstiges*	

*Bezeichnung:

5. Wasseraufbereitung

VORGEHENSWEISE		BRUNNENBEZEICHNUNG
Rohwasser aller Brunnen/Quellen gemischt und aufbereitet		
Rohwasser mehrerer Brunnen/Quellen gemischt und aufbereitet		
Rohwasser jedes einzelnen Brunnen/Quellen aufbereitet		

Bemerkung:

6. Lage der Aufbereitungsanlage, aus der die Schlammprobe stammt (Adresse, Koordinaten oder Lageplan beifügen):
7. Wasserdurchsatz durch die Aufbereitungsanlage:
8. Fassungsvermögen des Absetzbeckens:
9. Seit wann befindet sich der Rückspülschlamm im Absetzbecken/wann wurde das Absetzbecken zuletzt geleert?
10. Menge an Rückspülschlamm pro Absetzbecken:
11. Gesamtmenge an zu entsorgendem Rückspülschlamm:
12. Wie oft wird der Rückspülschlamm entsorgt?
13. Wie und wohin wird der Rückspülschlamm entsorgt?
14. Rückspülwasser/Klarwasser in Kanalisation oder in Vorfluter?
15. Name des Vorfluters:
16. In welcher Kläranlage werden die Abwässer des Versorgungsgebietes aufbereitet?
17. Geologie (falls bekannt), aus der das Wasser der Brunnen/Quellen stammt:
18. physikalisch-chemische Charakteristik des Rohwassers:

pH-Wert:	Elektrische Leitfähigkeit (in $\mu\text{S}/\text{cm}$):
Sauerstoffgehalt (in mg/L oder %): (falls > Nachweisgrenze):	Konzentration an Mangan, Eisen, Uran

Anhang II: Spezifische Aktivitäten der Schlämme in Bq/g

Uran-Radium-Zerfallsreihe (U-238)

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Th-234	Pa-234m	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-214	Bi-214	Pb-210
1	796	3,26E-02 ± 1,29E-02	≤ 6,95E-02	≤ 8,45E-01	≤ 6,34E-02	4,31E-02 ± 1,49E-02	4,37E-03 ± 9,18E-04	2,19E-03 ± 1,11E-03	2,61E-03 ± 5,81E-04
1	800	2,28E-02 ± 8,86E-03	≤ 3,25E-02	≤ 3,95E-01	≤ 3,71E-02	≤ 4,55E-03	9,37E-03 ± 1,05E-04	8,10E-03 ± 9,91E-04	≤ 4,75E-03
1	801	4,22E-02 ± 1,71E-02	≤ 7,58E-02	≤ 9,65E-01	≤ 7,96E-02	7,48E-02 ± 4,88E-02	7,56E-03 ± 2,26E-03	6,29E-03 ± 2,22E-03	≤ 1,03E-02
5	803	4,06E-02 ± 2,62E-02	4,18E-02 ± 4,10E-02	≤ 5,95E-01	≤ 1,53E-01	≤ 5,54E-03	1,85E-02 ± 1,70E-03	1,63E-02 ± 1,54E-03	2,27E-01 ± 1,22E-01
5	804	≤ 1,95E-02	≤ 6,02E-02	≤ 1,04E+00	≤ 1,81E-01	1,75E-01 ± 2,50E-02	4,84E-02 ± 3,26E-03	4,11E-02 ± 2,79E-03	1,87E-01 ± 5,55E-02
14	802	≤ 2,66E-01	≤ 4,47E+00	≤ 4,91E+01	≤ 2,78E+00	9,65E-01 ± 4,21E-01	1,75E-01 ± 8,76E-02	≤ 9,97E-02	1,75E+00 ± 2,07E-01
15	963	1,55E-01 ± 6,73E-02	≤ 2,54E-01	≤ 2,21E+00	≤ 2,94E-01	≤ 4,49E-02	6,44E-03 ± 5,54E-03	≤ 5,11E-03	5,81E-01 ± 1,21E-01
1005	777	≤ 1,95E-02	≤ 4,14E-02	≤ 7,15E-01	≤ 1,66E-01	7,63E-02 ± 1,16E-02	2,64E-02 ± 1,87E-03	2,34E-02 ± 1,93E-03	1,47E-01 ± 9,55E-02
1009	860	≤ 2,83E-02	≤ 7,47E-02	≤ 1,05E+00	≤ 2,42E-01	≤ 1,05E-02	5,19E-02 ± 3,54E-03	4,54E-02 ± 3,47E-03	2,16E-01 ± 1,11E-01
1017	823	1,38E-03 ± 6,12E-04	≤ 8,84E-03	≤ 1,17E-01	≤ 1,16E-02	5,54E-03 ± 1,82E-03	3,36E-03 ± 3,06E-04	2,63E-03 ± 2,85E-04	8,98E-03 ± 2,01E-03
1030	869	≤ 1,81E-02	≤ 3,82E-02	≤ 6,40E-01	≤ 1,50E-01	≤ 5,92E-03	1,42E-02 ± 1,49E-03	1,15E-02 ± 1,26E-03	≤ 9,23E-02
1032	876	3,57E-02 ± 2,87E-02	≤ 6,66E-02	≤ 8,48E-01	≤ 1,58E-01	≤ 5,53E-02	1,13E-02 ± 1,94E-03	1,04E-02 ± 1,61E-03	≤ 7,67E-02
1035	1104	≤ 2,92E-02	≤ 1,46E-01	≤ 1,33E+00	≤ 2,25E-01	4,68E-02 ± 2,56E-02	1,66E-02 ± 3,06E-03	1,22E-02 ± 2,52E-03	1,26E-01 ± 8,76E-02
1043	1117	3,80E-03 ± 1,02E-03	≤ 1,05E-02	≤ 2,17E-01	≤ 2,39E-02	1,27E-02 ± 2,53E-03	6,13E-03 ± 5,06E-04	4,94E-03 ± 4,24E-04	1,81E-02 ± 3,20E-03
1077	835	2,96E-02 ± 2,02E-02	≤ 3,57E-02	≤ 6,03E-01	≤ 1,31E-01	3,81E-02 ± 9,30E-03	1,81E-02 ± 1,46E-03	1,38E-02 ± 1,36E-03	≤ 7,11E-02
1085	1099	≤ 2,02E-02	≤ 4,57E-02	≤ 7,52E-01	≤ 1,84E-01	4,05E-02 ± 2,76E-02	2,71E-02 ± 2,41E-03	2,37E-02 ± 2,11E-03	2,71E-01 ± 5,05E-02
1093	1122	1,13E-02 ± 1,02E-02	≤ 2,25E-02	≤ 3,44E-01	≤ 6,94E-02	3,23E-02 ± 6,48E-03	1,13E-02 ± 8,95E-04	9,24E-03 ± 9,20E-04	≤ 3,66E-02
1093	1123	1,56E-01 ± 6,69E-02	1,62E-01 ± 3,57E-02	≤ 9,12E-01	≤ 1,99E-01	1,35E-01 ± 1,63E-02	2,51E-02 ± 2,23E-03	2,12E-02 ± 2,21E-03	2,04E-01 ± 1,11E-01
1093	1124	9,39E-03 ± 5,04E-03	≤ 1,98E-02	≤ 4,01E-01	≤ 4,25E-02	3,21E-02 ± 5,82E-03	1,38E-02 ± 1,09E-03	1,08E-02 ± 8,65E-04	4,45E-02 ± 4,82E-03
1094	1100	≤ 1,11E-02	≤ 2,78E-02	≤ 3,88E-01	≤ 7,81E-02	3,05E-02 ± 7,08E-03	8,11E-03 ± 9,89E-04	7,59E-03 ± 8,49E-04	≤ 3,43E-02
1098	1101	≤ 7,80E-03	≤ 2,17E-02	≤ 3,50E-01	≤ 6,57E-02	≤ 4,70E-03	2,06E-03 ± 5,91E-04	1,63E-03 ± 6,14E-04	≤ 2,64E-02
2076	1110	3,02E-02 ± 1,88E-02	≤ 5,11E-02	≤ 6,01E-01	≤ 1,18E-01	5,35E-02 ± 1,12E-02	2,81E-02 ± 2,80E-03	2,60E-02 ± 2,33E-03	≤ 4,92E-02
2076	1111	8,52E-02 ± 3,95E-02	1,26E-01 ± 3,20E-02	≤ 9,51E-01	≤ 2,14E-01	1,41E-01 ± 4,14E-02	6,03E-02 ± 5,29E-03	5,60E-02 ± 4,56E-03	2,29E-01 ± 1,19E-01
2076	1112	1,97E-02 ± 1,61E-02	≤ 2,65E-02	≤ 6,12E-01	≤ 1,45E-01	1,53E-01 ± 1,44E-02	2,93E-02 ± 1,68E-03	2,55E-02 ± 1,54E-03	≤ 7,55E-02
2076	1113	4,17E-02 ± 2,87E-02	8,29E-02 ± 4,60E-02	≤ 1,17E+00	≤ 2,35E-01	8,35E-02 ± 7,50E-02	3,29E-02 ± 1,87E-03	2,81E-02 ± 2,14E-03	3,26E+00 ± 3,08E-01
2076	1114	≤ 4,49E-02	≤ 1,14E-01	≤ 2,52E+00	≤ 4,35E-01	6,40E-01 ± 6,41E-02	1,01E-01 ± 6,81E-03	8,43E-02 ± 5,85E-03	1,96E-01 ± 1,01E-01
2080	820	4,40E-02 ± 3,88E-02	1,49E-01 ± 5,52E-02	≤ 1,68E+00	≤ 3,16E-01	4,85E-01 ± 4,16E-02	1,26E-01 ± 8,06E-03	1,10E-01 ± 8,44E-03	≤ 1,50E-01
2097	771	≤ 1,62E-02	≤ 1,12E-01	≤ 1,64E+00	≤ 1,69E-01	8,39E-02 ± 1,51E-02	2,53E-01 ± 1,93E-02	2,37E-01 ± 1,84E-02	1,61E-01 ± 3,93E-02
2097	826	≤ 2,82E-02	≤ 1,11E-01	≤ 1,04E+00	≤ 2,17E-01	≤ 1,19E-02	2,02E-02 ± 2,68E-03	1,73E-02 ± 2,51E-03	3,19E-01 ± 7,07E-02
2115	816	≤ 4,18E-02	≤ 1,36E-01	≤ 2,05E+00	≤ 3,67E-01	3,80E-01 ± 4,60E-02	4,30E-02 ± 4,83E-03	3,56E-02 ± 4,38E-03	≤ 1,51E-01
2115	817	≤ 3,48E-02	≤ 1,11E-01	≤ 1,64E+00	≤ 3,03E-01	3,95E-01 ± 4,91E-02	3,96E-02 ± 3,71E-03	3,52E-02 ± 3,83E-03	≤ 1,45E-01

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Th-234	Pa-234m	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-214	Bi-214	Pb-210
2188	878	≤ 7,99E-03	≤ 2,04E-02	≤ 3,72E-01	≤ 7,38E-02	4,27E-02 ± 6,54E-03	1,67E-02 ± 1,06E-03	1,48E-02 ± 9,60E-04	≤ 2,62E-02
2192	879	≤ 3,92E-02	≤ 1,11E-01	≤ 1,77E+00	≤ 3,38E-01	5,30E-01 ± 6,29E-02	1,25E-01 ± 7,39E-03	9,56E-02 ± 6,56E-03	≤ 1,62E-01
2237	778	≤ 8,25E-03	≤ 2,93E-02	≤ 6,32E-01	≤ 8,17E-02	3,08E-02 ± 7,89E-03	1,45E-02 ± 1,35E-03	1,35E-02 ± 1,37E-03	5,16E-02 ± 1,62E-02
3006	1128	≤ 1,18E-01	≤ 7,15E-01	≤ 7,89E+00	≤ 1,10E+00	6,67E-01 ± 1,50E-01	4,07E-02 ± 1,57E-02	3,85E-02 ± 1,75E-02	≤ 2,90E-01
3009	899	2,39E-01 ± 8,87E-02	3,52E-01 ± 8,18E-02	≤ 1,39E+00	≤ 2,57E-01	7,32E-02 ± 6,49E-02	4,84E-02 ± 3,81E-03	4,11E-02 ± 3,53E-03	8,84E-02 ± 6,96E-02
3019	971	1,77E-02 ± 1,28E-02	≤ 3,13E-02	≤ 4,79E-01	≤ 8,79E-02	1,91E-02 ± 6,31E-03	8,98E-03 ± 1,13E-03	7,09E-03 ± 9,94E-04	3,73E-02 ± 3,20E-02
3024	808	≤ 1,27E-01	2,06E+00 ± 7,93E-01	≤ 1,56E+01	≤ 1,43E+00	3,76E+01 ± 5,17E+00	7,60E+00 ± 5,13E-01	6,42E+00 ± 6,54E-01	2,43E+00 ± 1,81E-01
3036	929	≤ 2,22E-02	≤ 1,52E-01	≤ 2,94E+00	≤ 2,45E-01	1,34E+00 ± 1,34E-01	1,62E-01 ± 1,13E-02	1,41E-01 ± 1,25E-02	6,15E-02 ± 1,40E-02
3038	1062	≤ 5,44E-02	≤ 1,79E-01	≤ 3,28E+00	≤ 5,33E-01	2,74E+00 ± 2,34E-01	3,54E-01 ± 1,91E-02	3,16E-01 ± 1,74E-02	1,60E-01 ± 7,97E-02
3053	792	≤ 1,11E-01	≤ 5,02E-01	≤ 7,25E+00	≤ 1,09E+00	6,84E+00 ± 5,79E-01	2,73E+00 ± 1,35E-01	2,48E+00 ± 1,22E-01	≤ 2,60E-01
3053	1143	≤ 9,43E-01	≤ 4,43E-02	0,0461 ± 1,84E-02	≤ 2,48E-01	5,39E-02 ± 1,12E-02	3,02E-02 ± 2,58E-03	2,66E-02 ± 2,28E-03	≤ 1,41E-01
3053	1144	≤ 1,23E-01	≤ 7,62E-01	≤ 6,11E+00	≤ 8,63E-01	≤ 9,26E-02	≤ 1,37E-02	≤ 1,57E-02	≤ 3,56E-01
3054	794	≤ 2,62E-02	≤ 4,88E-02	≤ 9,35E-01	≤ 2,25E-01	1,10E-01 ± 1,52E-02	5,64E-02 ± 4,84E-03	5,38E-02 ± 4,41E-03	≤ 1,30E-01
3056	791	8,00E-03 ± 5,31E-03	≤ 3,93E-02	≤ 5,55E-01	≤ 5,85E-02	3,87E-02 ± 1,04E-02	1,52E-02 ± 1,52E-03	1,37E-02 ± 1,64E-03	8,87E-02 ± 1,03E-02
3058	795	≤ 3,70E-03	≤ 1,97E-02	≤ 3,75E-01	≤ 3,70E-02	6,57E-03 ± 2,12E-03	4,32E-03 ± 6,03E-04	3,67E-03 ± 5,97E-04	4,14E-02 ± 1,13E-02
3059	821	4,05E-02 ± 2,05E-02	≤ 4,98E-02	≤ 5,69E-01	≤ 9,44E-02	≤ 1,02E-02	1,29E-02 ± 1,43E-03	1,14E-02 ± 1,29E-03	≤ 3,55E-02
3065	1064	2,71E-02 ± 2,23E-02	≤ 3,62E-02	≤ 9,14E-01	≤ 1,75E-01	8,94E-02 ± 1,47E-02	3,34E-02 ± 3,14E-03	3,07E-02 ± 2,64E-03	≤ 6,41E-02
3070	767	≤ 2,55E-02	≤ 3,70E-02	≤ 9,22E-01	≤ 2,24E-01	9,60E-02 ± 1,36E-02	4,71E-02 ± 3,05E-03	4,22E-02 ± 2,89E-03	≤ 9,90E-02
3071	895	≤ 4,19E-02	≤ 6,53E-02	≤ 1,58E+00	≤ 3,69E-01	1,41E-01 ± 5,59E-02	4,57E-02 ± 4,37E-03	3,94E-02 ± 4,17E-03	≤ 1,99E-01
3071	896	≤ 5,71E-03	≤ 2,39E-02	≤ 5,19E-01	≤ 5,86E-02	≤ 5,19E-03	1,35E-02 ± 1,30E-03	1,12E-02 ± 1,12E-03	1,92E-01 ± 4,12E-02
3073	956	≤ 2,83E-01	≤ 9,44E-01	≤ 1,31E+01	≤ 2,57E+00	4,56E+01 ± 4,08E+00	2,44E+01 ± 1,18E+00	2,14E+01 ± 1,08E+00	2,34E+00 ± 1,25E+00
3076	880	2,00E-02 ± 1,36E-02	≤ 8,04E-02	≤ 1,24E+00	≤ 1,26E-01	1,01E-01 ± 2,48E-02	3,08E-02 ± 3,29E-03	2,40E-02 ± 3,04E-03	1,09E-01 ± 1,50E-02
3082	814	2,08E-02 ± 1,27E-02	4,71E-02 ± 1,79E-02	≤ 5,27E-01	≤ 9,07E-02	2,84E-02 ± 9,62E-03	9,06E-03 ± 1,18E-03	8,07E-03 ± 1,15E-03	6,12E-02 ± 3,48E-02
3097	1126	≤ 6,43E-02	≤ 1,71E-01	≤ 2,86E+00	≤ 5,74E-01	1,18E+00 ± 1,02E-01	3,10E-01 ± 1,69E-02	2,77E-01 ± 1,54E-02	≤ 2,72E-01
3100	789	1,04E-01 ± 8,97E-02	≤ 3,82E-01	≤ 3,23E+00	≤ 5,72E-01	1,83E-01 ± 6,01E-02	1,82E-02 ± 6,89E-03	8,75E-03 ± 7,80E-03	≤ 2,98E-01
3104	882	2,09E-02 ± 4,96E-03	≤ 7,29E-02	≤ 9,49E-01	≤ 1,48E-01	5,14E-02 ± 1,65E-02	8,62E-03 ± 2,32E-03	6,99E-03 ± 2,23E-03	2,31E-01 ± 5,40E-02
3114	883	6,96E-02 ± 3,59E-02	≤ 6,96E-02	≤ 1,30E+00	≤ 2,24E-01	2,07E-01 ± 2,61E-02	5,20E-02 ± 4,09E-03	4,67E-02 ± 3,27E-03	≤ 7,45E-02
3125	881	≤ 1,61E-02	≤ 2,65E-02	≤ 5,23E-01	≤ 1,30E-01	2,51E-02 ± 8,68E-03	1,09E-02 ± 9,88E-04	9,97E-03 ± 1,09E-03	≤ 5,81E-02
3128	884	6,92E-02 ± 4,37E-02	≤ 1,07E-01	≤ 1,58E+00	≤ 3,05E-01	1,50E-01 ± 2,82E-02	2,64E-02 ± 3,33E-03	1,96E-02 ± 2,51E-03	≤ 1,33E-01
3137	819	≤ 1,36E-02	≤ 2,95E-02	≤ 4,57E-01	≤ 1,08E-01	≤ 4,24E-03	1,38E-02 ± 1,40E-03	1,15E-02 ± 1,18E-03	≤ 6,69E-02
3161	980	9,70E-03 ± 6,14E-03	≤ 2,64E-02	≤ 5,20E-01	≤ 5,54E-02	2,09E-02 ± 3,30E-03	1,08E-02 ± 1,13E-03	≤ 1,09E-03	≤ 6,79E-03
3163	1116	≤ 2,23E-02	≤ 4,31E-02	≤ 9,73E-01	≤ 1,97E-01	2,68E-01 ± 6,75E-02	1,23E-01 ± 8,99E-03	1,02E-01 ± 8,24E-03	≤ 1,12E-01
3198	1060	1,12E-01 ± 4,88E-02	1,10E-01 ± 6,63E-02	≤ 1,11E+00	≤ 2,26E-01	1,58E-01 ± 5,28E-02	3,23E-02 ± 2,99E-03	3,04E-02 ± 2,59E-03	≤ 1,06E-01
3200	1061	≤ 3,52E-02	≤ 1,47E-01	≤ 2,02E+00	≤ 3,03E-01	6,74E-01 ± 6,81E-02	9,27E-02 ± 7,18E-03	7,90E-02 ± 6,41E-03	1,48E-01 ± 9,78E-02

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Th-234	Pa-234m	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-214	Bi-214	Pb-210
3200	1092	≤ 3,42E-02	≤ 7,13E-02	≤ 1,34E+00	≤ 3,02E-01	3,82E-01 ± 3,62E-02	5,52E-02 ± 3,64E-03	5,20E-02 ± 3,90E-03	3,81E-01 ± 1,84E-01
3227	1090	4,64E-02 ± 1,91E-02	5,02E-02 ± 2,06E-02	≤ 8,10E-01	≤ 8,93E-02	8,08E-02 ± 1,36E-02	4,86E-02 ± 3,96E-03	4,54E-02 ± 3,65E-03	6,04E-02 ± 1,73E-02
3269	1089	≤ 9,13E-02	≤ 9,81E-02	≤ 2,99E+00	≤ 7,93E-01	1,07E+00 ± 8,85E-02	6,63E-01 ± 5,32E-02	5,95E-01 ± 4,41E-02	≤ 4,62E-01
3315	867	≤ 2,85E-01	≤ 3,74E-01	≤ 1,08E+01	≤ 2,55E+00	3,70E+01 ± 2,86E+00	4,41E+00 ± 3,46E-01	4,05E+00 ± 2,89E-01	≤ 1,43E+00
3319	811	1,31E-01 ± 4,86E-02	≤ 2,12E-01	≤ 3,84E+00	≤ 8,88E-01	2,09E+00 ± 1,58E-01	6,35E-01 ± 4,77E-02	6,00E-01 ± 4,42E-02	≤ 4,31E-01
3319	810	1,09E-01 ± 5,30E-02	≤ 2,02E-01	≤ 4,40E+00	≤ 4,39E-01	1,80E+00 ± 1,52E-01	4,78E-01 ± 3,28E-02	4,58E-01 ± 3,20E-02	1,91E-01 ± 6,04E-02
3326	751	≤ 3,98E-02	≤ 5,30E-02	≤ 1,43E+00	≤ 3,54E-01	4,42E-01 ± 3,72E-02	8,90E-02 ± 5,15E-03	7,86E-02 ± 5,01E-03	≤ 1,49E-01
3326	752	≤ 1,76E-02	≤ 3,40E-02	≤ 7,66E-01	≤ 1,56E-01	4,40E-01 ± 3,95E-02	7,70E-02 ± 3,98E-03	6,53E-02 ± 5,31E-03	≤ 8,18E-02
3328	1063	5,59E-02 ± 4,05E-02	≤ 6,20E-02	≤ 1,19E+00	≤ 2,92E-01	1,63E-01 ± 5,37E-02	8,12E-02 ± 6,74E-03	7,14E-02 ± 5,41E-03	1,75E-01 ± 1,66E-01
3356	1102	2,88E-01 ± 1,24E-01	3,81E-01 ± 1,14E-01	≤ 2,21E+00	≤ 5,13E-01	1,44E+00 ± 9,35E-02	2,88E-01 ± 2,20E-02	2,70E-01 ± 2,04E-02	3,59E-01 ± 2,43E-01
4006	861	≤ 4,12E-02	≤ 1,31E-01	≤ 2,26E+00	≤ 3,86E-01	6,03E-01 ± 6,63E-02	6,40E-02 ± 5,76E-03	5,25E-02 ± 5,21E-03	2,26E-01 ± 1,10E-01
4039	865	≤ 4,78E-01	≤ 4,07E+00	≤ 3,44E+01	≤ 4,10E+00	8,23E-01 ± 7,18E-01	≤ 8,56E-02	≤ 8,76E-02	≤ 1,08E+00
4039	863	≤ 4,82E-02	≤ 1,24E-01	≤ 2,09E+00	≤ 4,36E-01	6,94E-01 ± 8,01E-02	1,42E-01 ± 8,60E-03	1,27E-01 ± 7,83E-03	≤ 1,97E-01
4039	862	≤ 1,41E-01	≤ 2,17E+00	≤ 2,39E+01	≤ 1,54E+00	5,27E-01 ± 1,72E-01	1,29E-01 ± 2,53E-02	6,92E-02 ± 4,42E-02	≤ 1,47E-01
4047	964	≤ 6,26E-02	≤ 1,61E-01	≤ 2,92E+00	≤ 5,67E-01	2,02E+00 ± 1,43E-01	1,97E-01 ± 1,17E-02	1,68E-01 ± 1,02E-02	≤ 2,36E-01
4049	975	2,04E-02 ± 1,82E-02	≤ 4,87E-02	≤ 8,26E-01	≤ 1,63E-01	2,49E-02 ± 9,47E-03	1,56E-02 ± 1,65E-03	1,37E-02 ± 1,61E-03	≤ 5,52E-02
4053	1093	8,02E-02 ± 4,51E-02	≤ 6,20E-02	≤ 1,03E+00	≤ 2,30E-01	8,48E-01 ± 6,28E-02	8,75E-02 ± 7,35E-03	7,94E-02 ± 6,48E-03	3,10E-01 ± 1,69E-01
4055	967	2,42E-02 ± 1,11E-02	≤ 4,70E-02	≤ 7,06E-01	≤ 7,31E-02	7,81E-02 ± 1,27E-02	1,98E-02 ± 2,07E-03	1,89E-02 ± 2,07E-03	2,22E-01 ± 4,68E-02
4055	966	2,51E-02 ± 1,45E-02	≤ 6,44E-02	≤ 6,55E-01	≤ 9,79E-02	3,39E-02 ± 1,14E-02	3,22E-02 ± 3,05E-03	3,06E-02 ± 2,78E-03	≤ 2,35E-02
4074	834	≤ 2,25E-02	≤ 3,18E-02	≤ 1,05E+00	≤ 2,09E-01	3,48E-01 ± 2,77E-02	3,62E-02 ± 2,23E-03	3,19E-02 ± 1,99E-03	≤ 7,66E-02
4086	873	4,45E-02 ± 2,29E-02	≤ 6,28E-02	≤ 9,27E-01	≤ 1,64E-01	≤ 9,86E-03	3,91E-02 ± 2,63E-03	3,57E-02 ± 2,62E-03	9,02E-02 ± 4,65E-02
4198	959	5,06E-02 ± 4,46E-02	≤ 2,04E-01	≤ 2,81E+00	≤ 3,97E-01	5,10E-01 ± 6,84E-02	5,26E-02 ± 7,07E-03	4,24E-02 ± 7,16E-03	1,18E-01 ± 1,01E-01
4204	874	3,68E-02 ± 2,95E-02	1,09E-01 ± 7,79E-02	≤ 1,23E+00	≤ 2,08E-01	3,81E-01 ± 3,77E-02	1,42E-01 ± 8,90E-03	1,36E-01 ± 7,95E-03	1,02E-01 ± 8,88E-02
4207	856	≤ 8,70E-01	≤ 7,07E+00	≤ 6,13E+01	≤ 6,83E+00	≤ 1,10E+00	≤ 1,78E-01	≤ 1,91E-01	≤ 1,90E+00
5007	931	2,32E-02 ± 2,06E-02	≤ 4,02E-02	≤ 5,81E-01	≤ 1,21E-01	3,45E-02 ± 9,36E-03	1,39E-02 ± 1,53E-03	1,07E-02 ± 1,27E-03	1,03E-01 ± 8,12E-02
5010	904	2,13E-02 ± 6,48E-03	≤ 1,20E-01	≤ 1,66E+00	≤ 1,29E-01	4,78E-02 ± 2,22E-02	2,70E-02 ± 3,82E-03	2,34E-02 ± 2,51E-03	1,75E-01 ± 2,03E-02
5010	906	≤ 1,43E-02	≤ 8,87E-02	≤ 1,31E+00	≤ 1,46E-01	1,07E-01 ± 2,37E-02	3,75E-02 ± 7,02E-03	2,82E-02 ± 3,64E-03	4,29E-01 ± 2,86E-02
5010	907	1,22E-02 ± 9,96E-03	≤ 2,21E-02	≤ 3,53E-01	≤ 7,78E-02	3,84E-02 ± 6,21E-03	1,87E-02 ± 1,10E-03	1,40E-02 ± 9,28E-04	7,62E-02 ± 2,43E-02
5010	908	≤ 5,40E-03	≤ 3,19E-02	≤ 5,88E-01	≤ 5,48E-02	2,35E-02 ± 7,08E-03	9,31E-03 ± 1,08E-03	7,39E-03 ± 8,93E-04	4,42E-02 ± 8,25E-03
5040	822	1,05E-01 ± 4,42E-02	≤ 4,31E-02	≤ 1,38E+00	≤ 1,55E-01	1,05E-01 ± 2,04E-02	2,37E-02 ± 3,69E-03	1,71E-02 ± 1,62E-03	4,89E-01 ± 3,12E-02
5055	807	1,22E+00 ± 5,59E-01	≤ 1,41E+00	≤ 1,51E+01	≤ 2,61E+00	2,63E+00 ± 1,72E+00	1,02E+00 ± 7,42E-02	6,37E-01 ± 5,57E-02	1,70E+01 ± 2,13E+00
5055	1057	1,20E+00 ± 5,96E-01	1,40E+00 ± 6,16E-01	≤ 1,47E+01	≤ 2,83E+00	4,32E+00 ± 9,84E-01	1,17E+00 ± 7,83E-02	7,67E-01 ± 6,22E-02	2,37E+01 ± 2,97E+00
5055	1067	9,41E-01 ± 7,53E-02	≤ 1,11E+00	≤ 1,54E+01	≤ 1,28E+00	2,63E+00 ± 1,22E+00	1,65E+00 ± 1,24E-01	1,15E+00 ± 1,73E-01	1,84E+01 ± 2,21E-01
5065	851	2,19E-02 ± 2,32E-02	≤ 3,33E-02	≤ 8,61E-01	≤ 1,68E-01	6,72E-02 ± 1,32E-02	1,75E-02 ± 1,88E-03	1,37E-02 ± 1,55E-03	5,52E-01 ± 1,44E-01
5065	852	≤ 3,79E-02	≤ 5,02E-02	≤ 1,31E+00	≤ 3,27E-01	2,01E-01 ± 2,24E-02	3,75E-02 ± 3,59E-03	2,89E-02 ± 2,86E-03	1,65E+00 ± 6,35E-01

