



Kanton Basel-Stadt

# Radionuklide im Trinkwasser

Erste Untersuchungen in den Kantonen BL, BS, JU und ZH



Dr. M. Zehringer,  
Kantonales Labor BS



Kanton Basel-Stadt

# Radionuklide im Trinkwasser

## Inhalt

Gesetzliche Basis

Berechnungsgrundlagen für die Richtdosis

Analytik und erste Resultate  
TW-Analysen der Kantone BL, BS, JU  
(Daten von ZH nicht berücksichtigt)

Résumé



# Radionuklide im Trinkwasser

## Gesetzliche Basis

Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV), Anhänge 2 und 3

Abgestützt auf :

*Richtlinie 2013/51/EURATOM DES RATES vom 2.10.2013 zur Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe in Wasser für den menschlichen Gebrauch.*

Strahlenschutzverordnung, Anhang 5: **Dosisfaktoren bei Personen aus der Bevölkerung 2. Ingestion**



# Radionuklide im Trinkwasser

Radionuklid		TBDV	AK-Werte gemäss Euratom
Uran-238 ( <sup>238</sup> U)	Bq/L		3.0
Uran-234 ( <sup>234</sup> U)	Bq/L		2.8
Uran*	µg/L	30	
Radium-226 ( <sup>226</sup> Ra)	Bq/L		0.5
Radium-228 ( <sup>228</sup> Ra)	Bq/L		0.2
Blei-210 ( <sup>210</sup> Pb)	Bq/L		0.2
Polonium-210 ( <sup>210</sup> Po)	Bq/L		0.1
Strontium-90 ( <sup>90</sup> Sr)	Bq/L	4.9	4.9
Americium-241 ( <sup>241</sup> Am)	Bq/L	0.1	0.7
Kobalt-60 ( <sup>60</sup> Co)	Bq/L		40
Cäsium-134 ( <sup>134</sup> Cs)	Bq/L	11	7.2
Cäsium-137 ( <sup>137</sup> Cs)	Bq/L		11
Iod-131 ( <sup>131</sup> I)	Bq/L	6.2	6.2
Tritium ( <sup>3</sup> H)	Bq/L	100	100
Radon ( <sup>222</sup> Rn)	Bq/L	100	100
Richtdosis (RD)	mSv	0.1	0.1

\* chem. Konzentration, berechnet aus der <sup>238</sup>U-Aktivität. AK: abgeleitete Konzentration



Kanton Basel-Stadt

# **Radionuklide im Trinkwasser Interpretationshilfe**

**Leitfaden zur Untersuchung und Bewertung von radioaktiven Stoffen  
im Trinkwasser bei der Umsetzung der Trinkwasserverordnung**

**Empfehlung von BMUB, BMG, BfS, UBA und den zuständigen Landesbehörden sowie DVGW und  
BDEW**



# Radionuklide im Trinkwasser (Anhang 5 StSV)

Radionuklid Alle Werte in $\mu\text{Sv/Bq}$	Kleinkind	Kind (10 Jahre)	Erwachsener
Americium-241 ( $^{241}\text{Am}$ )	0.37	0.22	0.20
Blei-210 ( $^{210}\text{Pb}$ )	3.6	1.9	0.69
Cäsium-134 ( $^{134}\text{Cs}$ )	0.016	0.014	0.019
Cäsium-137 ( $^{137}\text{Cs}$ )	0.012	0.010	0.013
Iod-131 ( $^{131}\text{I}$ )	0.180	0.052	0.022
Kobalt-60 ( $^{60}\text{Co}$ )	0.027	0.011	0.003
Polonium-210 ( $^{210}\text{Po}$ )	8.8	2.6	1.2
Radium-224 ( $^{224}\text{Ra}$ )	0.66	0.26	0.065
Radium-226 ( $^{226}\text{Ra}$ )	0.96	0.80	0.28
Radium-228 ( $^{228}\text{Ra}$ )	1.70*	1.70*	1.70*
Radon ( $^{222}\text{Rn}$ )	0.02**	0.02**	0.01**
Strontium-90 ( $^{90}\text{Sr}$ )	0.073	0.06	0.028
Thorium-228 ( $^{228}\text{Th}$ )	0.37	0.14	0.072
Thorium-230 ( $^{230}\text{Th}$ )	0.41	0.24	0.21
Thorium-232 ( $^{232}\text{Th}$ )	0.45	0.29	0.23
Tritium ( $^3\text{H}$ )	4.8E-11	2.3E-11	1.8E-11
Uran-238 ( $^{238}\text{U}$ )	0.12	0.068	0.045
Uran-234 ( $^{234}\text{U}$ )	0.13	0.074	0.049

\* Aus Anhang 3 StSV, bzw. \*\*Behelfswert aus Leitfaden, da in StSV nicht aufgeführt



# Radionuklide im Trinkwasser

## Richtwert Gesamtdosis

Gesamtdosis unter Ausschluss von Tritium, Kalium-40, Radon und kurzlebigen Tochternukliden des Radon.

$$\text{Berechnung: } RD = \sum A_w * e_{\text{ing}} * V$$

mit

$A_w$ : mittlere Aktivität des Nuklids im Trinkwasser

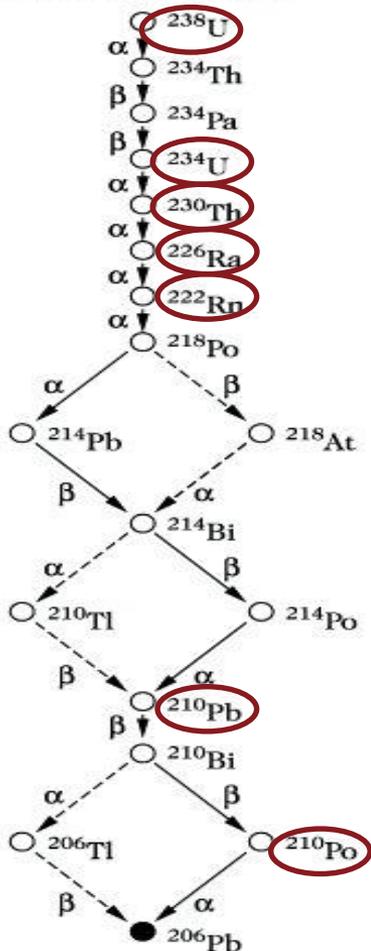
$e_{\text{ing}}$ : Ingestionsfaktor gemäss StSV und Altersgruppe

$V$ : Verzehrsmenge: 180 L pro Jahr (Kleinkind), 730 L pro Jahr (Kinder, Erwachsene)

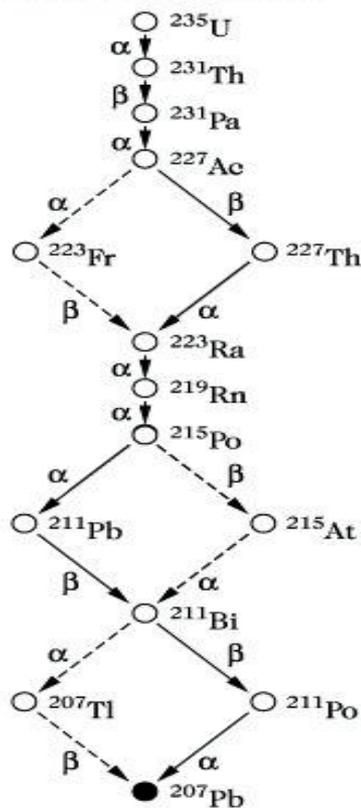


# Radionuklide im Trinkwasser Analytik

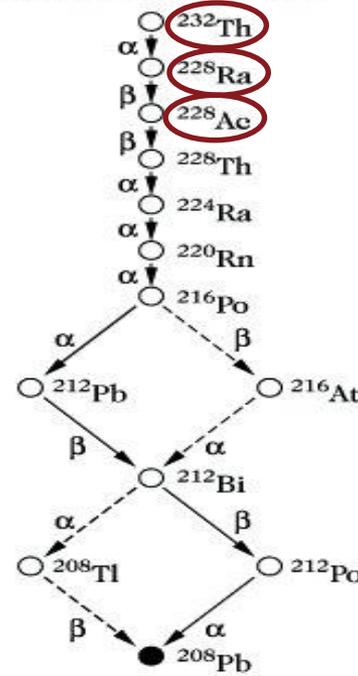
Uran-Zerfallsreihe



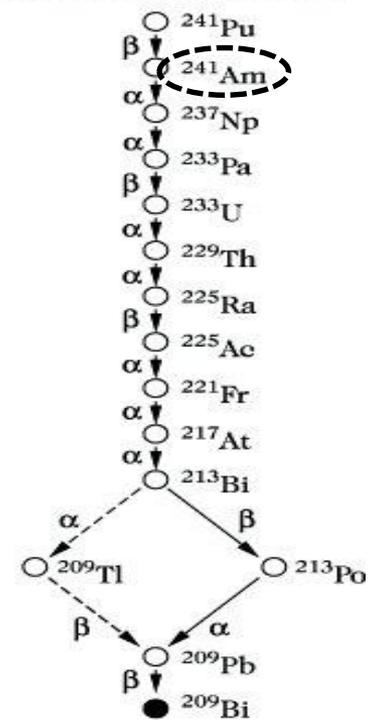
Actinium-Zerfallsreihe



Thorium-Zerfallsreihe



Neptunium-Zerfallsreihe





# Radionuklide im Trinkwasser

## Bisherige Untersuchungen CH ( nicht abschliessend!)

Aellen et al. PSI (1991): *Natürliche Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihe in Mineralwässern U, Th, Ra, Rn, Po, Pb*

Heinz Surbeck: diverse Untersuchungen, z.B. Uranbelastung Grundwasser etc.

