

Strahlenexposition durch Trinkwasser in Oberösterreich - 2004 bis 2006

Teilprojekt Bevölkerungsexposition

Zusammenfassender Endbericht



Beteiligte Institutionen:



BUNDESMINISTERIUM FÜR
GESUNDHEIT UND FRAUEN



Projektteam

Aspek Wolfgang⁷
Baumgartner Andreas⁴
Bernreiter Markus²
Binder Konrad¹
Brettner-Messler Robert⁵
Ditto Manfred³
Edtstadler Thomas¹
Frosch Manfred¹
Guttenbrunner Gerhard¹
Gruber Valeria⁴
Kaineder Heribert¹
Katzlberger Christian²
Landstetter Claudia²
Lang-Jakschi Karl¹
Leichtfried Wolfgang¹
Maringer Franz Josef⁴
Nadschläger Erwin¹
Ringer Wolfgang²
Simader Matthias⁶
Sperker Sigrid¹
Steidl Gerald¹
Weilner Sylvia⁴

Beteiligte Institutionen

- 1 Land Oberösterreich: Umwelt- und Anlagentechnik (Umwelttechnik), Wasserwirtschaft (wasserwirtschaftliches Planungsorgan, Grund- und Trinkwasserwirtschaft), Landessanitätsdirektion (Begutachtungen, Infektionskrankheiten und Umweltmedizin [BIU], Lebensmittelaufsicht)
- 2 Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit AGES (CC Radio-ökologie und Radon, CC Strahlenschutz und Radiochemie)
- 3 Bundesministerium für Gesundheit und Frauen - BMGF
- 4 Universität für Bodenkultur Wien - BOKU, LLC-Labor Arsenal
- 5 Technische Universität Wien, Atominstitut
- 6 FH Campus Wels
- 7 Allgemeine Unfallversicherungsanstalt AUVA

Projektkoordination

Heribert Kaineder (Land Oberösterreich, Abt. Umwelt- und Anlagentechnik, Umwelttechnik - Strahlenschutz)

Wissenschaftliche Bearbeitung und wissenschaftliche Gesamtleitung

Valeria Gruber und Franz Josef Maringer, Universität für Bodenkultur Wien - BOKU, Departement für Wald- und Bodenwissenschaften, LLC-Labor Arsenal

Kurzfassung

Die Umsetzung der Richtlinien für Strahlenschutz, Trinkwasserqualität und gemeinsame Wasserpolitik der Europäischen Union im Hinblick auf die Verbesserung der strahlenhygienischen Situation der Bevölkerung erfordert im Zusammenhang mit den rechtlichen und ökologischen Rahmenbedingungen in Österreich die Erhebung der Radioaktivität des Trinkwassers, die Ermittlung der daraus resultierenden Strahlenexposition sowie davon abgeleitete Empfehlungen und Richtlinien für Verbesserungs- und Vorsorgemaßnahmen. Die Umsetzung der Ergebnisse dieser Studie ist Basis für die gesicherte Versorgung der oberösterreichischen Bevölkerung mit strahlenhygienisch einwandfreiem Trinkwasser. Das vorliegende Projekt ist Teil der Studie des Landes Oberösterreich zur Untersuchung der Strahlenexposition von Arbeitnehmern in Trinkwasserwerken und Heilbädern und der Bevölkerung durch Radionuklide im Trinkwasser.

