

Radioaktivitätsparamter im Trinkwasser

- Bedeutung, Bewertung, Analytik -

10. Jahrestagung Trinkwasserringversuche
Nordrhein Westfalen – Niedersachsen

04.03.2009 - Osnabrück

Norbert Pilz
IWW-Rhein-Main, Biebesheim



IWW RHEINISCH-WESTFÄLISCHES INSTITUT FÜR
WASSERFORSCHUNG GEMEINNÜTZIGE GMBH

Institut an der

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

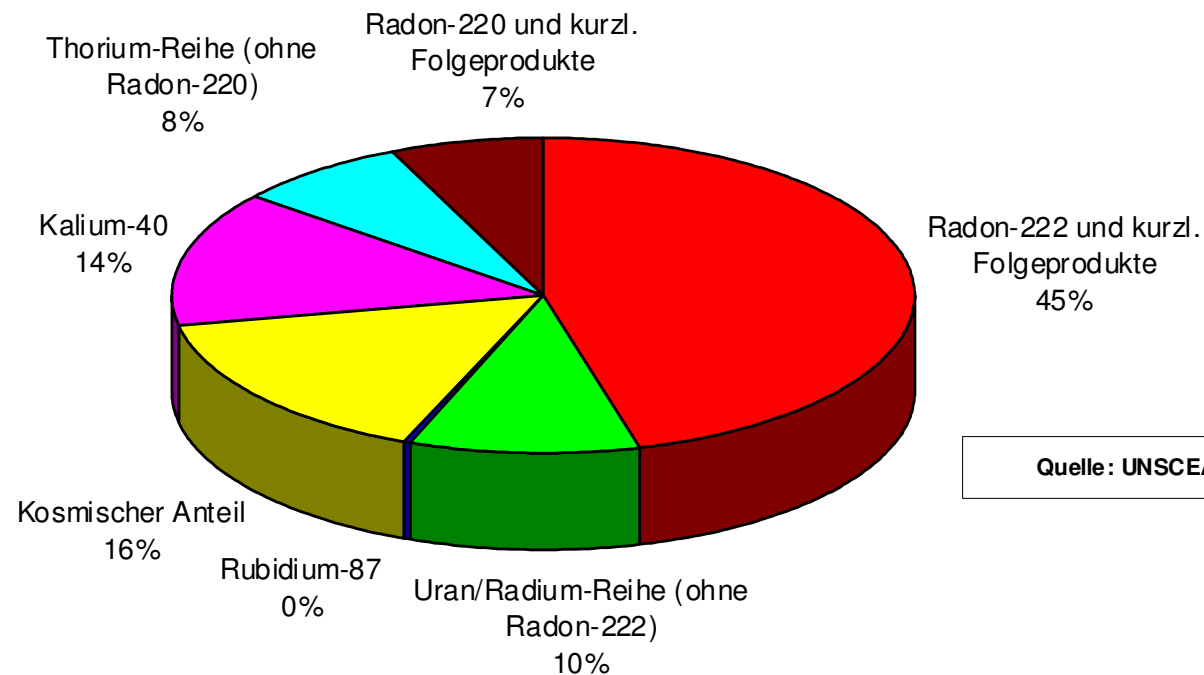


- **Fakten / Grundlagen**
- **heutige (gesetzliche) Regelungen**
- **zukünftige Regelungen (TrinkwV 2009)**
- **Analytik**
- **Fazit**

- **Fakten / Grundlagen**
- **heutige (gesetzliche) Regelungen**
- **zukünftige Regelungen (TrinkwV 2009)**
- **Analytik**
- **Fazit**

Grundlagen

Die natürliche Strahlenexposition des Menschen



In Deutschland durchschnittlich 2,4 mSv/a (1-10 mSv/a)

Grundlagen

Natürliche Radioaktivität in Nahrungsmitteln [mBq/(kg Frischmasse) bzw. mBq/l]