Otmar Deflorin (2004) Dissertation. Natürliche Radionuklide in Grundwässern des Kantons Graubünden U, Th, Ra und Rn

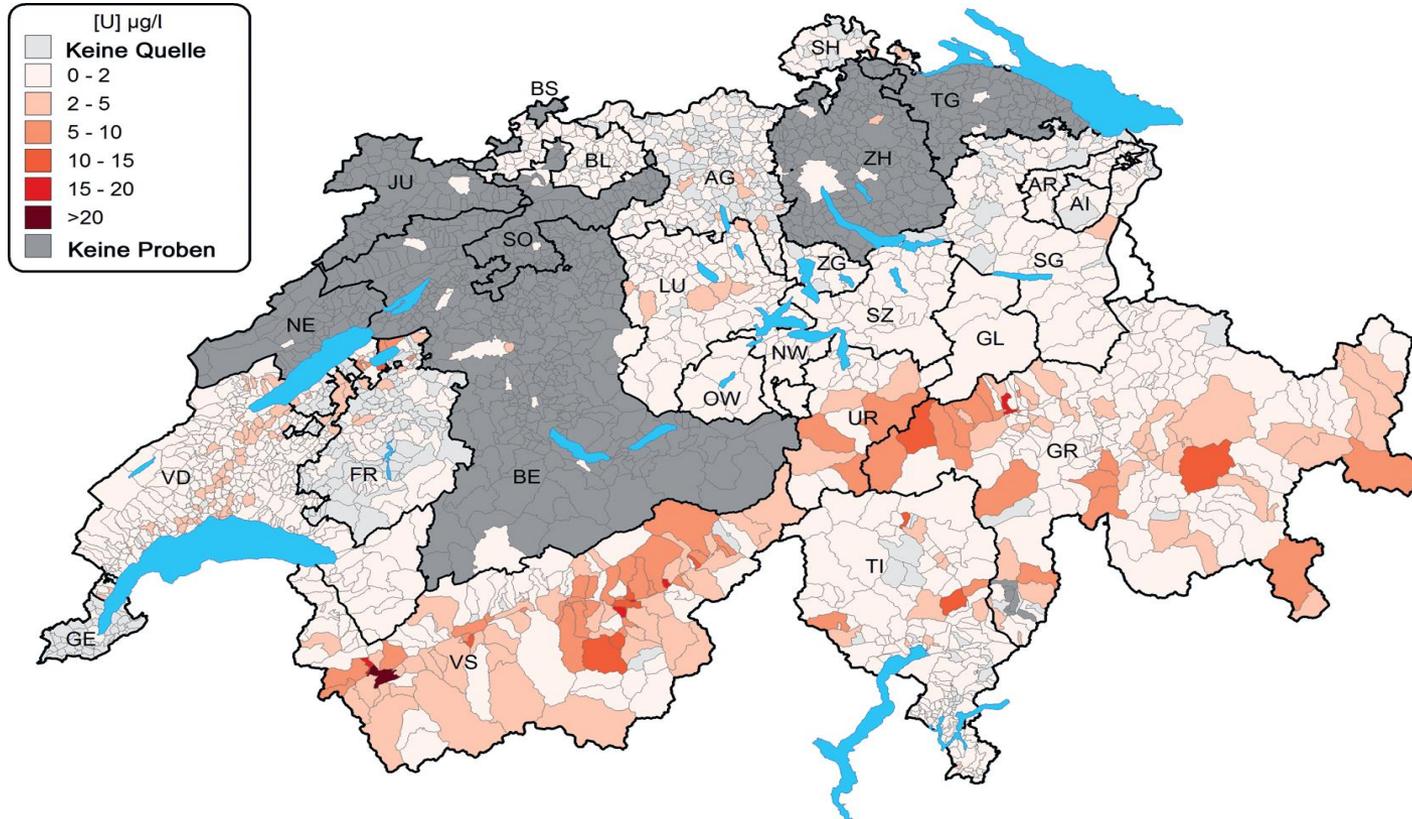
Max Haldimann, BAG (2012). Vorkommen von Uran in Schweizer Trinkwasser

Kantonales Labor Basel-Stadt (2014) Künstliche und natürliche Radionuklide in Trinkwasser der Kantone BL und BS



# Radionuklide im Trinkwasser

## Uran-Karte Schweiz Stand: 2012



Über 5500 Proben: gute Übersicht CH? Nein! 16 Proben > 30 µg/L



# Radionuklide im Trinkwasser

## Urannuklide

Prinzip: Extraktion und Alphaspektrometrie

PERALS: Photon electron rejecting alpha liquid scintillation

URAEX: spezifischer Extraktionscocktail (n-Octylamine, Naphthalinsulfonsäure in Toluol)

Extraktion: 500 mL Probe mit 500 mL ention. Wasser verdünnen, 20 mL konz. Schwefelsäure und 50 mBq int. Std ( $^{232}\text{U}$ ) zugeben

5 mL URAEX zugeben und für 5 Min stark rühren

Nach ca. 1 Stunde URAEX-Phase abtrennen, mit Argon purgen

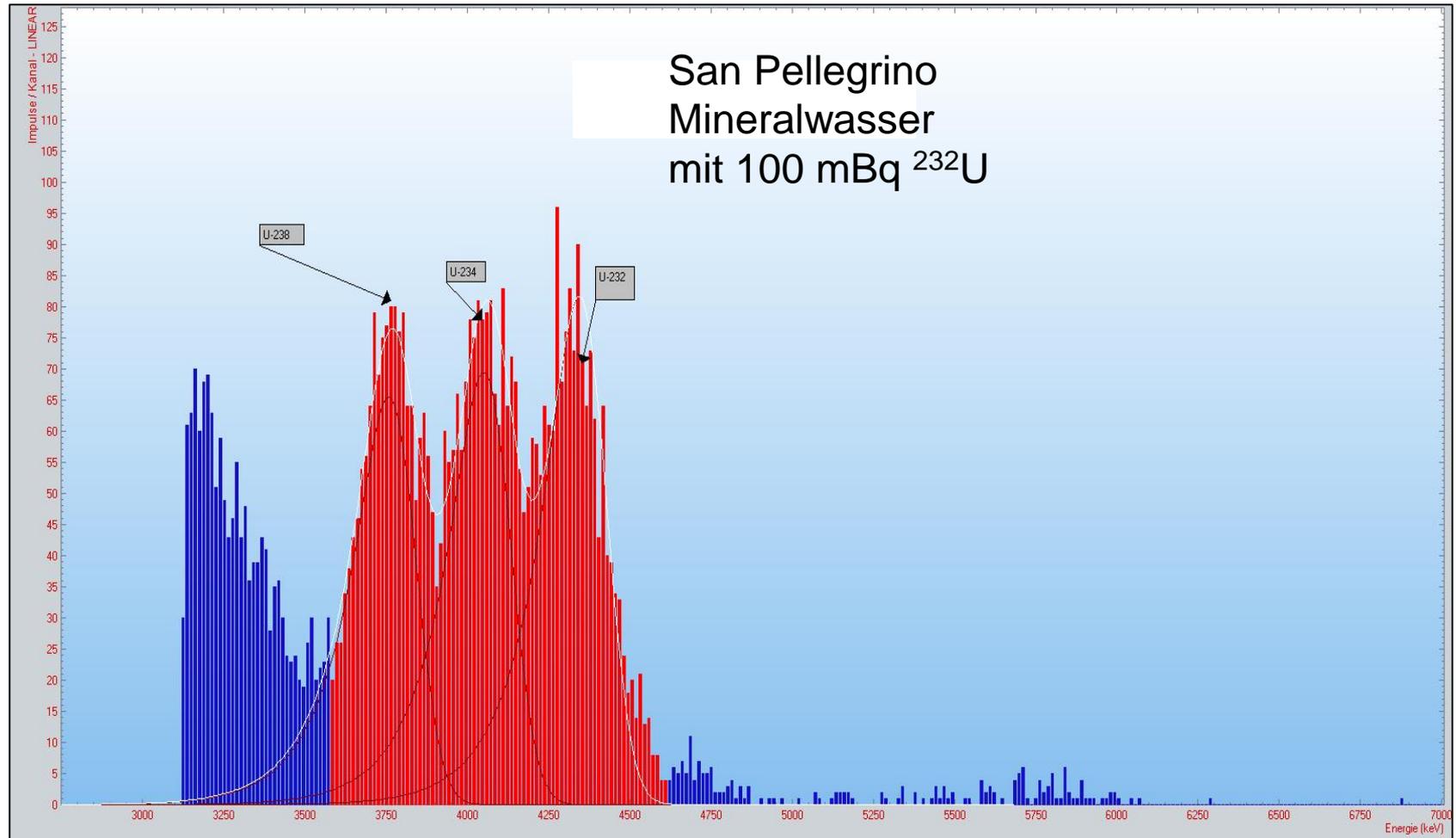
1.5 mL in einer Messküvette während 24 Stunden auszählen