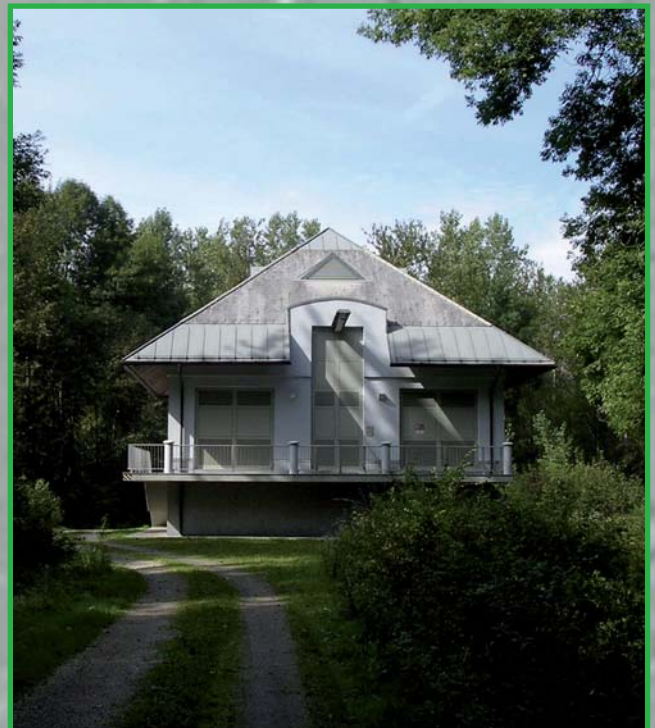
Im Verlauf der Untersuchungen für dieses Projekt wurden in den Jahren 2004 und 2005 in einer ersten Übersichtsbeprobung 205 Wasserproben entnommen und radiometrisch analysiert. Nach Auswertung der Analysen der Erstbeprobung wurden unter Einbeziehung geologischer Einflussfaktoren in den Jahren 2005 und 2006 weitere 149 Wasserproben gezogen und detailliert radiometrisch untersucht. Bei dieser Spezialbeprobung wurde die Radon-222-Aktivitätskonzentration direkt vor Ort mittels eines mobilen Flüssigszintillationsmessgerätes bestimmt. Dadurch konnten einerseits die Messunsicherheiten durch die unmittelbare Messprobenherstellung und Analyse vor Ort gering gehalten und andererseits Entscheidungen über weitere Probenahmen und Aktivitätsbestimmungen im Bedarfsfall (beim Auftreten hoher Aktivitätskonzentrationen) sofort getroffen werden. Alle gezogenen Wasserproben wurden anschließend im Labor auf Alpha-Beta-Gesamt-, Gesamt-Alpha- und Gesamt-Beta-Aktivität sowie auf die Radionuklide Radon-222, Radium-226, Radium-228, Tritium (H-3), Uran-238, Blei-210 und Polonium-210 analysiert.

Die Verteilungen der Radionuklidkonzentrationen wurden sowohl quantitativ als auch geographisch ausgewertet. Für die einzelnen Radionuklide wurde auf Basis der rechtlichen Grundlagen eine Klassifizierung der Analysenwerte vorgenommen. Dabei zeigte sich,

dass die weitaus überwiegende Anzahl der Analysenwerte unterhalb der höchsten Klasse von 4 Klassen lag. Bei der Ermittlung der Gesamtdosis durch Radionuklide im Trinkwasser stellte sich heraus, dass die Dosisbeiträge von Blei-210 und Polonium-210 generell jene von Radium-226 und Radium-228 stark übersteigen.

Um landesweit einheitliche Beurteilungskriterien zu schaffen wurden auf Basis der rechtlichen Grundlagen unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Studie Empfehlungen für die behördlich-gutachterliche Radioaktivitätskontrolle sowie für routinemäßige Untersuchungen von Trinkwasser ausgearbeitet.

Aus den Ergebnissen dieser Studie kann abgeleitet werden, dass - abgesehen von Einzelfällen - derzeit generell keine strahlenhygienischen Probleme bei der Trinkwasserversorgung in Oberösterreich vorliegen. Zur Erkundung von strahlenhygienisch problematischen Einzelfällen sowie zur laufenden Beweissicherung hinsichtlich künstlicher Radioaktivität wird empfohlen, im Zuge von routinemäßigen Trinkwasseruntersuchungen in Oberösterreich zukünftig die grundlegenden Radioaktivitätsparameter mitzuerheben.



Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	3
1 Motivation und Ziele	5
2 Einleitung	5
3 Durchführung und Methodik	6
3.1 Probenahme	6
3.2 Radiometrische Analytik	7
4 Ergebnisse	8
4.1 Klasseneinteilung der Aktivitätskonzentrationen	8
4.2 Ergebnisse der Erstbeprobung	10
4.3 Ergebnisse der Spezialbeprobung	11
Radon-222	11
Tritium	13
Radium-226	13
Radium-228	14
Blei-210 und Polonium-210	14
Uran-238	15
4.4 Aktivitätsverläufe innerhalb von Wassereinheiten	16
4.5 Hydrogeologie und Radioaktivität im Wasser	17
4.6 Auswertung der Gesamtdosis der untersuchten Proben	19
5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	21
5.1 Schlussfolgerungen	21
5.2 Empfehlung für begleitende Analysen von Radionukliden im Trinkwasser in Oberösterreich	22
5.3 Empfehlungen für die behördliche/gutachterliche Kontrolle von Trinkwasser auf Radioaktivität	23
Europäische und nationale rechtliche Rahmenbedingungen	23
Empfehlungen für den Untersuchungsumfang und für Eingreifwerte	24
6 Literatur	27