Nuklid	Nahrungsmittel		Trinkwasser		Mineralwasser	
	Mittel	Bereich	Mittel	Bereich	Mittel	Bereich
H-3	ca. 400		200		-	
C-14	ca. 70 000		-		-	
K-40	100 000	10 000 - 200 000	70	3 - 1200	660	30 - 10 000
U-238	10	< 5 - 200	5	0,5 - 300	7	0,4 - 1200
U-234	keine Angaben		5	0,8 - 300	20	0,4 - 2500
Ra-226	50	< 5 - 2 000	4,4	0,4 - 690	25	2 - 500
Rn-222	-	-	5600	110 - 550 000	-	-
Pb-210	100	< 10 - 10 000	1	0,2 - 200	9	2 - 50
Po-210	100	< 10 - 10 000	0,5	0,1 - 80	2	0,4 - 9
Th-232	10	< 10 - 50	0,5	0,1 - 4	keine Angaben	
Th-228	keine Angaben		1	0,2 - 6	9	1,2 - 50
Ra-228	50	< 10 - 1 000	1	0,4 - 300	keine Angaben	

nach Michel 2001

Grundlagen

Mittlere effektive Ingestionsdosis durch natürliche Radionuklide in mSv/a

Lebensmittel	Altersgruppe					
	<= 1 Jahr	> 1 - 2 Jahre	> 2 - 7 Jahre	> 7 - 12 Jahre	> 12 - 17 Jahre	> 17 Jahre
Trinkwasser		0,005	0,003	0,004	0,006	0,003
Gesamtnahrung (ohne Trinkwasser)	0,271*	0,181	0,141	0,138	0,16	0,041
effektive Dosis (ohne Kalium-40)	0,271	0,186	0,144	0,142	0,166	0,044
effektive Dosis durch Kalium- 40-Aktivität im Menschen **	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,165
effektive Dosis-Summe	0,456	0,371	0,329	0,327	0,351	0,209