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Th-234	Pa-234m	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-214	Bi-214	Pb-210
5065	853	≤ 1,88E-02	≤ 2,70E-02	≤ 6,14E-01	≤ 1,50E-01	3,81E-02 ± 1,01E-02	1,02E-02 ± 1,22E-03	8,36E-03 ± 9,79E-04	1,66E-01 ± 1,06E-01
5065	854	≤ 2,26E-02	≤ 4,66E-02	≤ 1,16E+00	≤ 2,07E-01	1,67E-01 ± 2,05E-02	2,55E-02 ± 2,52E-03	2,20E-02 ± 2,30E-03	1,21E+00 ± 2,96E-01
5074	1135	≤ 5,04E-01	≤ 2,79E-02	0,0169 ± 1,65E-02	≤ 1,28E-01	3,95E-02 ± 7,54E-03	1,40E-02 ± 1,84E-03	1,30E-02 ± 1,15E-03	2,91E-01 ± 1,31E-01
5074	1136	≤ 1,24E-02	≤ 3,98E-02	≤ 6,33E-01	≤ 1,11E-01	3,06E-02 ± 9,26E-03	1,53E-02 ± 1,94E-03	1,32E-02 ± 1,19E-03	1,11E-01 ± 3,64E-02
5086	1127	2,72E-02 ± 1,04E-02	2,74E-02 ± 1,52E-02	≤ 2,83E-01	0,116 ± 4,07E-02	2,94E-02 ± 2,90E-02	3,01E-02 ± 2,65E-03	2,50E-02 ± 1,69E-03	2,25E-01 ± 1,07E-02
5111	1120	≤ 2,91E-03	≤ 1,39E-02	≤ 2,81E-01	≤ 2,98E-02	2,49E-02 ± 4,09E-03	1,19E-02 ± 9,38E-04	9,79E-03 ± 7,65E-04	6,67E-02 ± 5,89E-03
5124	934	≤ 1,22E-02	≤ 4,00E-02	≤ 5,43E-01	≤ 9,59E-02	1,58E-02 ± 7,72E-03	7,83E-03 ± 1,84E-03	6,43E-03 ± 8,92E-04	7,60E-02 ± 5,03E-02
5196	1097	3,28E-02 ± 2,09E-02	≤ 5,21E-02	≤ 8,32E-01	≤ 1,61E-01	≤ 8,62E-02	2,72E-02 ± 3,09E-03	2,44E-02 ± 1,89E-03	2,89E-01 ± 6,32E-02
5197	1119	7,07E-02 ± 4,79E-02	≤ 8,56E-02	≤ 1,21E+00	≤ 2,71E-01	1,36E-01 ± 2,34E-02	5,33E-02 ± 3,99E-03	4,18E-02 ± 3,37E-03	4,39E-01 ± 1,61E-01
5203	1085	≤ 1,10E-02	≤ 2,12E-02	≤ 3,45E-01	≤ 8,07E-02	1,04E-02 ± 3,83E-03	3,77E-03 ± 5,37E-04	3,11E-03 ± 5,76E-04	≤ 4,00E-02
5203	1086	1,18E-02 ± 3,10E-03	≤ 3,08E-02	≤ 5,09E-01	0,0606 ± 2,61E-02	5,03E-02 ± 7,57E-03	2,11E-02 ± 1,68E-03	1,72E-02 ± 1,57E-03	2,43E-01 ± 1,59E-02
5207	858	≤ 1,73E-02	≤ 3,82E-02	≤ 7,25E-01	≤ 1,44E-01	5,13E-02 ± 1,05E-02	2,95E-02 ± 2,63E-03	2,50E-02 ± 2,18E-03	9,92E-01 ± 2,43E-01
5210	969	2,71E-02 ± 1,74E-02	≤ 5,21E-02	≤ 9,16E-01	≤ 1,97E-01	1,05E-01 ± 1,82E-02	3,34E-02 ± 2,69E-03	2,66E-02 ± 1,92E-03	3,63E-01 ± 6,21E-02
5212	1130	8,70E-03 ± 3,60E-03	1,01E-02	≤ 1,59E-01	0,0351 ± 1,98E-02	8,61E-03 ± 6,98E-03	1,03E-02 ± 6,51E-04	1,03E-02 ± 6,51E-04	9,28E-02 ± 5,76E-03
5221	898	4,33E-02 ± 2,33E-02	≤ 4,86E-02	≤ 8,11E-01	≤ 1,45E-01	7,57E-02 ± 1,46E-02	4,10E-02 ± 3,01E-03	3,35E-02 ± 2,60E-03	5,63E-01 ± 8,05E-02
5221	897	1,11E-01 ± 4,56E-02	1,77E-01 ± 4,70E-02	≤ 1,23E+00	0,221 ± 8,76E-02	≤ 1,27E-02	3,10E-02 ± 4,92E-03	2,45E-02 ± 2,56E-03	9,38E-01 ± 1,05E-01
5226	1058	3,44E-02 ± 2,36E-02	≤ 6,47E-02	≤ 8,18E-01	≤ 1,36E-01	3,89E-02 ± 1,25E-02	9,15E-03 ± 1,90E-03	6,57E-03 ± 1,62E-03	3,64E-01 ± 5,56E-02
5233	891	≤ 1,50E-01	≤ 2,58E-01	≤ 6,17E+00	≤ 1,36E+00	8,19E+00 ± 7,96E-01	1,12E+00 ± 5,65E-02	9,89E-01 ± 4,92E-02	≤ 6,65E-01
5237	927	≤ 2,15E-02	≤ 3,94E-02	≤ 6,94E-01	≤ 1,69E-01	5,82E-02 ± 1,15E-02	3,02E-02 ± 2,66E-03	2,74E-02 ± 2,37E-03	5,21E-01 ± 2,28E-01
5241	903	≤ 1,91E-02	≤ 4,16E-02	≤ 8,02E-01	≤ 1,65E-01	1,15E-01 ± 1,83E-02	2,01E-02 ± 2,01E-03	1,47E-02 ± 1,36E-03	5,48E-01 ± 1,75E-01
5241	901	≤ 1,16E-02	≤ 2,75E-02	≤ 4,75E-01	≤ 9,20E-02	3,04E-02 ± 6,27E-03	1,41E-02 ± 1,34E-03	1,21E-02 ± 1,15E-03	2,87E-01 ± 9,60E-02
5241	902	≤ 1,52E-02	≤ 2,73E-02	≤ 4,65E-01	≤ 1,15E-01	1,52E-02 ± 6,18E-03	5,99E-03 ± 8,82E-04	5,48E-03 ± 8,90E-04	≤ 7,46E-02
5242	832	2,05E-02 ± 9,78E-03	≤ 6,79E-02	≤ 7,05E-01	≤ 6,69E-02	2,32E-02 ± 5,84E-03	7,92E-03 ± 1,76E-03	3,85E-03 ± 1,58E-03	1,22E-01 ± 1,27E-02
5245	965	≤ 1,52E-02	≤ 4,21E-02	≤ 7,18E-01	≤ 1,33E-01	1,02E-01 ± 1,27E-02	2,05E-02 ± 2,01E-03	1,52E-02 ± 1,58E-03	5,53E-01 ± 1,46E-01
5250	968	≤ 1,31E-02	≤ 3,50E-02	≤ 5,15E-01	≤ 9,59E-02	2,33E-02 ± 7,55E-03	5,09E-03 ± 8,88E-04	4,42E-03 ± 8,96E-04	8,32E-02 ± 5,04E-02
5271	932	1,32E+00 ± 4,56E-01	2,14E+00 ± 2,74E-01	1,05E+00 ± 9,01E-01	≤ 2,39E-01	5,76E-01 ± 2,45E-01	8,90E-02 ± 7,25E-03	6,91E-02 ± 7,37E-03	1,29E-01 ± 3,07E-02
5276	774	2,37E-02 ± 2,29E-02	≤ 7,63E-02	≤ 1,08E+00	≤ 2,09E-01	1,02E-01 ± 2,02E-02	5,65E-02 ± 3,98E-03	4,64E-02 ± 3,39E-03	5,86E-01 ± 6,68E-02
5283	1121	≤ 2,94E-02	≤ 5,88E-02	≤ 1,15E+00	≤ 2,63E-01	2,60E-01 ± 2,63E-02	6,08E-02 ± 3,83E-03	5,19E-02 ± 3,73E-03	≤ 1,02E-01
5293	768	≤ 5,22E-03	≤ 1,30E-02	≤ 1,95E-01	≤ 3,95E-02	9,90E-03 ± 2,87E-03	5,57E-03 ± 5,67E-04	4,65E-03 ± 4,71E-04	5,16E-02 ± 2,79E-02
5294	773	8,44E-03 ± 2,88E-03	≤ 3,05E-02	≤ 5,49E-01	≤ 5,47E-02	2,36E-02 ± 1,08E-02	1,15E-02 ± 1,16E-03	9,16E-03 ± 1,06E-03	2,05E-01 ± 1,53E-02
5296	1133	≤ 4,86E-03	≤ 1,35E-02	≤ 2,44E-01	≤ 4,35E-02	2,65E-02 ± 4,12E-03	6,13E-03 ± 5,29E-04	5,82E-03 ± 4,92E-04	1,93E-01 ± 2,58E-02
5304	831	2,09E-02 ± 1,36E-02	≤ 2,75E-02	≤ 4,10E-01	≤ 8,70E-02	2,95E-02 ± 2,07E-02	2,83E-02 ± 2,16E-03	2,49E-02 ± 1,70E-03	≤ 4,58E-02

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Th-234	Pa-234m	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-214	Bi-214	Pb-210
5305	805	≤ 1,61E-02	≤ 2,17E-02	≤ 5,55E-01	≤ 1,33E-01	9,29E-02 ± 1,09E-02	2,31E-02 ± 2,05E-03	1,96E-02 ± 1,73E-03	≤ 8,76E-02
5306	1096	1,49E+00 ± 5,23E-01	1,86E+00 ± 2,31E-01	≤ 4,78E+00	≤ 8,21E-01	3,02E+00 ± 5,34E-01	3,68E-01 ± 1,03E-02	3,21E-01 ± 1,84E-02	3,50E+00 ± 3,29E-01
5308	775	1,44E-02 ± 9,61E-03	≤ 4,12E-02	≤ 8,50E-01	≤ 9,36E-02	2,04E-01 ± 1,95E-02	9,75E-02 ± 9,37E-03	8,74E-02 ± 6,49E-03	4,51E-01 ± 2,53E-02
5316	769	≤ 7,81E-03	≤ 1,62E-02	≤ 3,21E-01	≤ 6,74E-02	3,91E-02 ± 6,07E-03	2,17E-02 ± 1,24E-03	1,90E-02 ± 1,13E-03	3,78E-02 ± 1,77E-02
5318	930	7,34E-03 ± 7,61E-03	≤ 2,28E-02	≤ 3,56E-01	≤ 5,95E-02	≤ 5,00E-03	1,60E-03 ± 6,16E-04	1,48E-03 ± 6,23E-04	≤ 2,16E-02
5319	972	3,57E-02 ± 2,22E-02	≤ 8,41E-02	≤ 9,38E-01	≤ 1,49E-01	8,15E-02 ± 1,76E-02	1,74E-02 ± 2,25E-03	1,38E-02 ± 2,41E-03	1,53E-01 ± 5,63E-02
5320	1125	≤ 9,89E-03	≤ 2,37E-02	≤ 3,90E-01	≤ 8,12E-02	2,84E-02 ± 5,74E-03	1,24E-02 ± 1,16E-03	1,08E-02 ± 9,20E-04	3,57E-01 ± 9,05E-02
5322	813	≤ 1,81E-02	≤ 3,08E-02	≤ 6,19E-01	≤ 1,51E-01	7,97E-02 ± 1,00E-02	2,00E-02 ± 1,85E-03	1,64E-02 ± 1,51E-03	3,08E-01 ± 1,75E-01
5330	1103	≤ 2,03E-02	≤ 4,14E-02	≤ 1,01E+00	≤ 1,84E-01	1,24E-01 ± 1,88E-02	2,23E-02 ± 1,97E-03	1,96E-02 ± 1,75E-03	≤ 6,42E-02
5331	772	≤ 2,09E-01	≤ 3,91E+00	≤ 3,20E+01	≤ 2,19E+00	2,63E+00 ± 3,68E-01	8,95E-01 ± 2,01E-01	7,16E-01 ± 1,42E-01	1,13E+00 ± 2,77E-01
5338	786	1,73E-01 ± 6,64E-02	2,44E-01 ± 5,82E-02	≤ 9,41E-01	≤ 1,98E-01	1,52E-01 ± 8,34E-02	3,87E-02 ± 3,35E-03	3,03E-02 ± 2,80E-03	1,41E+00 ± 4,31E-01
5338	782	≤ 4,33E-02	1,38E-01 ± 9,50E-02	≤ 2,01E+00	≤ 3,85E-01	8,75E-01 ± 6,84E-02	2,77E-01 ± 1,65E-02	2,41E-01 ± 1,75E-02	≤ 1,83E-01
5338	784	3,92E-01 ± 3,29E-02	≤ 4,62E-01	≤ 7,18E+00	≤ 5,70E-01	1,85E+00 ± 1,08E+00	2,03E-01 ± 4,94E-02	1,53E-01 ± 2,58E-02	1,36E+00 ± 9,21E-02
5341	872	≤ 7,26E-02	≤ 2,76E-01	≤ 3,32E+00	≤ 6,31E-01	1,29E+00 ± 1,48E-01	6,97E-01 ± 3,58E-02	6,27E-01 ± 3,20E-02	6,45E-01 ± 1,66E-01
5343	829	≤ 3,23E-02	≤ 6,74E-02	≤ 1,20E+00	≤ 2,74E-01	3,80E-01 ± 3,40E-02	9,64E-02 ± 5,58E-03	8,69E-02 ± 5,65E-03	≤ 1,08E-01
5345	828	≤ 2,31E-02	≤ 6,15E-02	≤ 1,10E+00	≤ 2,07E-01	3,37E-01 ± 2,91E-02	8,22E-02 ± 5,31E-03	7,59E-02 ± 5,90E-03	≤ 1,02E-01
5352	900	≤ 5,78E-03	≤ 2,92E-02	≤ 5,52E-01	≤ 5,44E-02	1,78E-02 ± 3,76E-03	7,39E-03 ± 1,16E-03	6,96E-03 ± 8,76E-04	1,25E-02 ± 3,53E-03
5367	1132	2,45E-02 ± 2,12E-02	8,12E-02	≤ 8,80E-01	≤ 1,37E-01	2,36E-02 ± 1,38E-02	1,16E-02 ± 1,94E-03	8,90E-03 ± 1,87E-03	6,43E-01 ± 8,22E-02
5370	960	1,28E-02 ± 1,39E-02	≤ 4,71E-02	≤ 5,91E-01	≤ 1,03E-01	2,88E-02 ± 9,69E-03	1,25E-02 ± 1,35E-03	9,79E-03 ± 1,14E-03	≤ 3,75E-02
5373	928	4,38E-02 ± 1,94E-02	≤ 5,32E-02	≤ 9,50E-01	≤ 1,19E-01	1,17E-01 ± 1,55E-02	5,58E-02 ± 4,47E-03	5,09E-02 ± 4,01E-03	1,60E-01 ± 3,69E-02
5404	830	≤ 4,71E-02	≤ 2,91E-01	≤ 6,21E+00	≤ 5,30E-01	6,70E+00 ± 6,01E-01	1,34E+00 ± 7,24E-02	1,21E+00 ± 7,93E-02	3,44E-01 ± 5,74E-02
5418	894	8,97E-03 ± 9,06E-03	≤ 2,15E-02	≤ 3,65E-01	≤ 6,29E-02	6,13E-03 ± 5,49E-03	4,15E-03 ± 6,54E-04	3,62E-03 ± 7,38E-04	≤ 2,46E-02
5418	893	1,64E-02 ± 1,57E-02	≤ 3,23E-02	≤ 5,11E-01	≤ 9,53E-02	≤ 5,04E-03	1,54E-02 ± 1,48E-03	1,25E-02 ± 1,25E-03	9,79E-02 ± 5,05E-02
6033	806	≤ 4,31E-02	≤ 2,72E-01	≤ 5,29E+00	≤ 4,92E-01	2,21E+00 ± 1,58E-01	2,00E-01 ± 1,56E-02	1,83E-01 ± 1,73E-02	1,59E-01 ± 4,47E-02
7015	776	≤ 3,36E-02	≤ 2,23E-01	≤ 4,08E+00	≤ 3,71E-01	2,06E+00 ± 1,98E-01	6,33E-01 ± 3,72E-02	5,69E-01 ± 4,51E-02	1,24E-01 ± 4,01E-02
7050	747	≤ 9,91E-02	≤ 2,77E-01	≤ 5,30E+00	≤ 9,23E-01	3,07E+00 ± 3,17E-01	1,60E+00 ± 9,27E-02	1,34E+00 ± 6,63E-02	≤ 3,43E-01
7050	754	≤ 5,77E-02	≤ 1,57E-01	≤ 2,82E+00	≤ 5,23E-01	1,20E+00 ± 1,29E-01	6,23E-01 ± 3,12E-02	5,39E-01 ± 2,62E-02	≤ 2,15E-01
7056	770	≤ 6,00E-02	≤ 2,90E-01	≤ 3,86E+00	≤ 5,84E-01	1,27E+00 ± 1,20E-01	7,42E-01 ± 3,93E-02	6,66E-01 ± 4,22E-02	≤ 1,36E-01
7063	1129	≤ 6,81E-02	≤ 3,60E-01	≤ 4,20E+00	≤ 6,02E-01	1,95E+00 ± 1,87E-01	1,46E-01 ± 1,25E-02	1,29E-01 ± 1,44E-02	≤ 1,71E-01
7064	962	≤ 3,43E-02	≤ 1,60E-01	≤ 2,05E+00	≤ 2,98E-01	7,50E-01 ± 7,45E-02	8,51E-02 ± 6,95E-03	6,58E-02 ± 5,85E-03	≤ 8,80E-02
7066	825	≤ 2,04E-02	≤ 1,17E-01	≤ 2,41E+00	≤ 2,26E-01	1,94E+00 ± 1,26E-01	1,37E-01 ± 9,18E-03	1,24E-01 ± 1,02E-02	9,97E-02 ± 2,20E-02
7071	871	3,18E-01 ± 1,12E-01	4,23E-01 ± 9,68E-02	≤ 2,00E+00	≤ 1,98E-01	4,54E-01 ± 1,61E-01	4,22E-02 ± 3,82E-03	3,61E-02 ± 3,48E-03	1,13E-01 ± 2,34E-02
7071	870	4,93E-01 ± 1,74E-01	5,41E-01 ± 1,46E-01	≤ 3,14E+00	≤ 2,75E-01	6,79E-01 ± 2,59E-01	1,18E-01 ± 1,19E-02	9,79E-02 ± 1,25E-02	2,10E-01 ± 3,07E-02
7071	1050	3,53E-01 ± 1,28E-01	4,10E-01 ± 1,43E-01	≤ 3,88E+00	≤ 3,28E-01	8,72E-01 ± 2,83E-01	1,53E-01 ± 1,54E-02	1,25E-01 ± 1,60E-02	2,39E-01 ± 4,08E-02
7077	818	4,58E-02 ± 3,93E-02	1,02E-01 ± 3,44E-02	≤ 2,06E+00	≤ 3,49E-01	1,19E+00 ± 1,12E-01	4,45E-01 ± 2,66E-02	3,97E-01 ± 2,07E-02	≤ 1,17E-01

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Th-234	Pa-234m	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-214	Bi-214	Pb-210
7080	936	≤ 7,42E-02	≤ 3,78E-01	≤ 4,89E+00	≤ 6,67E-01	2,98E+00 ± 2,88E-01	1,37E-01 ± 1,32E-02	1,08E-01 ± 1,48E-02	≤ 1,83E-01
7109	961	≤ 1,34E-02	≤ 6,50E-02	≤ 1,34E+00	≤ 1,39E-01	2,49E-01 ± 2,92E-02	4,09E-02 ± 3,43E-03	3,91E-02 ± 2,11E-03	3,49E-02 ± 8,16E-03
7121	793	≤ 1,16E-01	≤ 3,25E-01	≤ 5,61E+00	≤ 1,06E+00	5,22E+00 ± 4,91E-01	5,81E-01 ± 3,59E-02	4,91E-01 ± 3,48E-02	≤ 4,77E-01
7139	877	≤ 7,25E-02	≤ 2,67E-01	≤ 4,56E+00	≤ 7,20E-01	5,16E+00 ± 3,97E-01	8,25E-01 ± 4,28E-02	7,42E-01 ± 4,64E-02	≤ 1,73E-01
7140	957	≤ 4,48E-02	≤ 6,19E-02	≤ 1,54E+00	≤ 3,90E-01	6,02E-01 ± 4,99E-02	8,10E-02 ± 6,91E-03	7,42E-02 ± 5,98E-03	≤ 2,31E-01
7153	866	≤ 1,28E-01	≤ 4,87E-01	≤ 5,70E+00	≤ 1,07E+00	1,19E+00 ± 1,52E-01	1,48E-01 ± 1,53E-02	1,09E-01 ± 1,80E-02	≤ 5,30E-01
7157	1065	≤ 4,25E-02	≤ 1,00E-01	≤ 1,74E+00	≤ 3,72E-01	6,56E-01 ± 7,05E-02	6,68E-02 ± 4,93E-03	5,84E-02 ± 4,32E-03	≤ 1,82E-01
7172	937	≤ 3,25E-02	≤ 8,10E-02	≤ 1,69E+00	≤ 3,05E-01	2,54E-01 ± 3,18E-02	9,26E-02 ± 6,36E-03	8,21E-02 ± 5,20E-03	≤ 9,39E-02
7178	1131	≤ 4,67E-02	≤ 1,06E-01	≤ 1,95E+00	≤ 4,18E-01	1,11E+00 ± 8,85E-02	1,17E-01 ± 7,23E-03	1,06E-01 ± 7,45E-03	≤ 1,51E-01
7184	978	≤ 4,48E-02	≤ 1,24E-01	≤ 2,13E+00	≤ 3,99E-01	5,89E-01 ± 6,74E-02	2,62E-01 ± 1,62E-02	2,42E-01 ± 1,32E-02	≤ 1,75E-01
7184	977	6,63E-02 ± 4,57E-02	≤ 1,44E-01	≤ 1,83E+00	≤ 3,19E-01	3,33E-01 ± 4,68E-02	9,07E-02 ± 6,19E-03	7,75E-02 ± 6,79E-03	3,66E-01 ± 1,59E-01
7223	812	≤ 7,15E-02	≤ 1,83E-01	≤ 3,22E+00	≤ 6,52E-01	4,53E-01 ± 6,43E-02	3,30E-02 ± 5,04E-03	3,84E-02 ± 7,13E-03	≤ 2,37E-01
7227	1079	≤ 3,96E-02	≤ 6,10E-02	≤ 1,27E+00	≤ 3,36E-01	6,98E-02 ± 1,73E-02	2,63E-02 ± 2,64E-03	2,54E-02 ± 2,51E-03	≤ 1,96E-01
7228	1082	≤ 4,71E-02	≤ 2,43E-01	≤ 2,25E+00	≤ 3,48E-01	5,48E-02 ± 3,35E-02	5,40E-03 ± 4,26E-03	1,14E-02 ± 4,35E-03	≤ 1,38E-01
7228	1080	2,03E-02 ± 1,80E-02	≤ 4,77E-02	≤ 7,65E-01	≤ 1,53E-01	6,18E-02 ± 1,34E-02	2,49E-02 ± 2,26E-03	2,26E-02 ± 2,12E-03	≤ 5,80E-02
7228	1081	≤ 3,98E-02	≤ 2,23E-01	≤ 2,51E+00	≤ 3,75E-01	8,97E-02 ± 4,80E-02	2,80E-02 ± 6,30E-03	2,58E-02 ± 6,41E-03	≤ 9,96E-02
7241	1118	≤ 3,32E-02	≤ 3,77E-01	≤ 4,95E+00	≤ 3,73E-01	6,30E-01 ± 1,21E-01	5,27E-02 ± 1,08E-02	5,22E-02 ± 1,30E-02	8,09E-02 ± 3,53E-02
7249	1078	≤ 4,04E-02	≤ 2,15E-01	≤ 4,79E+00	≤ 4,48E-01	8,00E-01 ± 9,41E-02	4,38E-01 ± 2,63E-02	3,83E-01 ± 3,09E-02	6,25E-02 ± 1,76E-02
7251	1084	5,76E-02 ± 4,14E-02	≤ 1,32E-01	≤ 1,46E+00	≤ 2,95E-01	8,72E-02 ± 2,07E-02	4,51E-02 ± 4,69E-03	4,15E-02 ± 4,47E-03	≤ 1,33E-01
7251	1083	≤ 5,41E-02	≤ 7,60E-02	≤ 1,90E+00	≤ 4,73E-01	4,19E-01 ± 4,23E-02	1,82E-01 ± 1,47E-02	1,68E-01 ± 1,24E-02	≤ 2,69E-01
7265	933	≤ 1,63E-02	≤ 6,25E-02	≤ 1,53E+00	≤ 1,72E-01	4,33E-01 ± 3,46E-02	1,27E-01 ± 7,91E-03	1,17E-01 ± 8,70E-03	7,41E-02 ± 1,94E-02
7289	1107	≤ 4,43E-02	≤ 2,39E-01	≤ 2,93E+00	≤ 4,08E-01	8,18E-01 ± 8,68E-02	7,08E-02 ± 8,42E-03	6,22E-02 ± 8,57E-03	≤ 1,09E-01
7302	1098	≤ 8,04E-02	≤ 2,94E-01	≤ 3,67E+00	≤ 6,81E-01	1,58E+00 ± 1,64E-01	1,82E-01 ± 1,40E-02	1,40E-01 ± 1,24E-02	≤ 3,09E-01
7306	750	1,02E-01 ± 5,80E-02	≤ 3,21E-01	≤ 4,49E+00	≤ 3,29E-01	1,25E+00 ± 1,53E-01	1,20E-01 ± 1,35E-02	8,09E-02 ± 1,23E-02	1,21E-01 ± 1,84E-02
7328	958	≤ 4,39E-02	≤ 1,06E-01	≤ 2,07E+00	≤ 4,01E-01	1,17E+00 ± 9,60E-02	1,09E-01 ± 6,83E-03	9,84E-02 ± 6,18E-03	≤ 1,76E-01
7329	1095	≤ 3,33E-02	≤ 9,96E-02	≤ 1,72E+00	≤ 3,07E-01	1,05E+00 ± 9,94E-02	2,51E-01 ± 1,53E-02	2,29E-01 ± 1,24E-02	≤ 9,70E-02
7331	1066	≤ 4,52E-02	≤ 1,45E-01	≤ 2,02E+00	≤ 3,79E-01	1,33E+00 ± 1,29E-01	1,20E-01 ± 7,64E-03	1,05E-01 ± 7,49E-03	≤ 2,10E-01
7339	979	≤ 6,27E-02	≤ 1,75E-01	≤ 2,87E+00	≤ 5,67E-01	1,53E+00 ± 1,59E-01	2,71E-01 ± 1,51E-02	2,36E-01 ± 1,36E-02	≤ 2,64E-01
7354	974	1,85E-01 ± 8,16E-02	≤ 2,80E-01	≤ 3,13E+00	≤ 4,60E-01	5,35E-01 ± 8,02E-02	6,91E-02 ± 9,77E-03	6,12E-02 ± 8,00E-03	≤ 1,24E-01
7355	892	≤ 4,61E-02	≤ 1,35E-01	≤ 2,32E+00	≤ 4,16E-01	1,10E+00 ± 9,46E-02	7,16E-02 ± 6,57E-03	5,32E-02 ± 5,36E-03	≤ 1,87E-01
7360	973	1,43E-01 ± 7,55E-02	≤ 1,22E-01	≤ 2,19E+00	≤ 4,36E-01	6,05E-01 ± 6,88E-02	1,98E-01 ± 1,22E-02	1,74E-01 ± 9,36E-03	≤ 2,05E-01
7362	790	≤ 3,63E-02	≤ 1,04E-01	≤ 1,98E+00	≤ 3,38E-01	4,99E-01 ± 5,61E-02	6,88E-02 ± 5,44E-03	5,90E-02 ± 5,01E-03	≤ 9,96E-02
7372	859	≤ 4,58E-02	≤ 1,65E-01	≤ 2,44E+00	≤ 4,05E-01	1,00E+00 ± 9,10E-02	3,33E-01 ± 1,83E-02	2,99E-01 ± 1,59E-02	≤ 1,81E-01
7428	833	1,52E-01 ± 5,65E-02	2,07E-01 ± 3,04E-02	≤ 9,26E-01	≤ 1,76E-01	3,49E-01 ± 4,22E-02	1,96E-01 ± 9,62E-03	1,74E-01 ± 8,53E-03	3,90E-01 ± 6,81E-02
7429	855	3,71E-02 ± 2,23E-02	≤ 5,65E-02	≤ 8,69E-01	≤ 1,63E-01	1,52E-01 ± 1,88E-02	5,01E-02 ± 3,49E-03	4,26E-02 ± 2,83E-03	4,37E-01 ± 9,54E-02

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Th-234	Pa-234m	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-214	Bi-214	Pb-210
7452	1059	≤ 3,43E-02	≤ 1,03E-01	≤ 1,95E+00	≤ 3,14E-01	8,69E-01 ± 8,01E-02	9,89E-02 ± 6,73E-03	8,58E-02 ± 6,24E-03	≤ 9,86E-02
7462	1094	≤ 5,11E-02	≤ 7,86E-02	≤ 2,13E+00	≤ 4,63E-01	2,35E+00 ± 1,62E-01	4,57E-01 ± 2,64E-02	4,03E-01 ± 2,86E-02	≤ 2,40E-01
7478	1115	1,15E-01 ± 3,81E-02	≤ 2,14E-01	≤ 2,71E+00	≤ 4,84E-01	1,13E+00 ± 1,23E-01	1,02E-01 ± 8,31E-03	8,33E-02 ± 7,87E-03	4,12E-01 ± 2,64E-01
7481	976	≤ 2,56E-02	≤ 3,19E-01	≤ 3,59E+00	≤ 2,73E-01	2,11E-01 ± 6,16E-02	4,71E-02 ± 8,13E-03	3,39E-02 ± 9,62E-03	4,16E-02 ± 2,80E-02
8074	935	≤ 1,08E-01	≤ 6,63E-01	≤ 5,50E+00	≤ 8,53E-01	2,27E+00 ± 1,96E-01	1,58E-01 ± 1,84E-02	1,28E-01 ± 1,99E-02	≤ 4,57E-01
8160	1091	1,04E-01 ± 7,97E-02	≤ 2,01E-01	≤ 3,36E+00	≤ 6,69E-01	1,33E+00 ± 1,46E-01	1,77E-01 ± 1,12E-02	1,49E-01 ± 1,12E-02	4,26E-01 ± 1,57E-01
8274	1088	≤ 9,94E-02	≤ 2,71E-01	≤ 4,91E+00	≤ 9,14E-01	3,13E+00 ± 3,15E-01	2,13E+00 ± 1,22E-01	1,94E+00 ± 9,43E-02	≤ 4,15E-01
8274	1087	≤ 1,00E-01	≤ 4,08E-01	≤ 5,83E+00	≤ 9,66E-01	3,88E+00 ± 2,93E-01	2,21E+00 ± 1,52E-01	2,03E+00 ± 1,38E-01	≤ 2,90E-01
8366	824	2,59E-01 ± 9,31E-02	3,01E-01 ± 8,15E-02	≤ 1,03E+00	≤ 1,79E-01	8,84E-02 ± 1,83E-02	3,15E-02 ± 2,61E-03	2,74E-02 ± 2,64E-03	9,33E-02 ± 4,97E-02

Thorium-Zerfallsreihe (Th-232)

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Ac-228	Th-228	Ra-224	Pb-212	Bi-212	Tl-208
1	796	2,76E-03 ± 9,94E-04	≤ 2,12E-02	≤ 1,16E-02	3,10E-03 ± 1,19E-03	≤ 7,43E-03	1,14E-03 ± 8,85E-04
1	800	9,09E-03 ± 1,56E-03	≤ 1,21E-02	≤ 5,25E-03	≤ 5,10E-03	≤ 3,69E-03	≤ 2,77E-04
1	801	6,84E-02 ± 7,75E-03	6,84E-02 ± 2,89E-02	≤ 1,20E-02	4,53E-03 ± 7,12E-04	1,55E-02 ± 1,32E-02	9,78E-04 ± 2,78E-04
5	803	2,05E-02 ± 2,13E-03	6,97E-02 ± 3,16E-02	9,98E-03 ± 7,77E-03	1,15E-02 ± 1,03E-03	1,23E-02 ± 4,25E-03	4,09E-03 ± 6,09E-04
5	804	1,07E-01 ± 8,94E-03	3,51E-01 ± 5,80E-02	7,95E-02 ± 2,50E-02	7,18E-02 ± 7,19E-03	6,85E-02 ± 1,53E-02	2,31E-02 ± 1,55E-03
14	802	8,39E-01 ± 1,22E-01	≤ 1,11E+00	≤ 7,96E-01	2,48E-01 ± 8,41E-02	≤ 5,91E-01	7,40E-02 ± 2,31E-02
15	963	6,20E-02 ± 1,09E-02	1,72E-01 ± 7,96E-02	≤ 3,35E-02	3,34E-02 ± 4,16E-03	3,67E-02 ± 2,36E-02	9,59E-03 ± 2,52E-03
1005	777	3,79E-02 ± 3,72E-03	1,49E-01 ± 4,84E-02	1,74E-02 ± 9,80E-03	1,94E-02 ± 1,66E-03	2,03E-02 ± 5,32E-03	6,77E-03 ± 6,64E-04
1009	860	5,84E-02 ± 5,64E-03	2,90E-01 ± 7,87E-02	5,50E-02 ± 1,90E-02	6,19E-02 ± 4,80E-03	5,95E-02 ± 1,16E-02	2,10E-02 ± 1,60E-03
1017	823	8,71E-04 ± 3,51E-04	1,01E-02 ± 4,46E-03	≤ 1,66E-03	8,87E-04 ± 1,73E-04	1,39E-03 ± 5,63E-04	3,39E-04 ± 9,57E-05
1030	869	1,07E-02 ± 1,78E-03	6,36E-02 ± 2,95E-02	1,02E-02 ± 9,04E-03	9,01E-03 ± 9,48E-04	6,17E-03 ± 4,66E-03	3,14E-03 ± 4,53E-04
1032	876	2,56E-02 ± 3,82E-03	≤ 3,74E-02	2,33E-02 ± 1,25E-02	1,70E-02 ± 1,82E-03	1,58E-02 ± 4,72E-03	5,36E-03 ± 7,74E-04
1035	1104	1,78E-02 ± 4,52E-03	≤ 5,56E-02	≤ 1,89E-02	1,68E-02 ± 2,14E-03	1,77E-02 ± 1,89E-02	5,92E-03 ± 1,52E-03
1043	1117	2,80E-03 ± 4,88E-04	1,01E-02 ± 7,62E-03	≤ 3,16E-03	3,03E-03 ± 3,60E-04	2,59E-03 ± 1,26E-03	8,07E-04 ± 1,15E-04
1077	835	1,74E-02 ± 2,36E-03	7,07E-02 ± 2,88E-02	≤ 8,37E-03	1,72E-02 ± 1,71E-03	1,63E-02 ± 3,93E-03	5,44E-03 ± 6,17E-04
1085	1099	2,62E-02 ± 2,76E-03	1,13E-01 ± 1,86E-02	2,42E-02 ± 1,02E-02	2,19E-02 ± 1,78E-03	2,12E-02 ± 3,52E-03	6,73E-03 ± 7,37E-04
1093	1122	1,58E-02 ± 1,96E-03	4,89E-02 ± 2,06E-02	1,74E-02 ± 6,26E-03	1,83E-02 ± 1,67E-03	1,74E-02 ± 3,22E-03	5,42E-03 ± 5,22E-04
1093	1123	3,11E-02 ± 3,81E-03	1,20E-01 ± 5,06E-02	1,72E-02 ± 1,26E-02	2,10E-02 ± 1,91E-03	2,25E-02 ± 9,19E-03	7,72E-03 ± 1,03E-03
1093	1124	8,32E-03 ± 1,18E-03	3,78E-02 ± 1,23E-02	4,88E-03 ± 5,58E-03	7,16E-03 ± 8,00E-04	7,13E-03 ± 2,33E-03	2,33E-03 ± 1,91E-04
1094	1100	3,02E-03 ± 1,01E-03	1,82E-02	≤ 4,69E-03	2,57E-03 ± 4,32E-04	≤ 3,10E-03	9,80E-04 ± 2,45E-04