Kanton Basel-Stadt

# Radionuklide im Trinkwasser

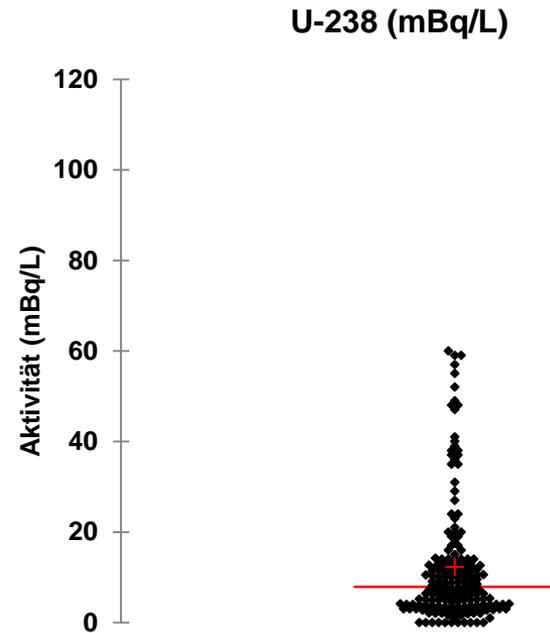
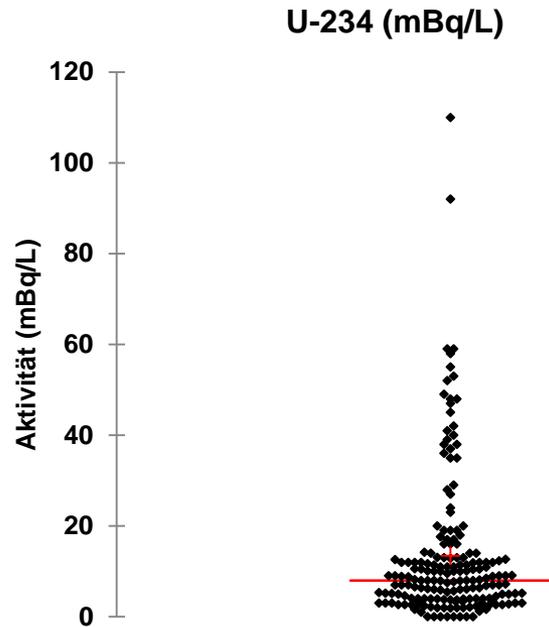
## Uran-Nuklide: Beispiel 1





# Radionuklide im Trinkwasser

## Uran-Nuklide: erste Resultate (mBq/L)





# Radionuklide im Trinkwasser

## Thorium-Nuklide

Prinzip: Extraktion und Alphaspektrometrie

PERALS: Photon electron rejecting alpha liquid scintillation

THOREX: spezifischer Extraktionscocktail (Amin, Naphthalinsulfonsäure in Toluol)

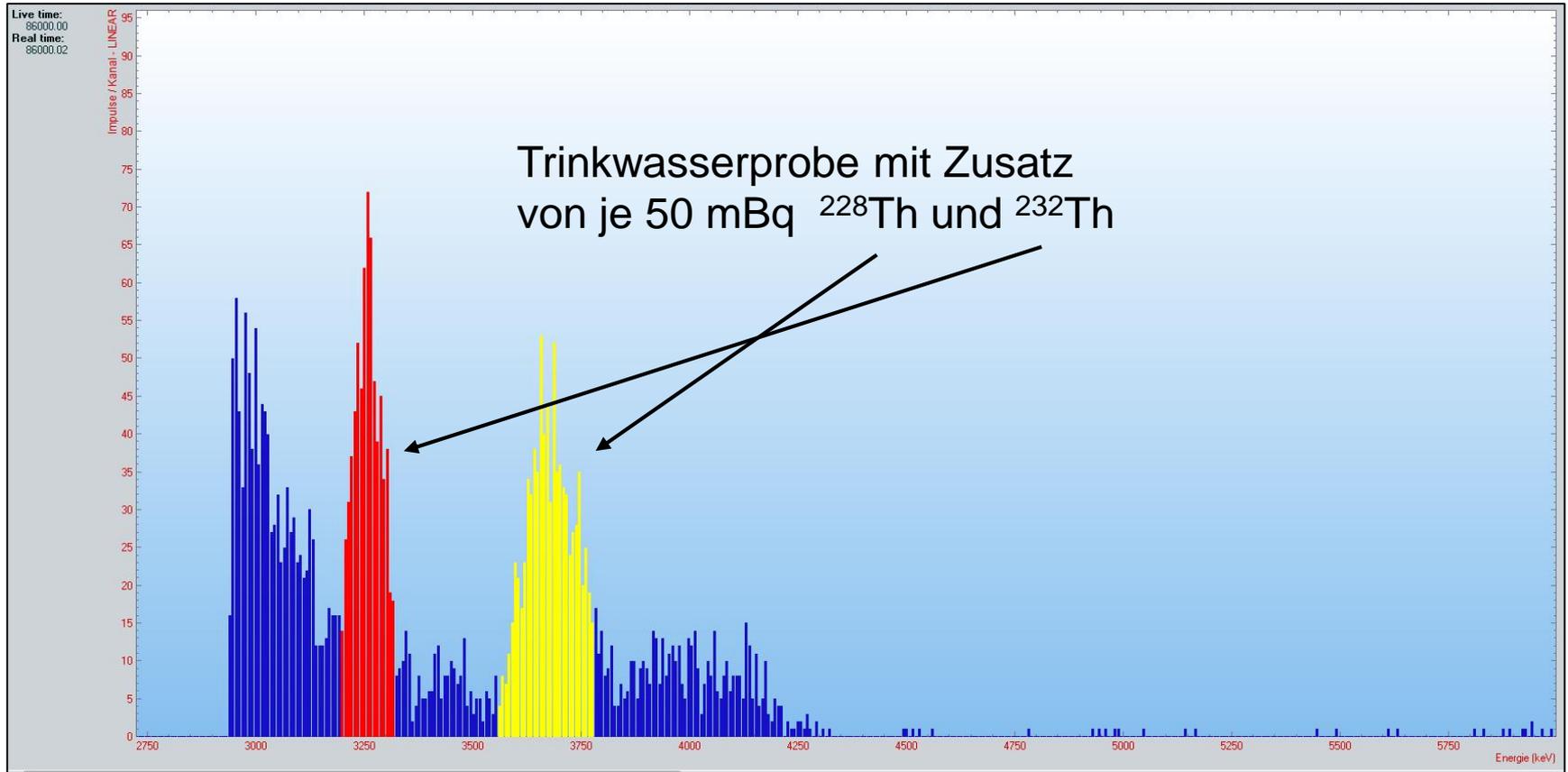
Extraktion: 500 mL Probe mit 500 mL ention. Wasser verdünnen, 100 mL konz. Schwefelsäure zugeben  
5 mL THOREX zugeben und für 5 Min stark rühren  
Nach ca. 1 Stunde THOREX-Phase abtrennen, mit Argon purgen

Messung: 1.5 mL in einer Messküvette während 24 Stunden auszählen



# Radionuklide im Trinkwasser

## Thorium-Nuklide: Beispiel 1





# Radionuklide im Trinkwasser

## Uran- und Thorium-Nuklide

Einfachere und präzisere und empfindlichere Methodik:

- **ICP/MS**      **Analyse von  $^{238}\text{U}$  und  $^{232}\text{Th}$ , Pu ...**

Andere Nuklide sind aufgrund der «kurzen» Halbwertszeiten schlecht erfassbar

- Anreicherung an U-Disk (nach Surbeck)



# Radionuklide im Trinkwasser

## Radium-Nuklide ( $^{224}\text{Ra}$ und $^{226}\text{Ra}$ )

Prinzip: Adsorption und Alphaspektrometrie

Radium wird an Braunstein-Disk adsorbiert und mit PIPS-Detektoren alphaspektrometriert

Extraktion: 200 mL Probe wird mit EDTA versetzt.