Impressum:

Medieninhaber und Herausgeber:

Land Oberösterreich, Abteilung Umwelt- und Anlagentechnik
Umwelttechnik - Strahlenschutz, Kärntner Str. 10-12, 4021 Linz, Tel. 0732-7720-14543
E-Mail: u-ut.post@ooe.gv.at

Homepage:

www.land-oberoesterreich.gv.at

Redaktion:

Dipl.-ing. Erwin Nadschläger, Land Oberösterreich

Wissenschaftliche Begleitung:

Valeria Gruber, Franz Josef Maringer, BOKU Wien

Gestaltung:

Manfred Frosch

Ausgabe März 2007

1 Motivation und Ziele

Das gegenständliche Projekt ist Teil der Studie des Landes OÖ zur Untersuchung der Strahlenexposition von Arbeitnehmern in Trinkwasserwerken und Heilbädern und der Bevölkerung durch Radionuklide im Trinkwasser.

Das 2-Jahres-Projekt (Juli 2004 bis Herbst 2006) wurde durchgeführt zur Erhebung der hyd-geologisch-radiometrischen Basisdaten im Rahmen der landespolitischen Umweltstrategie hinsichtlich des Schutzes der Bevölkerung vor der Exposition durch Radionuklide im Trinkwasser und zur Erstellung einer Rahmenempfehlung für die landesdienstliche Unterstützung/ Überwachung von Sanierungs- und Vorsorgemaßnahmen zur Reduktion der Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radionuklide im Trinkwasser im Land Oberösterreich.

Die Umsetzung der Richtlinien für Strahlenschutz, Trinkwasserqualität und gemeinsame Wasserpolitik der Europäischen Union erfordern im Zusammenhang mit den rechtlichen Rahmenbedingungen in Österreich die Erhebung der Radioaktivität des Trinkwassers und der daraus resultierenden Strahlenexposition. Die Erhebungen und die daraus abgeleiteten Empfeh-

lungen für Verbesserungs- und Vorsorgemaßnahmen sind im Regierungsübereinkommen "Zukunft Oberösterreich 2003-2009" gefordert und dienen zur Qualitätssteigerung der "Lebensressource Wasser" und der Beweissicherung "Radioaktivität" im Trinkwasser Oberösterreichs.

Als rechtliche Rahmenbedingungen gelten innerhalb der EU die Strahlenschutzrichtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13.5.1996, die Trinkwasserrichtlinie 98/83/EC vom 3.11.1998 und die Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000; innerhalb des Bundes das Strahlenschutz-EU-Anpassungsgesetz BGBl. I 137/2004, die Allgemeine Strahlenschutzverordnung BGBl. II 191/2006, die Trinkwasserverordnung BGBl. II, 304/2001 und die Mineral- und Quellwasserverordnung BGBl. II, 309/1999. Als Empfehlungen existieren die "International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources". IAEA Safety Series No.115 (1996) und die Empfehlung der Kommission vom 20.12.2001 über den Schutz der Bevölkerung vor der Exposition gegenüber Radon im Trinkwasser.

2 Einleitung

Radioaktivität im Trinkwasser ist ein Thema, welches in Österreich in verschiedenen Untersuchungen und Publikationen bereits behandelt wurde. Die meisten dieser Studien behandeln Radon-222, manche auch Radium-226. Meist umfassen diese Studien Übersichtsmessungen über ganz Österreich oder spezifische Fragestellungen für kleine ausgewählte Gebiete.

Da die Umsetzung der Richtlinie für Trinkwasserqualität ein fundiertes Basisnetz an Daten über Radioaktivität im Trinkwasser und der daraus resultierenden Strahlenexposition erfordert, hat sich das Land Oberösterreich dazu entschlossen, eine umfassende Studie im Bundesland durchzuführen. In der Literatur (z.B. [Friedmann1999]) ist zu finden, dass zumindest bezüglich der Radon-222-Aktivitätskonzentration im Wasser, Oberösterreich durch das Mühlviertel zu jenen

Ländern gehört (mit Niederösterreich), die am ehesten Handlungsbedarf im Hinblick auf Radioaktivität im Trinkwasser haben.