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Ac-228	Th-228	Ra-224	Pb-212	Bi-212	Tl-208
1098	1101	2,01E-03 ± 8,28E-04	1,55E-02	6,67E-03 ± 4,28E-03	3,59E-03 ± 4,74E-04	3,87E-03 ± 1,37E-03	1,21E-03 ± 2,70E-04
2076	1110	6,42E-03 ± 1,48E-03	≤ 2,56E-02	≤ 9,48E-03	5,80E-03 ± 8,95E-04	9,99E-03 ± 3,07E-03	1,75E-03 ± 4,73E-04
2076	1111	9,85E-02 ± 7,77E-03	1,54E-01 ± 4,25E-02	6,64E-02 ± 1,99E-02	6,50E-02 ± 5,02E-03	6,67E-02 ± 1,33E-02	2,19E-02 ± 1,99E-03
2076	1112	1,31E-01 ± 1,23E-02	1,46E-01 ± 4,34E-02	9,06E-02 ± 1,55E-02	8,20E-02 ± 9,39E-03	7,70E-02 ± 7,91E-03	2,52E-02 ± 1,26E-03
2076	1113	1,38E-01 ± 1,16E-02	5,76E-01 ± 9,76E-02	1,31E-01 ± 2,50E-02	1,40E-01 ± 1,64E-02	1,25E-01 ± 1,29E-02	4,24E-02 ± 2,41E-03
2076	1114	8,45E-01 ± 6,40E-02	9,20E-01 ± 1,51E-01	5,46E-01 ± 7,54E-02	4,82E-01 ± 4,71E-02	4,72E-01 ± 4,35E-02	1,58E-01 ± 7,79E-03
2080	820	3,80E-01 ± 3,57E-02	2,16E-01 ± 3,71E-02	1,79E-01 ± 4,10E-02	1,53E-01 ± 1,34E-02	1,46E-01 ± 2,30E-02	4,67E-02 ± 3,75E-03
2097	771	4,83E-02 ± 3,38E-03	≤ 4,59E-02	6,01E-02 ± 5,38E-02	3,11E-02 ± 3,31E-03	2,84E-02 ± 7,84E-03	9,20E-03 ± 7,55E-04
2097	826	3,57E-02 ± 6,15E-03	≤ 1,48E-01 ± 4,77E-02	4,88E-02 ± 2,00E-02	3,11E-02 ± 3,41E-03	3,40E-02 ± 1,41E-02	8,65E-03 ± 1,27E-03
2115	816	3,69E-01 ± 3,85E-02	2,90E-01 ± 9,59E-02	1,68E-01 ± 4,11E-02	1,48E-01 ± 1,16E-02	1,33E-01 ± 2,85E-02	4,75E-02 ± 3,19E-03
2115	817	3,97E-01 ± 4,25E-02	1,56E-01 ± 6,83E-02	8,98E-02 ± 3,39E-02	6,23E-02 ± 8,22E-03	5,12E-02 ± 2,50E-02	2,03E-02 ± 2,37E-03
2188	878	3,55E-02 ± 3,39E-03	6,93E-02 ± 2,02E-02	3,63E-02 ± 6,33E-03	3,50E-02 ± 2,58E-03	3,12E-02 ± 4,06E-03	1,09E-02 ± 6,21E-04
2192	879	3,59E-01 ± 3,81E-02	5,33E-01 ± 1,09E-01	8,27E-02 ± 3,60E-02	8,16E-02 ± 8,49E-03	7,51E-02 ± 2,37E-02	2,42E-02 ± 2,26E-03
2237	778	1,71E-02 ± 1,94E-03	7,58E-02 ± 2,69E-02	1,56E-02 ± 7,67E-03	1,58E-02 ± 1,26E-03	1,60E-02 ± 4,63E-03	5,28E-03 ± 5,70E-04
3006	1128	1,69E+00 ± 2,00E-01	≤ 3,05E-01	2,25E-01 ± 1,25E-01	1,36E-01 ± 1,52E-02	2,12E-01 ± 1,49E-01	3,92E-02 ± 8,87E-03
3009	899	1,32E-01 ± 1,13E-02	5,09E-01 ± 8,24E-02	2,31E-01 ± 4,02E-02	2,21E-01 ± 2,18E-02	2,19E-01 ± 2,16E-02	7,48E-02 ± 3,96E-03
3019	971	6,88E-03 ± 1,27E-03	4,59E-02 ± 2,38E-02	≤ 6,39E-03	6,05E-03 ± 7,56E-04	9,71E-03 ± 4,18E-03	2,25E-03 ± 4,07E-04
3024	808	1,33E+01 ± 1,59E+00	1,32E+01 ± 2,97E+00	1,28E+01 ± 3,81E+00	1,25E+01 ± 2,46E+00	1,09E+01 ± 1,03E+00	3,71E+00 ± 3,81E-01
3036	929	1,05E+00 ± 1,00E-01	5,01E-01 ± 1,02E-01	3,36E-01 ± 8,60E-02	2,50E-01 ± 3,46E-02	2,78E-01 ± 5,00E-02	7,95E-02 ± 7,27E-03
3038	1062	9,22E-01 ± 7,43E-02	5,49E-01 ± 2,54E-01	7,24E-01 ± 1,34E-01	5,87E-01 ± 6,53E-02	5,53E-01 ± 5,75E-02	1,80E-01 ± 9,30E-03
3053	792	3,70E+00 ± 2,93E-01	2,41E+00 ± 1,11E+00	2,50E+00 ± 6,68E-01	2,51E+00 ± 2,79E-01	2,38E+00 ± 1,87E-01	7,86E-01 ± 3,80E-02
3053	1143	4,82E-02 ± 3,97E-03	1,08E-01 ± 4,49E-02	5,18E-02 ± 1,27E-02	4,67E-02 ± 3,43E-03	4,85E-02 ± 7,57E-03	1,60E-02 ± 1,41E-03
3053	1144	≤ 2,69E-02	≤ 2,05E-01	≤ 8,13E-02	≤ 9,90E-03	≤ 8,32E-02	≤ 7,05E-03
3054	794	6,45E-02 ± 5,12E-03	1,07E-01 ± 4,18E-02	4,20E-02 ± 1,68E-02	4,62E-02 ± 3,63E-03	4,49E-02 ± 8,13E-03	1,63E-02 ± 1,46E-03
3056	791	1,76E-02 ± 2,32E-03	8,32E-02 ± 2,27E-02	1,97E-02 ± 1,02E-02	1,93E-02 ± 1,69E-03	2,21E-02 ± 6,49E-03	6,92E-03 ± 7,14E-04
3058	795	1,34E-03 ± 3,42E-04	≤ 1,04E-02	≤ 4,21E-03	1,02E-03 ± 3,28E-04	≤ 2,29E-03	4,24E-04 ± 1,01E-04
3059	821	7,54E-03 ± 1,48E-03	3,49E-02 ± 2,53E-02	1,03E-02 ± 8,42E-03	6,75E-03 ± 1,05E-03	6,47E-03 ± 5,43E-03	2,34E-03 ± 4,48E-04
3065	1064	8,90E-02 ± 6,62E-03	9,30E-02 ± 4,12E-02	5,12E-02 ± 1,46E-02	4,29E-02 ± 3,28E-03	4,26E-02 ± 8,94E-03	1,38E-02 ± 1,28E-03
3070	767	1,04E-01 ± 8,63E-03	1,35E-01 ± 6,87E-01	3,69E-02 ± 1,42E-02	4,28E-02 ± 3,31E-03	3,99E-02 ± 8,61E-03	1,39E-02 ± 1,07E-03
3071	895	6,45E-01 ± 4,36E-02	5,50E-01 ± 9,29E-02	1,48E-01 ± 2,33E-02	1,81E-01 ± 1,28E-02	1,84E-01 ± 2,65E-02	6,05E-02 ± 5,19E-03
3071	896	2,52E-02 ± 2,31E-03	1,43E-01 ± 2,45E-02	1,09E-02 ± 6,49E-03	1,39E-02 ± 1,20E-03	1,47E-02 ± 4,85E-03	4,39E-03 ± 5,00E-04
3073	956	5,22E+00 ± 4,90E-01	4,76E+00 ± 1,71E+00	5,43E+00 ± 5,72E+00	3,91E+00 ± 4,78E-01	3,44E+00 ± 2,63E-01	1,16E+00 ± 5,96E-02
3076	880	8,35E-02 ± 9,42E-03	3,21E-01 ± 5,67E-02	6,60E-02 ± 2,16E-02	1,01E-01 ± 1,40E-02	9,03E-02 ± 1,70E-02	3,17E-02 ± 2,92E-03
3082	814	9,91E-03 ± 1,81E-03	≤ 2,23E-02	8,27E-03 ± 7,18E-03	5,65E-03 ± 7,89E-04	8,09E-03 ± 6,18E-03	1,75E-03 ± 4,34E-04
3097	1126	1,23E+00 ± 1,22E-01	3,92E-01 ± 1,58E-01	2,95E-01 ± 7,12E-02	2,41E-01 ± 1,81E-02	2,42E-01 ± 6,43E-02	7,61E-02 ± 5,05E-03

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Ac-228	Th-228	Ra-224	Pb-212	Bi-212	Tl-208
3100	789	1,12E-01 ± 2,28E-02	≤ 1,36E-01	9,42E-02 ± 6,05E-02	5,37E-02 ± 9,46E-03	5,94E-02 ± 2,08E-02	1,85E-02 ± 4,04E-03
3104	882	4,49E-02 ± 5,24E-03	8,43E-02 ± 4,38E-02	6,06E-02 ± 2,21E-02	4,22E-02 ± 4,95E-03	4,20E-02 ± 1,20E-02	1,31E-02 ± 1,30E-03
3114	883	3,31E-01 ± 2,70E-02	≤ 1,80E-01 ± 6,20E-02	1,14E-01 ± 2,78E-02	1,01E-01 ± 1,19E-02	1,02E-01 ± 2,04E-02	3,28E-02 ± 2,23E-03
3125	881	1,69E-02 ± 1,94E-03	≤ 2,50E-02	1,00E-02 ± 7,34E-03	1,47E-02 ± 1,24E-03	1,31E-02 ± 3,73E-03	4,67E-03 ± 4,93E-04
3128	884	1,29E-01 ± 1,52E-02	4,12E-01 ± 7,96E-02	2,38E-01 ± 4,53E-02	1,96E-01 ± 1,47E-02	1,91E-01 ± 2,05E-02	5,98E-02 ± 3,43E-03
3137	819	1,16E-02 ± 1,52E-03	5,83E-02 ± 2,25E-02	7,89E-03 ± 6,30E-03	6,61E-03 ± 6,93E-04	6,54E-03 ± 3,24E-03	2,16E-03 ± 3,54E-04
3161	980	5,97E-03 ± 1,02E-03	≤ 1,73E-02	≤ 6,93E-03	3,62E-03 ± 5,97E-04	≤ 3,58E-03	1,50E-03 ± 3,64E-04
3163	1116	3,91E-01 ± 3,98E-02	5,71E-01 ± 1,63E-01	1,38E-01 ± 3,05E-02	1,30E-01 ± 1,13E-02	1,11E-01 ± 1,53E-02	3,82E-02 ± 3,15E-03
3198	1060	8,74E-02 ± 8,78E-03	≤ 1,50E-01 ± 5,37E-02	6,64E-02 ± 2,54E-02	4,88E-02 ± 7,21E-03	5,30E-02 ± 1,11E-02	1,49E-02 ± 1,21E-03
3200	1061	4,14E-01 ± 3,85E-02	4,10E-01 ± 9,47E-02	2,22E-01 ± 4,86E-02	1,87E-01 ± 1,73E-02	1,94E-01 ± 3,42E-02	5,79E-02 ± 4,30E-03
3200	1092	2,73E-01 ± 2,22E-02	3,36E-01 ± 9,59E-02	1,79E-01 ± 2,83E-02	1,65E-01 ± 1,23E-02	1,61E-01 ± 1,94E-02	5,35E-02 ± 3,44E-03
3227	1090	6,51E-02 ± 5,33E-03	1,39E-01 ± 3,44E-02	6,23E-02 ± 1,56E-02	4,86E-02 ± 3,81E-03	5,38E-02 ± 8,04E-03	1,70E-02 ± 1,46E-03
3269	1089	4,58E-01 ± 3,12E-02	9,01E-01 ± 2,06E-01	3,09E-01 ± 1,38E-01	2,96E-01 ± 2,21E-02	2,68E-01 ± 3,12E-02	9,01E-02 ± 7,08E-03
3315	887	1,35E+01 ± 8,98E-01	2,35E+01 ± 2,44E+00	1,25E+01 ± 1,29E+00	1,10E+01 ± 8,17E-01	1,07E+01 ± 7,65E-01	3,62E+00 ± 2,63E-01
3319	811	2,18E+00 ± 1,46E-01	1,40E+00 ± 2,18E-01	8,62E-01 ± 1,40E-01	7,36E-01 ± 4,81E-02	7,01E-01 ± 8,70E-02	2,40E-01 ± 1,83E-02
3319	810	1,85E+00 ± 1,29E-01	1,10E+00 ± 1,77E-01	7,42E-01 ± 1,16E-01	7,23E-01 ± 4,85E-02	7,48E-01 ± 8,31E-02	2,39E-01 ± 1,67E-02
3326	751	2,34E-01 ± 1,88E-02	4,36E-01 ± 1,22E-01	1,94E-01 ± 2,94E-02	1,68E-01 ± 1,25E-02	1,66E-01 ± 1,79E-02	≤ 5,41E-02
3326	752	2,27E-01 ± 2,32E-02	3,35E-01 ± 1,02E-01	2,27E-01 ± 2,88E-02	1,91E-01 ± 1,66E-02	1,64E-01 ± 1,45E-02	5,64E-02 ± 4,59E-03
3328	1063	5,19E-02 ± 4,74E-03	1,52E-01 ± 5,36E-02	3,79E-02 ± 2,30E-02	4,63E-02 ± 3,74E-03	4,80E-02 ± 9,85E-03	1,55E-02 ± 1,43E-03
3356	1102	4,82E-01 ± 3,28E-02	8,63E-01 ± 1,28E-01	3,70E-01 ± 6,98E-02	3,13E-01 ± 2,20E-02	3,01E-01 ± 3,01E-02	1,05E-01 ± 8,37E-03
4006	861	6,62E-01 ± 5,41E-02	1,05E+00 ± 1,99E-01	6,18E-01 ± 8,67E-02	5,23E-01 ± 6,09E-02	5,03E-01 ± 4,25E-02	1,67E-01 ± 8,95E-03
4039	865	1,40E+00 ± 2,89E-01	1,10E+00 ± 1,18E+00	8,96E-01 ± 6,36E-01	8,54E-01 ± 1,03E-01	8,54E-01 ± 5,59E-01	2,43E-01 ± 6,11E-02
4039	863	3,36E-01 ± 3,63E-02	6,22E-01 ± 1,09E-01	3,88E-01 ± 7,36E-02	2,92E-01 ± 3,68E-02	2,63E-01 ± 2,93E-02	8,68E-02 ± 4,75E-03
4039	862	1,29E+00 ± 2,19E-01	≤ 5,99E-01	≤ 4,57E-01	4,04E-01 ± 6,26E-02	≤ 3,37E-01	1,15E-01 ± 1,58E-02
4047	964	7,05E-01 ± 7,21E-02	1,12E+00 ± 2,37E-01	7,80E-01 ± 1,00E-01	5,21E-01 ± 3,93E-02	5,18E-01 ± 5,02E-02	1,66E-01 ± 8,63E-03
4049	975	1,62E-02 ± 2,69E-03	3,52E-02	2,00E-02 ± 1,02E-02	1,71E-02 ± 1,47E-03	2,09E-02 ± 6,39E-03	5,49E-03 ± 6,88E-04
4053	1093	5,59E-02 ± 4,94E-03	3,43E-01 ± 5,49E-02	6,98E-02 ± 2,32E-02	5,45E-02 ± 4,06E-03	5,51E-02 ± 1,16E-02	1,77E-02 ± 1,72E-03
4055	967	4,50E-02 ± 4,24E-03	≤ 8,14E-02 ± 2,45E-02	4,19E-02 ± 1,18E-02	3,17E-02 ± 2,61E-03	3,19E-02 ± 9,01E-03	1,07E-02 ± 1,09E-03
4055	966	6,59E-03 ± 2,27E-03	≤ 2,75E-02	≤ 1,12E-02	6,68E-03 ± 9,35E-04	8,83E-03 ± 7,44E-03	2,08E-03 ± 6,78E-04
4074	834	5,47E-01 ± 4,87E-02	8,40E-01 ± 9,68E-02	5,38E-01 ± 4,37E-02	4,23E-01 ± 3,05E-02	3,83E-01 ± 2,56E-02	1,27E-01 ± 6,25E-03
4086	873	5,81E-02 ± 5,41E-03	1,74E-01 ± 4,46E-02	6,07E-02 ± 1,85E-02	5,64E-02 ± 5,69E-03	5,83E-02 ± 1,06E-02	1,88E-02 ± 1,28E-03
4198	959	5,22E-01 ± 5,18E-02	4,24E-01 ± 1,29E-01	8,20E-02 ± 5,16E-02	1,10E-01 ± 1,14E-02	7,80E-02 ± 4,31E-02	3,56E-02 ± 3,85E-03
4204	874	2,21E-02 ± 4,46E-03	1,17E-01 ± 6,38E-02	3,83E-02 ± 3,25E-02	2,58E-02 ± 2,73E-03	2,55E-02 ± 1,08E-02	8,54E-03 ± 9,92E-04
4207	856	1,35E+00 ± 3,58E-01	2,13E+00	≤ 1,06E+00	7,35E-01 ± 1,28E-01	≤ 1,04E+00	1,73E-01 ± 8,24E-02
5007	931	9,50E-03 ± 1,67E-03	7,10E-02 ± 3,16E-02	1,04E-02 ± 8,42E-03	8,13E-03 ± 1,02E-03	1,00E-02 ± 4,91E-03	2,45E-03 ± 4,63E-04

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Ac-228	Th-228	Ra-224	Pb-212	Bi-212	Tl-208
5010	904	1,69E-02 ± 2,67E-03	≤ 4,37E-02	≤ 2,87E-02	1,42E-02 ± 3,20E-03	≤ 1,52E-02	6,23E-03 ± 1,35E-03
5010	906	2,77E-02 ± 5,19E-03	1,70E+00 ± 1,88E-01	≤ 1,89E-02	2,50E-02 ± 3,80E-03	2,37E-02 ± 7,16E-03	7,90E-03 ± 1,28E-03
5010	907	1,79E-02 ± 1,94E-03	1,34E-01 ± 3,08E-02	1,33E-02 ± 6,15E-03	1,70E-02 ± 1,99E-03	1,68E-02 ± 3,11E-03	5,29E-03 ± 3,61E-04
5010	908	5,31E-03 ± 7,48E-04	2,60E-02 ± 1,27E-02	≤ 8,69E-03	6,55E-03 ± 1,02E-03	≤ 4,38E-03	2,13E-03 ± 3,51E-04
5040	822	1,49E-02 ± 2,26E-03	3,27E+00 ± 3,18E-01	≤ 1,38E-02	1,63E-02 ± 2,29E-03	1,29E-02 ± 5,70E-03	≤ 7,43E-04
5055	807	2,71E-01 ± 6,59E-02	6,83E+00 ± 8,59E-01	≤ 2,49E-01	5,61E-02 ± 1,96E-02	≤ 1,39E-01	1,41E-02 ± 8,46E-03
5055	1057	2,21E-01 ± 5,95E-02	1,03E+01 ± 1,27E+00	≤ 2,42E-01	9,97E-02 ± 1,85E-02	≤ 1,44E-01	2,39E-02 ± 9,46E-03
5055	1067	2,41E-01 ± 4,72E-02	1,04E+01 ± 1,02E+00	≤ 2,81E-01	8,70E-02 ± 2,36E-02	≤ 1,28E-01	2,87E-02 ± 1,29E-02
5065	851	5,92E-02 ± 4,72E-03	1,98E-01 ± 4,71E-02	4,78E-02 ± 1,27E-02	5,67E-02 ± 4,22E-03	4,95E-02 ± 8,15E-03	1,75E-02 ± 1,51E-03
5065	852	1,89E-01 ± 1,33E-02	4,35E-01 ± 7,88E-02	1,07E-01 ± 2,01E-02	1,31E-01 ± 9,80E-03	1,32E-01 ± 1,56E-02	4,22E-02 ± 3,46E-03
5065	853	1,53E-02 ± 1,76E-03	≤ 2,82E-02	1,58E-02 ± 9,16E-03	1,26E-02 ± 1,20E-03	1,62E-02 ± 4,01E-03	4,39E-03 ± 5,22E-04
5065	854	1,24E-01 ± 9,20E-03	3,07E-01 ± 6,04E-02	9,38E-02 ± 2,26E-02	7,85E-02 ± 5,55E-03	7,52E-02 ± 1,20E-02	2,66E-02 ± 2,09E-03
5074	1135	3,54E-03 ± 1,23E-03	1,29E-01 ± 3,73E-02	9,72E-03 ± 6,67E-03	5,66E-03 ± 6,67E-04	≤ 3,69E-03	1,53E-03 ± 3,35E-04
5074	1136	9,78E-03 ± 1,77E-03	9,91E-02 ± 3,36E-02	1,83E-02 ± 7,74E-03	1,04E-02 ± 1,25E-03	9,01E-03 ± 5,28E-03	3,11E-03 ± 4,55E-04
5086	1127	1,44E-02 ± 1,83E-03	1,29E-01 ± 2,02E-02	1,97E-02 ± 8,39E-03	1,55E-02 ± 1,75E-03	1,44E-02 ± 2,68E-03	4,65E-03 ± 3,81E-04
5111	1120	4,58E-03 ± 7,79E-04	≤ 9,13E-03	≤ 4,65E-03	5,43E-03 ± 6,72E-04	4,34E-03 ± 1,10E-03	1,47E-03 ± 1,94E-04
5124	934	3,05E-03 ± 1,28E-03	1,88E-01 ± 4,19E-02	≤ 6,24E-03	2,98E-03 ± 6,61E-04	≤ 4,43E-03	9,11E-04 ± 3,82E-04
5196	1097	1,17E-02 ± 2,19E-03	4,91E-01 ± 6,40E-02	≤ 1,20E-02	1,41E-02 ± 1,67E-03	9,71E-03 ± 5,07E-03	4,41E-03 ± 6,13E-04
5197	1119	6,72E-03 ± 3,22E-03	2,63E-01 ± 8,04E-02	≤ 1,60E-02	7,05E-03 ± 1,63E-03	≤ 9,03E-03	2,59E-03 ± 7,89E-04
5203	1085	1,46E-03 ± 5,98E-04	≤ 1,55E-02	≤ 3,60E-03	8,21E-04 ± 3,05E-04	≤ 2,35E-03	2,29E-04 ± 1,58E-04
5203	1086	9,21E-03 ± 1,55E-03	1,57E-01 ± 3,05E-02	≤ 7,16E-03	9,88E-03 ± 9,66E-04	9,28E-03 ± 4,56E-03	3,15E-03 ± 4,31E-04
5207	858	1,81E-02 ± 2,12E-03	1,67E-01 ± 3,88E-02	2,62E-02 ± 1,04E-02	1,91E-02 ± 1,61E-03	1,89E-02 ± 6,22E-03	5,81E-03 ± 7,23E-04
5210	969	3,23E-02 ± 3,69E-03	1,46E-01 ± 2,39E-02	2,58E-02 ± 1,81E-02	1,83E-02 ± 2,88E-03	1,60E-02 ± 7,37E-03	5,48E-03 ± 6,01E-04
5212	1130	4,46E-03 ± 6,80E-04	3,13E-02 ± 7,42E-03	≤ 2,50E-03	4,96E-03 ± 5,83E-04	5,22E-03 ± 1,35E-03	1,42E-03 ± 1,58E-04
5221	898	6,50E-03 ± 2,01E-03	1,17E-01 ± 4,36E-02	≤ 1,19E-02	2,02E-03 ± 8,54E-04	≤ 6,24E-03	5,24E-04 ± 5,15E-04
5221	897	6,26E-03 ± 2,80E-03	1,29E+00 ± 1,69E-01	≤ 1,58E-02	4,54E-03 ± 1,38E-03	≤ 8,92E-03	1,59E-03 ± 9,36E-04
5226	1058	3,56E-03 ± 2,16E-03	≤ 1,04E-01 ± 4,33E-02	≤ 1,10E-02	5,26E-03 ± 1,10E-03	≤ 7,75E-03	1,95E-03 ± 6,19E-04
5233	891	5,55E+00 ± 4,89E-01	3,08E+00 ± 8,06E-01	3,09E+00 ± 6,27E-01	2,51E+00 ± 4,05E-01	2,35E+00 ± 1,95E-01	7,89E-01 ± 3,62E-02
5237	927	8,29E-03 ± 1,77E-03	8,73E-02 ± 3,90E-02	≤ 8,58E-03	4,26E-03 ± 7,57E-04	≤ 5,05E-03	1,97E-03 ± 4,43E-04
5241	903	2,57E-02 ± 3,13E-03	1,64E-01 ± 4,50E-02	≤ 9,91E-03	8,67E-03 ± 1,56E-03	8,22E-03 ± 4,89E-03	2,43E-03 ± 5,25E-04
5241	901	4,42E-03 ± 1,12E-03	3,72E-02 ± 2,32E-02	≤ 5,56E-03	3,61E-03 ± 5,25E-04	5,90E-03 ± 3,44E-03	1,29E-03 ± 2,98E-04
5241	902	4,17E-03 ± 1,12E-03	≤ 2,11E-02	9,11E-03 ± 5,50E-03	3,94E-03 ± 5,61E-04	≤ 3,50E-03	1,08E-03 ± 2,85E-04
5242	832	2,13E-03	7,32E-02 ± 2,33E-02	≤ 9,78E-03	1,79E-03 ± 4,69E-04	≤ 7,76E-03	6,86E-04 ± 2,85E-04
5245	965	1,82E-02 ± 2,27E-03	2,47E-01 ± 4,50E-02	≤ 8,75E-03	8,65E-03 ± 9,82E-04	8,73E-03 ± 5,95E-03	2,68E-03 ± 5,26E-04
5250	968	1,39E-02 ± 1,72E-03	4,13E-02 ± 2,54E-02	1,43E-02 ± 8,10E-03	9,74E-03 ± 9,51E-04	1,06E-02 ± 5,02E-03	3,06E-03 ± 5,16E-04

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Ac-228	Th-232	Ra-224	Pb-212	Bi-212	Tl-208
5271	932	5,43E-01 ± 5,36E-02	1,14E+00 ± 1,61E-01	1,39E-01 ± 5,19E-02	1,77E-01 ± 2,45E-02	1,69E-01 ± 3,84E-02	5,25E-02 ± 5,41E-03
5276	774	9,78E-03 ± 3,21E-03	1,17E-01 ± 2,46E-02	≤ 1,79E-02	1,11E-02 ± 1,76E-03	≤ 9,17E-03	2,91E-03 ± 7,03E-04
5283	1121	1,58E-01 ± 1,31E-02	3,08E-01 ± 8,88E-02	1,11E-01 ± 2,18E-02	9,48E-02 ± 7,15E-03	9,30E-02 ± 1,42E-02	2,99E-02 ± 2,07E-03
5293	768	1,38E-03 ± 4,38E-04	8,41E-03	≤ 2,45E-03	1,41E-03 ± 2,42E-04	2,28E-03 ± 7,71E-04	5,33E-04 ± 1,36E-04
5294	773	5,31E-03 ± 1,26E-03	3,88E-02 ± 1,49E-02	≤ 8,15E-03	5,14E-03 ± 4,42E-04	6,02E-03 ± 2,18E-03	2,16E-03 ± 3,63E-04
5296	1133	8,37E-03 ± 9,62E-04	2,31E-02 ± 9,54E-03	1,03E-02 ± 3,85E-03	6,79E-03 ± 4,71E-04	7,03E-03 ± 1,91E-03	2,19E-03 ± 2,32E-04
5304	831	2,38E-02 ± 2,35E-03	4,25E-02 ± 1,87E-02	2,74E-02 ± 8,46E-03	2,40E-02 ± 1,95E-03	2,19E-02 ± 3,89E-03	7,41E-03 ± 6,05E-04
5305	805	1,93E-02 ± 1,76E-03	7,30E-02 ± 1,49E-02	≤ 6,15E-03	7,60E-03 ± 7,48E-04	6,34E-03 ± 2,96E-03	2,39E-03 ± 3,47E-04
5306	1096	8,88E-02 ± 1,03E-02	4,03E+01 ± 3,51E+00	≤ 4,73E-02	3,45E-02 ± 4,97E-03	2,97E-02 ± 1,78E-02	1,26E-02 ± 1,78E-03
5308	775	4,59E-02 ± 4,59E-03	3,25E-01 ± 5,69E-02	≤ 1,30E-02	1,70E-02 ± 1,57E-03	1,44E-02 ± 7,21E-03	5,60E-03 ± 7,15E-04
5316	769	3,29E-02 ± 3,30E-03	3,03E-02 ± 1,49E-02	9,11E-03 ± 6,65E-03	1,10E-02 ± 1,32E-03	1,08E-02 ± 2,97E-03	3,55E-03 ± 3,50E-04
5318	930	1,19E-03 ± 8,16E-04	≤ 1,50E-02	≤ 4,21E-03	1,03E-03 ± 4,16E-04	≤ 2,89E-03	3,86E-04 ± 2,68E-04
5319	972	2,92E-02 ± 4,25E-03	6,21E-02 ± 4,15E-02	1,90E-02 ± 1,66E-02	1,86E-02 ± 2,14E-03	2,93E-02 ± 1,41E-02	6,60E-03 ± 1,04E-03
5320	1125	2,11E-02 ± 2,26E-03	4,59E-02 ± 1,97E-02	1,56E-02 ± 6,97E-03	1,33E-02 ± 1,17E-03	1,69E-02 ± 3,65E-03	4,31E-03 ± 4,32E-04
5322	813	1,31E-02 ± 1,67E-03	1,14E-01 ± 3,22E-02	1,18E-02 ± 8,06E-03	7,96E-03 ± 8,36E-04	8,60E-03 ± 3,49E-03	2,44E-03 ± 3,64E-04
5330	1103	1,39E-01 ± 1,16E-02	1,89E-01 ± 5,47E-02	1,39E-01 ± 2,53E-02	1,13E-01 ± 1,32E-02	1,08E-01 ± 1,26E-02	3,46E-02 ± 2,00E-03
5331	772	1,60E+00 ± 3,52E-01	≤ 9,02E-01	≤ 6,08E-01	9,01E-02 ± 2,63E-02	≤ 5,46E-01	4,66E-02 ± 3,18E-02
5338	786	3,64E-02 ± 4,10E-03	2,14E-01 ± 5,86E-02	≤ 8,26E-03	3,71E-02 ± 3,36E-03	3,43E-02 ± 4,70E-03	1,19E-02 ± 1,24E-03
5338	782	4,18E-01 ± 3,92E-02	5,63E-01 ± 1,20E-01	3,19E-01 ± 6,68E-02	2,70E-01 ± 2,35E-02	2,57E-01 ± 2,70E-02	8,30E-02 ± 6,17E-03
5338	784	6,82E-01 ± 1,01E-01	9,97E+00 ± 8,07E-01	≤ 1,25E-01	2,02E-01 ± 3,47E-02	2,35E-01 ± 3,86E-02	5,67E-02 ± 4,02E-03
5341	872	3,53E-01 ± 3,99E-02	4,03E-01 ± 1,38E-01	2,46E-01 ± 1,77E-01	1,34E-01 ± 1,75E-02	1,36E-01 ± 3,69E-02	4,00E-02 ± 4,86E-03
5343	829	1,40E-01 ± 1,17E-02	3,12E-01 ± 8,83E-02	1,36E-01 ± 2,53E-02	1,30E-01 ± 9,69E-03	1,37E-01 ± 1,45E-02	4,18E-02 ± 2,73E-03
5345	828	1,48E-01 ± 1,45E-02	1,20E-01 ± 4,59E-02	4,41E-02 ± 2,22E-02	3,90E-02 ± 3,66E-03	4,21E-02 ± 1,11E-02	1,17E-02 ± 1,38E-03
5352	900	1,02E-03	≤ 1,57E-02	≤ 5,74E-03	5,00E-04	≤ 3,02E-03	≤ 2,72E-04
5367	1132	5,27E-03 ± 3,09E-03	1,36E-01 ± 4,35E-02	≤ 1,13E-02	5,65E-03 ± 1,30E-03	≤ 8,45E-03	1,89E-03 ± 6,71E-04
5370	960	1,20E-02 ± 2,03E-03	≤ 2,54E-02	1,75E-02 ± 9,39E-03	1,17E-02 ± 1,56E-03	1,12E-02 ± 3,11E-03	3,84E-03 ± 6,19E-04
5373	928	8,33E-02 ± 6,47E-03	1,73E-01 ± 3,91E-02	8,31E-02 ± 1,91E-02	6,93E-02 ± 5,35E-03	7,36E-02 ± 9,85E-03	2,37E-02 ± 1,95E-03
5404	830	5,68E+00 ± 4,66E-01	2,60E+00 ± 3,26E-01	1,82E+00 ± 3,85E-01	1,79E+00 ± 2,07E-01	1,69E+00 ± 1,97E-01	5,78E-01 ± 3,53E-02
5418	894	1,42E-03 ± 8,11E-04	≤ 1,57E-02	≤ 4,17E-03	1,30E-03 ± 3,69E-04	≤ 2,64E-03	4,30E-04 ± 2,46E-04
5418	893	1,20E-02 ± 1,45E-03	8,88E-02 ± 2,74E-02	≤ 6,38E-03	6,12E-03 ± 6,89E-04	9,97E-03 ± 3,62E-03	2,34E-03 ± 3,73E-04
6033	806	3,55E+00 ± 3,04E-01	3,01E+00 ± 4,87E-01	2,06E+00 ± 1,89E-01	1,46E+00 ± 1,10E-01	1,36E+00 ± 1,61E-01	4,52E-01 ± 3,03E-02
7015	776	9,45E-01 ± 9,06E-02	9,91E-01 ± 1,46E-01	7,96E-01 ± 2,19E-01	7,45E-01 ± 1,02E-01	6,94E-01 ± 7,12E-02	2,37E-01 ± 1,92E-02
7050	747	1,37E+00 ± 1,20E-01	2,01E+00 ± 3,24E-01	1,06E+00 ± 4,83E-01	9,35E-01 ± 1,35E-01	8,49E-01 ± 8,31E-02	2,69E-01 ± 1,40E-02
7050	754	8,06E-01 ± 8,45E-02	4,49E-01 ± 1,15E-01	1,56E-01 ± 1,57E-01	1,71E-01 ± 2,17E-02	1,78E-01 ± 4,10E-02	5,29E-02 ± 3,57E-03
7056	770	8,18E-01 ± 7,85E-02	1,48E+00 ± 2,19E-01	6,59E-01 ± 1,86E-01	6,78E-01 ± 6,93E-02	6,87E-01 ± 8,23E-02	2,22E-01 ± 1,51E-02