Durch leichtes Rühren wird das Ra während ca. 20 Stunden an der Disk adsorbiert.

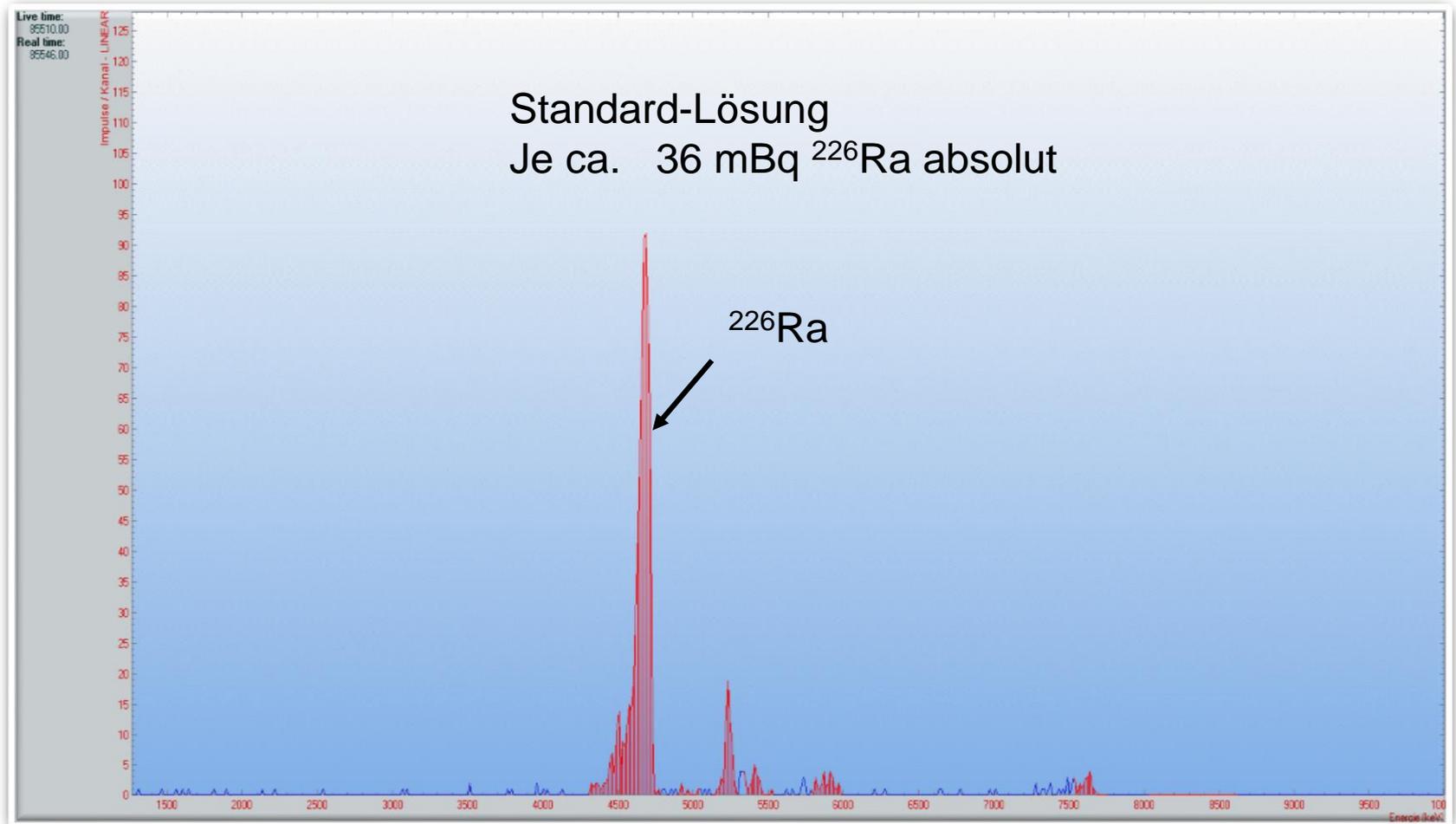
Messung: Während 24 Stunden mit Si-Sperrschichtdetektor (PIPS) auszählen



Kanton Basel-Stadt

# Radionuklide im Trinkwasser

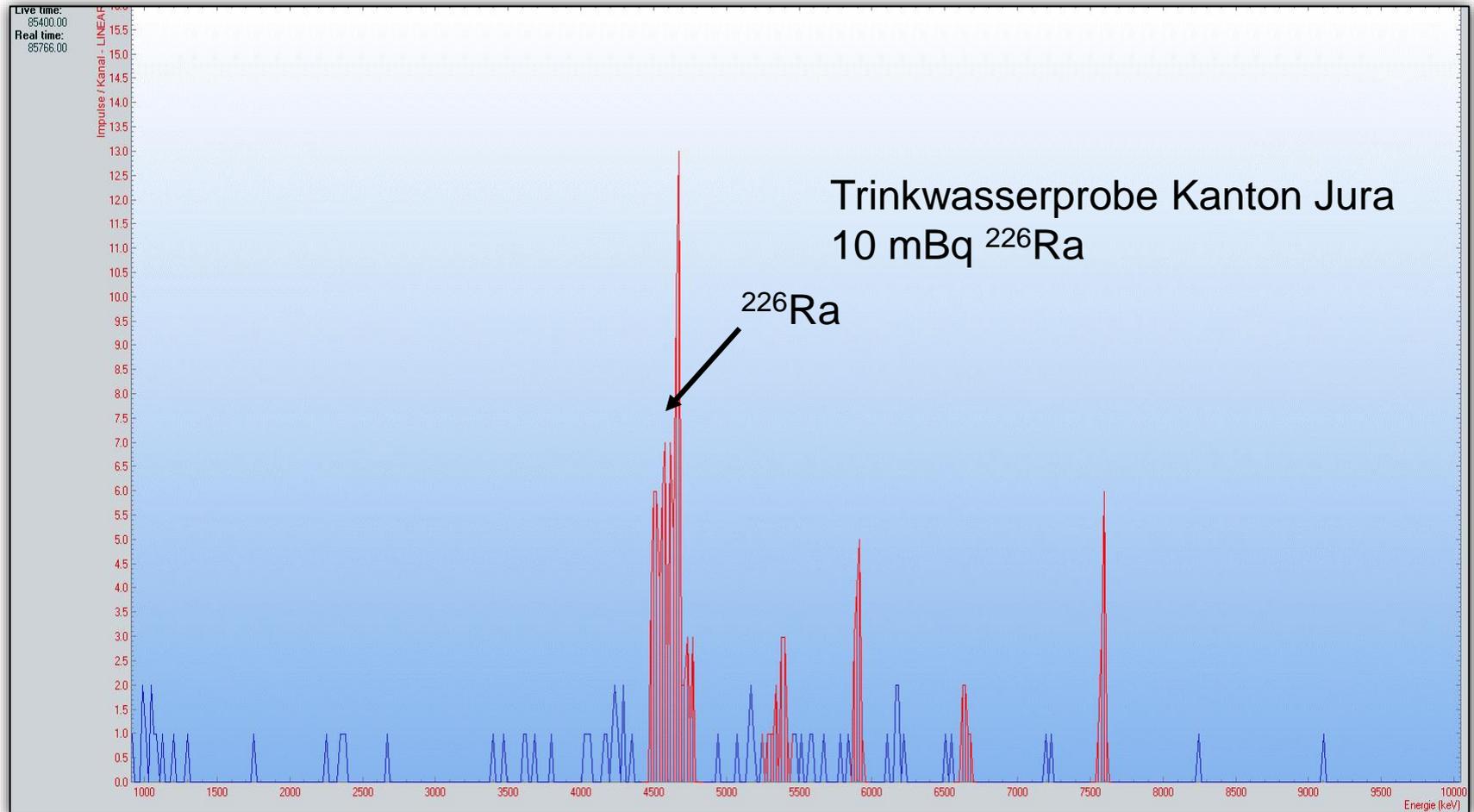
## Radium-Nuklide ( $^{224}\text{Ra}$ und $^{226}\text{Ra}$ )