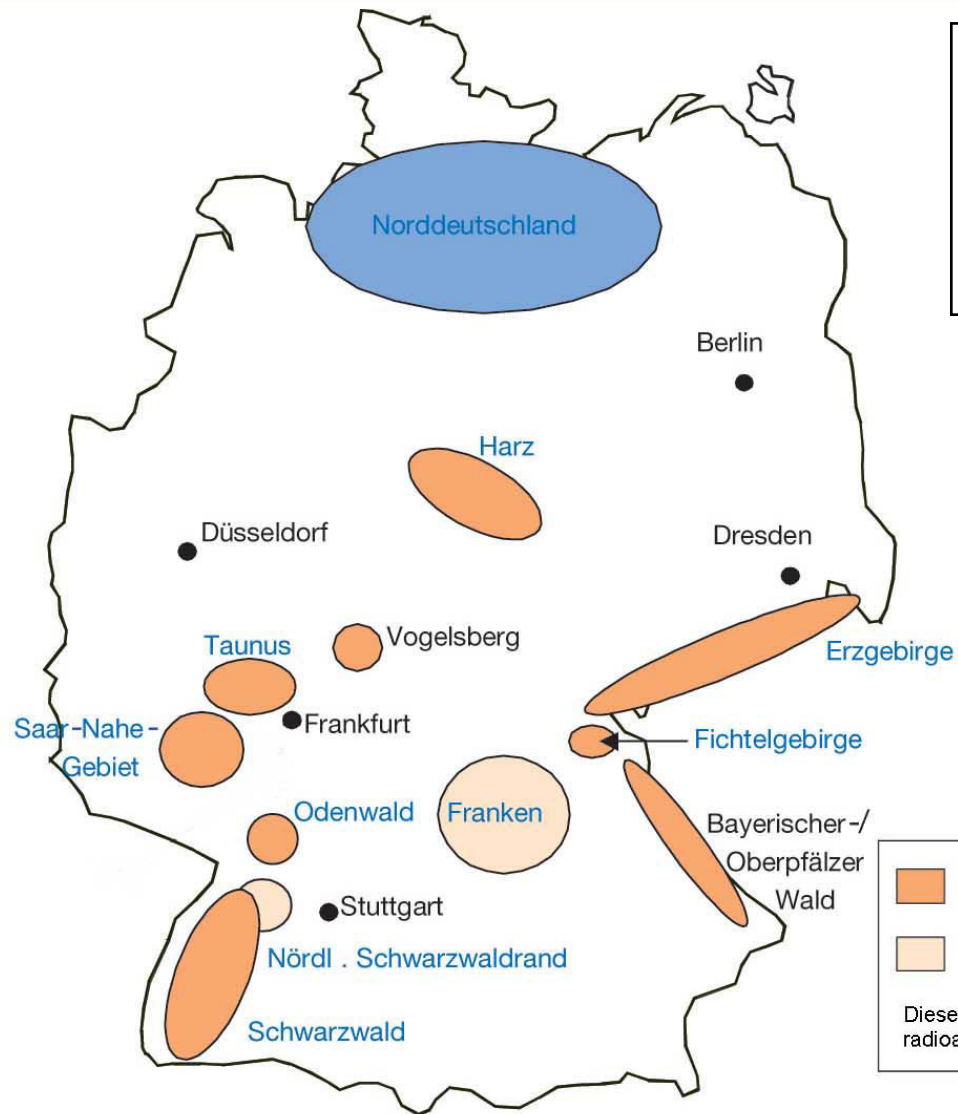
nach Michel 2001

* einschließlich Trinkwasser

** nach UNSCEAR-Report 2000

Grundlagen

Gebiete in Deutschland mit potenziell erhöhten Radionuklidgehalten im Grundwasser



Orange: Gebiete mit z.T. erhöhten Radionuklidgehalten im Grundwasser
Light orange: Gebiete mit mittleren Radionuklidgehalten im Grundwasser

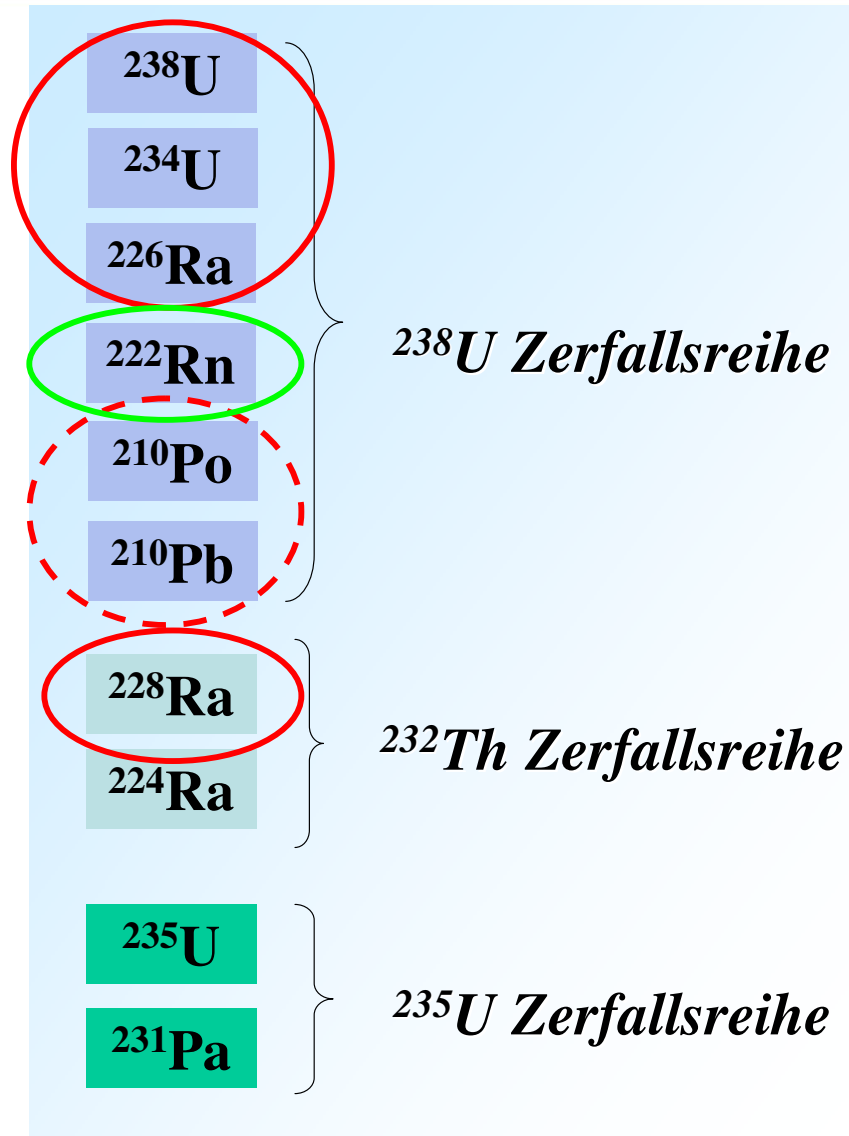
Blue: Gebiete mit niedrigen Radionuklidgehalten im Grundwasser