Im Zuge dieser Studie sollen diese Erkenntnisse für Oberösterreich mit weiteren Messungen verifiziert und erweitert werden - einerseits ausgeweitet auf andere Nuklide (z.B. Radium-226 und Radium-228, Uran-238 und Radonfolgeprodukte) und andererseits ausgedehnt auf weitere geologische Zonen Oberösterreichs. Das Netz aus Einzeldaten früherer Projekte soll dadurch verdichtet werden. Einheitliche, gut dokumentierte Probenahmedaten und Messungen im Rahmen dieses Projekts sollen die Umsetzung der Richtlinie ermöglichen und als Grundlage für weitere, aufbauende Studien dienen.

3 Durchführung und Methodik

3.1 Probenahme

Die Probenahme des Projekts erfolgte in zwei Phasen. In der ersten Phase von Oktober 2004 bis Jänner 2005 wurden für eine Übersichtsbeobachtung 205 Wasserproben verteilt über Oberösterreich genommen. Die Beprobung erfolgte von verschiedenen Dienststellen, Institutionen und Firmen im Zuge anderer Projekte oder Probenahmen. So wurden 79 Wasserproben an repräsentativen Stellen innerhalb der im Zuge des 2. Teilprojekts "Strahlenexposition von Beschäftigten in oberösterreichischen Wasserwerken" ausgewählten 45 Wasserwerke mitbeobachtet. 40 Wasserproben wurden durch die AGES Linz, CC Hydroanalytik, in kleineren Wasserversorgungseinheiten und privaten Hausbrunnen genommen. Weitere 86 Wasserproben wurden bei der vierteljährlichen Beprobung im Rahmen der Beobachtungen gemäß Wassergütererhebungsverordnung (WGEV) mitbeobachtet.

Die Auswahl der Messstellen erfolgte nach Möglichkeit so, dass eine flächendeckend-repräsentative Beprobung erreicht wird. Berücksichtigt wurde bei der Auswahl, dass in allen geologischen Zonen nach Möglichkeit ausreichend Messpunkte liegen, verstärktes Augenmerk wurde dabei auf das Mühlviertel gelegt.

Nach der radiometrischen Überblicksmessung der Wasserproben der Übersichtsbeobachtung wurden unter Einbeziehung geologischer Faktoren in besonders interessanten Gebieten weitere 149 Proben in 23 Gemeinden gezogen. Auswahlkriterien für diese Spezialbeobachtung waren:

- ⇒ erhöhte Aktivitätskonzentrationen bei der Übersichtsbeobachtung,
- ⇒ Gemeinden an relevanten geologischen Störungen (Bayrischer Pfahl, Donaustörung, Haselgraben),
- ⇒ Gebiete mit erhöhten Uran- und Thoriumwerten laut Geochemischem Atlas [Geologische Bundesanstalt 1987] und
- ⇒ Basisgestein mit erhöhtem Radonpotential (Hauptdolomit, Sulzberger Granit, Altenberger Granit, Weinsberger Granit).

Die Proben wurden von Mitarbeitern der Universität für Bodenkultur und der Unterabteilung Umwelttechnik des Landes Oberösterreich in eigenen Beprobungsreihen genommen. Beobachtet wurden sowohl Hausbrunnen als auch private und öffentliche Wasserversorgungsanlagen. Um Zusammenhänge herstellen zu können, wurden in Wasserversorgungsanlagen mehrere Proben entlang des Verlaufs des Wassers von der Quelle bis hin zum Verbraucher gezogen.

So wurden im Zeitraum von Juni 2005 bis März 2006 72 Proben im unteren Mühlviertel (9 Gemeinden), 11 Proben im oberen Mühlviertel (2 Gemeinden), 10 Proben im mittleren Mühlviertel (2 Gemeinden), 18 Proben im Innviertel (3 Gemeinden) und 22 Proben im südlichen Oberösterreich (7 Gemeinden) genommen. Zusätzlich wurden 16 "Heilige Quellen" - Quellen oder Bründl, die bei der Bevölkerung als besonders wohltuend oder als Heilwasser gelten [Hirsch2002] beobachtet.