# Radionuklide im Trinkwasser

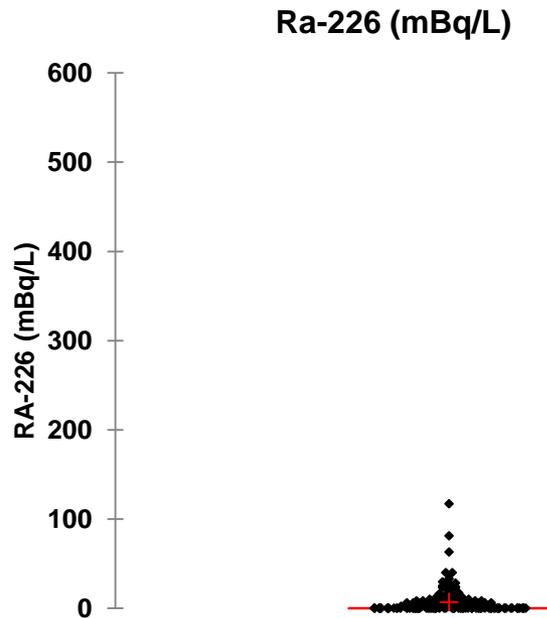
## Radium-Nuklide ( $^{224}\text{Ra}$ und $^{226}\text{Ra}$ )



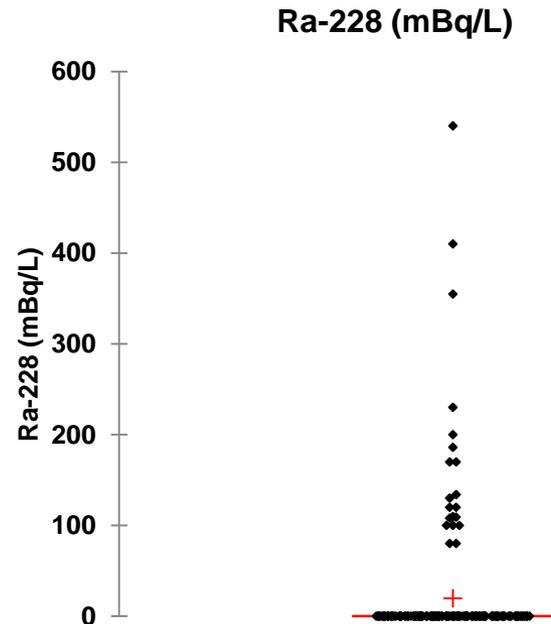


# Radionuklide im Trinkwasser

## Radium-Nuklide: erste Resultate (ohne $^{224}\text{Ra}$ : $< 2 \text{ mBq/L}$ )



$m = 7 \pm 14 \text{ mBq/L}$



$m = 20 \pm 68 \text{ mBq/L}$



# Radionuklide im Trinkwasser

## Polonium ( $^{210}\text{Po}$ )

Prinzip: Adsorption und Alphaspektrometrie

Polonium wird an Silber-Disk adsorbiert und mit PIPS-Detektoren alphaspektrometriert

Extraktion: 200 mL Probe wird mit int. STD ( $^{209}\text{Po}$ ) und Hydroxylamin versetzt und während drei Stunden bei 80 °C gerührt.

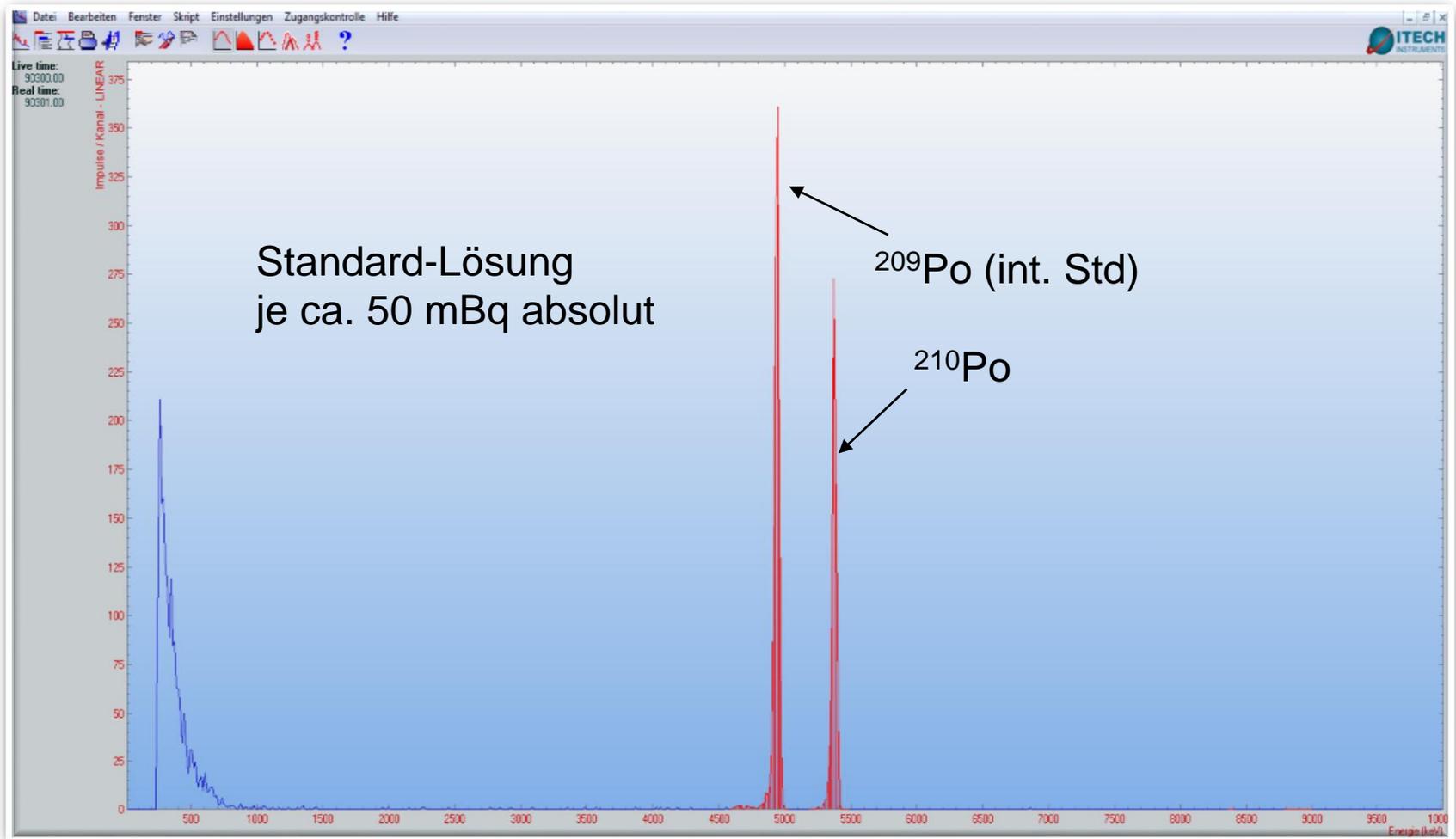
Messung: Während 24 Stunden mit Si-Sperrschichtdetektor auszählen