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	Ac-228	Th-228	Ra-224	Pb-212	Bi-212	Tl-208
7063	1129	1,53E+00 ± 1,51E-01	1,02E+00 ± 1,96E-01	3,63E-01 ± 1,15E-01	2,88E-01 ± 3,39E-02	1,93E-01 ± 8,93E-02	8,58E-02 ± 8,59E-03
7064	962	4,98E-01 ± 4,60E-02	3,24E-01 ± 9,22E-02	1,49E-01 ± 4,45E-02	1,11E-01 ± 1,06E-02	1,16E-01 ± 3,70E-02	3,54E-02 ± 3,38E-03
7066	825	1,11E+00 ± 9,53E-02	1,39E+00 ± 2,19E-01	8,42E-01 ± 8,19E-02	5,71E-01 ± 4,31E-02	5,18E-01 ± 5,91E-02	1,79E-01 ± 1,21E-02
7071	871	3,31E-01 ± 2,79E-02	3,99E-01 ± 6,88E-02	2,96E-01 ± 5,03E-02	2,55E-01 ± 2,95E-02	2,37E-01 ± 2,44E-02	8,27E-02 ± 5,32E-03
7071	870	5,68E-01 ± 7,07E-02	≤ 8,02E-01 ± 1,26E-01	3,56E-01 ± 1,15E-01	3,26E-01 ± 6,44E-02	2,94E-01 ± 5,57E-02	9,79E-02 ± 1,12E-02
7071	1050	7,02E-01 ± 8,76E-02	9,00E-01 ± 1,47E-01	3,20E-01 ± 1,20E-01	3,33E-01 ± 6,60E-02	3,09E-01 ± 7,90E-02	1,00E-01 ± 1,18E-02
7077	818	5,75E-01 ± 4,65E-02	6,18E-01 ± 1,26E-01	2,03E-01 ± 1,11E-01	2,28E-01 ± 2,66E-02	2,28E-01 ± 2,81E-02	7,07E-02 ± 4,06E-03
7080	936	1,45E+00 ± 1,58E-01	1,61E+00 ± 2,35E-01	6,71E-01 ± 1,28E-01	4,78E-01 ± 5,19E-02	4,16E-01 ± 9,74E-02	1,37E-01 ± 1,09E-02
7109	961	2,00E-01 ± 1,50E-02	2,27E-01 ± 4,81E-02	1,33E-01 ± 2,50E-02	1,13E-01 ± 7,75E-03	1,10E-01 ± 1,71E-02	3,53E-02 ± 2,67E-03
7121	793	2,30E+00 ± 2,96E-01	2,54E+00 ± 4,30E-01	1,54E+00 ± 2,54E-01	1,38E+00 ± 1,50E-01	1,23E+00 ± 1,19E-01	4,08E-01 ± 2,91E-02
7139	877	1,96E+00 ± 1,81E-01	1,78E+00 ± 6,83E-01	2,10E+00 ± 2,94E-01	1,71E+00 ± 1,74E-01	1,59E+00 ± 1,21E-01	5,41E-01 ± 3,45E-02
7140	957	1,97E-01 ± 1,40E-02	4,12E-01 ± 9,52E-02	1,96E-01 ± 2,92E-02	1,60E-01 ± 1,20E-02	1,60E-01 ± 1,95E-02	5,24E-02 ± 4,19E-03
7153	866	8,57E-01 ± 1,29E-01	1,23E+00 ± 2,66E-01	4,87E-01 ± 1,59E-01	4,46E-01 ± 6,64E-02	4,28E-01 ± 8,00E-02	1,24E-01 ± 1,06E-02
7157	1065	2,20E-01 ± 2,40E-02	2,69E-01 ± 1,19E-01	2,85E-01 ± 5,55E-02	2,37E-01 ± 2,99E-02	2,19E-01 ± 2,52E-02	7,12E-02 ± 3,99E-03
7172	937	5,26E-01 ± 4,26E-02	4,98E-01 ± 1,17E-01	3,20E-01 ± 5,55E-02	2,38E-01 ± 2,78E-02	2,31E-01 ± 2,59E-02	7,59E-02 ± 4,23E-03
7178	1131	5,68E-01 ± 4,53E-02	6,02E-01 ± 1,61E-01	1,87E-01 ± 3,94E-02	1,99E-01 ± 1,49E-02	1,90E-01 ± 2,90E-02	6,61E-02 ± 4,41E-03
7184	978	3,17E-01 ± 2,90E-02	2,16E-01 ± 9,56E-02	2,14E-01 ± 8,73E-02	1,91E-01 ± 2,76E-02	1,95E-01 ± 2,69E-02	6,04E-02 ± 3,61E-03
7184	977	3,36E-01 ± 3,52E-02	3,99E-01 ± 1,03E-01	1,96E-01 ± 5,12E-02	1,62E-01 ± 1,99E-02	1,50E-01 ± 2,88E-02	4,92E-02 ± 3,71E-03
7223	812	1,25E+00 ± 9,93E-02	4,61E-01 ± 1,67E-01	3,03E-01 ± 5,42E-02	2,30E-01 ± 1,75E-02	2,31E-01 ± 5,62E-02	7,10E-02 ± 5,43E-03
7227	1079	1,04E-01 ± 8,05E-03	1,80E-01 ± 6,99E-02	1,34E-01 ± 2,13E-02	1,30E-01 ± 9,21E-03	1,21E-01 ± 1,36E-02	4,09E-02 ± 3,21E-03
7228	1082	7,13E-02 ± 1,34E-02	≤ 8,17E-02	≤ 3,09E-02	2,46E-02 ± 4,03E-03	≤ 3,10E-02	9,92E-03 ± 2,35E-03
7228	1080	5,40E-02 ± 4,40E-03	≤ 3,43E-02	4,49E-02 ± 1,27E-02	4,45E-02 ± 3,17E-03	4,48E-02 ± 9,37E-03	1,44E-02 ± 1,24E-03
7228	1081	3,27E-01 ± 4,01E-02	≤ 1,03E-01	1,56E-01 ± 6,17E-02	1,32E-01 ± 1,62E-02	1,10E-01 ± 3,83E-02	4,07E-02 ± 4,74E-03
7241	1118	1,24E+00 ± 1,73E-01	4,80E-01 ± 1,41E-01	2,13E-01 ± 9,07E-02	1,99E-01 ± 3,14E-02	2,01E-01 ± 9,53E-02	6,23E-02 ± 1,01E-02
7249	1078	9,87E-01 ± 9,42E-02	1,13E+00 ± 1,74E-01	9,27E-01 ± 1,98E-01	1,00E+00 ± 1,38E-01	9,26E-01 ± 8,33E-02	3,17E-01 ± 2,53E-02
7251	1084	6,64E-02 ± 1,06E-02	2,25E-01 ± 6,72E-02	7,42E-02 ± 3,21E-02	7,47E-02 ± 8,47E-03	7,11E-02 ± 1,05E-02	2,08E-02 ± 2,16E-03
7251	1083	2,12E-01 ± 1,50E-02	3,28E-01 ± 1,12E-01	1,78E-01 ± 4,55E-02	1,75E-01 ± 1,33E-02	1,64E-01 ± 1,82E-02	5,70E-02 ± 4,41E-03
7265	933	2,96E-01 ± 2,57E-02	4,90E-01 ± 9,81E-02	2,58E-01 ± 3,98E-02	2,27E-01 ± 1,72E-02	2,18E-01 ± 2,32E-02	7,29E-02 ± 4,94E-03
7289	1107	5,46E-01 ± 4,18E-02	3,79E-01 ± 1,15E-01	9,52E-02 ± 4,73E-02	6,06E-02 ± 6,06E-03	5,28E-02 ± 3,79E-02	2,28E-02 ± 3,62E-03
7302	1098	4,21E-01 ± 5,74E-02	8,10E-01 ± 1,69E-01	2,96E-01 ± 8,56E-02	2,17E-01 ± 2,44E-02	2,02E-01 ± 4,89E-02	6,08E-02 ± 6,01E-03
7306	750	7,10E-01 ± 8,14E-02	1,05E+00 ± 1,92E-01	1,95E-01 ± 1,04E-01	1,51E-01 ± 7,12E-03	1,38E-01 ± 5,89E-02	5,37E-02 ± 7,19E-03
7328	958	3,61E-01 ± 3,73E-02	5,31E-01 ± 1,32E-01	3,51E-01 ± 5,82E-02	2,43E-01 ± 1,85E-02	2,28E-01 ± 2,81E-02	7,44E-02 ± 4,19E-03
7329	1095	2,57E-01 ± 2,16E-02	7,18E-01 ± 1,29E-01	3,38E-01 ± 7,70E-02	2,74E-01 ± 3,20E-02	2,52E-01 ± 2,46E-02	8,72E-02 ± 4,99E-03
7331	1066	5,89E-01 ± 5,64E-02	4,66E-01 ± 1,18E-01	1,72E-01 ± 4,67E-02	1,39E-01 ± 1,73E-02	1,68E-01 ± 3,79E-02	4,28E-02 ± 3,38E-03
7339	979	7,74E-01 ± 8,17E-02	8,41E-01 ± 1,34E-01	3,41E-01 ± 8,99E-02	2,64E-01 ± 3,34E-02	2,49E-01 ± 4,80E-02	8,06E-02 ± 4,89E-03

Rex Proben Nr.	Ac-228	Th-228	Ra-224	Pb-212	Bi-212	Tl-208
7354	3,31E-01 ± 4,11E-02	2,89E-01 ± 1,60E-01	3,05E-01 ± 6,32E-02	2,11E-01 ± 2,56E-02	1,96E-01 ± 4,74E-02	6,40E-02 ± 6,12E-03
7355	7,74E-01 ± 7,87E-02	5,04E-01 ± 1,32E-01	2,74E-01 ± 5,66E-02	1,78E-01 ± 1,39E-02	1,77E-01 ± 3,86E-02	5,73E-02 ± 3,86E-03
7360	3,67E-01 ± 3,26E-02	3,14E-01 ± 8,71E-02	2,94E-01 ± 7,84E-02	2,68E-01 ± 3,85E-02	2,71E-01 ± 2,66E-02	8,58E-02 ± 4,50E-03
7362	4,94E-01 ± 4,07E-02	8,90E-01 ± 1,65E-01	5,82E-01 ± 8,48E-02	4,99E-01 ± 5,81E-02	4,41E-01 ± 3,82E-02	1,60E-01 ± 8,59E-03
7372	5,20E-01 ± 5,74E-02	2,98E-01 ± 9,85E-02	8,43E-02 ± 6,74E-02	4,32E-02 ± 4,59E-03	6,92E-02 ± 3,42E-02	1,38E-02 ± 2,30E-03
7428	2,04E-01 ± 1,70E-02	5,32E-01 ± 6,22E-02	2,33E-01 ± 3,20E-02	2,00E-01 ± 1,07E-02	1,88E-01 ± 1,48E-02	6,29E-02 ± 3,03E-03
7429	4,17E-02 ± 4,22E-03	1,95E-01 ± 4,77E-02	2,76E-02 ± 1,93E-02	4,50E-02 ± 5,38E-03	4,39E-02 ± 8,62E-03	1,48E-02 ± 1,06E-03
7452	6,55E-01 ± 5,89E-02	4,51E-01 ± 9,69E-02	2,44E-01 ± 4,26E-02	1,99E-01 ± 1,82E-02	1,89E-01 ± 3,53E-02	6,10E-02 ± 4,00E-03
7462	3,34E-01 ± 3,12E-02	6,19E-01 ± 1,24E-01	2,09E-01 ± 9,34E-02	2,22E-01 ± 1,92E-02	2,00E-01 ± 2,13E-02	6,48E-02 ± 4,83E-03
7478	1,96E-01 ± 2,54E-02	4,58E-01 ± 1,27E-01	2,49E-01 ± 6,73E-02	2,01E-01 ± 1,84E-02	2,21E-01 ± 4,45E-02	5,80E-02 ± 4,20E-03
7481	6,00E-01 ± 9,52E-02	3,98E-01 ± 1,05E-01	3,05E-01 ± 1,10E-01	2,21E-01 ± 4,12E-02	1,83E-01 ± 6,74E-02	6,77E-02 ± 1,08E-02
8074	6,13E-01 ± 1,22E-01	8,78E-01 ± 3,20E-01	3,05E-01 ± 1,05E-01	9,83E-02 ± 1,27E-02	1,17E-01 ± 4,52E-02	2,96E-02 ± 7,01E-03
8160	1,11E+00 ± 1,17E-01	9,78E-01 ± 1,77E-01	6,28E-01 ± 1,13E-01	5,69E-01 ± 7,15E-02	5,63E-01 ± 6,06E-02	1,72E-01 ± 8,91E-03
8274	1,96E+00 ± 1,69E-01	1,95E+00 ± 3,30E-01	9,57E-01 ± 5,94E-01	1,04E+00 ± 1,49E-01	9,66E-01 ± 8,66E-02	3,25E-01 ± 1,56E-02
8274	2,43E+00 ± 1,64E-01	2,68E+00 ± 3,38E-01	1,19E+00 ± 4,00E-01	1,26E+00 ± 8,38E-02	1,29E+00 ± 1,40E-01	3,93E-01 ± 2,75E-02
8366	4,59E-02 ± 5,44E-03	1,34E-01 ± 4,96E-02	6,36E-02 ± 2,48E-02	5,13E-02 ± 5,27E-03	5,28E-02 ± 1,23E-02	1,70E-02 ± 1,34E-03

Uran-Actinium-Zerfallsreihe (U-235)

Rex Proben Nr.	U-235	Th-231	Pa-231	Th-227	Ra-223	Rn-219	Pb-211
1	≤ 3,15E-03	≤ 6,03E-02	≤ 1,98E-02	≤ 3,47E-03	≤ 1,06E-02	≤ 7,04E-03	≤ 1,18E-02
1	1,87E-03 ± 7,84E-04	≤ 2,90E-02	≤ 8,07E-03	≤ 1,42E-03	≤ 4,82E-03	≤ 3,11E-03	≤ 5,10E-03
1	5,21E-03 ± 1,82E-03	≤ 6,92E-02	≤ 2,17E-02	≤ 3,53E-03	≤ 1,23E-02	≤ 8,31E-03	≤ 1,35E-02
5	3,54E-03 ± 1,25E-03	≤ 5,34E-02	≤ 9,40E-03	≤ 1,96E-03	≤ 5,51E-03	≤ 3,90E-03	≤ 6,49E-03
5	≤ 3,63E-03	≤ 8,69E-02	≤ 1,92E-02	2,28E-02 ± 5,26E-03	1,31E-02 ± 5,55E-03	9,88E-03 ± 3,46E-03	≤ 1,30E-02
14	≤ 1,80E-01	≤ 3,38E+00	≤ 1,37E+00	≤ 2,40E-01	≤ 7,70E-01	≤ 4,95E-01	≤ 8,28E-01
15	1,36E-02 ± 4,07E-03	≤ 1,75E-01	≤ 4,95E-02	1,37E-02 ± 1,05E-02	≤ 3,22E-02	≤ 2,12E-02	≤ 3,39E-02
1005	≤ 4,68E-03	≤ 6,24E-02	≤ 1,15E-02	8,27E-03 ± 2,12E-03	4,00E-03 ± 2,99E-03	6,12E-03 ± 2,42E-03	6,17E-03 ± 3,38E-03
1009	6,53E-03 ± 2,81E-03	≤ 9,45E-02	≤ 1,81E-02	9,62E-03 ± 3,69E-03	≤ 1,10E-02	1,19E-02 ± 3,74E-03	≤ 1,29E-02
1017	≤ 4,05E-04	≤ 9,14E-03	≤ 2,29E-03	≤ 4,52E-04	≤ 1,39E-03	≤ 9,30E-04	≤ 1,54E-03
1030	2,90E-03 ± 1,14E-03	≤ 5,67E-02	≤ 1,02E-02	≤ 2,00E-03	≤ 5,64E-03	≤ 3,72E-03	≤ 6,09E-03
1032	≤ 2,75E-03	≤ 7,62E-02	≤ 1,61E-02	≤ 3,27E-03	≤ 9,59E-03	≤ 6,15E-03	≤ 1,03E-02
1035	≤ 4,60E-03	≤ 1,12E-01	≤ 2,79E-02	≤ 4,87E-03	≤ 1,54E-02	≤ 1,04E-02	≤ 1,71E-02

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	U-235	Th-231	Pa-231	Th-227	Ra-223	Rn-219	Pb-211
1043	1117	≤ 7,14E-04	≤ 1,73E-02	≤ 3,61E-03	≤ 8,87E-04	≤ 1,97E-03	≤ 1,25E-03	≤ 2,09E-03
1077	835	≤ 2,03E-03	≤ 5,36E-02	≤ 1,00E-02	≤ 2,10E-03	≤ 5,71E-03	≤ 3,63E-03	≤ 6,15E-03
1085	1099	≤ 2,42E-03	≤ 7,04E-02	≤ 1,16E-02	7,77E-03 ± 3,23E-03	≤ 6,63E-03	≤ 4,49E-03	≤ 7,34E-03
1093	1122	≤ 1,18E-03	≤ 2,92E-02	≤ 6,04E-03	≤ 1,30E-03	≤ 3,46E-03	≤ 2,28E-03	≤ 3,64E-03
1093	1123	6,34E-03 ± 3,44E-03	≤ 7,97E-02	≤ 1,45E-02	≤ 2,94E-03	≤ 8,72E-03	≤ 5,60E-03	≤ 9,70E-03
1093	1124	≤ 1,42E-03	≤ 3,21E-02	≤ 7,27E-03	4,46E-03 ± 1,48E-03	≤ 4,01E-03	≤ 2,72E-03	≤ 4,57E-03
1094	1100	≤ 1,41E-03	≤ 3,36E-02	≤ 6,72E-03	1,81E-03 ± 1,02E-03	≤ 3,73E-03	≤ 2,42E-03	≤ 4,16E-03
1098	1101	≤ 1,16E-03	≤ 3,12E-02	≤ 5,69E-03	≤ 1,14E-03	≤ 3,50E-03	≤ 2,25E-03	≤ 3,77E-03
2076	1110	≤ 2,14E-03	≤ 5,24E-02	≤ 1,13E-02	≤ 2,21E-03	≤ 6,90E-03	≤ 4,38E-03	≤ 7,59E-03
2076	1111	≤ 3,24E-03	≤ 8,58E-02	≤ 1,63E-02	≤ 3,34E-03	≤ 9,91E-03	≤ 6,43E-03	≤ 1,10E-02
2076	1112	≤ 1,92E-03	≤ 5,52E-02	≤ 8,86E-03	≤ 1,94E-03	≤ 5,04E-03	≤ 3,18E-03	≤ 5,27E-03
2076	1113	4,95E-03 ± 3,74E-03	≤ 1,01E-01	≤ 1,78E-02	1,64E-02 ± 4,23E-03	8,46E-03 ± 5,07E-03	1,68E-02 ± 3,75E-03	1,30E-02 ± 3,71E-03
2076	1114	≤ 8,26E-03	≤ 2,16E-01	≤ 4,57E-02	≤ 9,61E-03	≤ 2,58E-02	≤ 1,70E-02	≤ 2,83E-02
2080	820	≤ 5,66E-03	≤ 1,45E-01	≤ 3,12E-02	≤ 5,73E-03	≤ 1,72E-02	≤ 1,10E-02	≤ 1,85E-02
2097	771	≤ 5,92E-03	≤ 1,22E-01	≤ 3,01E-02	≤ 6,27E-03	≤ 1,67E-02	≤ 1,18E-02	≤ 2,04E-02
2097	826	3,80E-03 ± 2,93E-03	≤ 9,05E-02	≤ 2,40E-02	≤ 4,06E-03	≤ 1,35E-02	≤ 9,34E-03	≤ 1,54E-02
2115	816	≤ 6,73E-03	≤ 1,78E-01	≤ 4,33E-02	≤ 8,06E-03	≤ 2,49E-02	≤ 1,59E-02	≤ 2,63E-02
2115	817	≤ 5,47E-03	≤ 1,41E-01	≤ 3,36E-02	≤ 6,00E-03	≤ 2,04E-02	≤ 1,29E-02	≤ 2,21E-02
2188	878	≤ 1,21E-03	≤ 3,22E-02	≤ 5,90E-03	≤ 1,18E-03	≤ 3,22E-03	≤ 2,12E-03	≤ 3,50E-03
2192	879	≤ 6,12E-03	≤ 1,51E-01	≤ 3,58E-02	2,23E-02 ± 6,67E-03	3,18E-02 ± 1,05E-02	3,12E-02 ± 7,47E-03	3,69E-02 ± 1,17E-02
2237	778	≤ 2,00E-03	≤ 5,04E-02	≤ 8,94E-03	≤ 1,82E-03	≤ 5,13E-03	≤ 3,19E-03	≤ 5,71E-03
3006	1128	≤ 2,72E-02	≤ 6,54E-01	≤ 1,94E-01	≤ 3,31E-02	≤ 1,12E-01	≤ 7,63E-02	≤ 1,25E-01
3009	899	1,65E-02 ± 2,61E-03	≤ 1,20E-01	≤ 2,63E-02	≤ 5,46E-03	≤ 1,51E-02	≤ 1,09E-02	≤ 1,74E-02
3019	971	≤ 1,58E-03	≤ 4,13E-02	≤ 8,45E-03	≤ 1,68E-03	≤ 4,93E-03	≤ 3,41E-03	≤ 5,21E-03
3024	808	≤ 5,62E-02	≤ 1,15E+00	≤ 3,45E-01	≤ 6,30E-02	≤ 2,02E-01	≤ 1,41E-01	≤ 2,40E-01
3036	929	≤ 1,06E-02	≤ 2,25E-01	≤ 6,26E-02	≤ 1,51E-02	≤ 3,45E-02	≤ 2,25E-02	≤ 3,82E-02
3038	1062	≤ 1,10E-02	≤ 2,73E-01	≤ 6,50E-02	≤ 1,28E-02	≤ 3,73E-02	≤ 2,51E-02	≤ 4,19E-02
3053	792	≤ 2,53E-02	≤ 6,08E-01	≤ 1,57E-01	≤ 3,02E-02	≤ 9,32E-02	≤ 6,44E-02	≤ 1,10E-01
3053	1143	≤ 2,85E-03	≤ 8,84E-02	≤ 1,29E-02	≤ 2,67E-03	≤ 7,19E-03	≤ 4,50E-03	≤ 7,87E-03
3053	1144	≤ 2,09E-02	≤ 2,09E-02	≤ 1,51E-01	≤ 2,46E-02	≤ 8,78E-02	≤ 5,47E-02	≤ 9,88E-02
3054	794	≤ 2,94E-03	≤ 8,22E-02	≤ 1,48E-02	≤ 2,82E-03	≤ 8,53E-03	≤ 5,23E-03	≤ 9,48E-03
3056	791	≤ 2,03E-03	≤ 4,32E-02	≤ 1,14E-02	≤ 2,32E-03	≤ 6,48E-03	≤ 4,32E-03	≤ 7,35E-03
3058	795	≤ 1,22E-03	≤ 3,01E-02	≤ 6,02E-03	≤ 1,18E-03	≤ 3,44E-03	≤ 2,12E-03	≤ 3,60E-03
3059	821	3,15E-03 ± 2,44E-03	≤ 4,68E-02	≤ 1,05E-02	≤ 2,04E-03	≤ 5,83E-03	≤ 4,04E-03	≤ 6,38E-03
3065	1064	≤ 2,96E-03	≤ 7,83E-02	≤ 1,43E-02	≤ 2,78E-03	≤ 8,20E-03	≤ 5,26E-03	≤ 8,72E-03
3070	767	≤ 2,81E-03	≤ 8,40E-02	≤ 1,34E-02	≤ 2,68E-03	≤ 7,70E-03	≤ 5,01E-03	≤ 8,36E-03

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	U-235	Th-231	Pa-231	Th-227	Ra-223	Rn-219	Pb-211
3071	895	≤ 5,00E-03	≤ 1,42E-01	≤ 2,55E-02	1,88E-02 ± 5,80E-03	≤ 1,51E-02	2,04E-02 ± 5,06E-03	1,87E-02 ± 7,61E-03
3071	896	2,24E-03 ± 1,83E-03	≤ 4,04E-02	≤ 7,94E-03	7,75E-03 ± 1,75E-03	5,45E-03 ± 2,44E-03	5,57E-03 ± 1,47E-03	6,84E-03 ± 2,29E-03
3073	956	≤ 4,57E-02	≤ 1,08E+00	≤ 2,71E-01	≤ 5,02E-02	≤ 1,60E-01	≤ 1,09E-01	≤ 1,86E-01
3076	880	≤ 4,64E-03	≤ 9,23E-02	≤ 2,62E-02	1,09E-02 ± 5,08E-03	7,52E-03 ± 5,78E-03	≤ 1,05E-02	≤ 1,79E-02
3082	814	≤ 1,82E-03	≤ 4,39E-02	≤ 1,01E-02	≤ 1,86E-03	≤ 5,74E-03	≤ 3,99E-03	≤ 6,19E-03
3097	1126	≤ 9,34E-03	≤ 2,48E-01	≤ 5,60E-02	≤ 1,02E-02	≤ 3,30E-02	≤ 2,17E-02	≤ 3,65E-02
3100	789	≤ 1,17E-02	≤ 2,75E-01	≤ 7,83E-02	≤ 1,34E-02	≤ 4,78E-02	≤ 3,08E-02	≤ 4,98E-02
3104	882	≤ 3,35E-03	≤ 7,71E-02	≤ 2,00E-02	≤ 3,77E-03	≤ 1,13E-02	≤ 7,68E-03	≤ 1,25E-02
3114	883	≤ 4,26E-03	≤ 1,10E-01	≤ 2,23E-02	≤ 4,32E-03	≤ 1,30E-02	≤ 8,12E-03	≤ 1,37E-02
3125	881	≤ 1,63E-03	≤ 4,86E-02	≤ 7,53E-03	≤ 1,55E-03	≤ 4,41E-03	≤ 2,75E-03	≤ 4,78E-03
3128	884	9,19E-03 ± 1,71E-03	≤ 1,30E-01	≤ 3,12E-02	≤ 7,84E-03	≤ 1,76E-02	≤ 1,28E-02	≤ 2,05E-02
3137	819	1,80E-03 ± 7,96E-04	≤ 4,08E-02	≤ 7,44E-03	≤ 1,44E-03	≤ 4,17E-03	≤ 2,88E-03	≤ 4,60E-03
3161	980	≤ 1,80E-03	≤ 4,14E-02	≤ 8,57E-03	≤ 1,83E-03	≤ 4,79E-03	≤ 3,14E-03	≤ 5,32E-03
3163	1116	≤ 3,30E-03	≤ 8,30E-02	≤ 1,60E-02	2,88E-02 ± 4,51E-03	2,11E-02 ± 4,47E-03	2,70E-02 ± 3,22E-03	2,46E-02 ± 4,77E-03
3198	1060	7,24E-03 ± 2,01E-03	≤ 9,59E-02	≤ 2,09E-02	≤ 4,20E-03	≤ 1,12E-02	≤ 7,76E-03	≤ 1,26E-02
3200	1061	≤ 6,94E-03	≤ 1,67E-01	≤ 4,33E-02	≤ 7,67E-03	≤ 2,55E-02	≤ 1,61E-02	≤ 2,77E-02
3200	1092	≤ 4,28E-03	≤ 1,23E-01	≤ 2,25E-02	≤ 4,58E-03	≤ 1,26E-02	≤ 8,44E-03	≤ 1,43E-02
3227	1090	≤ 2,68E-03	≤ 6,34E-02	≤ 1,28E-02	≤ 2,48E-03	≤ 7,48E-03	≤ 4,68E-03	≤ 8,19E-03
3269	1089	≤ 9,01E-03	≤ 2,71E-01	≤ 3,91E-02	≤ 8,14E-03	≤ 2,26E-02	≤ 1,38E-02	≤ 2,40E-02
3315	867	≤ 3,35E-02	≤ 9,59E-01	≤ 1,63E-01	≤ 4,15E-02	≤ 9,24E-02	≤ 5,95E-02	≤ 1,01E-01
3319	811	≤ 1,22E-02	≤ 3,44E-01	≤ 6,79E-02	≤ 1,25E-02	≤ 3,95E-02	≤ 2,60E-02	≤ 4,43E-02
3319	810	≤ 1,52E-02	≤ 3,44E-01	≤ 7,62E-02	≤ 1,97E-02	≤ 4,27E-02	≤ 2,77E-02	≤ 4,66E-02
3326	751	≤ 4,38E-03	≤ 1,31E-01	≤ 2,05E-02	≤ 4,14E-03	≤ 1,16E-02	≤ 7,56E-03	≤ 1,26E-02
3326	752	≤ 2,55E-03	≤ 6,48E-02	≤ 1,30E-02	≤ 2,65E-03	≤ 7,31E-03	≤ 4,63E-03	≤ 7,84E-03
3328	1063	6,46E-03 ± 2,27E-03	≤ 1,08E-01	≤ 1,72E-02	≤ 3,73E-03	≤ 1,00E-02	≤ 6,32E-03	≤ 1,07E-02
3356	1102	1,33E-02 ± 3,37E-03	≤ 2,00E-01	≤ 3,25E-02	≤ 7,96E-03	≤ 1,91E-02	≤ 1,25E-02	≤ 2,11E-02
4006	861	≤ 7,43E-03	≤ 1,93E-01	≤ 4,38E-02	≤ 8,64E-03	≤ 2,45E-02	≤ 1,64E-02	≤ 2,80E-02
4039	865	≤ 1,28E-01	≤ 2,65E+00	≤ 9,62E-01	≤ 1,57E-01	≤ 5,90E-01	≤ 3,96E-01	≤ 6,64E-01
4039	863	≤ 6,88E-03	≤ 1,76E-01	≤ 4,06E-02	≤ 8,12E-03	≤ 2,37E-02	≤ 1,59E-02	≤ 2,63E-02
4039	862	≤ 8,70E-02	≤ 1,76E+00	≤ 6,38E-01	≤ 1,18E-01	≤ 3,75E-01	≤ 2,29E-01	≤ 3,88E-01
4047	964	9,63E-03 ± 5,00E-03	≤ 2,50E-01	≤ 5,40E-02	≤ 1,31E-02	≤ 3,16E-02	≤ 2,16E-02	≤ 3,60E-02
4049	975	≤ 2,68E-03	≤ 7,38E-02	≤ 1,27E-02	≤ 2,57E-03	≤ 7,11E-03	≤ 4,52E-03	≤ 7,72E-03
4053	1093	≤ 3,41E-03	≤ 9,05E-02	≤ 1,59E-02	≤ 3,33E-03	≤ 9,52E-03	≤ 6,28E-03	≤ 1,12E-02
4055	967	≤ 2,44E-03	≤ 5,60E-02	≤ 1,26E-02	≤ 2,45E-03	≤ 7,41E-03	≤ 4,95E-03	≤ 8,61E-03
4055	966	≤ 2,38E-03	≤ 5,52E-02	≤ 1,47E-02	≤ 2,52E-03	≤ 8,20E-03	≤ 5,63E-03	≤ 9,66E-03
4074	834	≤ 3,34E-03	≤ 9,19E-02	≤ 1,50E-02	≤ 3,21E-03	≤ 8,52E-03	≤ 5,27E-03	≤ 8,86E-03