3.2 Radiometrische Analytik

Die Wasserproben der Übersichtsbeprobung wurden auf Alpha-Beta-Gesamt, Radon-222, Uran-238, Tritium und Radium-226 analysiert. Ein Teil der Proben der Spezialbeprobung wurde darüber hinaus noch auf Alpha-Gesamt, Beta-Gesamt, Radium-228, Blei-210 und Polonium-210 analysiert. Die meisten Analysen wurden vom Labor der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit AGES, CC Strahlenschutz und Radiochemie, Wien, durchgeführt. Die Messung von Uran-238 erfolgte mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS), alle anderen Nuklide mittels Flüssigszintillationmessung (LSC). Die Proben wurden bei der Beprobung zur Stabilisation mit suprapurer Salpetersäure angesäuert. Ein Teil der Wasserproben der Übersichtsbeprobung wurde außerdem im Low-Level-Counting-Labor der Universität für Bodenkultur Wien gammaspektrometrisch auf Radon-222 gemessen.

Für die Bestimmung der Radonfolgeprodukte Blei-210 und Polonium-210 müssen Korrekturrechnungen für

das aus dem Radon-222 im Probenbehälter nachwachsende Blei-210 durchgeführt werden, weshalb die Radon-222-Aktivität des Wassers genau bekannt sein muss.

Alle Proben der Spezialbeprobung wurden mittels mobilen Flüssigszintillationsgeräts Triathler (Fa. Hidex) vor Ort auf Radon gemessen. Durch das unmittelbare Einbringen des zu messenden Wassers in das LSC-Messfläschchen (Vial) am Ort der Beprobungsstelle - ohne Zwischentransport in einer Flasche - treten faktisch keine Radon-222-Verluste durch Umfüllen auf.

Die Messzeit einer LSC-Radonmessung beträgt für eine ausreichende geringe Messunsicherheit (rund 10 %) ca. 10 Minuten. Daher kann bei der Vor-Ort-Messung auf die erhaltenen Messergebnisse unmittelbar reagiert werden (z.B. weitere Probenahmen). Die Methode soll zukünftig als Standardmessmethode für Radon im Trinkwasser verwendet werden, daher wurden Vergleichsmessungen mit unterschiedlichen Szintillationscocktails durchgeführt.



4 Ergebnisse

Im Zuge der im vorigen Kapitel beschriebenen unterschiedlich ausgerichteten Probenahmen innerhalb dieses Projekts wurden insgesamt 354 Proben verteilt über Oberösterreich genommen (205 bei der Erstbeprobung, 149 bei der Spezialbeprobung). In Ab-

bildung 1 sind alle Probenahmestellen dargestellt - die Punkte der Erstbeprobung in hellblau, verteilt über Oberösterreich. Die dunkelblauen Punkte kennzeichnen die Spezialbeprobung, welche an ausgewählten Stellen durchgeführt wurde.