Diese Karte erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Prognosen über die Gehalte an radioaktiven Stoffen im Trinkwasser lassen sich aus der Karte nicht ableiten.

Spezifische Aktivitäten von Ra-226 und Th-232 in Gesteinen

Gesteinsart	Spezifische Aktivität in Bq/kg			
	Ra-226		Th-232	
	Mittelwert	von - bis	Mittelwert	von - bis
Granit	100	30 - 500	120	17 - 311
Gneis	75	50 - 157	43	22 - 50
Basalt	26	6 - 36	29	9 - 37
Kalkstein	24	4 - 41	5	2 - 20
Sandstein	20	13 - 70	29	9 - 37
Sand, Kiessand	15	1 - 39	16	1 - 64

Grundlagen



Trinkwasserrelevante
natürliche
Radionuklide

Grundlagen

Schwankungsbreite natürlicher Radionuklide in deutschen Trinkwässern [mBq/l]

Radionuklid	Wertebereich	Medianwert	95-Perzentil
H-3	40 – 4200	1900	3900
Sr-90	1,3 – 20	< 5	15
Cs-137	0,15 – 30	5,0	15
K-40	3 - 1200	70	800
U-238*)	< 0,5 - 440	16 (6**)	310
U-234*)	0,83 – 390	18	350
Th-230*)	0,1 – 9,0	2	8,6
Ra-226	< 0,5 – 260	5	32
Rn-222	< 2 – 1.500.000	5.900	160.000
Pb-210*)	< 0,2 - 620	6,9	170
Po-210*)	< 0,1 - 110	1,7	33
U-235*)	0,1 - 28	10 (3**)	
Th-232*)	< 0,1 – 4,3	0,5	3,5
Ra-228*)	< 4,5 - 130	12	23
Th-228*)	< 0,2 - 22	1	6,1
*) Die Aktivitätskonzentration dieser Radionuklide wurde überwiegend an Proben aus dem Erzgebirge und dem Vogtland bestimmt. **) Schätzung für das Gebiet der gesamten Bundesrepublik Deutschland			

heutige Regelungen

- **Fakten / Grundlagen**
- **heutige (gesetzliche) Regelungen**
- **zukünftige Regelungen (TrinkwV 2009)**
- **Analytik**
- **Fazit**

heutige Regelungen

Gesetzliche Regelungen zum Vorkommen von Radionukliden im Trinkwasser

- Richtlinien der WHO (1995)
Gesamtrichtdosis von 0,1 mSv / Jahr
- Europäische Union (seit 1998)
Gesamtrichtdosis von 0,1 mSv / Jahr
Tritium: 100 Bq/l
- Bundesrepublik Deutschland (seit Dez. 2003)
Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001
- Bundesrepublik Deutschland (**in Arbeit**)
Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2009

heutige Regelungen

Auszug aus Anlage 3 TrinkwV 2001

INDIKATORPARAMETER

Lfd. Nr.	Parameter	Einheit, als	Grenzwert/ Anforderung	Bemerkungen
.....				
19	Tritium	Bq/l	100	Anmerkungen 2 und 3
20	Gesamtrichtdosis	mSv/Jahr	0,1	Anmerkungen 2 bis 4

heutige Regelungen

Anmerkung 3:

Die zuständige Behörde ist nicht verpflichtet, eine Überwachung von Wasser für den menschlichen Gebrauch im Hinblick auf Tritium oder der Radioaktivität zur Festlegung der Gesamtrichtdosis durchzuführen, wenn sie auf der Grundlage anderer durchgeführter Überwachungen davon überzeugt ist, dass der Wert für Tritium bzw. der berechnete Gesamtrichtwert deutlich unter dem Parameterwert liegt. In diesem Fall teilt sie dem Bundesministerium für Gesundheit über die zuständige oberste Landesbehörde die Gründe für ihren Beschluss und die Ergebnisse dieser anderen Überwachungen mit.

Konsens:

- Eine Überwachung auf Tritium im Trinkwasser ist in Deutschland nicht notwendig.
- Eine Überwachung auf künstliche Radionuklide (zur Ermittlung der Gesamtrichtdosis) im Trinkwasser ist in Deutschland nicht notwendig.
- In beiden Fällen sind die Überwachungsprogramme für Emissionen von kerntechnischen Anlagen und zur Umweltüberwachung ausreichend, um eine unbemerkte Kontamination des Trinkwassers sicher ausschließen zu können.
- Alle vorliegenden Messwerte liegen weit unterhalb der Grenzwerte

heutige Regelungen

Anmerkung 2:

Die Kontrollhäufigkeit, die Kontrollmethoden und die relevantesten Überwachungsstandorte werden zu einem späteren Zeitpunkt gemäß dem nach Artikel 12 der Trinkwasserrichtlinie festgesetzten Verfahren festgelegt.

Probleme:

- Die „Artikel 12 Arbeitsgruppe“ der EU hatte einen Arbeitsauftrag bis Dezember 2000 !!!!
- Bis heute noch nicht fertig – Termin für Fertigstellung nicht absehbar
- Empfehlung des BMG an die zuständigen Aufsichtsbehörden die Überwachung auszusetzen, bis eine Regelung seitens der EU vorliegt.
- Wie ist die Gesamtrichtdosis zu ermitteln?
 - Welche Nuklide sind zu berücksichtigen?
 - Welche Dosiskonversionsfaktoren sind anzuwenden?
 - Von welchem Trinkwasserkonsum ist auszugehen?
 - Screeningmessungen – Einzelnuklide?
- Welche Kontrollhäufigkeit?

heutige Regelungen

Anmerkung 4:

Mit Ausnahme von Tritium, Kalium-40, Radon und Radonzerfallsprodukten

Konsens:

- Niemand will Tritium, Kalium-40 und Radon bei der Berechnung der Gesamtrichtdosis mit berücksichtigen

Problem:

- Pb-210 und Po-210 (Radonzerfallsprodukte) können durchaus nennenswerte Dosisbeiträge liefern.
- Problem ist vermutlich entstanden durch falsches Abschreiben aus den WHO-Guidelines! Dort sind nur die kurzlebigen Radonzerfallsprodukte ausgenommen.
- Thema wird nicht nur in Deutschland sondern auch in Europa kontrovers diskutiert.
- Novellierung der EU-Richtlinie für das Jahr 2013 geplant (Inkrafttreten)

heutige Regelungen

Berechnung der Gesamtrichtdosis

Die Gesamtrichtdosis kann prinzipiell nicht direkt gemessen werden, daher ist ein aufwendiger und teurer Einzelnuklidnachweis für die wesentlichen Radionuklide erforderlich

$$H_{\text{ges}} = \sum (\text{Aktivitätskonzentration} \times \text{Dosiskoeffizient}) \times \text{Trinkwasserkonsum}$$