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	U-235	Th-231	Pa-231	Th-227	Ra-223	Rn-219	Pb-211
4086	873	5,09E-03 ± 1,95E-03	≤ 7,97E-02	≤ 1,65E-02	≤ 3,24E-03	≤ 9,63E-03	≤ 6,24E-03	≤ 1,07E-02
4198	959	≤ 9,83E-03	≤ 2,33E-01	≤ 6,48E-02	1,43E-02 ± 8,68E-03	≤ 3,85E-02	≤ 2,40E-02	≤ 4,20E-02
4204	874	≤ 4,47E-03	≤ 1,03E-01	≤ 2,43E-02	≤ 4,49E-03	≤ 1,39E-02	≤ 9,13E-03	≤ 1,59E-02
4207	856	≤ 2,29E-01	≤ 4,65E+00	≤ 1,86E+00	≤ 2,70E-01	≤ 9,74E-01	≤ 6,71E-01	≤ 1,16E+00
5007	931	≤ 1,99E-03	≤ 5,00E-02	≤ 1,03E-02	≤ 2,12E-03	≤ 6,22E-03	≤ 4,17E-03	≤ 6,78E-03
5010	904	≤ 5,94E-03	≤ 1,19E-01	≤ 4,01E-02	≤ 7,95E-03	≤ 2,11E-02	≤ 1,45E-02	≤ 2,47E-02
5010	906	≤ 9,77E-03	≤ 1,06E-01	≤ 2,62E-02	1,07E-01 ± 1,56E-02	1,12E-01 ± 2,16E-02	1,11E-01 ± 2,19E-02	1,22E-01 ± 2,01E-02
5010	907	≤ 3,69E-03	≤ 3,11E-02	≤ 5,48E-03	7,17E-03 ± 1,38E-03	6,62E-03 ± 1,12E-03	6,34E-03 ± 2,04E-03	5,30E-03 ± 1,70E-03
5010	908	≤ 2,02E-03	≤ 4,48E-02	≤ 1,08E-02	≤ 2,40E-03	≤ 5,85E-03	≤ 3,62E-03	≤ 6,19E-03
5040	822	≤ 5,73E-03	≤ 1,04E-01	≤ 2,15E-02	2,10E-01 ± 2,41E-02	1,97E-01 ± 2,05E-02	2,03E-01 ± 3,42E-02	1,89E-01 ± 1,53E-02
5055	807	1,68E-01 ± 8,82E-02	≤ 1,20E+00	≤ 3,19E-01	5,22E-01 ± 6,93E-02	3,82E-01 ± 2,27E-01	4,30E-01 ± 7,06E-02	3,70E-01 ± 9,95E-02
5055	1057	1,08E-01 ± 8,19E-02	≤ 1,23E+00	≤ 3,02E-01	7,59E-01 ± 7,72E-02	4,54E-01 ± 2,03E-01	5,86E-01 ± 1,64E-01	7,22E-01 ± 2,24E-01
5055	1067	1,92E-01 ± 5,76E-02	≤ 1,14E+00	≤ 3,60E-01	8,39E-01 ± 1,52E-01	5,43E-01 ± 1,10E-01	6,57E-01 ± 9,45E-02	6,71E-01 ± 1,38E-01
5065	851	≤ 2,81E-03	≤ 7,48E-02	≤ 1,36E-02	4,99E-03 ± 2,43E-03	≤ 7,93E-03	8,08E-03 ± 2,70E-03	≤ 8,46E-03
5065	852	≤ 4,09E-03	≤ 1,18E-01	≤ 1,88E-02	2,08E-02 4,66E-03	1,92E-02 ± 5,98E-03	1,70E-02 ± 3,60E-03	2,28E-02 ± 5,86E-03
5065	853	≤ 1,91E-03	≤ 5,51E-02	≤ 8,83E-03	≤ 1,93E-03	≤ 5,11E-03	≤ 3,16E-03	≤ 5,36E-03
5065	854	≤ 3,69E-03	≤ 9,96E-02	≤ 1,85E-02	≤ 3,91E-03	≤ 1,09E-02	≤ 7,17E-03	≤ 1,17E-02
5074	1135	≤ 1,56E-03	≤ 4,76E-02	≤ 7,74E-03	7,00E-03 ± 1,89E-03	6,29E-03 ± 7,99E-04	7,71E-03 ± 3,73E-03	9,60E-03 ± 5,23E-03
5074	1136	≤ 2,16E-03	≤ 5,47E-02	≤ 1,05E-02	6,57E-03 ± 2,24E-03	6,26E-03 ± 1,17E-03	7,40E-03 ± 1,46E-03	≤ 6,94E-03
5086	1127	2,68E-03 ± 1,49E-03	≤ 2,28E-02	≤ 5,21E-03	5,69E-03 ± 1,13E-03	6,07E-03 ± 2,95E-03	6,26E-03 ± 1,01E-03	5,66E-03 ± 1,46E-03
5111	1120	≤ 1,00E-03	≤ 2,20E-02	≤ 5,10E-03	≤ 1,25E-03	≤ 2,80E-03	≤ 1,80E-03	≤ 3,02E-03
5124	934	≤ 2,08E-03	≤ 4,42E-02	≤ 9,44E-03	1,29E-02 ± 2,51E-03	1,18E-02 ± 2,56E-03	1,03E-02 ± 2,95E-03	1,06E-02 ± 2,96E-03
5196	1097	7,20E-03 ± 4,58E-03	≤ 7,23E-02	≤ 1,51E-02	3,07E-02 ± 4,14E-03	2,14E-02 ± 1,06E-02	2,73E-02 ± 7,63E-03	3,23E-02 ± 1,02E-02
5197	1119	≤ 4,35E-03	≤ 1,06E-01	≤ 2,34E-02	1,79E-02 ± 5,06E-03	1,39E+00 ± 2,44E-01	1,18E+00 ± 2,83E-01	1,49E+00 ± 4,35E-01
5203	1085	≤ 1,08E-03	≤ 3,20E-02	≤ 5,05E-03	≤ 9,09E-04	≤ 2,92E-03	≤ 1,87E-03	≤ 3,18E-03
5203	1086	≤ 1,77E-03	≤ 4,04E-02	≤ 9,84E-03	1,21E-02 ± 2,26E-03	8,38E-03 ± 2,65E-03	9,27E-03 ± 4,20E-03	1,34E-02 ± 6,25E-03
5207	858	≤ 2,41E-03	≤ 6,37E-02	≤ 1,13E-02	6,33E-03 ± 2,20E-03	≤ 6,60E-03	8,00E-03 ± 2,18E-03	8,99E-03 ± 3,40E-03
5210	969	≤ 3,23E-03	≤ 8,09E-02	≤ 1,56E-02	8,86E-03 3,16E-03	≤ 8,97E-03	9,21E-03 ± 2,85E-03	≤ 9,74E-03
5212	1130	1,01E-03 ± 2,85E-04	≤ 1,29E-02	≤ 2,82E-03	1,15E-03 ± 6,28E-04	≤ 1,71E-03	1,47E-03 ± 1,14E-03	≤ 1,76E-03
5221	898	≤ 2,65E-03	≤ 6,88E-02	≤ 1,60E-02	4,83E-03 ± 2,47E-03	1,35E-02 ± 4,53E-03	8,26E-03 ± 2,91E-03	≤ 9,87E-03
5221	897	9,17E-03 ± 8,00E-03	≤ 9,79E-02	≤ 2,40E-02	6,83E-02 ± 9,19E-03	6,48E-02 ± 8,68E-03	7,69E-02 ± 1,67E-02	7,92E-02 ± 1,76E-02
5226	1058	≤ 3,07E-03	≤ 6,59E-02	≤ 1,67E-02	3,86E-03 ± 1,36E-03	≤ 9,86E-03	≤ 6,43E-03	≤ 1,10E-02
5233	891	≤ 1,94E-02	≤ 5,38E-01	≤ 1,03E-01	≤ 2,06E-02	≤ 6,02E-02	≤ 3,88E-02	≤ 6,56E-02
5237	927	≤ 2,29E-03	≤ 6,10E-02	≤ 1,13E-02	≤ 2,22E-03	≤ 6,35E-03	≤ 4,21E-03	≤ 7,10E-03
5241	903	≤ 2,74E-03	≤ 7,22E-02	≤ 1,28E-02	7,69E-03 ± 2,83E-03	≤ 7,76E-03	8,79E-03 ± 2,55E-03	≤ 8,47E-03
5241	901	≤ 1,60E-03	≤ 3,98E-02	≤ 7,34E-03	≤ 1,49E-03	≤ 4,40E-03	≤ 2,82E-03	≤ 4,62E-03

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	U-235	Th-231	Pa-231	Th-227	Ra-223	Rn-219	Pb-211
5241	902	≤ 1,51E-03	≤ 4,18E-02	≤ 7,28E-03	≤ 1,42E-03	≤ 4,13E-03	≤ 2,69E-03	≤ 4,64E-03
5242	832	≤ 2,80E-03	≤ 5,40E-02	≤ 1,83E-02	≤ 3,18E-03	≤ 1,10E-02	≤ 7,16E-03	≤ 1,27E-02
5245	965	≤ 2,56E-03	≤ 6,30E-02	≤ 1,15E-02	1,25E-02 ± 2,51E-03	1,39E-02 ± 6,17E-03	1,65E-02 ± 5,12E-03	1,70E-02 ± 8,29E-03
5250	968	≤ 1,82E-03	≤ 4,53E-02	≤ 8,95E-03	≤ 1,69E-03	≤ 5,36E-03	≤ 3,22E-03	≤ 5,39E-03
5271	932	1,20E-01 ± 1,39E-02	≤ 1,99E-01	≤ 5,04E-02	2,44E-02 ± 1,59E-02	≤ 3,01E-02	≤ 2,09E-02	≤ 3,30E-02
5276	774	≤ 4,03E-03	≤ 9,08E-02	≤ 2,41E-02	1,43E-02 ± 5,04E-03	2,11E-02 ± 5,97E-03	≤ 9,82E-03	≤ 1,71E-02
5283	1121	≤ 3,60E-03	≤ 1,03E-01	≤ 1,82E-02	≤ 3,69E-03	≤ 1,06E-02	≤ 7,07E-03	≤ 1,22E-02
5293	768	≤ 6,65E-04	≤ 1,72E-02	≤ 3,30E-03	≤ 6,48E-04	≤ 1,95E-03	≤ 1,21E-03	≤ 2,10E-03
5294	773	≤ 1,92E-03	≤ 4,29E-02	≤ 1,04E-02	≤ 2,27E-03	≤ 5,85E-03	≤ 3,84E-03	≤ 6,32E-03
5296	1133	≤ 8,09E-04	≤ 2,08E-02	≤ 4,15E-03	1,05E-03 ± 8,41E-04	≤ 2,32E-03	≤ 1,47E-03	≤ 2,43E-03
5304	831	1,75E-03 ± 8,67E-04	≤ 3,54E-02	≤ 6,93E-03	≤ 1,37E-03	≤ 3,98E-03	≤ 2,65E-03	≤ 4,31E-03
5305	805	≤ 1,69E-03	≤ 4,94E-02	≤ 7,48E-03	3,27E-03 ± 1,77E-03	≤ 4,43E-03	≤ 2,81E-03	≤ 4,69E-03
5306	1096	7,90E-02 ± 2,86E-02	≤ 1,04E+00	≤ 6,43E-02	2,40E+00 ± 2,11E-01	2,17E+00 ± 1,56E-01	2,37E+00 ± 4,16E-01	2,38E+00 ± 1,91E-01
5308	775	≤ 3,09E-03	≤ 6,63E-02	≤ 1,48E-02	2,00E-02 ± 3,47E-03	2,09E-02 ± 8,39E-03	2,12E-02 ± 3,09E-03	1,67E-02 ± 4,48E-03
5316	769	≤ 1,05E-03	≤ 2,79E-02	≤ 5,32E-03	≤ 1,03E-03	≤ 3,06E-03	≤ 1,96E-03	≤ 3,30E-03
5318	930	≤ 1,19E-03	≤ 3,07E-02	≤ 6,64E-03	≤ 1,23E-03	≤ 4,17E-03	≤ 2,63E-03	≤ 4,26E-03
5319	972	≤ 3,52E-03	≤ 7,81E-02	≤ 2,04E-02	≤ 3,63E-03	≤ 1,16E-02	≤ 8,03E-03	≤ 1,25E-02
5320	1125	≤ 1,34E-03	≤ 3,48E-02	≤ 6,75E-03	≤ 1,39E-03	≤ 4,07E-03	≤ 2,61E-03	≤ 4,35E-03
5322	813	≤ 1,99E-03	≤ 5,54E-02	≤ 9,12E-03	6,82E-03 ± 1,81E-03	7,71E-03 ± 1,79E-03	6,66E-03 ± 2,30E-03	1,64E-02 ± 4,06E-03
5330	1103	≤ 3,30E-03	≤ 8,54E-02	≤ 1,67E-02	≤ 3,29E-03	≤ 9,23E-03	≤ 5,87E-03	≤ 9,79E-03
5331	772	≤ 1,27E-01	≤ 2,36E+00	≤ 9,76E-01	≤ 1,56E-01	≤ 5,83E-01	≤ 4,04E-01	≤ 6,87E-01
5338	786	1,16E-02 ± 4,01E-03	≤ 8,23E-02	≤ 1,56E-02	8,69E-03 ± 3,08E-03	4,67E-03 ± 2,80E-03	7,14E-03 ± 2,86E-03	≤ 1,07E-02
5338	782	≤ 6,65E-03	≤ 1,74E-01	≤ 3,76E-02	≤ 6,94E-03	≤ 2,01E-02	≤ 1,29E-02	≤ 2,21E-02
5338	784	3,11E-02 ± 5,67E-02	≤ 5,35E-01	≤ 1,78E-01	1,06E+00 ± 1,74E-01	5,90E-01 ± 1,39E-01	6,90E-01 ± 1,42E-01	6,97E-01 ± 1,21E-01
5341	872	≤ 1,16E-02	≤ 2,83E-01	≤ 6,93E-02	≤ 1,25E-02	≤ 4,17E-02	≤ 2,83E-02	≤ 5,00E-02
5343	829	≤ 3,88E-03	≤ 1,09E-01	≤ 1,91E-02	≤ 3,89E-03	≤ 1,15E-02	≤ 7,66E-03	≤ 1,28E-02
5345	828	≤ 3,62E-03	≤ 9,21E-02	≤ 1,94E-02	≤ 3,80E-03	≤ 1,11E-02	≤ 7,05E-03	≤ 1,23E-02
5352	900	≤ 1,78E-03	≤ 4,23E-02	≤ 8,56E-03	≤ 1,68E-03	≤ 4,74E-03	≤ 3,06E-03	≤ 5,31E-03
5367	1132	≤ 3,28E-03	≤ 7,13E-02	≤ 1,81E-02	5,40E-03 1,60E-03	≤ 1,09E-02	≤ 7,25E-03	≤ 1,17E-02
5370	960	≤ 2,09E-03	≤ 5,12E-02	≤ 1,20E-02	≤ 2,12E-03	≤ 6,35E-03	≤ 4,24E-03	≤ 7,49E-03
5373	928	≤ 3,14E-03	≤ 7,73E-02	≤ 1,47E-02	≤ 3,00E-03	≤ 8,25E-03	≤ 5,36E-03	≤ 9,16E-03
5404	830	≤ 2,21E-02	≤ 4,74E-01	≤ 1,23E-01	≤ 3,31E-02	≤ 6,83E-02	≤ 4,40E-02	≤ 7,50E-02
5418	894	≤ 1,18E-03	≤ 3,07E-02	≤ 5,93E-03	≤ 1,08E-03	≤ 3,39E-03	≤ 2,22E-03	≤ 3,69E-03
5418	893	1,95E-03 ± 1,44E-03	≤ 4,31E-02	≤ 8,08E-03	4,29E-03 2,01E-03	≤ 4,97E-03	3,92E-03 ± 1,50E-03	≤ 5,20E-03
6033	806	≤ 1,82E-02	≤ 4,04E-01	≤ 1,07E-01	≤ 1,97E-02	≤ 6,17E-02	≤ 4,11E-02	≤ 6,81E-02
7015	776	≤ 1,47E-02	≤ 3,05E-01	≤ 8,76E-02	≤ 2,18E-02	≤ 4,70E-02	≤ 3,12E-02	≤ 5,38E-02

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	U-235	Th-231	Pa-231	Th-227	Ra-223	Rn-219	Pb-211
7050	747	≤ 1,81E-02	≤ 4,45E-01	≤ 1,01E-01	≤ 1,96E-02	≤ 5,95E-02	≤ 3,87E-02	≤ 6,64E-02
7050	754	≤ 9,61E-03	≤ 2,42E-01	≤ 5,30E-02	≤ 1,02E-02	≤ 3,15E-02	≤ 2,02E-02	≤ 3,44E-02
7056	770	≤ 1,34E-02	≤ 3,21E-01	≤ 8,74E-02	≤ 1,64E-02	≤ 5,19E-02	≤ 3,64E-02	≤ 6,17E-02
7063	1129	≤ 1,51E-02	≤ 3,45E-01	≤ 9,75E-02	≤ 1,83E-02	≤ 5,83E-02	≤ 3,98E-02	≤ 6,66E-02
7064	962	≤ 7,23E-03	≤ 1,68E-01	≤ 4,34E-02	≤ 8,27E-03	≤ 2,59E-02	≤ 1,75E-02	≤ 2,80E-02
7066	825	≤ 8,35E-03	≤ 1,82E-01	≤ 4,62E-02	≤ 8,93E-03	≤ 2,68E-02	≤ 1,79E-02	≤ 3,00E-02
7071	871	2,37E-02 ± 7,92E-03	≤ 1,59E-01	≤ 3,81E-02	≤ 1,12E-02	≤ 1,90E-02	≤ 1,22E-02	≤ 2,09E-02
7071	870	4,24E-02 ± 1,23E-02	≤ 2,32E-01	≤ 7,39E-02	≤ 1,27E-02	≤ 1,46E-01	≤ 3,00E-02	≤ 4,99E-02
7071	1050	3,33E-02 ± 1,24E-02	≤ 2,92E-01	≤ 9,31E-02	≤ 1,60E-02	≤ 5,29E-02	≤ 3,81E-02	≤ 6,34E-02
7077	818	≤ 6,91E-03	≤ 1,72E-01	≤ 3,53E-02	≤ 6,77E-03	≤ 2,04E-02	≤ 1,29E-02	≤ 2,25E-02
7080	936	≤ 1,71E-02	≤ 4,03E-01	≤ 1,15E-01	≤ 2,13E-02	≤ 6,78E-02	≤ 4,67E-02	≤ 7,60E-02
7109	961	≤ 4,44E-03	≤ 1,05E-01	≤ 2,20E-02	≤ 6,35E-03	≤ 1,22E-02	≤ 7,78E-03	≤ 1,31E-02
7121	793	≤ 1,86E-02	≤ 4,82E-01	≤ 1,22E-01	≤ 2,23E-02	≤ 6,58E-02	≤ 4,35E-02	≤ 7,35E-02
7139	877	≤ 1,56E-02	≤ 3,79E-01	≤ 9,44E-02	≤ 1,86E-02	≤ 5,74E-02	≤ 3,83E-02	≤ 6,45E-02
7140	957	≤ 4,67E-03	≤ 1,37E-01	≤ 2,16E-02	≤ 4,58E-03	≤ 1,24E-02	≤ 7,92E-03	≤ 1,32E-02
7153	866	≤ 1,97E-02	≤ 4,87E-01	≤ 1,33E-01	≤ 2,44E-02	≤ 7,73E-02	≤ 5,34E-02	≤ 8,87E-02
7157	1065	≤ 5,82E-03	≤ 1,51E-01	≤ 3,21E-02	≤ 6,53E-03	≤ 1,87E-02	≤ 1,23E-02	≤ 2,03E-02
7172	937	≤ 5,52E-03	≤ 1,44E-01	≤ 3,01E-02	≤ 5,73E-03	≤ 1,72E-02	≤ 1,10E-02	≤ 1,81E-02
7178	1131	≤ 6,30E-03	≤ 1,75E-01	≤ 3,29E-02	2,10E-02 ± 1,16E-02	≤ 2,01E-02	≤ 1,30E-02	≤ 2,15E-02
7184	978	≤ 7,19E-03	≤ 1,80E-01	≤ 3,96E-02	≤ 8,59E-03	≤ 2,31E-02	≤ 1,54E-02	≤ 2,68E-02
7184	977	≤ 6,66E-03	≤ 1,55E-01	≤ 4,13E-02	≤ 7,74E-03	≤ 2,40E-02	≤ 1,58E-02	≤ 2,68E-02
7223	812	≤ 1,01E-02	≤ 2,90E-01	≤ 5,82E-02	≤ 1,02E-02	≤ 3,46E-02	≤ 2,19E-02	≤ 3,87E-02
7227	1079	≤ 3,84E-03	≤ 1,16E-01	≤ 1,80E-02	≤ 3,97E-03	≤ 1,03E-02	≤ 6,78E-03	≤ 1,13E-02
7228	1082	≤ 7,75E-03	≤ 1,84E-01	≤ 5,00E-02	≤ 8,97E-03	≤ 3,03E-02	≤ 2,00E-02	≤ 3,26E-02
7228	1080	≤ 2,51E-03	≤ 6,65E-02	≤ 1,26E-02	≤ 2,47E-03	≤ 7,32E-03	≤ 4,73E-03	≤ 7,85E-03
7228	1081	≤ 9,01E-03	≤ 2,15E-01	≤ 6,21E-02	≤ 1,10E-02	≤ 3,54E-02	≤ 2,38E-02	≤ 3,82E-02
7241	1118	≤ 1,78E-02	≤ 3,66E-01	≤ 1,28E-01	≤ 2,34E-02	≤ 7,52E-02	≤ 4,91E-02	≤ 8,22E-02
7249	1078	≤ 1,71E-02	≤ 3,81E-01	≤ 1,13E-01	≤ 3,65E-02	≤ 5,37E-02	≤ 3,53E-02	≤ 5,92E-02
7251	1084	≤ 5,19E-03	≤ 1,23E-01	≤ 3,02E-02	≤ 5,99E-03	≤ 1,73E-02	≤ 1,14E-02	≤ 1,92E-02
7251	1083	≤ 5,87E-03	≤ 1,71E-01	≤ 2,76E-02	≤ 6,24E-03	≤ 1,56E-02	≤ 9,98E-03	≤ 1,70E-02
7265	933	≤ 5,13E-03	≤ 1,21E-01	≤ 2,48E-02	≤ 5,02E-03	≤ 1,43E-02	≤ 9,18E-03	≤ 1,56E-02
7289	1107	≤ 1,01E-02	≤ 2,42E-01	≤ 6,10E-02	≤ 1,12E-02	≤ 3,75E-02	≤ 2,58E-02	≤ 4,27E-02
7302	1098	≤ 1,27E-02	≤ 3,15E-01	≤ 7,67E-02	≤ 1,76E-02	≤ 4,65E-02	≤ 3,04E-02	≤ 5,00E-02
7306	750	≤ 1,74E-02	≤ 3,32E-01	≤ 1,09E-01	5,87E-02 ± 2,21E-02	≤ 6,51E-02	≤ 4,26E-02	≤ 7,02E-02
7328	958	≤ 6,68E-03	≤ 1,74E-01	≤ 3,80E-02	≤ 8,51E-03	≤ 2,15E-02	≤ 1,43E-02	≤ 2,36E-02
7329	1095	≤ 5,84E-03	≤ 1,43E-01	≤ 3,18E-02	≤ 6,14E-03	≤ 1,85E-02	≤ 1,25E-02	≤ 2,13E-02

Rex Proben Nr.	Rex Proben Nr.	U-235	Th-231	Pa-231	Th-227	Ra-223	Rn-219	Pb-211
7331	1066	≤ 7,10E-03	≤ 1,74E-01	≤ 4,27E-02	1,55E-02 ± 7,53E-03	≤ 2,53E-02	≤ 1,68E-02	≤ 2,77E-02
7339	979	≤ 9,79E-03	≤ 2,45E-01	≤ 5,60E-02	3,16E-02 ± 1,20E-02	≤ 3,42E-02	2,74E-02 ± 1,01E-02	≤ 3,79E-02
7354	974	≤ 1,16E-02	≤ 2,55E-01	≤ 7,11E-02	≤ 1,35E-02	≤ 4,24E-02	≤ 2,86E-02	≤ 4,56E-02
7355	892	≤ 7,72E-03	≤ 2,02E-01	≤ 4,56E-02	≤ 9,18E-03	≤ 2,65E-02	≤ 1,70E-02	≤ 2,93E-02
7360	973	≤ 7,29E-03	≤ 1,90E-01	≤ 3,79E-02	≤ 8,44E-03	≤ 2,20E-02	≤ 1,38E-02	≤ 2,35E-02
7362	790	≤ 6,67E-03	≤ 1,70E-01	≤ 3,82E-02	≤ 7,70E-03	≤ 2,23E-02	≤ 1,48E-02	≤ 2,46E-02
7372	859	≤ 8,67E-03	≤ 2,04E-01	≤ 5,07E-02	≤ 9,28E-03	≤ 3,08E-02	≤ 1,98E-02	≤ 3,42E-02
7428	833	9,19E-03 ± 1,65E-03	≤ 7,91E-02	≤ 1,57E-02	≤ 3,20E-03	≤ 9,00E-03	≤ 5,95E-03	≤ 1,01E-02
7429	855	≤ 2,97E-03	≤ 7,34E-02	≤ 1,48E-02	≤ 3,12E-03	≤ 8,78E-03	≤ 5,72E-03	≤ 9,28E-03
7452	1059	≤ 6,53E-03	≤ 1,62E-01	≤ 3,67E-02	≤ 6,96E-03	≤ 2,15E-02	≤ 1,38E-02	≤ 2,30E-02
7462	1094	≤ 6,73E-03	≤ 1,84E-01	≤ 3,03E-02	≤ 6,80E-03	≤ 1,74E-02	≤ 1,07E-02	≤ 1,85E-02
7478	1115	≤ 9,16E-03	≤ 2,25E-01	≤ 5,43E-02	≤ 1,10E-02	≤ 3,24E-02	≤ 2,11E-02	≤ 3,67E-02
7481	976	≤ 1,30E-02	≤ 2,58E-01	≤ 9,41E-02	≤ 1,59E-02	≤ 5,62E-02	≤ 3,70E-02	≤ 6,17E-02
8074	935	≤ 2,01E-02	≤ 4,47E-01	≤ 1,44E-01	≤ 2,43E-02	≤ 8,73E-02	≤ 5,70E-02	≤ 9,25E-02
8160	1091	≤ 1,11E-02	≤ 2,86E-01	≤ 6,65E-02	≤ 1,34E-02	≤ 3,77E-02	≤ 2,55E-02	≤ 4,26E-02
8274	1088	≤ 1,65E-02	≤ 4,13E-01	≤ 9,20E-02	≤ 1,96E-02	≤ 5,30E-02	≤ 3,51E-02	≤ 6,08E-02
8274	1087	≤ 2,00E-02	≤ 4,88E-01	≤ 1,21E-01	≤ 2,17E-02	≤ 7,03E-02	≤ 4,81E-02	≤ 8,27E-02
8366	824	≤ 3,49E-03	≤ 8,63E-02	≤ 2,14E-02	≤ 3,88E-03	≤ 1,18E-02	≤ 7,73E-03	≤ 1,33E-02

K-40 und Feststoffgehalt (abhängig von Probenahme!)