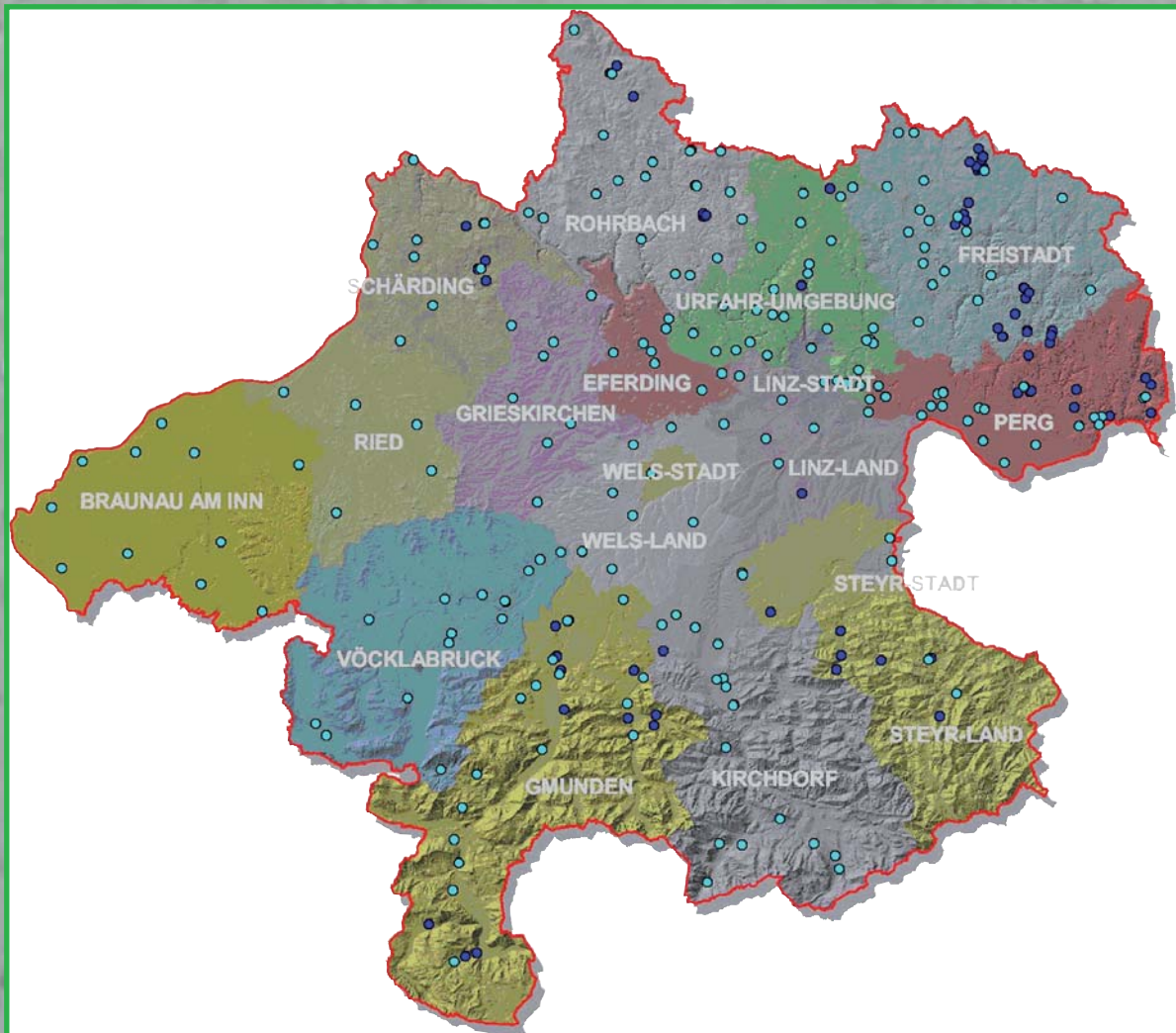


Abbildung 1: Übersicht über die Probenahmestellen
(hellblau - Erstbeprobung, dunkelblau - Spezialbeprobung)

4.1 Klasseneinteilung der Aktivitätskonzentrationen

Um die Messergebnisse leichter darstellen, vergleichen, einordnen und interpretieren zu können, wurde eine Klasseneinteilung der Aktivitätskonzentrationen der einzelnen gemessenen Nuklide gewählt (Tabelle 1). Die Klasseneinteilung der Aktivitätskonzentration wurde bei Tritium aus geltenden Richtwerten übernommen [Europäische Kommission 1998; Trinkwasserverordnung], bei Radon gemäß der Empfehlung der Europäischen Kommission [EC2001] und bei Uran

angelehnt an den Richtwert der World Health Organisation [WHO1998] von 30 µg/l (entspricht einer U-238-Aktivitätskonzentration von ca. 0,37 Bq/l; in der 3. Auflage der Guidelines for Drinking-water Quality [WHO2004] wird ein provisorischer Richtwert für Uran von 15 µg/l vorgeschlagen; jedoch ist ein tatsächliches Gesundheitsrisiko für U-Konzentrationen über diesem Richtwert noch nicht ausreichend belegt und sind praktische Sanierungsmethoden für diesen

Konzentrationsbereich derzeit noch nicht verfügbar). Bei allen anderen Nukliden wurde die Klasseneinteilung der Aktivitätskonzentrationen entsprechend dem Dosis-Richtwert von 0,1 mSv/a [Europäische Kommission 1998; Trinkwasserverordnung] berechnet

[ÖNORM2005, Risica2000]. Der indikativen Gesamtrichtdosis von 0,1 mSv/a entspricht in jeder Klasseneinteilung der Grenze zwischen Klasse 2 und 3. Die Klassengrenze darunter repräsentiert ein Zehntel dieses Werts, diejenige darüber das Zehnfache.