Kanton Basel-Stadt

# Radionuklide im Trinkwasser

## Polonium ( $^{210}\text{Po}$ )

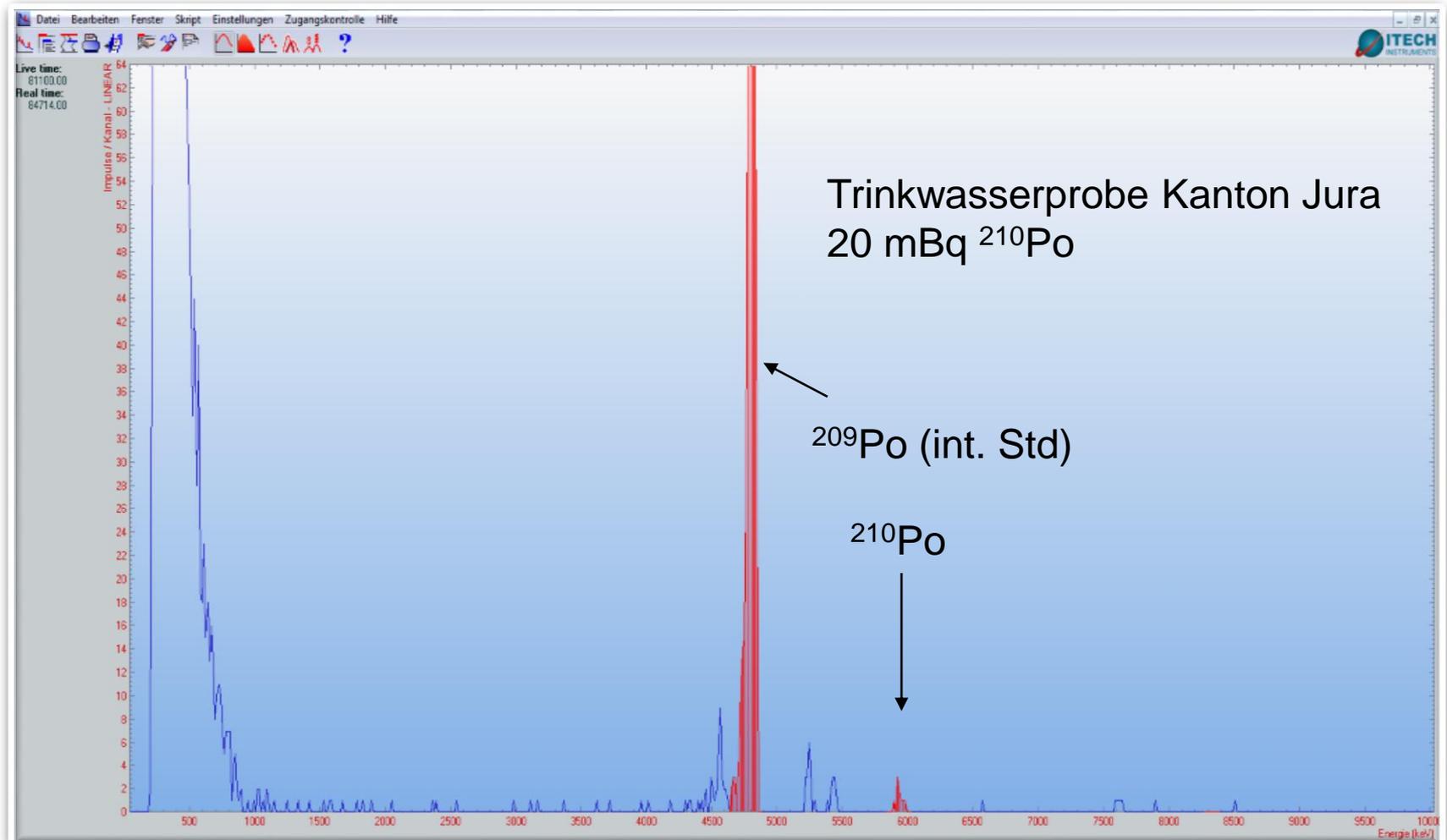




Kanton Basel-Stadt

# Radionuklide im Trinkwasser

## Polonium ( $^{210}\text{Po}$ )

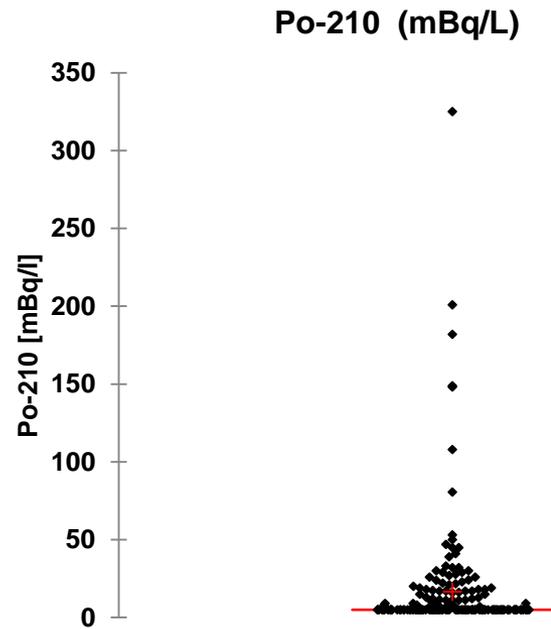




Kanton Basel-Stadt

# Radionuklide im Trinkwasser

## Polonium ( $^{210}\text{Po}$ ): erste Resultate



$m = 17 \text{ mBq/L}$



# Radionuklide im Trinkwasser

## Blei ( $^{210}\text{Pb}$ )

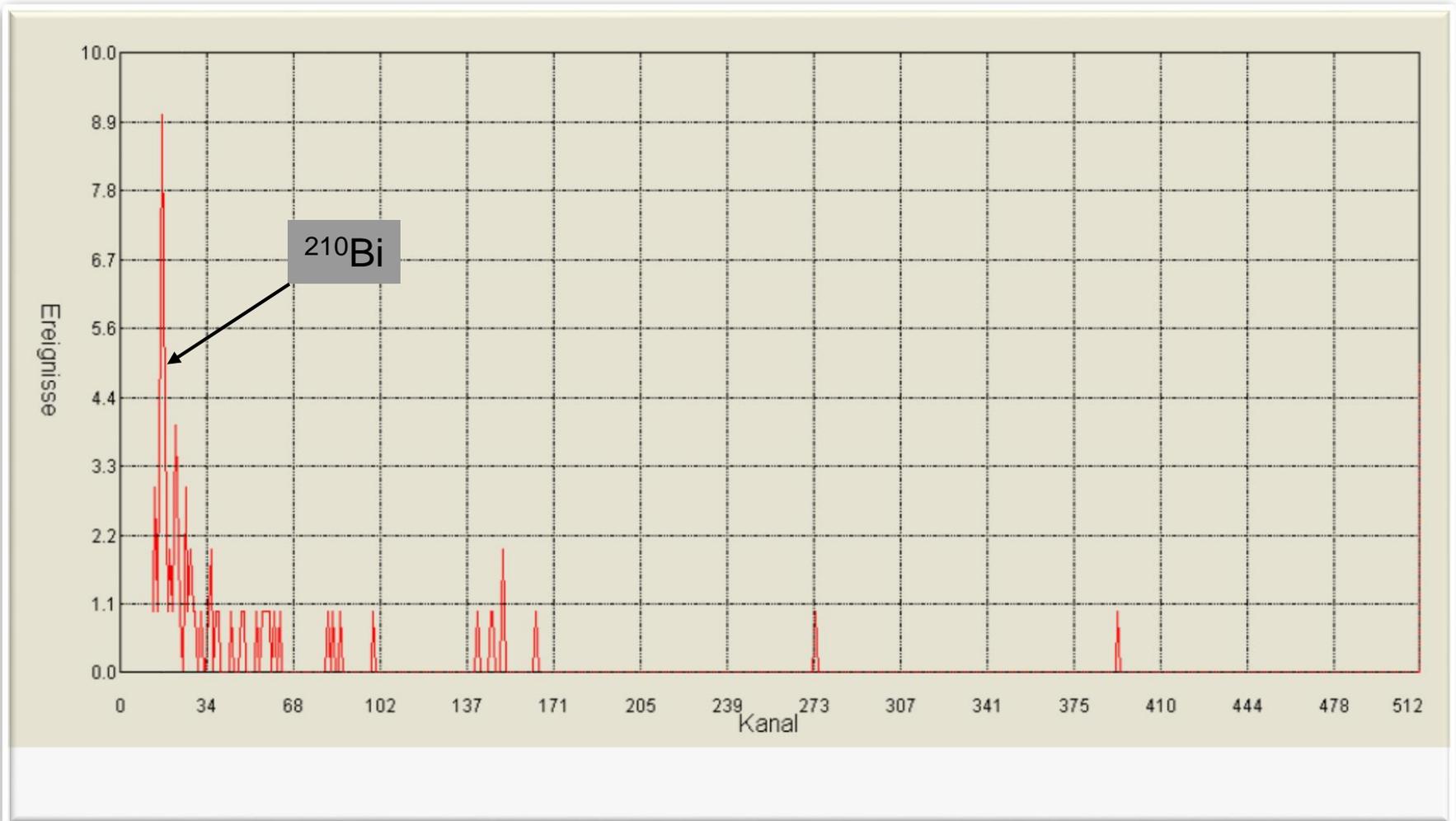
- Prinzip:  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  u.a. Nuklide werden an einer Nickel-Disk adsorbiert und mit einem Betazähler (Gasproportionalzähler) ausgezählt (es wird nur die Beta-Aktivität von  $^{210}\text{Bi}$  erfasst)
- Extraktion: 200 mL angesäuerte Probe wird mit einer Ni-Disk während 18 Stunden bei 60 °C gerührt.
- Messung: Während 24 Stunden mit dem Betacounter auszählen nach Abklingen der kurzlebigen Nuklide  $^{214}\text{Bi}$  und  $^{214}\text{Pb}$  (5 Stunden)



Kanton Basel-Stadt

# Radionuklide im Trinkwasser

## Blei ( $^{210}\text{Pb}$ )







# Radionuklide im Trinkwasser

## Gamma-Nuklide ( $^{134+137}\text{Cs}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{241}\text{Am}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{131}\text{I}$ )

Prinzip: Gammaskpektrometrie von 1 L Wasser mit Ringschalen-Geometrie (Marinelli)

Messung: mind. 2-3 Tage auszählen, sodass NWG von  $^{228}\text{Ac}$   $< 100$  mBq/L  
 $^{228}\text{Ra}$  via  $^{228}\text{Ac}$  (im Gleichgewicht nach zwei Tagen)