Rex Proben Nr.	Rex Proben Nr.	LIMS-Nr.	FM (g)	TM (g)	Feststoffgehalt (%)	K-40
1	796	70162001	1106	210	18,99	7,85E-03 ± 6,83E-03
1	800	70162002	1444	738	51,11	≤ 3,33E-03
1	801	70162003	11243	272	2,42	4,06E-02 ± 7,60E-03
5	803	70162005	2843	1346	47,34	3,14E-02 ± 5,37E-03
5	804	70162006	1341	436	32,51	1,04E-01 ± 1,14E-02
14	802	70162004	1075	1,4	0,13	1,33E+00 ± 4,56E-01
15	963	70324002	1035	32	3,09	1,61E-01 ± 3,06E-02
1005	777	70187001	1501	709	47,24	1,45E-01 ± 1,10E-02
1009	860	70222002	1257	345	27,45	5,33E-01 ± 3,38E-02
1017	823	70166001	1688	1034	61,26	3,23E-03 ± 9,95E-04
1030	869	70230001	1688	959	56,81	1,76E-01 ± 1,40E-02

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	LIMS-Nr.	FM (g)	TM (g)	Feststoffgehalt (%)	K-40
1032	876	70264001	1191	238	19,98	2,94E-02 ± 7,56E-03
1035	1104	70409001	1051	104	9,90	9,17E-01 ± 6,97E-02
1043	1117	70441004	2045	1555	76,04	3,11E-02 ± 2,47E-03
1077	835	70215003	1581	826	52,25	2,86E-01 ± 2,47E-02
1085	1099	70308003	1369	721	52,67	3,08E-01 ± 2,24E-02
1093	1122	70443003	1321	778	58,89	7,08E-02 ± 7,63E-03
1093	1123	70443004	1025	449	43,80	3,42E-02 ± 7,39E-03
1093	1124	70443005	1334	834	62,52	4,65E-02 ± 3,95E-03
1094	1100	70308002	1770	1167	65,93	3,36E-03 ± 2,32E-03
1098	1101	70308001	1574	1290	81,96	1,75E-02 ± 3,04E-03
2076	1110	70426001	552	552	100,00	2,65E-02 ± 6,01E-03
2076	1111	70426002	1025	584	56,98	2,73E-02 ± 6,94E-03
2076	1112	70441003	1916	1508	78,71	4,70E-01 ± 3,12E-02
2076	1113	70441002	1541	801	51,98	4,29E-01 ± 2,80E-02
2076	1114	70441001	1310	360	27,48	7,41E-01 ± 4,68E-02
2080	820	70163002	839	698	83,19	8,68E-02 ± 1,25E-02
2097	771	70206001	796	418	52,51	≤ 1,22E-02
2097	826	70154003	1131	94	8,31	4,65E-01 ± 3,78E-02
2115	816	70163005	1192	125	10,49	8,07E-02 ± 1,58E-02
2115	817	70163006	1190	146	12,27	5,76E-02 ± 1,32E-02
2188	878	70264005	1610	1426	88,57	2,96E-01 ± 1,99E-02
2192	879	70264002	1119	128	11,44	≤ 1,63E-02
2237	778	70187002	2131	1722	80,81	7,90E-02 ± 7,35E-03
3006	1128	70474001	2138	12	0,56	≤ 9,69E-02
3009	899	70300003	1244	307	24,68	4,60E-02 ± 1,06E-02
3019	971	70314001	1539	891	57,89	2,93E-02 ± 5,17E-03
3024	808	70138001	1067	37	3,47	≤ 1,18E-01
3036	929	70302002	653	196	30,02	≤ 2,01E-02
3038	1062	70357001	1191	185	15,53	3,16E-02 ± 1,69E-02
3053	792	70178005	1220	184	15,08	≤ 5,99E-02
3054	794	70178002	1351	939	69,50	4,35E-02 ± 6,25E-03
3056	791	70178004	1415	687	48,55	1,15E-01 ± 9,15E-03
3058	795	70178001	2083	1734	83,25	1,27E-02 ± 1,83E-03
3059	821	70163001	1612	918	56,95	6,40E-03 ± 4,29E-03
3065	1064	70365001	1636	1221	74,63	5,54E-02 ± 6,51E-03
3070	767	70199006	1205	934	77,51	7,35E-03 ± 4,40E-03

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	LIMS-Nr.	FM (g)	TM (g)	Feststoffgehalt (%)	K-40
3071	895	70306004	1490	751	50,40	1,10E-01 ± 1,13E-02
3071	896	70306005	1719	1040	60,50	1,87E-02 ± 3,65E-03
3073	956	70222003	1129	157	13,91	≤ 9,46E-02
3076	880	70264004	1106	229	20,71	4,95E-02 ± 1,09E-02
3082	814	70174001	1592	841	52,83	5,89E-02 ± 6,45E-03
3097	1126	70464001	1103	241	21,85	≤ 2,36E-02
3100	789	70180004	11340	17	0,15	≤ 5,03E-02
3114	883	70275002	1448	659	45,51	5,92E-01 ± 1,60E-02
3125	881	70275004	1812	1245	68,71	5,36E-02 ± 5,30E-03
3128	884	70275003	2276	132	5,80	3,94E-02 ± 1,27E-02
3137	819	70163003	1701	966	56,79	2,51E-02 ± 3,90E-03
3161	980	70349001	1736	1029	59,27	5,31E-03 ± 2,76E-03
3163	1116	70441005	1549	857	55,33	3,79E-01 ± 3,75E-02
3198	1060	70356002	1325	351	26,49	1,85E-02 ± 7,94E-03
3200	1061	70356001	1196	122	10,20	2,12E-01 ± 2,45E-02
3200	1092	70395006	2334	360	15,42	3,01E-01 ± 2,18E-02
3227	1090	70371004	1360	805	59,19	5,27E-02 ± 6,54E-03
3269	1089	70371003	1963	1471	74,94	1,67E-01 ± 2,06E-02
3315	867	70221002	1411	809	57,34	≤ 4,53E-02
3319	811	70139002	1214	1191	98,11	4,46E-01 ± 4,17E-02
3326	752	60387002	1530	903	59,02	1,15E-01 ± 1,29E-02
3328	1063	70360001	1676	1086	64,80	7,40E-01 ± 5,05E-02
3356	1102	70406002	1151	588	51,09	7,91E-01 ± 5,64E-02
4006	861	70221001	1215	225	18,52	4,07E-01 ± 3,21E-02
4039	865	70221004	215	1,2	0,56	≤ 5,60E-01
4039	863	70221005	205	138	67,32	3,63E-02 ± 1,74E-02
4039	862	70221003	1049	3	0,29	≤ 2,99E-01
4047	964	70322001	1102	116	10,53	1,78E-01 ± 3,07E-02
4049	975	70352001	1716	1337	77,91	4,84E-01 ± 3,48E-02
4053	1093	70395007	2026	557	27,49	2,67E-01 ± 2,17E-02
4055	967	70322004	782	483	61,76	4,17E-02 ± 7,78E-03
4074	834	70215002	2216	1767	79,74	2,33E-01 ± 1,63E-02
4086	873	70240001	1238	634	51,21	5,40E-01 ± 3,30E-02
4198	959	70327001	1989	53	2,66	6,64E-02 ± 2,26E-02
4204	874	70246001	1304	379	29,06	2,46E-01 ± 2,14E-02
4207	856	70234001	2087	0,7	0,03	≤ 1,05E+00

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	LIMS-Nr.	FM (g)	TM (g)	Feststoffgehalt (%)	K-40
5007	931	70282001	1198	527	43,99	6,04E-02 ± 6,99E-03
5010	904	70269004	1176	177	15,05	3,23E-01 ± 2,71E-02
5010	906	70269005	1169	151	12,92	3,11E-01 ± 2,29E-02
5010	907	70269007	1817	1179	64,89	2,11E-01 ± 1,46E-02
5010	908	70269006	1656	968	58,45	5,95E-02 ± 5,43E-03
5040	822	70168001	1341	516	38,48	8,62E-02 ± 7,42E-03
5055	807	70135001	978	5	0,51	2,69E-01 ± 1,26E-01
5055	1057	70135002	1002	5,3	0,53	5,81E-01 ± 1,44E-01
5055	1067	70135003	1980	10,3	0,52	2,17E-01 ± 9,59E-02
5065	851	70218002	1756	1212	69,02	2,31E-02 ± 5,10E-03
5065	852	70218001	1729	1081	62,52	3,44E-02 ± 5,06E-03
5065	853	70218003	1846	1392	75,41	2,00E-02 ± 3,91E-03
5065	854	70218004	1537	947	61,61	3,94E-02 ± 7,11E-03
5074	1135	80061002	1316	791	60,11	4,79E-02 ± 5,16E-03
5074	1136	80061001	1436	669	46,59	2,07E-01 ± 1,40E-02
5086	1127	70464003	1727	997	57,73	1,09E-01 ± 7,16E-03
5111	1120	70443001	1730	1011	58,44	2,25E-02 ± 2,48E-03
5124	934	70269001	1377	516	37,47	3,53E-02 ± 5,61E-03
5196	1097	70395002	1372	457	33,31	1,36E-01 ± 1,14E-02
5197	1119	70469001	1236	266	21,52	4,77E-02 ± 1,11E-02
5203	1085	70375002	1308	1014	77,52	6,00E-03 ± 1,87E-03
5203	1086	70375001	1511	800	52,95	4,34E-02 ± 5,28E-03
5207	858	70222001	1699	1224	72,04	6,02E-02 ± 6,77E-03
5210	969	70314002	1208	555	45,94	1,44E-01 ± 1,31E-02
5212	1130	80009001	2031	1569	77,25	4,92E-02 ± 3,39E-03
5221	898	70306007	856	386	45,09	1,03E-02 ± 5,67E-03
5221	897	70306006	2182	184	8,43	3,49E-02 ± 9,10E-03
5226	1058	70367002	1283	265	20,65	1,70E-02 ± 5,56E-03
5233	891	70308004	1097	498	45,40	1,25E+00 ± 1,30E-01
5237	927	70300002	1606	953	59,34	2,20E-02 ± 5,29E-03
5241	903	70300005	1549	952	61,46	3,22E-02 ± 6,32E-03
5241	901	70300004	1570	1239	78,92	9,63E-02 ± 7,88E-03
5241	902	70300006	1655	1257	75,95	5,59E-02 ± 5,99E-03
5242	832	70209001	952	137	14,39	9,91E-03 ± 7,53E-03
5245	965	70322002	1695	947	55,87	1,53E-02 ± 4,43E-03
5250	968	70322004	1755	1075	61,25	2,60E-02 ± 3,94E-03

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	LIMS-Nr.	FM (g)	TM (g)	Feststoffgehalt (%)	K-40
5271	932	70282002	972	170	17,49	3,01E-01 ± 3,12E-02
5276	774	70199004	1171	142	12,13	2,57E-02 ± 1,06E-02
5283	1121	70443002	1252	511	40,81	2,31E-02 ± 6,22E-03
5293	768	70199001	1979	1436	72,56	1,39E-02 ± 2,15E-03
5294	773	70199002	1513	702	46,40	4,71E-02 ± 5,13E-03
5296	1133	80045001	1839	1184	64,38	1,70E-02 ± 2,25E-03
5304	831	70209004	1922	1449	75,39	4,06E-01 ± 2,93E-02
5305	805	70150001	1979	1610	81,35	8,09E-03 ± 2,38E-03
5306	1096	70395001	1197	200	16,71	3,19E-02 ± 1,35E-02
5308	775	70199007	1241	854	68,82	3,46E-02 ± 5,25E-03
5316	769	70198001	1722	1167	67,77	1,10E-02 ± 2,38E-03
5318	930	70286001	1511	1161	76,84	7,74E-03 ± 2,57E-03
5319	972	70340002	668	296	44,31	5,75E-02 ± 1,06E-02
5320	1125	70463001	1382	789	57,09	3,43E-02 ± 4,25E-03
5322	813	70146001	1342	1037	77,27	7,31E-02 ± 6,62E-03
5330	1103	70406001	1575	884	56,13	1,78E-02 ± 4,19E-03
5331	772	70201001	1036	2	0,19	≤ 5,34E-01
5338	784	70180003	10745	21	0,20	≤ 3,14E-02
5341	872	70230002	1113	68	6,11	6,63E-01 ± 6,59E-02
5343	829	70210002	1292	404	31,27	6,29E-02 ± 9,54E-03
5345	828	70210001	1356	408	30,09	1,16E-02 ± 5,72E-03
5352	900	70300001	1722	1206	70,03	7,40E-03 ± 1,63E-03
5367	1132	80027001	1200	173	14,42	≤ 9,95E-03
5370	960	70327002	801	459	57,30	1,90E-01 ± 1,44E-02
5373	928	70302001	1557	1013	65,06	9,08E-01 ± 5,98E-02
5404	830	70209003	1220	252	20,66	≤ 3,55E-02
5418	894	70306003	1730	1291	74,62	4,31E-03 ± 2,23E-03
5418	893	70306002	1593	1049	65,85	4,45E-02 ± 5,29E-03
6033	806	70150002	1140	133	11,67	≤ 3,84E-02
7015	776	70187003	1198	137	11,44	2,90E-01 ± 3,14E-02
7050	747	60427002	1191	218	18,30	≤ 3,35E-02
7050	754	60427001	1229	229	18,63	3,29E-01 ± 3,86E-02
7056	770	70198002	624	73	11,70	7,90E-02 ± 2,46E-02
7063	1129	80001001	1117	37	3,31	≤ 4,66E-02
7064	962	70324001	1106	174	15,73	2,86E-01 ± 3,06E-02
7066	825	70154002	1282	269	20,98	2,08E-01 ± 1,97E-02

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	LIMS-Nr.	FM (g)	TM (g)	Feststoffgehalt (%)	K-40
7071	870	70230003	1045	42	4,02	2,72E-01 ± 4,17E-02
7077	818	70163004	1559	1043	66,90	3,26E-01 ± 2,57E-02
7080	936	70269008	1081	35	3,24	6,19E-02 ± 3,66E-02
7109	961	70322006	1517	673	44,36	5,58E-01 ± 3,97E-02
7121	793	70178006	775	46	5,94	2,43E-01 ± 3,87E-02
7139	877	70264003	1125	128	11,38	2,35E-01 ± 3,28E-02
7140	957	70332002	1676	974	58,11	4,16E-01 ± 3,09E-02
7153	866	70221006	7322	15	0,20	9,30E-02 ± 5,36E-02
7157	1065	70356003	1226	178	14,52	1,69E-01 ± 1,97E-02
7172	937	70269009	1414	490	34,65	5,54E-01 ± 3,68E-02
7178	1131	80015001	1227	250	20,37	1,35E-01 ± 2,14E-02
7184	978	70346003	1227	259	21,11	2,48E-01 ± 2,63E-02
7184	977	70346002	1126	105	9,33	2,51E-01 ± 3,01E-02
7223	812	70146002	537	133	24,77	≤ 2,55E-02
7227	1079	70372002	1710	1198	70,06	8,97E-01 ± 6,21E-02
7228	1081	70372005	1129	40	3,54	4,04E-01 ± 4,19E-02
7241	1118	70467001	1067	20	1,87	≤ 4,83E-02
7249	1078	70372001	1216	163	13,40	1,66E-01 ± 3,44E-02
7251	1083	70372006	1703	1020	59,89	7,38E-01 ± 5,14E-02
7265	933	70269002	1583	915	57,80	7,97E-01 ± 4,15E-02
7289	1107	70421001	1089	67	6,15	3,11E-02 ± 2,87E-02
7302	1098	70395004	918	26	2,83	3,21E-01 ± 5,14E-02
7306	750	60387003	800	69	8,63	7,79E-02 ± 2,97E-02
7328	958	70332001	1064	213	20,02	6,86E-02 ± 1,55E-02
7329	1095	70395003	734	348	47,41	2,12E-01 ± 1,99E-02
7331	1066	70357002	1189	135	11,35	9,36E-02 ± 2,53E-02
7339	979	70346001	1148	130	11,32	2,83E-01 ± 3,13E-02
7354	974	70340001	1075	35	3,26	3,80E-01 ± 4,25E-02
7355	892	70306001	1079	120	11,12	≤ 1,87E-02
7360	973	70344001	1318	423	32,09	1,21E+00 ± 8,39E-02
7362	790	70181001	1159	381	32,87	≤ 1,48E-02
7372	859	70222004	800	86	10,75	3,63E-02 ± 2,41E-02
7428	833	70215001	1579	1082	68,52	1,26E+00 ± 7,50E-02
7429	855	70237001	1431	560	39,13	5,01E-01 ± 3,25E-02
7452	1059	70367001	1249	353	28,26	3,57E-01 ± 2,93E-02
7462	1094	70395005	1343	791	58,90	3,22E-01 ± 3,04E-02

Rex Nr.	Rex Proben Nr.	LIMS-Nr.	FM (g)	TM (g)	Feststoffgehalt (%)	K-40
7478	1115	70441006	1122	59	5,26	1,37E-01 ± 3,50E-02
7481	976	70346004	1098	23	2,09	1,39E-01 ± 4,24E-02
8074	935	70269003	9850	3	0,03	≤ 8,92E-02
8160	1091	70404001	1134	97	8,55	1,18E-01 ± 2,41E-02
8274	1088	70371002	1428	279	19,54	8,05E-02 ± 2,99E-02
8366	824	70154001	2336	308	13,18	5,69E-01 ± 3,63E-02

Anhang III: Feststoffanalysen der Schlammproben (RFA und TOC) in mg/kg

Rex Nr.	Proben-Nr	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cs	Cu	Fe	K	La	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Rb	S	
1	796	< 15000	< 5	< 50	255000	< 5	< 20	n.b.	< 6	2720	< 1600	n.b.	117000	1260	< 15	< 15	< 300	10	n.b.	< 500	
1	800	< 15000	< 5	94	439000	< 5	44	n.b.	< 6	< 2000	< 1600	n.b.	3040	< 150	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500	
1	801	< 15000	15	263	87600	< 5	< 30	n.b.	8	314000	< 1600	n.b.	< 2000	< 150	< 15	< 15	10000	< 10	n.b.	4920	
5	803	< 15000	10	104	395000	< 5	< 20	n.b.	58	7440	< 1600	n.b.	< 2000	1690	< 15	21	1040	21	n.b.	< 500	
5	804	< 15000	< 5	147	390000	14	29	n.b.	12	5430	1680	n.b.	2340	5980	< 15	86	1230	15	n.b.	< 500	
15	963	19000	11800	1450	25300	6	< 40	n.b.	1190	329000	5770	n.b.	4030	2460	< 15	21	5490	< 10	n.b.	773	
1005	777	< 15000	5	161	386000	< 5	< 20	n.b.	20	6170	3650	n.b.	2160	1690	< 15	< 15	1090	16	n.b.	< 500	
1009	860	35300	6	419	94900	8	40	n.b.	92	19000	16200	n.b.	5340	1710	< 15	146	807	44	n.b.	3080	
1017	823	< 15000	< 5	64	270000	< 5	< 20	n.b.	26	3470	< 1600	n.b.	44900	683	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500	
1030	869	< 15000	6	113	388000	< 5	< 20	n.b.	55	5260	3020	n.b.	< 2000	700	< 15	< 15	604	14	n.b.	< 500	
1032	876	< 15000	< 5	233	300000	< 5	< 20	n.b.	14	14500	< 1600	n.b.	46300	5060	< 15	83	369	< 10	n.b.	< 500	
1077	835	17200	< 5	207	269000	< 5	33	n.b.	11	7640	6450	n.b.	2530	160	< 15	< 15	497	14	n.b.	< 500	
1085	1099	21000	11	130	327000	< 5	< 20	n.b.	16	11400	8300	n.b.	4280	783	< 15	15	861	19	n.b.	< 500	
1093	1122	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1093	1123	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1094	1100	< 15000	< 5	66	308000	< 5	21	n.b.	< 6	3780	< 1600	n.b.	29800	869	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500	
1098	1101	< 15000	< 5	< 50	406000	< 5	< 20	n.b.	99	3340	< 1600	n.b.	< 2000	786	< 15	< 15	< 300	15	n.b.	< 500	
2076	1113	42700	76	1620	33400	< 5	130	15	1210	26300	17400	27	4270	38500	< 15	94	1290	1320	103	954	
2076	1112	< 15000	105	1510	150000	5	75	11	193	34200	< 1600	< 10	3390	21000	< 15	49	2480	75	22	3010	
2076	1111	< 15000	< 5	647	25100	< 5	33	23	69	4300	< 1600	38	< 2000	< 150	< 15	26	< 300	< 10	10	4110	
2076	1114	26000	5	740	45600	< 5	79	< 10	607	13500	12500	< 10	5570	90600	30	121	< 300	34	80	< 500	
2080	820	< 15000	6210	2920	38700	< 5	< 40	n.b.	216	390000	1850	n.b.	5390	5670	< 15	19	39600	< 10	n.b.	< 500	
2097	771	< 15000	< 5	341	53600	< 5	< 20	n.b.	194	< 2000	< 1600	n.b.	< 2000	< 150	< 15	< 15	303	< 10	n.b.	< 500	
2097	826	67700	15	349	26200	< 5	51	n.b.	40	29900	15300	n.b.	3820	803	< 15	43	5130	27	n.b.	626	
2115	816	< 15000	311	813	48900	< 5	< 40	n.b.	26	425000	< 1600	n.b.	< 2000	51900	< 15	114	22600	< 10	n.b.	626	
2115	817	< 15000	406	1320	51000	< 5	< 40	n.b.	52	422000	< 1600	n.b.	< 2000	44300	< 15	50	39800	< 10	n.b.	< 500	
2188	878	16500	9	1040	13800	8	35	n.b.	265	23800	21800	n.b.	2280	38400	< 15	158	4790	58	n.b.	< 500	
2192	879	< 15000	20	385	51100	< 5	< 40	n.b.	74	468000	< 1600	n.b.	< 2000	3250	< 15	< 20	5010	< 20	n.b.	1630	
2237	778	< 15000	< 5	134	2870	< 5	63	n.b.	7	< 2000	2990	n.b.	< 2000	924	< 15	< 15	< 300	53	n.b.	< 500	
3009	899	< 15000	7	< 50	261000	< 5	25	n.b.	1280	3540	< 1600	n.b.	61100	1180	< 15	57	< 300	22	n.b.	< 500	
3019	971	< 15000	< 5	< 50	372000	< 5	< 20	n.b.	36	< 2000	< 1600	n.b.	18100	159	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500	
3024	808	< 15000	4230	1080	28600	5	< 40	n.b.	241	465000	2630	n.b.	4050	45800	< 15	< 15	664	< 20	n.b.	< 500	
3036	929	< 15000	1280	565	24800	< 5	< 40	n.b.	16	487000	< 1600	n.b.	< 2000	10700	< 15	< 20	9930	< 20	n.b.	< 500	

Anhang III: Feststoffanalysen der Schlämmprouben (RFA und TOC) in mg/kg

ReX Nr.	Proben-Nr	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cs	Cu	Fe	K	La	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Rb	S
3038	1062	< 15000	64	477	144000	6	< 30	n.b.	178	119000	< 1600	n.b.	37900	26000	< 15	144	11300	< 10	n.b.	< 500
3053	792	< 15000	288	1240	18500	429	< 40	n.b.	208	423000	< 1600	n.b.	< 2000	64500	< 15	343	10300	< 20	n.b.	< 500
3054	794	< 15000	< 5	53	370000	9	< 20	n.b.	< 6	2790	< 1600	n.b.	< 2000	3020	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500
3056	791	< 15000	5	136	368000	< 5	< 20	n.b.	61	9630	< 1600	n.b.	3020	2310	< 15	60	1140	21	n.b.	< 500
3058	795	< 15000	< 5	< 50	341000	< 5	< 20	n.b.	33	< 2000	< 1600	n.b.	< 2000	< 150	< 15	< 15	< 300	154	n.b.	< 500
3059	821	< 15000	< 5	< 50	332000	10	< 20	n.b.	37	< 2000	< 1600	n.b.	21700	< 150	< 15	< 15	422	< 10	n.b.	< 500
3065	1064	< 15000	< 5	319	342000	103	< 20	n.b.	34	3290	< 1600	n.b.	16900	2260	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500
3070	767	< 15000	< 5	< 50	153000	< 5	65	n.b.	8	9660	< 1600	n.b.	< 2000	< 150	< 15	16	< 300	16	n.b.	< 500
3071	895	< 15000	9	121	382000	< 5	< 20	n.b.	273	9210	2270	n.b.	4000	2760	< 15	31	2000	20	n.b.	< 500
3071	896	< 15000	< 5	< 50	425000	< 5	< 20	n.b.	8	< 2000	< 1600	n.b.	< 2000	1560	< 15	< 15	< 300	15	n.b.	< 500
3073	956	< 15000	90	3870	36200	29	< 50	n.b.	30	317000	< 1600	n.b.	3540	163000	< 15	240	17900	< 10	n.b.	< 500
3076	880	< 15000	< 5	< 50	247000	8	31	n.b.	553	< 2000	< 1600	n.b.	66000	313	< 15	32	< 300	10	n.b.	< 500
3082	814	< 15000	8	< 50	403000	< 5	< 20	n.b.	36	3130	< 1600	n.b.	< 2000	715	< 15	< 15	580	< 10	n.b.	< 500
3114	883	44000	10	624	229000	< 5	< 20	n.b.	46	36900	15700	n.b.	3960	2030	< 15	28	1390	17	n.b.	< 500
3125	881	23700	6	436	47100	13	74	n.b.	128	22400	18300	n.b.	8890	1570	< 15	21	363	69	n.b.	< 500
3128	884	< 15000	< 5	56	263000	10	24	n.b.	210	< 2000	< 1600	n.b.	57600	1460	< 15	139	< 300	< 10	n.b.	< 500
3137	819	< 15000	< 5	< 50	417000	< 5	< 20	n.b.	120	2140	< 1600	n.b.	3780	759	< 15	< 15	562	15	n.b.	< 500
3161	980	< 15000	< 5	59	430000	< 5	< 20	n.b.	52	< 2000	< 1600	n.b.	< 2000	250	< 15	< 15	< 300	15	n.b.	< 500
3198	1060	< 15000	59	291	291000	< 5	< 20	n.b.	106	14000	< 1600	n.b.	51400	5680	< 15	97	1010	15	n.b.	< 500
3200	1061	< 15000	360	2010	38000	5	< 40	n.b.	425	223000	3780	n.b.	4540	113000	< 15	146	24000	< 10	n.b.	< 500
3315	867	< 15000	8330	2730	43200	< 5	< 50	n.b.	112	230000	< 1600	n.b.	3710	285000	< 15	24	585	< 10	n.b.	< 500
3319	811	< 15000	884	2600	37900	< 5	< 30	n.b.	572	89300	3040	n.b.	< 2000	102000	< 15	47	9380	< 10	n.b.	2010
3328	1063	< 15000	17	994	127000	< 5	83	n.b.	371	5900	8360	n.b.	33000	9520	< 15	47	339	36	n.b.	< 500
4006	861	< 15000	12	894	58800	8	277	n.b.	515	10300	2810	n.b.	2030	394000	17	423	< 300	16	n.b.	< 500
4039	862	< 15000	13	714	97400	< 5	< 40	n.b.	46	269000	< 1600	n.b.	19400	1140	< 15	< 15	7080	< 10	n.b.	3280
4039	863	< 15000	9	1230	242000	10	< 30	n.b.	245	79800	< 1600	n.b.	2230	12700	< 15	24	2740	155	n.b.	< 500
4047	964	< 15000	959	1270	37400	< 5	< 40	n.b.	28	399000	3790	n.b.	4120	42000	< 15	22	5820	< 10	n.b.	< 500
4049	975	15800	25	572	80800	< 5	< 20	n.b.	24	12300	13100	n.b.	< 2000	< 150	< 15	21	< 300	30	n.b.	4320
4053	1093	< 15000	200	390	63900	< 5	< 40	< 10	148	319000	3440	< 10	6120	9750	17	392	6300	< 10	< 10	< 500
4055	967	< 15000	6	409	50600	< 5	< 20	n.b.	349	7400	< 1600	n.b.	< 2000	< 150	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	5450
4074	834	< 15000	158	353	13700	< 5	< 20	n.b.	< 6	208000	< 1600	n.b.	< 2000	4630	< 15	< 15	5430	< 10	n.b.	< 500
4086	873	39400	9	312	34200	< 5	53	n.b.	25	22300	14200	n.b.	4610	640	< 15	32	538	26	n.b.	< 500
4198	959	< 15000	1910	485	55200	< 5	< 40	n.b.	22	333000	< 1600	n.b.	4860	55800	28	71	2810	< 10	n.b.	503
4204	874	< 15000	9	437	196000	< 5	< 30	n.b.	50	104000	5090	n.b.	3900	653	< 15	< 15	1640	< 10	n.b.	< 500
5007	931	< 15000	< 5	< 50	395000	< 5	32	n.b.	8	4690	< 1600	n.b.	< 2000	1750	< 15	< 15	1730	16	n.b.	< 500
5010	908	< 15000	< 5	< 50	352000	< 5	< 20	n.b.	12	7180	< 1600	n.b.	2240	181	< 15	< 15	1940	12	n.b.	< 500

ReX Nr.	Proben-Nr	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cs	Cu	Fe	K	La	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Rb	S
5010	904	38000	< 5	199	208000	< 5	20	n.b.	20	23600	8300	n.b.	4290	393	< 15	17	1200	22	n.b.	617
5010	906	53500	7	213	152000	18	65	n.b.	61	17500	8000	n.b.	3190	7990	< 15	64	4580	29	n.b.	< 500
5010	907	46500	< 5	192	245000	< 5	< 20	n.b.	146	16200	6610	n.b.	3660	1030	< 15	23	3350	18	n.b.	< 500
5040	822	39800	< 5	109	314000	6	47	n.b.	26	10600	< 1600	n.b.	< 2000	2950	< 15	31	1300	13	n.b.	< 500
5055	1067	111000	61	244	86200	51	46	n.b.	115	31500	13700	n.b.	3790	23900	< 15	90	15700	275	n.b.	< 500
5065	851	< 15000	< 5	< 50	427000	< 5	< 20	n.b.	9	< 2000	< 1600	n.b.	< 2000	322	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500
5065	852	< 15000	< 5	< 50	427000	< 5	< 20	n.b.	17	< 2000	< 1600	n.b.	< 2000	714	< 15	< 15	< 300	15	n.b.	< 500
5065	853	< 15000	< 5	< 50	427000	< 5	< 20	n.b.	< 6	< 2000	< 1600	n.b.	< 2000	< 150	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500
5065	854	< 15000	< 5	< 50	422000	< 5	< 20	n.b.	< 6	4970	< 1600	n.b.	< 2000	451	< 15	< 15	471	< 10	n.b.	< 500
5207	858	< 15000	< 5	< 50	399000	9	< 20	n.b.	41	5040	< 1600	n.b.	< 2000	1520	< 15	< 15	845	20	n.b.	< 500
5210	969	18700	9	82	332000	< 5	34	n.b.	56	16300	4770	n.b.	3410	3940	< 15	70	3250	35	n.b.	< 500
5221	897	20700	< 5	< 50	91600	31	51	n.b.	36	7090	< 1600	n.b.	108000	2870	< 15	67	1520	22	n.b.	< 500
5221	898	< 15000	< 5	< 50	211000	< 5	< 20	n.b.	16	< 2000	< 1600	n.b.	79100	524	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500
5226	1058	< 15000	11	< 50	207000	< 5	33	n.b.	824	< 2000	< 1600	n.b.	89800	192	< 15	25	< 300	10	n.b.	< 500
5233	891	46000	130	2190	12100	45	< 30	n.b.	163	83000	29300	n.b.	4920	50200	< 15	79	1660	1610	n.b.	667
5237	927	< 15000	< 5	< 50	422000	< 5	< 20	n.b.	58	< 2000	< 1600	n.b.	< 2000	314	< 15	< 15	322	11	n.b.	< 500
5241	901	< 15000	< 5	< 50	381000	< 5	< 20	n.b.	105	3750	< 1600	n.b.	2350	316	< 15	< 15	< 300	10	n.b.	< 500
5241	902	< 15000	< 5	< 50	366000	< 5	< 20	n.b.	21	3160	< 1600	n.b.	< 2000	169	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500
5241	903	< 15000	< 5	< 50	415000	< 5	< 20	n.b.	15	2630	< 1600	n.b.	< 2000	711	< 15	< 15	362	< 10	n.b.	< 500
5242	832	< 15000	< 5	< 50	204000	< 5	23	n.b.	537	< 2000	< 1600	n.b.	82600	< 150	< 15	179	< 300	< 10	n.b.	< 500
5245	965	< 15000	< 5	< 50	426000	< 5	< 20	n.b.	37	3690	< 1600	n.b.	< 2000	819	< 15	< 15	< 300	12	n.b.	< 500
5250	968	< 15000	< 5	< 50	361000	< 5	< 20	n.b.	45	6960	< 1600	n.b.	< 2000	1370	< 15	< 15	< 300	12	n.b.	< 500
5271	932	< 15000	207	332	< 2000	< 5	< 40	n.b.	1620	510000	2360	n.b.	< 2000	1330	20	< 20	11200	< 20	n.b.	< 500
5276	774	< 15000	< 5	56	177000	5	28	n.b.	1080	16400	< 1600	n.b.	79800	3880	< 15	202	934	50	n.b.	< 500
5293	768	< 15000	< 5	< 50	390000	< 5	23	n.b.	94	5300	< 1600	n.b.	< 2000	1770	< 15	18	673	21	n.b.	< 500
5294	773	< 15000	< 5	< 50	407000	< 5	< 20	n.b.	16	6730	< 1600	n.b.	< 2000	1050	< 15	< 15	343	23	n.b.	< 500
5304	831	21700	< 5	220	216000	< 5	23	n.b.	16	15600	7240	n.b.	< 2000	584	< 15	20	< 300	63	n.b.	< 500
5305	805	< 15000	< 5	< 50	367000	< 5	< 20	n.b.	11	3970	< 1600	n.b.	< 2000	4060	< 15	18	< 300	< 10	n.b.	< 500
5306	1096	66200	17	120	308000	21	29	< 10	61	2720	< 1600	58	< 2000	7900	< 15	31	3020	14	< 10	< 500
5308	775	< 15000	< 5	< 50	417000	< 5	< 20	n.b.	117	2490	< 1600	n.b.	< 2000	898	< 15	< 15	821	11	n.b.	< 500
5316	769	< 15000	< 5	< 50	419000	< 5	23	n.b.	17	2140	< 1600	n.b.	2300	421	< 15	< 15	< 300	12	n.b.	< 500
5318	930	< 15000	< 5	< 50	378000	< 5	125	n.b.	< 6	< 2000	< 1600	n.b.	< 2000	249	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500
5319	972	< 15000	5	188	121000	< 5	143	n.b.	146	55700	< 1600	n.b.	77000	9310	< 15	198	324	95	n.b.	< 500
5322	813	< 15000	< 5	< 50	381000	5	< 20	n.b.	14	3120	< 1600	n.b.	< 2000	958	< 15	< 15	602	10	n.b.	< 500
5338	784	177000	412	991	58300	23	53	n.b.	287	12200	1620	n.b.	< 2000	21400	< 15	616	10100	25	n.b.	1080
5341	872	< 15000	81	1470	62600	8	112	n.b.	2350	119000	23100	n.b.	2800	332000	27	587	11800	< 10	n.b.	< 500