Aktivitätskonzentrationen: messen

Dosiskoeffizienten: aus Tabellen

Trinkwasserkonsum:

- Zur Ermittlung von Trinkwassergrenzwerten: 2l/Tag => 720 l/Jahr
- nach StrSchV:

Altersgruppe	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	> 17
Trinkwasserkonsum	55(170)	100	100	150	200	350

heutige Regelungen

Berechnung der Gesamtrichtdosis

Dosiskoeffizienten bei Radionuklidaufnahme durch Ingestion (chronisch)

Altersgruppe	Ra-226 [$\mu\text{Sv/Bq}$]	Ra-228 [$\mu\text{Sv/Bq}$]	U-238 [$\mu\text{Sv/Bq}$]	U-235 [$\mu\text{Sv/Bq}$]	U-234 [$\mu\text{Sv/Bq}$]	Pb-210 [$\mu\text{Sv/Bq}$]	Po-210 [$\mu\text{Sv/Bq}$]
0 - 1	3,60	21,00	0,27	0,28	0,30	5,70	24,00
1 - 2	0,95	5,30	0,12	0,12	0,13	3,10	7,80
2 - 7	0,73	3,90	0,09	0,09	0,10	2,20	4,80
7 - 12	0,91	3,80	0,07	0,07	0,08	1,80	2,80
12 - 17	1,60	4,00	0,07	0,07	0,08	1,80	1,70
> 17	0,28	0,65	0,03	0,03	0,04	0,60	1,20

heutige Regelungen

Nuklidspezifischer Anteil an der Gesamtrichtdosis (Mittelwerte)

Radionuklid	Kleinkind	Erwachsener
	0 - 1 a [%]	> 17 a [%]
U-238	1	5
U-234	2	8
Ra-226	11	5
Ra-228	57	40
Pb-210	9	16
Po-210	20	26

heutige Regelungen

Ermittlung der Gesamtrichtdosis

(Zusammenfassung)

■ Europäische Mehrheitsposition

- **Relevante Nuklide:** ^{238}U , ^{234}U , ^{228}Ra und ^{226}Ra
- ^3H , ^{40}K , ^{222}Rn & Radonzerfallsprodukte müssen nicht berücksichtigt werden
- Dosiskonversionfaktoren für den Erwachsenen Menschen sind zur Berechnung der Gesamtrichtdosis heranzuziehen
- Praktisch alle deutschen Wasserversorger können diesen Grenzwert einhalten

■ Insbesondere in Deutschland diskutierte Alternativen

- Berücksichtigung von Pb-210 und Po-210
- Anwendung der Dosiskonversionfaktoren für Säuglinge sind zur Berechnung der Gesamtrichtdosis anzuwenden
- Verschärfung des Grenzwertes um etwa Faktor 10
- Bis zu 20 % der deutschen Wasserversorger können diesen Grenzwert ohne zusätzliche Aufbereitungsmaßnahmen nicht einhalten.

zukünftige Regelungen (TrinkwV 2009)

- **Fakten / Grundlagen**
- **heutige (gesetzliche) Regelungen**
- **zukünftige Regelungen (TrinkwV 2009)**
- **Analytik**
- **Fazit**

Zukünftige Regelungen (TrinkwV 2009)

Die deutsche Trinkwasserverordnung wird gerade überarbeitet:

- Die novellierte Verordnung soll noch in dieser Legislaturperiode verabschiedet werden
- Die „Radioaktivitätsparameter“ werden dabei so geregelt, dass ein Vollzug möglich wird.
- Federführend für die Regelungen bzgl. der Radioaktivitätsparameter ist das Bundesumweltministerium.
- Bei der Festlegung der Parameter und Indikatorwerte wurden nicht nur die Vorgaben der EU-Trinkwasserrichtlinie sondern auch 2 weitere Empfehlungen aus dem Strahlenschutzbereich und die Ergebnisse einer umfangreichen Studie (Trink- und Rohwässer) des BFS (Bundesamt f. Strahlenschutz) berücksichtigt.
- Die Einhaltung der Indikatorwerte stellt ein ausreichendes Schutzziel für alle Gruppen der Bevölkerung sicher – auch Kleinkinder