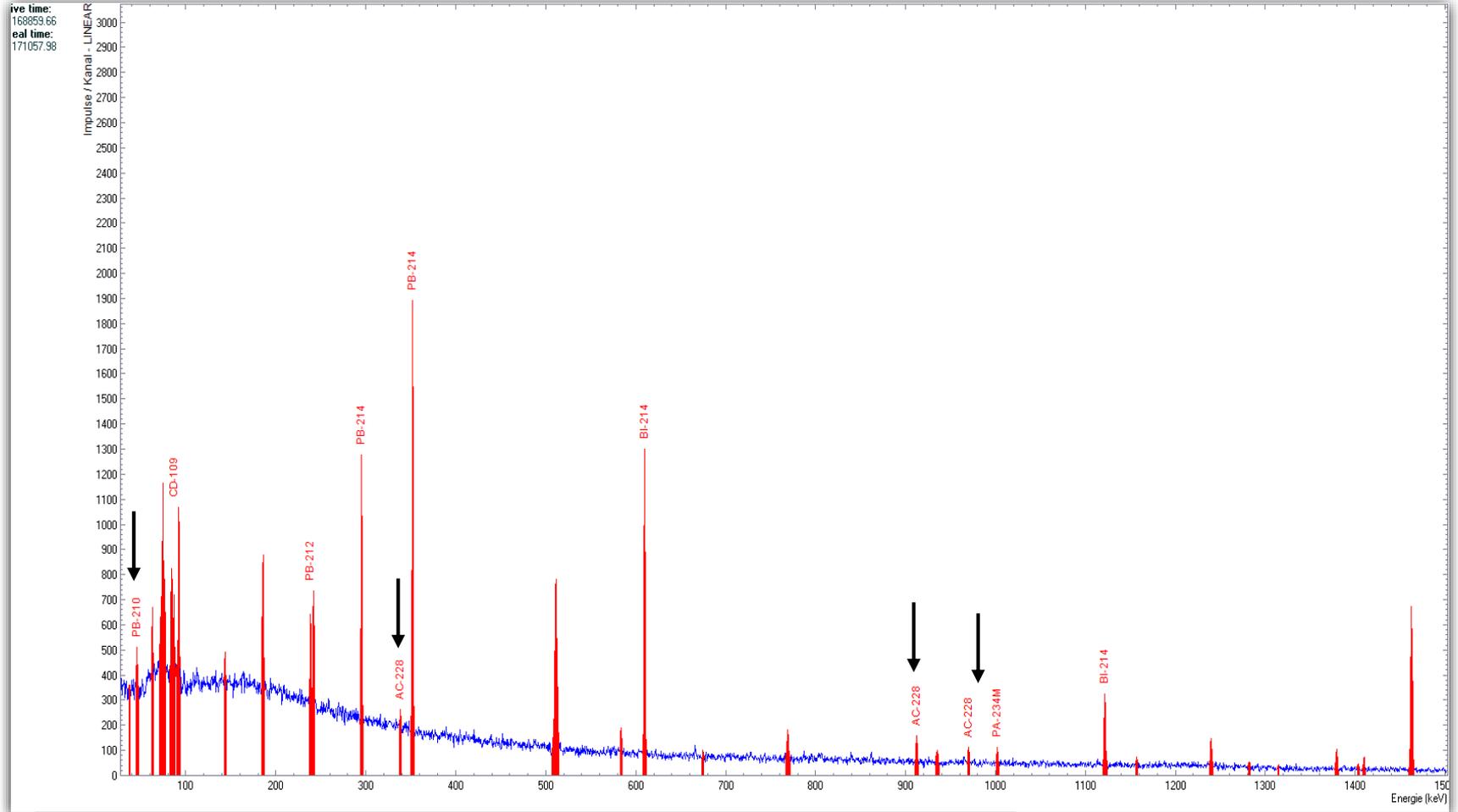
Geforderte NWG: Radiocäsium, Kobalt etc.  $< 50$  mBq/L



Kanton Basel-Stadt

# Radionuklide im Trinkwasser

## Gamma-Nuklide ( $^{134+137}\text{Cs}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{241}\text{Am}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{131}\text{I}$ )





# Radionuklide im Trinkwasser

## LSC: Radon ( $^{222}\text{Rn}$ )

**Prinzip:** Mit der Flüssigszintillation werden die 3 Alphazerfälle ausgehend vom  $^{222}\text{Rn}$  gemessen. Die beta-Zerfälle werden diskriminiert

NWG: < 1 Bq/L.

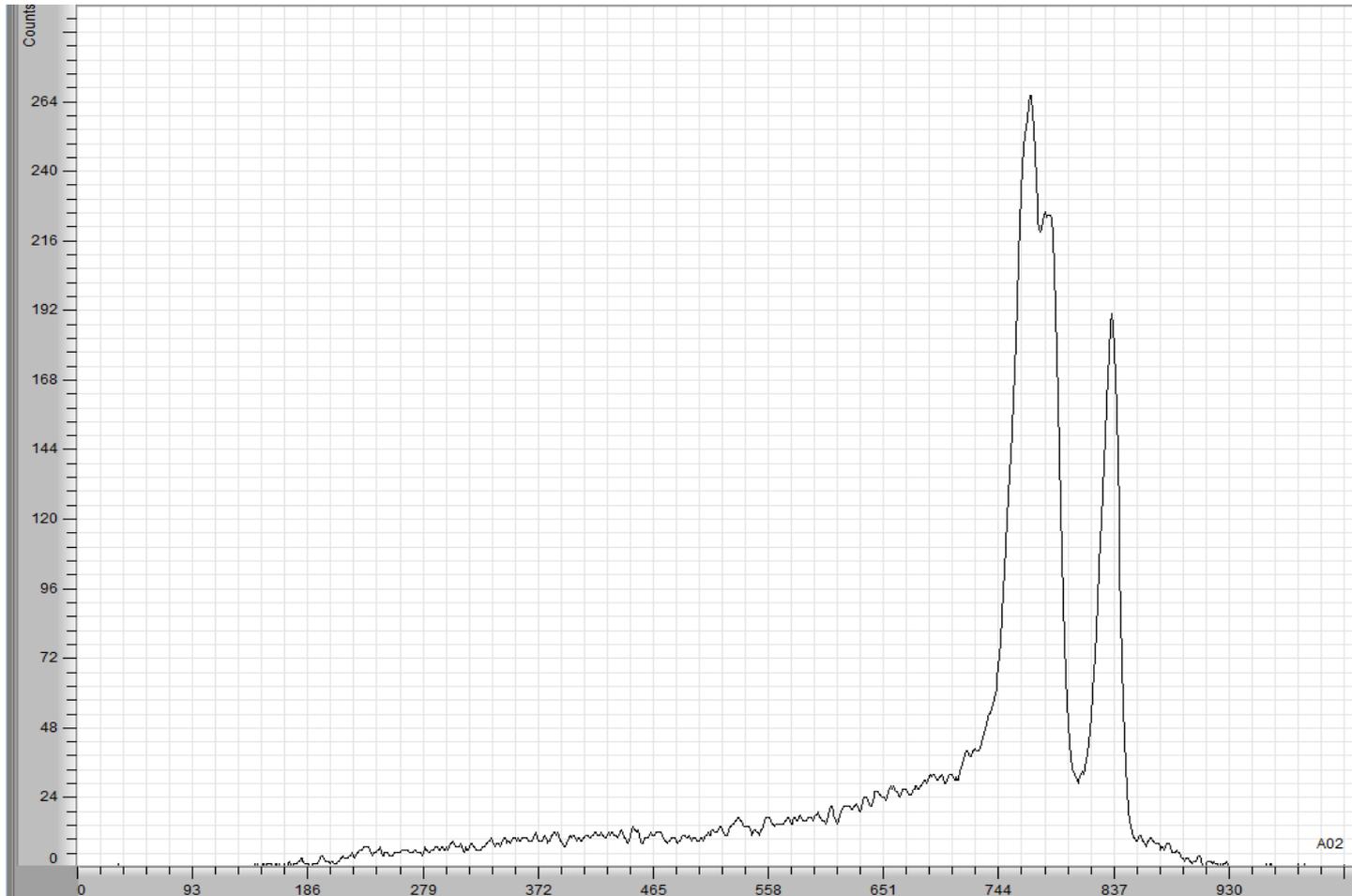
**Extraktion:** 10 mL Probe werden mit 10 mL MaxiLight-Cocktail gemischt. Das Radon geht zu ca. 96% in die Cocktailphase über.

**Messung:** Die Probe wird für 60 Minuten ausgezählt. Die Aktivität wird anschliessend auf den Zeitpunkt der Probenahme zurückgerechnet.