Anhang III: Feststoffanalysen der Schlämmpfropfen (RFA und TOC) in mg/kg

ReX Nr.	Proben-Nr	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cs	Cu	Fe	K	La	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Rb	S
5343	829	< 15000	58	1060	114000	< 5	< 40	n.b.	6	180000	< 1600	n.b.	15000	94900	46	246	3830	< 10	n.b.	< 500
5345	828	< 15000	69	338	199000	< 5	< 40	n.b.	26	236000	< 1600	n.b.	8220	36200	< 15	206	8570	< 10	n.b.	< 500
5352	900	< 15000	< 5	< 50	272000	< 5	< 20	n.b.	49	< 2000	< 1600	n.b.	41000	< 150	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500
5370	960	15200	< 5	282	112000	< 5	113	n.b.	190	173000	3420	n.b.	21200	107000	22	47	483	12	n.b.	< 500
5373	928	52500	9	412	3520	< 5	56	n.b.	19	21800	20700	n.b.	3600	349	< 15	23	501	21	n.b.	< 500
5404	830	< 15000	144	190	26000	< 5	< 40	n.b.	23	460000	< 1600	n.b.	< 2000	25300	< 15	18	2320	< 20	n.b.	< 500
5418	893	< 15000	< 5	< 50	418000	< 5	< 20	n.b.	< 6	< 2000	< 1600	n.b.	< 2000	740	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500
5418	894	< 15000	< 5	< 50	368000	< 5	< 20	n.b.	< 6	2420	< 1600	n.b.	< 2000	367	< 15	< 15	< 300	< 10	n.b.	< 500
6033	806	< 15000	1270	1490	37300	< 5	< 40	n.b.	23	509000	< 1600	n.b.	< 2000	21800	< 15	48	3740	< 20	n.b.	< 500
7015	776	< 15000	1260	5290	31500	< 5	< 40	n.b.	11	376000	< 1600	n.b.	2980	41700	< 15	31	10600	< 10	n.b.	< 500
7050	747	< 15000	2250	3830	33800	< 5	< 40	< 10	6	422000	< 1600	< 10	2760	32700	< 15	18	9920	< 10	< 10	< 500
7056	770	< 15000	1330	2810	39400	< 5	< 40	n.b.	31	447000	< 1600	n.b.	3180	22700	< 15	17	12100	< 10	n.b.	< 500
7063	1129	< 15000	205	2950	37000	< 5	< 40	< 10	62	443000	< 1600	< 10	2020	9900	< 15	< 15	7060	< 10	< 10	< 500
7064	962	< 15000	256	652	32200	< 5	< 40	n.b.	< 6	398000	< 1600	n.b.	< 2000	22200	< 15	17	3280	< 10	n.b.	< 500
7066	825	< 15000	190	1810	32400	< 5	< 30	n.b.	30	323000	< 1600	n.b.	2550	41700	< 15	< 15	3290	< 10	n.b.	< 500
7071	870	33000	569	1840	43700	< 5	< 30	n.b.	38	256000	6140	n.b.	3340	22700	< 15	23	3350	< 10	n.b.	< 500
7077	818	< 15000	647	2030	17500	< 5	< 30	n.b.	22	279000	2940	n.b.	9810	4390	< 15	111	1410	< 10	n.b.	< 500
7080	936	< 15000	4840	5250	32900	< 5	< 40	n.b.	37	389000	< 1600	n.b.	7750	18600	< 15	15	9850	< 10	n.b.	< 500
7109	961	28700	251	1520	28700	< 5	< 30	n.b.	25	146000	12500	n.b.	5440	4230	< 15	23	7070	< 10	n.b.	< 500
7121	793	< 15000	1960	5930	31200	< 5	< 40	n.b.	47	327000	< 1600	n.b.	4280	54800	< 15	30	14200	< 10	n.b.	543
7139	877	< 15000	97	3470	33400	< 5	< 30	n.b.	27	254000	5060	n.b.	4240	46000	< 15	29	5160	< 10	n.b.	< 500
7140	957	< 15000	120	2690	34400	< 5	< 40	n.b.	35	326000	3240	n.b.	2660	81400	< 15	15	5950	< 10	n.b.	< 500
7153	866	< 15000	229	1480	39800	< 5	< 40	n.b.	17	328000	3530	n.b.	6360	12100	< 15	34	4320	< 10	n.b.	< 500
7157	1065	< 15000	301	1180	39800	< 5	< 30	n.b.	87	282000	3830	n.b.	4830	22400	< 15	25	3660	< 10	n.b.	< 500
7172	937	33700	< 5	385	6950	< 5	221	n.b.	26	25100	14800	n.b.	4680	5770	< 15	< 15	576	12	n.b.	< 500
7178	1131	< 15000	226	693	32900	< 5	< 30	< 10	15	326000	< 1600	< 10	2220	25800	< 15	17	4580	< 10	< 10	< 500
7184	977	< 15000	717	375	36300	< 5	126	n.b.	96	222000	4040	n.b.	4190	11300	< 15	27	10900	< 10	n.b.	< 500
7184	978	< 15000	142	1190	37200	< 5	< 30	n.b.	15	228000	3280	n.b.	3470	5990	< 15	15	7350	< 10	n.b.	< 500
7223	812	< 15000	181	278	42300	< 5	< 40	n.b.	10	427000	< 1600	n.b.	< 2000	26500	< 15	30	9700	< 10	n.b.	< 500
7265	933	23800	10	234	40300	< 5	22	n.b.	653	32100	11000	n.b.	7340	1330	< 15	< 15	1120	19	n.b.	671
7328	958	< 15000	70	1660	38600	< 5	< 30	n.b.	26	333000	< 1600	n.b.	< 2000	13100	< 15	< 15	5700	< 10	n.b.	< 500
7331	1066	< 15000	1110	2940	39800	< 5	< 40	n.b.	21	397000	< 1600	n.b.	3500	28400	< 15	47	17100	< 10	n.b.	< 500
7339	979	18800	881	2950	35400	< 5	< 30	n.b.	18	258000	7980	n.b.	7450	11200	< 15	24	4150	< 10	n.b.	< 500
7354	974	31600	1910	1700	42400	< 5	< 30	n.b.	< 6	266000	9090	n.b.	2600	8960	< 15	< 15	3900	< 10	n.b.	< 500
7355	892	< 15000	647	2120	32000	< 5	< 40	n.b.	< 6	477000	< 1600	n.b.	2350	7570	< 15	< 20	6290	< 20	n.b.	< 500
7360	973	29300	161	1830	36400	< 5	< 30	n.b.	8	98500	22600	n.b.	< 2000	5480	< 15	19	1700	< 10	n.b.	< 500

Rex Nr.	Proben-Nr	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cs	Cu	Fe	K	La	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Rb	S
7372	859	< 15000	10	1440	40700	< 5	< 40	n.b.	64	446000	< 1600	n.b.	< 2000	822	< 15	< 15	5850	< 10	n.b.	1020
7428	833	64400	11	1740	42400	< 5	< 20	n.b.	17	24200	33700	n.b.	2630	2530	< 15	< 15	889	47	n.b.	< 500
7429	855	37600	85	429	57500	< 5	52	n.b.	117	47900	14100	n.b.	12700	1750	< 15	18	724	49	n.b.	< 500
7452	1059	< 15000	401	1710	41500	< 5	< 40	n.b.	6	371000	4430	n.b.	2020	73100	16	22	3330	< 10	n.b.	< 500
7481	976	15200	28	832	74300	< 5	< 40	n.b.	< 6	238000	3620	n.b.	2290	44600	< 15	< 15	11000	< 10	n.b.	< 500
8074	935	< 15000	5320	2690	53200	< 5	< 40	n.b.	27	316000	< 1600	n.b.	12300	6200	< 15	< 15	3740	< 10	n.b.	< 500
8274	1088	< 15000	2070	3470	84000	< 5	< 40	< 10	70	307000	1740	< 10	3430	44200	< 15	< 15	3960	< 10	n.b.	< 500
8366	824	45200	120	287	84900	< 5	50	n.b.	81	49600	18600	n.b.	10000	1020	< 15	37	1080	23	n.b.	< 500

Rex_Nr	Proben-Nr	Sb	Si	Sn	Sr	Th	Ti	U	V	W	Y	Zn	TOC	TOC Gew_%
1	796	< 10	44500	n.b.	190	n.b.	< 1000	10	n.b.	< 10	n.b.	26		
1	800	< 10	< 20000	n.b.	435	n.b.	< 1000	16	n.b.	18	n.b.	< 20		
1	801	< 10	< 20000	n.b.	190	n.b.	2000	17	n.b.	< 10	n.b.	38		
5	803	< 10	< 20000	n.b.	77	n.b.	< 1000	12	n.b.	< 10	n.b.	108		
5	804	< 10	21400	n.b.	72	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	511		
15	963	< 10	68900	n.b.	88	n.b.	< 1000	14	n.b.	< 20	n.b.	262	70000	7
1005	777	< 10	31800	n.b.	71	n.b.	< 1000	10	n.b.	< 10	n.b.	114		
1009	860	< 10	157000	n.b.	347	n.b.	2020	< 10	n.b.	< 10	n.b.	388	59000	5,9
1017	823	< 10	< 20000	n.b.	93	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	68		
1030	869	< 10	29000	n.b.	104	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	11	n.b.	31		
1032	876	< 10	37900	n.b.	60	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	83		
1077	835	< 10	93400	n.b.	86	n.b.	1460	< 10	n.b.	< 10	n.b.	41	7600	0,76
1085	1099	< 10	49400	n.b.	87	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	64		
1093	1122	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2600	0,26
1093	1123	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	730000	73
1094	1100	< 10	< 20000	n.b.	75	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	23		
1098	1101	< 10	< 20000	n.b.	87	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	214		
2076	1113	< 10	157000	23	278	11	1790	10	85	< 10	12	772	21000	2,1
2076	1112	< 10	< 20000	< 10	1060	< 5	< 1000	30	61	< 10	18	89	360000	36
2076	1111	< 10	< 20000	< 10	438	7	< 1000	12	25	< 10	20	22		
2076	1114	< 10	127000	37	226	5	1230	< 10	68	< 10	12	383	< 3000	
2080	820	< 10	< 20000	n.b.	611	n.b.	< 1000	21	n.b.	< 20	n.b.	132		
2097	771	< 10	< 20000	n.b.	520	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	25		
2097	826	< 10	98200	n.b.	370	n.b.	2360	< 10	n.b.	< 10	n.b.	91		

Anhang III: Feststoffanalysen der Schlammproben (RFA und TOC) in mg/kg

Rex_Nr	Proben-Nr	Sb	Si	Sn	Sr	Th	Ti	U	V	W	Y	Zn	TOC	TOC Gew. %
2115	816	< 10	< 20000	n.b.	901	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 20	n.b.	105		
2115	817	< 10	< 20000	n.b.	650	n.b.	< 1000	12	n.b.	< 10	n.b.	40		
2188	878	< 10	182000	n.b.	181	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	213		
2192	879	< 10	25700	n.b.	1980	n.b.	< 1000	14	n.b.	< 20	n.b.	55	14000	1,4
2237	778	< 10	153000	n.b.	13	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	< 20		
3009	899	< 10	35300	n.b.	94	n.b.	< 1000	26	n.b.	< 10	n.b.	909		
3019	971	< 10	< 20000	n.b.	267	n.b.	< 1000	12	n.b.	< 10	n.b.	38		
3024	808	< 10	36300	n.b.	745	n.b.	< 1000	19	n.b.	< 20	n.b.	284	5500	0,55
3036	929	< 10	< 20000	n.b.	90	n.b.	< 1000	12	n.b.	< 20	n.b.	239	31000	3,1
3038	1062	< 10	28500	n.b.	64	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 20	n.b.	5430	n.b.	
3053	792	< 10	26800	n.b.	61	n.b.	< 1000	22	n.b.	< 80	n.b.	37200	10900	1,09
3054	794	< 10	< 20000	n.b.	65	n.b.	< 1000	10	n.b.	< 10	n.b.	357		
3056	791	< 10	29000	n.b.	139	n.b.	< 1000	10	n.b.	12	n.b.	262		
3058	795	< 10	< 20000	n.b.	52	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	120		
3059	821	< 10	< 20000	n.b.	119	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	496		
3065	1064	< 10	< 20000	n.b.	91	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	84	n.b.	
3070	767	< 10	93700	n.b.	39	n.b.	< 1000	18	n.b.	< 10	n.b.	79		
3071	895	< 10	25600	n.b.	93	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	118		
3071	896	< 10	< 20000	n.b.	75	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	298		
3073	956	< 10	21700	n.b.	113	n.b.	< 1000	17	n.b.	< 30	n.b.	4830	<2700	
3076	880	< 10	29100	n.b.	95	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	1100		
3082	814	< 10	< 20000	n.b.	83	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	< 20	1100	0,11
3114	883	< 10	92100	n.b.	292	n.b.	2010	12	n.b.	< 10	n.b.	97		
3125	881	< 10	205000	n.b.	94	n.b.	1450	< 10	n.b.	< 10	n.b.	1070		
3128	884	< 10	31000	n.b.	99	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	662		
3137	819	< 10	< 20000	n.b.	89	n.b.	< 1000	10	n.b.	< 10	n.b.	33		
3161	980	< 10	< 20000	n.b.	134	n.b.	< 1000	11	n.b.	< 10	n.b.	< 20	n.b.	
3198	1060	< 10	35900	n.b.	78	n.b.	< 1000	18	n.b.	< 10	n.b.	138	n.b.	
3200	1061	< 10	44100	n.b.	126	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	407	n.b.	
3315	867	< 10	< 20000	n.b.	432	n.b.	< 1000	16	n.b.	756	n.b.	411	<2300	
3319	811	< 10	< 20000	n.b.	572	n.b.	< 1000	15	n.b.	< 10	n.b.	520	430000	43
3328	1063	< 10	79900	n.b.	93	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	125	n.b.	
4006	861	< 10	< 20000	n.b.	107	n.b.	< 1000	21	n.b.	< 20	n.b.	1180	15000	1,5
4039	862	< 10	< 20000	n.b.	570	n.b.	< 1000	45	n.b.	13	n.b.	169	7500	0,75
4039	863	18	< 20000	n.b.	339	n.b.	3160	< 10	n.b.	< 20	n.b.	6060		
4047	964	< 10	50700	n.b.	208	n.b.	< 1000	13	n.b.	< 10	n.b.	86	3600	0,36

ReX_Nr	Proben-Nr	Sb	Si	Sn	Sr	Th	Ti	U	V	W	Y	Zn	TOC	TOC Gew. %
4049	975	< 10	86800	n.b.	206	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	50	110000	11
4053	1093	< 10	54200	< 10	99	< 8	< 1000	10	274	< 20	13	457	8500	0,85
4055	967	< 10	< 20000	n.b.	270	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	24		
4074	834	< 10	54800	n.b.	59	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	44		
4086	873	< 10	229000	n.b.	64	n.b.	2920	< 10	n.b.	< 10	n.b.	82		
4198	959	< 10	51800	n.b.	156	n.b.	< 1000	11	n.b.	< 10	n.b.	119		
4204	874	< 10	59600	n.b.	323	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	81		
5007	931	< 10	20400	n.b.	74	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	11	n.b.	65		
5010	908	< 10	27400	n.b.	68	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	131	4900	0,49
5010	904	< 10	113000	n.b.	69	n.b.	2440	< 10	n.b.	< 10	n.b.	461		
5010	906	< 10	78500	n.b.	76	n.b.	1570	< 10	n.b.	< 10	n.b.	388		
5010	907	< 10	77600	n.b.	93	n.b.	1700	< 10	n.b.	11	n.b.	278		
5040	822	< 10	32700	n.b.	92	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	11	n.b.	343		
5055	1067	< 10	99200	n.b.	105	n.b.	1720	91	n.b.	< 10	n.b.	815	n.b.	
5065	851	< 10	< 20000	n.b.	62	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	45		
5065	852	< 10	< 20000	n.b.	73	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	46		
5065	853	< 10	< 20000	n.b.	54	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	< 20		
5065	854	< 10	< 20000	n.b.	76	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	91		
5207	858	< 10	< 20000	n.b.	71	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	659		
5210	969	< 10	42500	n.b.	89	n.b.	1010	< 10	n.b.	< 10	n.b.	111		
5221	897	< 10	125000	n.b.	58	n.b.	< 1000	11	n.b.	< 10	n.b.	430		
5221	898	< 10	23200	n.b.	87	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	72		
5226	1058	< 10	48000	n.b.	91	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	146	n.b.	
5233	891	< 10	143000	n.b.	179	n.b.	2160	16	n.b.	< 10	n.b.	1870	8900	0,89
5237	927	< 10	< 20000	n.b.	76	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	36		
5241	901	< 10	< 20000	n.b.	61	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	44		
5241	902	< 10	< 20000	n.b.	53	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	25		
5241	903	< 10	< 20000	n.b.	74	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	79		
5242	832	< 10	61100	n.b.	85	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	58		
5245	965	< 10	< 20000	n.b.	65	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	47		
5250	968	< 10	< 20000	n.b.	53	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	79		
5271	932	< 10	31700	n.b.	17	n.b.	< 1000	190	n.b.	< 20	n.b.	65	7300	0,73
5276	774	< 10	60000	n.b.	94	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	462		
5293	768	< 10	21900	n.b.	78	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	56	1200	0,12
5294	773	< 10	< 20000	n.b.	77	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	74		
5304	831	< 10	59100	n.b.	87	n.b.	1740	< 10	n.b.	< 10	n.b.	64		

ReX_Nr	Proben-Nr	Sb	Si	Sn	Sr	Th	Ti	U	V	W	Y	Zn	TOC	TOC Gew. %
5305	805	< 10	< 20000	n.b.	74	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	76		
5306	1096	< 10	32700	< 10	62	< 5	< 1000	152	25	16	359	195	6500	0,65
5308	775	< 10	< 20000	n.b.	58	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	72		
5316	769	< 10	< 20000	n.b.	78	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	101		
5318	930	< 10	< 20000	n.b.	67	n.b.	< 1000	16	n.b.	18	n.b.	< 20		
5319	972	< 10	93000	n.b.	63	n.b.	1160	10	n.b.	< 10	n.b.	699		
5322	813	< 10	< 20000	n.b.	70	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	65		
5338	784	< 10	69100	n.b.	43	n.b.	< 1000	29	n.b.	< 20	n.b.	4230	15000	1,5
5341	872	< 10	< 20000	n.b.	759	n.b.	< 1000	18	n.b.	< 20	n.b.	584	< 3000	
5343	829	< 10	< 20000	n.b.	119	n.b.	< 1000	12	n.b.	< 10	n.b.	353		
5345	828	< 10	< 20000	n.b.	119	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	469		
5352	900	< 10	< 20000	n.b.	114	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	< 20		
5370	960	< 10	69600	n.b.	185	n.b.	3790	< 10	n.b.	< 10	n.b.	233		
5373	928	< 10	249000	n.b.	50	n.b.	4340	< 10	n.b.	< 10	n.b.	68		
5404	830	< 10	51200	n.b.	168	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	15	n.b.	25	8800	0,88
5418	893	< 10	< 20000	n.b.	70	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	41		
5418	894	< 10	< 20000	n.b.	60	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	22		
6033	806	< 10	< 20000	n.b.	424	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 20	n.b.	159	3200	0,32
7015	776	< 10	38800	n.b.	1050	n.b.	< 1000	14	n.b.	< 10	n.b.	173		
7050	747	< 10	39100	< 10	686	< 20	< 1000	< 20	< 40	< 10	13	56	22000	2,2
7056	770	< 10	42300	n.b.	551	n.b.	< 1000	17	n.b.	< 20	n.b.	65	5300	0,53
7063	1129	< 10	41000	< 10	906	< 20	< 1000	< 10	< 30	< 10	12	89	6700	0,67
7064	962	< 10	39700	n.b.	155	n.b.	< 1000	13	n.b.	< 10	n.b.	55		
7066	825	< 10	46500	n.b.	249	n.b.	< 1000	14	n.b.	< 10	n.b.	85	< 2500	
7071	870	< 10	74100	n.b.	630	n.b.	< 1000	44	n.b.	< 10	n.b.	77		
7077	818	< 10	57200	n.b.	730	n.b.	1770	11	n.b.	< 10	n.b.	47	2400	0,24
7080	936	< 10	54900	n.b.	1340	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	127	15000	1,5
7109	961	< 10	123000	n.b.	298	n.b.	1750	< 10	n.b.	< 10	n.b.	205		
7121	793	< 10	44400	n.b.	1050	n.b.	< 1000	15	n.b.	< 20	n.b.	1340	33000	3,3
7139	877	< 10	79000	n.b.	679	n.b.	< 1000	16	n.b.	< 10	n.b.	308		
7140	957	< 10	73600	n.b.	325	n.b.	< 1000	12	n.b.	< 10	n.b.	143		
7153	866	< 10	77600	n.b.	940	n.b.	1140	25	n.b.	< 10	n.b.	165		
7157	1065	< 10	75000	n.b.	171	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	300	n.b.	
7172	937	< 10	188000	n.b.	107	n.b.	1940	< 10	n.b.	< 10	n.b.	55	5500	0,55
7178	1131	< 10	49400	< 10	118	< 9	< 1000	< 10	< 30	< 10	22	149	< 3000	
7184	977	< 10	67400	n.b.	106	n.b.	< 1000	12	n.b.	< 10	n.b.	54	n.b.	

Rex_Nr	Proben-Nr	Sb	Si	Sn	Sr	Th	Ti	U	V	W	Y	Zn	TOC	TOC Gew. %
7184	978	< 10	73100	n.b.	229	n.b.	< 1000	18	n.b.	< 10	n.b.	44	n.b.	
7223	812	< 10	49900	n.b.	239	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	33		
7265	933	< 10	148000	n.b.	122	n.b.	1720	< 10	n.b.	< 10	n.b.	89		
7328	958	< 10	45800	n.b.	656	n.b.	< 1000	21	n.b.	< 10	n.b.	149		
7331	1066	< 10	39700	n.b.	619	n.b.	< 1000	17	n.b.	< 10	n.b.	60	n.b.	
7339	979	< 10	102000	n.b.	832	n.b.	1150	< 10	n.b.	< 10	n.b.	63	5600	0,56
7354	974	< 10	88200	n.b.	1310	n.b.	< 1000	30	n.b.	< 10	n.b.	101		
7355	892	< 10	63200	n.b.	1060	n.b.	< 1000	25	n.b.	< 20	n.b.	432	16000	1,6
7360	973	< 10	111000	n.b.	1920	n.b.	< 1000	< 10	n.b.	< 10	n.b.	184	8700	0,87
7372	859	< 10	35400	n.b.	890	n.b.	< 1000	16	n.b.	< 10	n.b.	44	3400	0,34
7428	833	< 10	168000	n.b.	2150	n.b.	< 1000	12	n.b.	< 10	n.b.	354		
7429	855	< 10	161000	n.b.	189	n.b.	1890	< 10	n.b.	< 10	n.b.	309		
7452	1059	< 10	58400	n.b.	194	n.b.	< 1000	16	n.b.	< 20	n.b.	858	n.b.	
7481	976	< 10	61700	n.b.	533	n.b.	< 1000	13	n.b.	< 10	n.b.	286	n.b.	
8074	935	< 10	28700	n.b.	644	n.b.	< 1000	27	n.b.	< 10	n.b.	57		
8274	1088	< 10	30300	< 10	1080	< 8	< 1000	13	< 30	< 10	10	65	14000	1,4
8366	824	< 10	153000	n.b.	401	n.b.	2020	10	n.b.	< 10	n.b.	145		

Anhang IV: Effektive Dosis der einzelnen Proben in mSv/a

Dosisabschätzung mit Staubkonzentration von 0,01 g/m³

Rex_Nr	Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1		Expositionsszenario 2		Expositionsszenario 3		Expositionsszenario 4	
	Rex_Probe		t= 20 h		t= 3 h		t = 8 h		t = 100 h	
1	796		0,0010		0,0002		0,0004		0,0051	
1	800		0,0010		0,0002		0,0004		0,0051	
1	801		0,0015		0,0002		0,0006		0,0074	
5	803		0,0012		0,0002		0,0005		0,0060	
5	804		0,0019		0,0003		0,0008		0,0094	
14	802		0,0026		0,0004		0,0010		0,0128	
15	963		0,0017		0,0003		0,0007		0,0085	
1005	777		0,0012		0,0002		0,0005		0,0062	
1009	860		0,0015		0,0002		0,0006		0,0075	
1017	823		0,0010		0,0002		0,0004		0,0051	
1030	869		0,0011		0,0002		0,0004		0,0055	
1032	876		0,0010		0,0002		0,0004		0,0051	
1035	1104		0,0011		0,0002		0,0004		0,0054	
1043	1117		0,0011		0,0002		0,0004		0,0053	
1077	835		0,0011		0,0002		0,0004		0,0056	
1085	1099		0,0013		0,0002		0,0005		0,0064	
1093	1122		0,0013		0,0002		0,0005		0,0065	
1093	1123		0,0019		0,0003		0,0007		0,0093	
1093	1124		0,0012		0,0002		0,0005		0,0062	
1094	1100		0,0010		0,0002		0,0004		0,0051	
1098	1101		0,0010		0,0002		0,0004		0,0050	
2076	1110		0,0010		0,0002		0,0004		0,0052	
2076	1111		0,0018		0,0003		0,0007		0,0088	
2076	1112		0,0020		0,0003		0,0008		0,0099	
2076	1113		0,0054		0,0008		0,0022		0,0272	
2076	1114		0,0070		0,0011		0,0028		0,0352	
2080	820		0,0027		0,0004		0,0011		0,0136	
2097	771		0,0012		0,0002		0,0005		0,0058	

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1		Expositionsszenario 2		Expositionsszenario 3		Expositionsszenario 4	
Rex_Nr	Rex_Probe	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 100 h
2097	826	0,0014	0,0002	0,0006	0,0072			0,0072	
2115	816	0,0030	0,0005	0,0012	0,0152			0,0152	
2115	817	0,0023	0,0003	0,0009	0,0115			0,0115	
2188	878	0,0013	0,0002	0,0005	0,0063			0,0063	
2192	879	0,0035	0,0005	0,0014	0,0175			0,0175	
2237	778	0,0011	0,0002	0,0005	0,0057			0,0057	
3006	1128	0,0023	0,0004	0,0009	0,0117			0,0117	
3009	899	0,0026	0,0004	0,0011	0,0132			0,0132	
3019	971	0,0011	0,0002	0,0004	0,0053			0,0053	
3024	808	0,1088	0,0163	0,0435	0,5440			0,5440	
3036	929	0,0051	0,0008	0,0021	0,0257			0,0257	
3038	1062	0,0064	0,0010	0,0026	0,0319			0,0319	
3053	792	0,0215	0,0032	0,0086	0,1077			0,1077	
3053	1143	0,0016	0,0002	0,0006	0,0079			0,0079	
3053	1157	0,0016	0,0002	0,0006	0,0079			0,0079	
3054	794	0,0015	0,0002	0,0006	0,0073			0,0073	
3056	791	0,0012	0,0002	0,0005	0,0059			0,0059	
3058	795	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051			0,0051	
3059	821	0,0011	0,0002	0,0004	0,0055			0,0055	
3065	1064	0,0016	0,0002	0,0006	0,0080			0,0080	
3070	767	0,0013	0,0002	0,0005	0,0066			0,0066	
3071	895	0,0023	0,0003	0,0009	0,0115			0,0115	
3071	896	0,0012	0,0002	0,0005	0,0059			0,0059	
3073	956	0,0645	0,0097	0,0258	0,3227			0,3227	
3076	880	0,0016	0,0002	0,0006	0,0078			0,0078	
3082	814	0,0010	0,0002	0,0004	0,0052			0,0052	
3097	1126	0,0045	0,0007	0,0018	0,0226			0,0226	
3100	789	0,0012	0,0002	0,0005	0,0061			0,0061	
3104	882	0,0014	0,0002	0,0006	0,0070			0,0070	
3114	883	0,0020	0,0003	0,0008	0,0098			0,0098	
3125	881	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051			0,0051	
3128	884	0,0026	0,0004	0,0011	0,0132			0,0132	
3137	819	0,0011	0,0002	0,0004	0,0053			0,0053	

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1		Expositionsszenario 2		Expositionsszenario 3		Expositionsszenario 4	
Rex_Nr	Rex_Probe	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 100 h
3161	980	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051	0,0004	0,0004	0,0051	0,0051
3163	1116	0,0045	0,0007	0,0018	0,0226	0,0018	0,0018	0,0226	0,0226
3198	1060	0,0017	0,0003	0,0007	0,0085	0,0007	0,0007	0,0085	0,0085
3200	1061	0,0039	0,0006	0,0016	0,0197	0,0016	0,0016	0,0197	0,0197
3200	1092	0,0034	0,0005	0,0013	0,0168	0,0013	0,0013	0,0168	0,0168
3227	1090	0,0015	0,0002	0,0006	0,0074	0,0006	0,0006	0,0074	0,0074
3269	1089	0,0044	0,0007	0,0018	0,0222	0,0018	0,0018	0,0222	0,0222
3315	867	0,1303	0,0196	0,0521	0,6517	0,0521	0,0521	0,6517	0,6517
3319	810	0,0095	0,0014	0,0038	0,0473	0,0038	0,0038	0,0473	0,0473
3319	811	0,0118	0,0018	0,0047	0,0590	0,0047	0,0047	0,0590	0,0590
3326	751	0,0025	0,0004	0,0010	0,0125	0,0010	0,0010	0,0125	0,0125
3326	752	0,0027	0,0004	0,0011	0,0135	0,0011	0,0011	0,0135	0,0135
3328	1063	0,0015	0,0002	0,0006	0,0077	0,0006	0,0006	0,0077	0,0077
3356	1102	0,0051	0,0008	0,0020	0,0253	0,0020	0,0020	0,0253	0,0253
4006	861	0,0056	0,0008	0,0022	0,0281	0,0022	0,0022	0,0281	0,0281
4039	863	0,0038	0,0006	0,0015	0,0192	0,0015	0,0015	0,0192	0,0192
4047	964	0,0076	0,0011	0,0030	0,0378	0,0030	0,0030	0,0378	0,0378
4049	975	0,0010	0,0002	0,0004	0,0052	0,0004	0,0004	0,0052	0,0052
4053	1093	0,0020	0,0003	0,0008	0,0101	0,0008	0,0008	0,0101	0,0101
4055	966	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051	0,0004	0,0004	0,0051	0,0051
4055	967	0,0014	0,0002	0,0006	0,0070	0,0006	0,0006	0,0070	0,0070
4074	834	0,0046	0,0007	0,0019	0,0232	0,0019	0,0019	0,0232	0,0232
4086	873	0,0014	0,0002	0,0006	0,0072	0,0006	0,0006	0,0072	0,0072
4198	959	0,0039	0,0006	0,0016	0,0195	0,0016	0,0016	0,0195	0,0195
4204	874	0,0015	0,0002	0,0006	0,0074	0,0006	0,0006	0,0074	0,0074
4207	856	0,0017	0,0003	0,0007	0,0084	0,0007	0,0007	0,0084	0,0084
5007	931	0,0011	0,0002	0,0004	0,0056	0,0004	0,0004	0,0056	0,0056
5010	904	0,0011	0,0002	0,0004	0,0055	0,0004	0,0004	0,0055	0,0055
5010	906	0,0017	0,0003	0,0007	0,0083	0,0007	0,0007	0,0083	0,0083
5010	907	0,0012	0,0002	0,0005	0,0058	0,0005	0,0005	0,0058	0,0058
5010	908	0,0011	0,0002	0,0004	0,0053	0,0004	0,0004	0,0053	0,0053
5040	822	0,0019	0,0003	0,0008	0,0095	0,0008	0,0008	0,0095	0,0095
5055	1067	0,0142	0,0021	0,0057	0,0708	0,0057	0,0057	0,0708	0,0708