Zukünftige Regelungen (TrinkwV 2009)

Anforderungen an das Trinkwasser in Bezug auf Radioaktivität

Lfd. Nr.	Parameter	Einheit	Indikatorwert	
1	Tritium - Aktivitätskonzentration	Bq/l	100	
2	Ingestionsrichtdosis*	mSv/Jahr	0,1	
3	Radon-222- Aktivitätskonzentration	Bq/l	100	

* Die sich in Folge des Trinkwasserkonsums in einen Jahr durch die im Trinkwasser enthaltenen Radionuklide ergebende effektive Dosis

Zukünftige Regelungen (TrinkwV 2009)

Regelungen zum Vollzug:

- **Tritium und künstliche Radionuklide müssen nur untersucht werden, wenn im Einzugsgebiet Quellen für diese Nuklide vorkommen (kerntechnische Anlagen)**
- **Keine Untersuchungspflicht wenn die Behörde anhand anderer durchgeführter Untersuchungen davon überzeugt ist, dass die Indikatorwerte deutlich unterschritten werden:**
 - Bisherige Untersuchungen können herangezogen werden
 - Überwachungsprogramme für kerntechnische Anlagen sind ausreichend um den Nachweis zu führen, dass es zu keiner unbemerkten Kontamination des Trinkwassers kommen kann
 - keine Überwachung von Tritium und künstlichen Radionukliden im Trinkwasser erforderlich.
- **Wenn einmal der Nachweis der Einhaltung der Indikatorwerte erbracht wurde sind keine regelmäßigen Untersuchungen mehr nötig**

Zukünftige Regelungen (TrinkwV 2009)

Untersuchungen zum Nachweis der Einhaltung der Indikatorwerte:

- 4 Untersuchungen in 4 unterschiedlichen Quartalen innerhalb von 4 Jahren.
 - Einfachste (kostengünstigste) Möglichkeit:
Bestimmung von:
 - Gesamt Alpha-Aktivität < 0,05 Bq/l
 - Gesamt Beta-Aktivität < 1,0 Bq/l
 - Radon-222-Aktivitätskonzentration < 100 Bq/l
- Indikatorwert gilt als eingehalten, wenn der Mittelwert aus den 4 Messungen die angegebenen Werte unterschreitet.
- Wird einer der Werte überschritten sind Einzelnuklidnachweise erforderlich

Zukünftige Regelungen (TrinkwV 2009)

Ermittlung der Ingestionsrichtdosis anhand von Einzelnuklid-nachweisen

- Kann auch direkt durchgeführt werden ohne vorherige Screening-Untersuchungen
- Zu berücksichtigende Radionuklide:

Nuklid	U-238	U-234	Ra-226	Ra-228	Pb-210	Po-210
Referenzkonzentration [Bq/l]	3	2,8	0,5	0,2	0,2	0,1

- Berechnung der Einhaltung des Indikatorwertes:

$$\sum_i \frac{C_{i,mess}}{C_{i,ref}} \leq 1$$

$C_{i,mess}$ = gemessene Aktivitätskonzentration [Bq/l]

$C_{i,ref}$ = Referenzkonzentration [Bq/l]

- **Fakten / Grundlagen**
- **heutige (gesetzliche) Regelungen**
- **zukünftige Regelungen (TrinkwV 2009)**
- **Analytik**
- **Fazit**

Untersuchungsverfahren zur Bestimmung der Radioaktivitätsparameter im Trinkwasser:

■ Tritium:

- Flüssigszintillation (LSC) - nach vorheriger Destillation

■ Gesamt-alpha-Aktivität:

- Durchfluss-Proportionalzählrohr (nach Oberflächenverdampfung)
- LSC (nach Einengung – z.B. Gefriertrocknung)