# Radionuklide im Trinkwasser

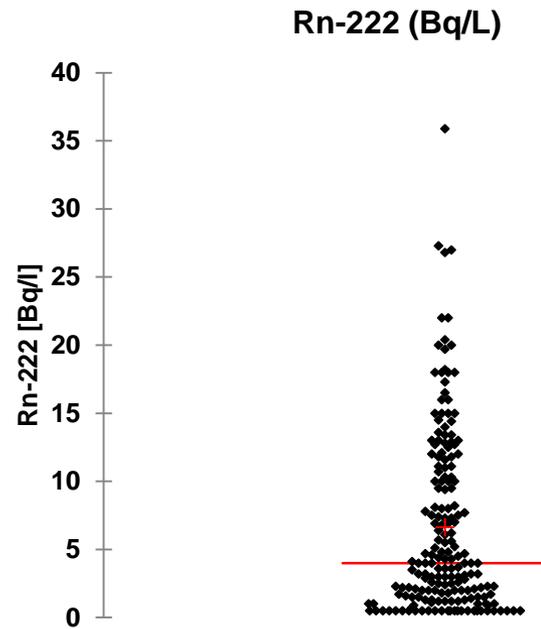
## LSC: Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ): typisches Alphaspektrum





# Radionuklide im Trinkwasser

## LSC: Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ): erste Resultate

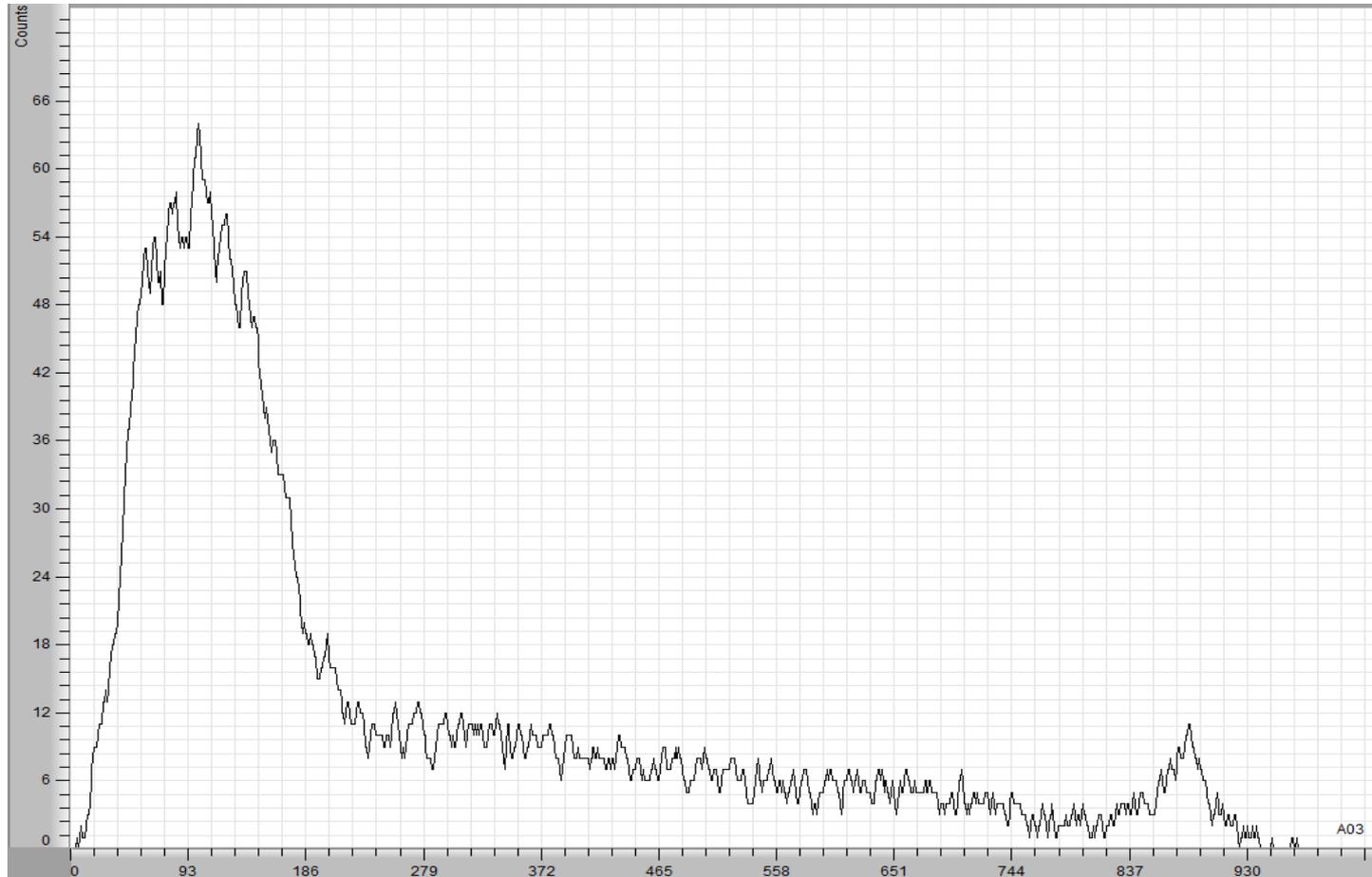


$$m = 7 \pm 7 \text{ Bq/L}$$



# Radionuklide im Trinkwasser

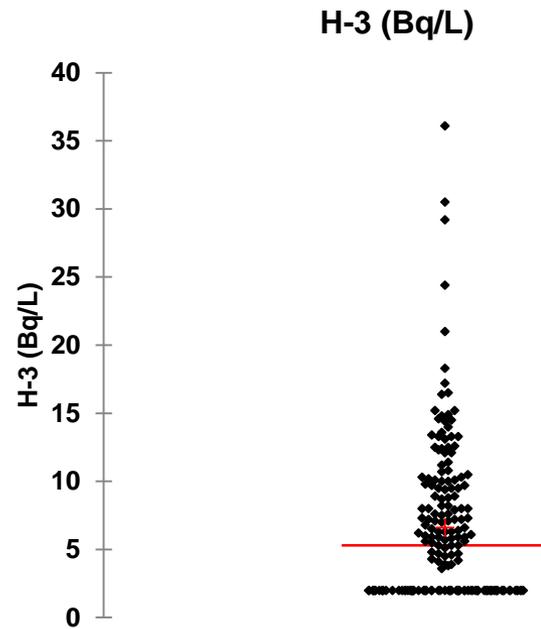
## LSC: Tritium: typisches Betaspektrum





# Radionuklide im Trinkwasser

## LSC: Tritium: erste Resultate

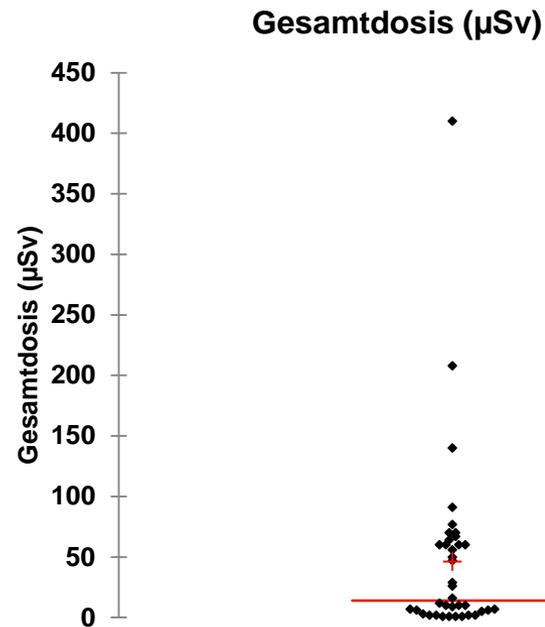


$$m = 7 \pm 33 \text{ Bq/L}$$



# Radionuklide im Trinkwasser

## Gesamtdosis: erste Resultate



$$m = 46 \pm 74 \mu\text{Sv}$$



# Radionuklide im Trinkwasser

## Résumé

- In der Nordwest-Schweiz ist die Belastung mit natürlichen Radionukliden eher mässig, abgesehen von einzelnen, erhöhten Punkten.
- Die Bestimmung der Richtdosis ist analytisch aufwändig.
- Analytische Verbesserungen im KLBS:
  - $^{228}\text{Ra}$ -Analytik ist zu wenig sensitiv via  $^{228}\text{Ac}$ -Gammaskopie (NWG  $\sim 80 \div 100$  mBq/L). Es braucht eine sensitivere Methode mit einer NWG von 20 mBq/L.
  - $^{210}\text{Pb}$ -Analytik ist zu wenig sensitiv (NWG: 50 mBq/L) Grund: zu hoher Beta-Untergrund.  
Ziel: 10 mBq/L (eine Anreicherungsverfahren ist in Arbeit).
  - $^{226}\text{Ra}$ -Analytik an  $\text{MnO}_2$ -Disk: schwankende Wiederfindungen bei der Adsorption. Zur Kontrolle wird ein interner Standard gesucht.



Kanton Basel-Stadt

# Radionuklide im Trinkwasser

Vielen Dank für Ihre Geduld und  
Aufmerksamkeit!