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1				Expositionsszenario 2				Expositionsszenario 3				Expositionsszenario 4			
Rex_Nr	Rex_Probe	t= 20 h				t= 3 h				t = 8 h				t = 100 h			
5065	851	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077
5065	852	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0123	0,0123	0,0123	0,0123
5065	853	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055
5065	854	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0106	0,0106	0,0106	0,0106
5074	1135	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0060	0,0060	0,0060	0,0060
5074	1136	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0059	0,0059	0,0059	0,0059
5086	1127	0,0026	0,0026	0,0026	0,0026	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0131	0,0131	0,0131	0,0131
5111	1120	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0052	0,0052	0,0052	0,0052
5124	934	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054
5196	1097	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0065	0,0065	0,0065	0,0065
5197	1119	0,0046	0,0046	0,0046	0,0046	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0229	0,0229	0,0229	0,0229
5203	1085	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050
5203	1086	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
5207	858	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077
5210	969	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068
5212	1130	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0073	0,0073	0,0073	0,0073
5221	897	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0156	0,0156	0,0156	0,0156
5221	898	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064
5226	1058	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0059	0,0059	0,0059	0,0059
5233	891	0,0315	0,0315	0,0315	0,0315	0,0047	0,0047	0,0047	0,0047	0,0126	0,0126	0,0126	0,0126	0,1576	0,1576	0,1576	0,1576
5237	927	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0063	0,0063	0,0063	0,0063
5241	901	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057
5241	902	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0051	0,0051	0,0051	0,0051
5241	903	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066
5242	832	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0053	0,0053	0,0053	0,0053
5245	965	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0067	0,0067	0,0067	0,0067
5250	968	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057
5271	932	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0285	0,0285	0,0285	0,0285
5276	774	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0069	0,0069	0,0069	0,0069
5283	1121	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0146	0,0146	0,0146	0,0146
5293	768	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0051	0,0051	0,0051	0,0051
5294	773	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
5296	1133	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1		Expositionsszenario 2		Expositionsszenario 3		Expositionsszenario 4	
Rex_Nr	Rex_Probe	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 100 h
5304	831	0,0012	0,0002	0,0005	0,0060	0,0005	0,0005	0,0060	0,0060
5305	805	0,0015	0,0002	0,0006	0,0073	0,0006	0,0006	0,0073	0,0073
5306	1096	0,0121	0,0018	0,0048	0,0605	0,0048	0,0048	0,0605	0,0605
5308	775	0,0014	0,0002	0,0006	0,0072	0,0006	0,0006	0,0072	0,0072
5316	769	0,0012	0,0002	0,0005	0,0061	0,0005	0,0005	0,0061	0,0061
5318	930	0,0010	0,0002	0,0004	0,0050	0,0004	0,0004	0,0050	0,0050
5319	972	0,0013	0,0002	0,0005	0,0064	0,0005	0,0005	0,0064	0,0064
5320	1125	0,0014	0,0002	0,0006	0,0070	0,0006	0,0006	0,0070	0,0070
5322	813	0,0013	0,0002	0,0005	0,0063	0,0005	0,0005	0,0063	0,0063
5330	1103	0,0022	0,0003	0,0009	0,0111	0,0009	0,0009	0,0111	0,0111
5331	772	0,0037	0,0006	0,0015	0,0183	0,0015	0,0015	0,0183	0,0183
5338	782	0,0041	0,0006	0,0016	0,0205	0,0016	0,0016	0,0205	0,0205
5338	784	0,0093	0,0014	0,0037	0,0467	0,0037	0,0037	0,0467	0,0467
5338	786	0,0019	0,0003	0,0008	0,0095	0,0008	0,0008	0,0095	0,0095
5341	872	0,0041	0,0006	0,0017	0,0207	0,0017	0,0017	0,0207	0,0207
5343	829	0,0021	0,0003	0,0008	0,0104	0,0008	0,0008	0,0104	0,0104
5345	828	0,0019	0,0003	0,0008	0,0096	0,0008	0,0008	0,0096	0,0096
5352	900	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051	0,0004	0,0004	0,0051	0,0051
5367	1132	0,0013	0,0002	0,0005	0,0064	0,0005	0,0005	0,0064	0,0064
5370	960	0,0010	0,0002	0,0004	0,0052	0,0004	0,0004	0,0052	0,0052
5373	928	0,0017	0,0002	0,0007	0,0083	0,0007	0,0007	0,0083	0,0083
5404	830	0,0194	0,0029	0,0078	0,0970	0,0078	0,0078	0,0970	0,0970
5418	893	0,0011	0,0002	0,0005	0,0056	0,0005	0,0005	0,0056	0,0056
5418	894	0,0010	0,0002	0,0004	0,0050	0,0004	0,0004	0,0050	0,0050
6033	806	0,0157	0,0023	0,0063	0,0783	0,0063	0,0063	0,0783	0,0783
7015	776	0,0081	0,0012	0,0033	0,0407	0,0033	0,0033	0,0407	0,0407
7050	747	0,0119	0,0018	0,0048	0,0594	0,0048	0,0048	0,0594	0,0594
7050	754	0,0045	0,0007	0,0018	0,0227	0,0018	0,0018	0,0227	0,0227
7056	770	0,0060	0,0009	0,0024	0,0300	0,0024	0,0024	0,0300	0,0300
7063	1129	0,0085	0,0013	0,0034	0,0427	0,0034	0,0034	0,0427	0,0427
7064	962	0,0035	0,0005	0,0014	0,0174	0,0014	0,0014	0,0174	0,0174
7066	825	0,0111	0,0017	0,0044	0,0555	0,0044	0,0044	0,0555	0,0555
7071	870	0,0053	0,0008	0,0021	0,0267	0,0021	0,0021	0,0267	0,0267

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1		Expositionsszenario 2		Expositionsszenario 3		Expositionsszenario 4	
Rex_Nr	Rex_Probe	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 100 h
7071	871	0,0036	0,0005	0,0014	0,0180				
7071	1050	0,0058	0,0009	0,0023	0,0292				
7077	818	0,0032	0,0005	0,0013	0,0158				
7080	936	0,0117	0,0017	0,0047	0,0583				
7109	961	0,0025	0,0004	0,0010	0,0127				
7121	793	0,0143	0,0022	0,0057	0,0717				
7139	877	0,0155	0,0023	0,0062	0,0777				
7140	957	0,0026	0,0004	0,0010	0,0130				
7153	866	0,0050	0,0007	0,0020	0,0248				
7157	1065	0,0031	0,0005	0,0012	0,0153				
7172	937	0,0042	0,0006	0,0017	0,0211				
7178	1131	0,0052	0,0008	0,0021	0,0262				
7184	977	0,0037	0,0006	0,0015	0,0185				
7184	978	0,0028	0,0004	0,0011	0,0138				
7201	1148	0,0038	0,0006	0,0015	0,0189				
7223	812	0,0045	0,0007	0,0018	0,0225				
7227	1079	0,0021	0,0003	0,0009	0,0106				
7228	1080	0,0011	0,0002	0,0004	0,0054				
7228	1081	0,0013	0,0002	0,0005	0,0065				
7228	1082	0,0011	0,0002	0,0004	0,0053				
7241	1118	0,0047	0,0007	0,0019	0,0233				
7249	1078	0,0085	0,0013	0,0034	0,0426				
7251	1083	0,0026	0,0004	0,0010	0,0128				
7251	1084	0,0015	0,0002	0,0006	0,0076				
7265	933	0,0029	0,0004	0,0012	0,0147				
7289	1107	0,0038	0,0006	0,0015	0,0189				
7302	1098	0,0045	0,0007	0,0018	0,0225				
7306	750	0,0061	0,0009	0,0024	0,0303				
7328	958	0,0049	0,0007	0,0019	0,0243				
7329	1095	0,0037	0,0006	0,0015	0,0185				
7331	1066	0,0047	0,0007	0,0019	0,0235				
7339	979	0,0068	0,0010	0,0027	0,0339				
7354	974	0,0032	0,0005	0,0013	0,0159				

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1	Expositionsszenario 2	Expositionsszenario 3	Expositionsszenario 4
Rex_Nr	Rex_Probe	t= 20 h	t= 3 h	t = 8 h	t = 100 h
7355	892	0,0036	0,0005	0,0014	0,0181
7360	973	0,0034	0,0005	0,0013	0,0168
7362	790	0,0049	0,0007	0,0020	0,0247
7372	859	0,0034	0,0005	0,0014	0,0172
7428	833	0,0029	0,0004	0,0012	0,0144
7429	855	0,0014	0,0002	0,0006	0,0071
7452	1059	0,0043	0,0007	0,0017	0,0217
7462	1094	0,0044	0,0007	0,0018	0,0219
7478	1115	0,0044	0,0007	0,0018	0,0222
7481	976	0,0037	0,0006	0,0015	0,0186
8074	935	0,0044	0,0007	0,0018	0,0219
8160	1091	0,0080	0,0012	0,0032	0,0400
8274	1087	0,0203	0,0030	0,0081	0,1014
8274	1088	0,0154	0,0023	0,0062	0,0771
8366	824	0,0015	0,0002	0,0006	0,0074

Dosisabschätzung mit Staubkonzentration von 0,003 g/m³

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1	Expositionsszenario 2	Expositionsszenario 3	Expositionsszenario 4
Rex_Nr	Rex_Probe	t= 20 h	t= 3 h	t = 8 h	t = 100 h
1	796	0,0010	0,0002	0,0004	0,0050
1	800	0,0010	0,0002	0,0004	0,0050
1	801	0,0012	0,0002	0,0005	0,0058
5	803	0,0011	0,0002	0,0004	0,0054
5	804	0,0013	0,0002	0,0005	0,0064
14	802	0,0016	0,0002	0,0007	0,0082
15	963	0,0012	0,0002	0,0005	0,0062
1005	777	0,0011	0,0002	0,0004	0,0054
1009	860	0,0012	0,0002	0,0005	0,0058
1017	823	0,0010	0,0002	0,0004	0,0050
1030	869	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051
1032	876	0,0010	0,0002	0,0004	0,0050

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1			Expositionsszenario 2			Expositionsszenario 3			Expositionsszenario 4		
ReX_Nr	ReX_Probe	t= 20 h			t= 3 h			t = 8 h			t = 100 h		
1035	1104	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0052	0,0052	
1043	1117	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0051	0,0051	
1077	835	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0052	0,0052	
1085	1099	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0055	0,0055	
1093	1122	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0055	0,0055	
1093	1123	0,0013	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0064	0,0064	
1093	1124	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0054	0,0054	
1094	1100	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0050	0,0050	
1098	1101	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0050	0,0050	
2076	1110	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0051	0,0051	
2076	1111	0,0013	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0063	0,0063	
2076	1112	0,0013	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0065	0,0065	
2076	1113	0,0025	0,0004	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0010	0,0010	0,0127	0,0127	
2076	1114	0,0029	0,0004	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0012	0,0012	0,0145	0,0145	
2080	820	0,0015	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0006	0,0006	0,0077	0,0077	
2097	771	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0053	0,0053	
2097	826	0,0012	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0058	0,0058	
2115	816	0,0016	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,0007	0,0082	0,0082	
2115	817	0,0014	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0006	0,0006	0,0071	0,0071	
2188	878	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0054	0,0054	
2192	879	0,0018	0,0003	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,0007	0,0089	0,0089	
2237	778	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0052	0,0052	
3006	1128	0,0015	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0006	0,0006	0,0076	0,0076	
3009	899	0,0015	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0006	0,0006	0,0076	0,0076	
3019	971	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0051	0,0051	
3024	808	0,0365	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0146	0,0146	0,1823	0,1823	0,1823	0,1823	
3036	929	0,0023	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0009	0,0009	0,0117	0,0117	0,0117	0,0117	
3038	1062	0,0028	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0011	0,0011	0,0138	0,0138	0,0138	0,0138	
3053	792	0,0080	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0032	0,0032	0,0399	0,0399	0,0399	0,0399	
3053	1143	0,0013	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0005	0,0005	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	
3053	1157	0,0013	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0005	0,0005	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	
3054	794	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0005	0,0005	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	
3056	791	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0053	0,0053	0,0053	0,0053	

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1			Expositionsszenario 2			Expositionsszenario 3			Expositionsszenario 4				
Rex_Nr	Rex_Probe	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 100 h
3058	795	0,0010	0,0002	0,0004	0,0004	0,0050	0,0010	0,0002	0,0004	0,0004	0,0050	0,0010	0,0002	0,0004	0,0050
3059	821	0,0010	0,0002	0,0004	0,0004	0,0051	0,0010	0,0002	0,0004	0,0004	0,0051	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051
3065	1064	0,0012	0,0002	0,0005	0,0005	0,0059	0,0012	0,0002	0,0005	0,0005	0,0059	0,0012	0,0002	0,0005	0,0059
3070	767	0,0011	0,0002	0,0004	0,0004	0,0055	0,0011	0,0002	0,0004	0,0004	0,0055	0,0011	0,0002	0,0004	0,0055
3071	895	0,0014	0,0002	0,0006	0,0006	0,0072	0,0014	0,0002	0,0006	0,0006	0,0072	0,0014	0,0002	0,0006	0,0072
3071	896	0,0011	0,0002	0,0004	0,0004	0,0053	0,0011	0,0002	0,0004	0,0004	0,0053	0,0011	0,0002	0,0004	0,0053
3073	956	0,0258	0,0039	0,0103	0,0103	0,1291	0,0258	0,0039	0,0103	0,0103	0,1291	0,0258	0,0039	0,0103	0,1291
3076	880	0,0012	0,0002	0,0005	0,0005	0,0059	0,0012	0,0002	0,0005	0,0005	0,0059	0,0012	0,0002	0,0005	0,0059
3082	814	0,0010	0,0002	0,0004	0,0004	0,0051	0,0010	0,0002	0,0004	0,0004	0,0051	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051
3097	1126	0,0022	0,0003	0,0009	0,0009	0,0108	0,0022	0,0003	0,0009	0,0009	0,0108	0,0022	0,0003	0,0009	0,0108
3100	789	0,0011	0,0002	0,0004	0,0004	0,0054	0,0011	0,0002	0,0004	0,0004	0,0054	0,0011	0,0002	0,0004	0,0054
3104	882	0,0011	0,0002	0,0005	0,0005	0,0057	0,0011	0,0002	0,0005	0,0005	0,0057	0,0011	0,0002	0,0005	0,0057
3114	883	0,0013	0,0002	0,0005	0,0005	0,0066	0,0013	0,0002	0,0005	0,0005	0,0066	0,0013	0,0002	0,0005	0,0066
3125	881	0,0010	0,0002	0,0004	0,0004	0,0051	0,0010	0,0002	0,0004	0,0004	0,0051	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051
3128	884	0,0015	0,0002	0,0006	0,0006	0,0075	0,0015	0,0002	0,0006	0,0006	0,0075	0,0015	0,0002	0,0006	0,0075
3137	819	0,0010	0,0002	0,0004	0,0004	0,0051	0,0010	0,0002	0,0004	0,0004	0,0051	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051
3161	980	0,0010	0,0002	0,0004	0,0004	0,0050	0,0010	0,0002	0,0004	0,0004	0,0050	0,0010	0,0002	0,0004	0,0050
3163	1116	0,0021	0,0003	0,0008	0,0008	0,0104	0,0021	0,0003	0,0008	0,0008	0,0104	0,0021	0,0003	0,0008	0,0104
3198	1060	0,0012	0,0002	0,0005	0,0005	0,0061	0,0012	0,0002	0,0005	0,0005	0,0061	0,0012	0,0002	0,0005	0,0061
3200	1061	0,0019	0,0003	0,0008	0,0008	0,0097	0,0019	0,0003	0,0008	0,0008	0,0097	0,0019	0,0003	0,0008	0,0097
3200	1092	0,0018	0,0003	0,0007	0,0007	0,0088	0,0018	0,0003	0,0007	0,0007	0,0088	0,0018	0,0003	0,0007	0,0088
3227	1090	0,0012	0,0002	0,0005	0,0005	0,0058	0,0012	0,0002	0,0005	0,0005	0,0058	0,0012	0,0002	0,0005	0,0058
3269	1089	0,0021	0,0003	0,0008	0,0008	0,0104	0,0021	0,0003	0,0008	0,0008	0,0104	0,0021	0,0003	0,0008	0,0104
3315	867	0,0577	0,0087	0,0231	0,0231	0,2884	0,0577	0,0087	0,0231	0,0231	0,2884	0,0577	0,0087	0,0231	0,2884
3319	810	0,0038	0,0006	0,0015	0,0015	0,0192	0,0038	0,0006	0,0015	0,0015	0,0192	0,0038	0,0006	0,0015	0,0192
3319	811	0,0048	0,0007	0,0019	0,0019	0,0242	0,0048	0,0007	0,0019	0,0019	0,0242	0,0048	0,0007	0,0019	0,0242
3326	751	0,0015	0,0002	0,0006	0,0006	0,0074	0,0015	0,0002	0,0006	0,0006	0,0074	0,0015	0,0002	0,0006	0,0074
3326	752	0,0015	0,0002	0,0006	0,0006	0,0077	0,0015	0,0002	0,0006	0,0006	0,0077	0,0015	0,0002	0,0006	0,0077
3328	1063	0,0012	0,0002	0,0005	0,0005	0,0059	0,0012	0,0002	0,0005	0,0005	0,0059	0,0012	0,0002	0,0005	0,0059
3356	1102	0,0023	0,0003	0,0009	0,0009	0,0115	0,0023	0,0003	0,0009	0,0009	0,0115	0,0023	0,0003	0,0009	0,0115
4006	861	0,0025	0,0004	0,0010	0,0010	0,0123	0,0025	0,0004	0,0010	0,0010	0,0123	0,0025	0,0004	0,0010	0,0123
4039	863	0,0019	0,0003	0,0008	0,0008	0,0095	0,0019	0,0003	0,0008	0,0008	0,0095	0,0019	0,0003	0,0008	0,0095
4047	964	0,0033	0,0005	0,0013	0,0013	0,0167	0,0033	0,0005	0,0013	0,0013	0,0167	0,0033	0,0005	0,0013	0,0167

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1			Expositionsszenario 2			Expositionsszenario 3			Expositionsszenario 4		
Rex_Nr	Rex_Probe	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 100 h	
4049	975	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0051	0,0002	0,0005	0,0051	
4053	1093	0,0013	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0067	0,0002	0,0005	0,0067	
4055	966	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0050	0,0002	0,0005	0,0050	
4055	967	0,0011	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0057	0,0002	0,0005	0,0057	
4074	834	0,0021	0,0003	0,0009	0,0003	0,0005	0,0004	0,0004	0,0107	0,0003	0,0009	0,0107	
4086	873	0,0011	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0057	0,0002	0,0005	0,0057	
4198	959	0,0019	0,0003	0,0008	0,0003	0,0005	0,0004	0,0004	0,0096	0,0003	0,0008	0,0096	
4204	874	0,0012	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0058	0,0002	0,0005	0,0058	
4207	856	0,0013	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0064	0,0002	0,0005	0,0064	
5007	931	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0052	0,0002	0,0005	0,0052	
5010	904	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0052	0,0002	0,0005	0,0052	
5010	906	0,0012	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0062	0,0002	0,0005	0,0062	
5010	907	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0053	0,0002	0,0005	0,0053	
5010	908	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0051	0,0002	0,0005	0,0051	
5040	822	0,0013	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0065	0,0002	0,0005	0,0065	
5055	1067	0,0062	0,0009	0,0025	0,0009	0,0025	0,0025	0,0025	0,0312	0,0009	0,0025	0,0312	
5065	851	0,0012	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0060	0,0002	0,0005	0,0060	
5065	852	0,0016	0,0002	0,0006	0,0002	0,0006	0,0006	0,0006	0,0078	0,0002	0,0006	0,0078	
5065	853	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0052	0,0002	0,0005	0,0052	
5065	854	0,0014	0,0002	0,0006	0,0002	0,0006	0,0006	0,0006	0,0071	0,0002	0,0006	0,0071	
5074	1135	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0054	0,0002	0,0005	0,0054	
5074	1136	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0053	0,0002	0,0005	0,0053	
5086	1127	0,0015	0,0002	0,0006	0,0002	0,0006	0,0006	0,0006	0,0075	0,0002	0,0006	0,0075	
5111	1120	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0051	0,0002	0,0005	0,0051	
5124	934	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0052	0,0002	0,0005	0,0052	
5196	1097	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0056	0,0002	0,0005	0,0056	
5197	1119	0,0021	0,0003	0,0008	0,0003	0,0008	0,0008	0,0008	0,0106	0,0003	0,0008	0,0106	
5203	1085	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0050	0,0002	0,0005	0,0050	
5203	1086	0,0012	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0060	0,0002	0,0005	0,0060	
5207	858	0,0012	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0061	0,0002	0,0005	0,0061	
5210	969	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0057	0,0002	0,0005	0,0057	
5212	1130	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0057	0,0002	0,0005	0,0057	
5221	897	0,0017	0,0003	0,0007	0,0003	0,0007	0,0007	0,0007	0,0085	0,0003	0,0007	0,0085	

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1		Expositionsszenario 2		Expositionsszenario 3		Expositionsszenario 4	
Rex_Nr	Rex_Probe	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 100 h
5221	898	0,0011	0,0002	0,0004	0,0056	0,0004	0,0004	0,0056	0,0056
5226	1058	0,0011	0,0002	0,0004	0,0054	0,0004	0,0004	0,0054	0,0054
5233	891	0,0142	0,0021	0,0057	0,0710	0,0057	0,0057	0,0710	0,0710
5237	927	0,0011	0,0002	0,0004	0,0055	0,0004	0,0004	0,0055	0,0055
5241	901	0,0011	0,0002	0,0004	0,0053	0,0004	0,0004	0,0053	0,0053
5241	902	0,0010	0,0002	0,0004	0,0050	0,0004	0,0004	0,0050	0,0050
5241	903	0,0011	0,0002	0,0005	0,0057	0,0005	0,0005	0,0057	0,0057
5242	832	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051	0,0004	0,0004	0,0051	0,0051
5245	965	0,0011	0,0002	0,0005	0,0057	0,0005	0,0005	0,0057	0,0057
5250	968	0,0010	0,0002	0,0004	0,0052	0,0004	0,0004	0,0052	0,0052
5271	932	0,0025	0,0004	0,0010	0,0124	0,0010	0,0010	0,0124	0,0124
5276	774	0,0011	0,0002	0,0005	0,0057	0,0005	0,0005	0,0057	0,0057
5283	1121	0,0016	0,0002	0,0006	0,0080	0,0006	0,0006	0,0080	0,0080
5293	768	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051	0,0004	0,0004	0,0051	0,0051
5294	773	0,0010	0,0002	0,0004	0,0052	0,0004	0,0004	0,0052	0,0052
5296	1133	0,0011	0,0002	0,0004	0,0053	0,0004	0,0004	0,0053	0,0053
5304	831	0,0011	0,0002	0,0004	0,0053	0,0004	0,0004	0,0053	0,0053
5305	805	0,0011	0,0002	0,0005	0,0057	0,0005	0,0005	0,0057	0,0057
5306	1096	0,0049	0,0007	0,0020	0,0246	0,0020	0,0020	0,0246	0,0246
5308	775	0,0012	0,0002	0,0005	0,0058	0,0005	0,0005	0,0058	0,0058
5316	769	0,0011	0,0002	0,0004	0,0054	0,0004	0,0004	0,0054	0,0054
5318	930	0,0010	0,0002	0,0004	0,0050	0,0004	0,0004	0,0050	0,0050
5319	972	0,0011	0,0002	0,0004	0,0055	0,0004	0,0004	0,0055	0,0055
5320	1125	0,0011	0,0002	0,0005	0,0057	0,0005	0,0005	0,0057	0,0057
5322	813	0,0011	0,0002	0,0004	0,0055	0,0004	0,0004	0,0055	0,0055
5330	1103	0,0014	0,0002	0,0006	0,0069	0,0006	0,0006	0,0069	0,0069
5331	772	0,0020	0,0003	0,0008	0,0101	0,0008	0,0008	0,0101	0,0101
5338	782	0,0020	0,0003	0,0008	0,0099	0,0008	0,0008	0,0099	0,0099
5338	784	0,0038	0,0006	0,0015	0,0191	0,0015	0,0015	0,0191	0,0191
5338	786	0,0014	0,0002	0,0005	0,0068	0,0005	0,0005	0,0068	0,0068
5341	872	0,0020	0,0003	0,0008	0,0102	0,0008	0,0008	0,0102	0,0102
5343	829	0,0013	0,0002	0,0005	0,0067	0,0005	0,0005	0,0067	0,0067
5345	828	0,0013	0,0002	0,0005	0,0065	0,0005	0,0005	0,0065	0,0065

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1			Expositionsszenario 2			Expositionsszenario 3			Expositionsszenario 4		
Rex_Nr	Rex_Probe	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 100 h	
5352	900	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0050	0,0050	0,0050	
5367	1132	0,0011	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0056	0,0056	0,0056	
5370	960	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0051	0,0051	0,0051	
5373	928	0,0012	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0061	0,0061	0,0061	
5404	830	0,0077	0,0012	0,0031	0,0012	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,0387	0,0387	0,0387	
5418	893	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0052	0,0052	0,0052	
5418	894	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0050	0,0050	0,0050	
6033	806	0,0057	0,0009	0,0023	0,0009	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0287	0,0287	0,0287	
7015	776	0,0033	0,0005	0,0013	0,0005	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0163	0,0163	0,0163	
7050	747	0,0048	0,0007	0,0019	0,0007	0,0019	0,0019	0,0019	0,0019	0,0242	0,0242	0,0242	
7050	754	0,0021	0,0003	0,0009	0,0003	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0107	0,0107	0,0107	
7056	770	0,0026	0,0004	0,0010	0,0004	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0129	0,0129	0,0129	
7063	1129	0,0035	0,0005	0,0014	0,0005	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0174	0,0174	0,0174	
7064	962	0,0018	0,0003	0,0007	0,0003	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0090	0,0090	0,0090	
7066	825	0,0046	0,0007	0,0018	0,0007	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0229	0,0229	0,0229	
7071	870	0,0024	0,0004	0,0009	0,0004	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0119	0,0119	0,0119	
7071	871	0,0018	0,0003	0,0007	0,0003	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0091	0,0091	0,0091	
7071	1050	0,0025	0,0004	0,0010	0,0004	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0127	0,0127	0,0127	
7077	818	0,0017	0,0003	0,0007	0,0003	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0085	0,0085	0,0085	
7080	936	0,0045	0,0007	0,0018	0,0007	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0225	0,0225	0,0225	
7109	961	0,0015	0,0002	0,0006	0,0002	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0074	0,0074	0,0074	
7121	793	0,0054	0,0008	0,0022	0,0008	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0271	0,0271	0,0271	
7139	877	0,0056	0,0008	0,0022	0,0008	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0281	0,0281	0,0281	
7140	957	0,0015	0,0002	0,0006	0,0002	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0075	0,0075	0,0075	
7153	866	0,0023	0,0003	0,0009	0,0003	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0114	0,0114	0,0114	
7157	1065	0,0017	0,0002	0,0007	0,0002	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0083	0,0083	0,0083	
7172	937	0,0020	0,0003	0,0008	0,0003	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0100	0,0100	0,0100	
7178	1131	0,0023	0,0003	0,0009	0,0003	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0117	0,0117	0,0117	
7184	977	0,0019	0,0003	0,0007	0,0003	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0093	0,0093	0,0093	
7184	978	0,0016	0,0002	0,0006	0,0002	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0078	0,0078	0,0078	
7201	1148	0,0019	0,0003	0,0008	0,0003	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0094	0,0094	0,0094	
7223	812	0,0021	0,0003	0,0009	0,0003	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0107	0,0107	0,0107	
7227	1079	0,0013	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0067	0,0067	0,0067	

Einheit [mSv]		Expositionsszenario 1			Expositionsszenario 2			Expositionsszenario 3			Expositionsszenario 4		
Rex_Nr	Rex_Probe	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 100 h	t= 20 h	t= 3 h	t= 8 h	t= 100 h
7228	1080	0,0010	0,0002	0,0004	0,0052								
7228	1081	0,0011	0,0002	0,0004	0,0056								
7228	1082	0,0010	0,0002	0,0004	0,0051								
7241	1118	0,0022	0,0003	0,0009	0,0110								
7249	1078	0,0033	0,0005	0,0013	0,0167								
7251	1083	0,0015	0,0002	0,0006	0,0075								
7251	1084	0,0012	0,0002	0,0005	0,0058								
7265	933	0,0016	0,0002	0,0006	0,0081								
7289	1107	0,0019	0,0003	0,0008	0,0094								
7302	1098	0,0021	0,0003	0,0008	0,0106								
7306	750	0,0026	0,0004	0,0010	0,0130								
7328	958	0,0022	0,0003	0,0009	0,0110								
7329	1095	0,0019	0,0003	0,0007	0,0093								
7331	1066	0,0022	0,0003	0,0009	0,0110								
7339	979	0,0030	0,0004	0,0012	0,0148								
7354	974	0,0017	0,0003	0,0007	0,0084								
7355	892	0,0019	0,0003	0,0007	0,0093								
7360	973	0,0017	0,0003	0,0007	0,0087								
7362	790	0,0022	0,0003	0,0009	0,0112								
7372	859	0,0018	0,0003	0,0007	0,0089								
7428	833	0,0016	0,0002	0,0006	0,0081								
7429	855	0,0012	0,0002	0,0005	0,0058								
7452	1059	0,0021	0,0003	0,0008	0,0103								
7462	1094	0,0021	0,0003	0,0008	0,0105								
7478	1115	0,0021	0,0003	0,0008	0,0105								
7481	976	0,0019	0,0003	0,0007	0,0093								
8074	935	0,0021	0,0003	0,0008	0,0105								
8160	1091	0,0032	0,0005	0,0013	0,0161								
8274	1087	0,0077	0,0012	0,0031	0,0387								
8274	1088	0,0061	0,0009	0,0024	0,0304								
8366	824	0,0012	0,0002	0,0005	0,0058								

Anhang V: Empfehlungen an die Wasserwerke zur Dosisreduzierung

Empfehlungen zur Entsorgung und Dosisreduzierung beim Umgang mit erhöhten Gehalten an natürlichen Radionukliden in Rückspülschlämmen aus der Trinkwasseraufbereitung

Untersuchungen an Rückspülschlämmen aus der Trinkwasseraufbereitung in ganz Bayern haben ergeben, dass in manchen Schlämmen die natürliche Radioaktivität erhöht sein kann.

Erhöhte Aktivitäten finden sich vorwiegend in:

- Schlämmen aus der Enteisung/Entmanganung, insbesondere bei Wasser aus Tiefbrunnen mit niedrigem Sauerstoffgehalt (< 5 mg/L)
- Schlämmen aus Wässern, die im Keuper-Sandstein gewonnen werden
- Schlämmen aus Entsäuerungsanlagen mit hohem Radongehalt im Rohwasser (häufig in Granitgebieten)
- Wässern mit erhöhten Gehalten an Uran und/oder Radium.

Die Radioaktivitätskonzentrationen liegen in einer Größenordnung, die keine bestimmten Strahlenschutz-Maßnahmen erforderlich machen. Laut Strahlenschutzverordnung soll jedoch die **Dosis durch natürliche Radionuklide möglichst gering gehalten** werden.

Wir empfehlen Ihnen deshalb, im Rahmen des allgemeinen Arbeitsschutzes die unten aufgeführten Schutz-Maßnahmen beim Umgang mit den Schlämmen einzuhalten, um Aufnahme (Ingestion) und Einatmen (Inhalation) von Material zu vermeiden.

Schutz-Maßnahmen zur Dosisreduzierung:

- Verringerung der Aufenthaltszeit mit dem Material (z.B. Büroarbeitsplatz nicht im Raum der Aufbereitungshalle, insbesondere nicht neben den Filterkesseln).
- Aufteilung der Arbeiten auf mehrere Mitarbeiter.
- Schutzkleidung und Handschuhe tragen, v. a. bei Reinigung von Filterbehältern und Absetzbecken.
- Staubentwicklung vermeiden! Wenn nicht möglich, dann Atemschutz-Maske (FFP 3) und Kopfbedeckung tragen.
- Generell Verschleppung des Materials vermeiden.
- Während des Umgangs mit dem Material nicht Essen, Trinken, Rauchen oder auf die Toilette gehen.
- Verschmutzte Geräte reinigen, stark verschmutzte Arbeitskleidung separat waschen.

Empfehlungen für die Entsorgung:

- Keine Entsorgung in der Landwirtschaft oder im Landschafts-, Straßen- und Wegebau, da hier die Radionuklide unkontrolliert verbreitet und angereichert werden könnten.
- Bei Entsorgung auf einer Deponie ist eine gute Basisabdichtung erforderlich (DK I, II oder III, keine Bauschuttdeponie), damit die Radionuklide nicht in den Boden oder das Grundwasser gelangen.
- Bei der Entsorgung von mehreren Rückspülschlämmen (z. B. bei Betriebsführung für mehrere Wasserversorger) oder einer Aufenthalteszeit von mehr als 2 Stunden pro Woche mit dem Material wird empfohlen, eine Dosisberechnung durch das LfU/Referat 41 durchführen zu lassen. Dafür sind genaue Angaben zur Expositionszeit und Messungen vor Ort durch das LfU notwendig.