■ Gesamt-beta-Aktivität

- Low-Level-Beta-Messplatz (nach Oberflächenverdampfung)
- LSC (nach Einengung – z.B. Gefriertrocknung)

■ Radon-222:

- Flüssigszintillation (LSC)

Untersuchungsverfahren zur Bestimmung der Radioaktivitätsparameter im Trinkwasser (Einzelnuklidnachweise):

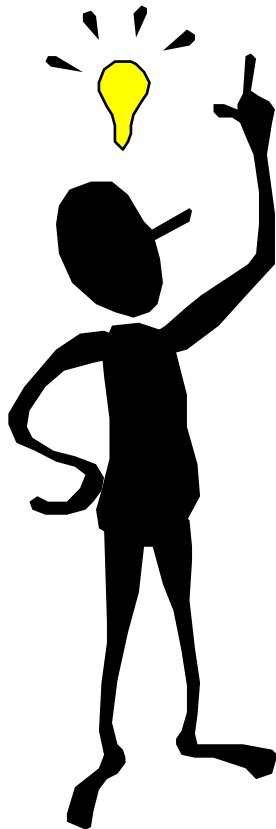
- **Uranisotope (U-238, U-234):**
 - Alpha-Spektrometrie nach Anreicherung oder Aufkonzentrierung
 - ICP-MS
- **Radium-226:**
 - Radon-Emanations-Methode (Fällung, Radon-Bubbler, Lucaskammer)
 - Alpha-Spektrometrie nach selektiver Anreicherung
- **Radium-228**
 - Radiochemische Abtrennung; Low-Level-Beta-Messplatz (Ac-228)
 - γ -Spektrometrie nach Aufkonzentrierung
- **Blei-210:**
 - Radiochemische Abtrennung; Low-Level-Beta-Messplatz (Bi-210)
- **Polonium-210**
 - Radiochemische Abtrennung; Alpha-Spektrometrie

- **Auch Radioaktivitätsuntersuchungen nach TrinkwV einschließlich der Probenahme dürfen nur von dafür akkreditierten Untersuchungsstellen durchgeführt werden.**
- **Für die Durchführung aller relevanten Untersuchungen ist eine umfassende kernmesstechnische Ausstattung erforderlich.**
- **Für die Messverfahren sind parameterspezifische Nachweisgrenzen einzuhalten.**
- **Probenahmen können durch alle „normalen“ Trinkwasser-Probennehmer erfolgen.**
- **Besonderer Augenmerk ist dabei auf die Radon-Probenahme zu legen:**
 - Probenahmeflaschen müssen gasdicht Schließen (z.B. PET-Flaschen)
 - Flaschen müssen blasenfrei randvoll gefüllt und dicht verschlossen werden (analog LHKW-Beprobungen)
 - Proben müssen innerhalb von 24 Stunden im Labor sein

Fazit (meine persönliche Meinung)

- In der nächsten TrinkwV (2009?) werden vollziehbare Regelungen für die Überwachung der Radioaktivität im Trinkwasser enthalten sein.
- Damit werden (fast) alle Wasserversorger ihr Trinkwasser zumindest einmal (4mal) auf radioaktive Stoffe untersuchen müssen.
- Dabei sind nur die natürlichen Radionuklide zu berücksichtigen.
- In den meisten Fällen ist es sinnvoll zunächst Screening-Untersuchungen durchzuführen.
- ~10 % werden einen Screening-Wert überschreiten.
1-2 % werden einen Indikator-Wert überschreiten.
- Die Veröffentlichung der BFS-Studie wird (kann) zu einem Medieninteresse an dem Thema Trinkwasser und Radioaktivität führen.
- Wasserversorgungsunternehmen sollten frühzeitig Informationen über die Radioaktivität in Ihren Wässern haben.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !



Kontaktadresse:

Dr. Norbert Pilz

IWW Rhein-Main

Justus-von-Liebig-Str. 10

64584 Biebesheim

Telefon: 069 – 25490 8010

Email: norbert.pilz@iww-online.de