Tabelle 1:

Gewählte Klasseneinteilung nach Aktivitätskonzentration

Messung	Klasse	Einteilung [Bq/l]
Alpha-Beta-Gesamt	1	< 0,10
	2	0,10 - 0,99
	3	1,00 - 9,9
	4	≥ 10,0
Alpha-Gesamt	1	< 0,010
	2	0,010 - 0,099
	3	0,100 - 0,99
	4	≥ 1,00
Beta-Gesamt	1	< 0,10
	2	0,10 - 0,99
	3	1,00 - 9,9
	4	≥ 10,0
H-3	1	< 10
	2	10 - 99
	3	100 - 999
	4	≥ 1000
Ra-226	1	< 0,050
	2	0,050 - 0,49
	3	0,50 - 4,9
	4	≥ 5,0
Ra-228	1	< 0,020
	2	0,020 - 0,19
	3	0,20 - 1,9
	4	≥ 2,0
Rn-222	1	< 10
	2	10 - 99
	3	100 - 999
	4	≥ 1000
U-238	1	< 0,037
	2	0,037 - 0,369
	3	0,370 - 3,69
	4	≥ 3,70
PB-210	1	< 0,020
	2	0,020 - 0,19
	3	0,20 - 1,9
	4	≥ 2,0
Po-210	1	< 0,010
	2	0,010 - 0,099
	3	0,100 - 0,99
	4	≥ 1,00



4.2 Ergebnisse der Erstbeprobung

Von den 205 Messungen der Erstbeprobung liegt kein Radon-222-Messwert in Klasse 4. Die höchsten Radonkonzentrationen mit 344 und 342 Bq/l liegen beide im selben Ort im mittleren Mühlviertel. Weitere 9 Messwerte der Klasse 3 liegen verteilt im Mühlviertel, einer im Innviertel (evt. Hinweis auf Donaustörung). Interessant ist, dass auch bei Durchsicht der Altdaten, die im Zuge der Wassergüte-Erhebungsverordnung WGEV erhalten wurden, höhere Radonwerte an diesem Ort im Innviertel gefunden wurden.

Alle Proben liegen bezüglich Tritium (H-3) in Klasse 1. Nur ein Messpunkt der Alpha-/ Beta-Gesamtaktivität befindet sich in Klasse 2, alle anderen darunter. Diese Probe aus dem unteren Mühlviertel weist auch als einzige die Radium-226-Klasse 2 auf.

17 Messstellen fallen bezüglich Uran-238 in Klasse 2. Diese Messstellen sind über Oberösterreich verteilt (Abbildung 9, Abschnitt 4.5). Auffällig ist, dass kein Zusammenhang zwischen erhöhten Uran- und erhöhten Radonwerten erkennbar ist. Kein einziger der Messpunkte mit höheren Uranwerten hat eine Radonkonzentration über 100 Bq/l.

Die Summenhäufigkeiten aller Messwerte (über der Erkennungsgrenze) von Radon-222, Tritium und Uran-238 folgen innerhalb akzeptabler Unsicherheiten

logarithmischen Normalverteilungen. Die Summenhäufigkeitsverteilung der Radon-Aktivitäten der Erstbeprobung zeigt, dass 95 % der Messpunkte unter 100 Bq/l liegen. Der Median der Aktivitätskonzentrationen der zufällig über Oberösterreich verteilten Messproben beträgt ungefähr 12 Bq/l. Dies stimmt gut mit früheren österreichweit durchgeführten Messungen [Friedmann1999] überein. Laut der Verteilung ist zu erwarten, dass 99,9 % aller Trinkwasserproben unter 600 Bq/l Radon-222-Aktivitätskonzentration aufweisen (Abbildung 2).

Die Summenhäufigkeitsverteilung der Tritium-Aktivitäten der Erstbeprobung lässt erwarten, dass 99,9 % aller Trinkwasserproben in Oberösterreich unter 4 Bq/l liegen. Der Median der Verteilung liegt bei ungefähr 1 Bq/l. Da laut Richtlinie der Europäischen Kommission der indicative Aktivitätsrichtwert bei 100 Bq/l festgelegt wurde, sind hier derzeit keine strahlenschutzrelevanten Probleme für die Bevölkerung zu erwarten.

Die Summenhäufigkeitsverteilung der Uran-238-Aktivitäten der Erstbeprobung zeigt, dass 90 % der Messwerte unter 0,037 Bq/l liegen und ca. 99,5% unter dem WHO-Richtwert von 0,37 Bq/l (entspricht 30 µg/l natürlichem Uran) zu erwarten sind. Der Median der Verteilung beträgt etwa 6 mBq/l.

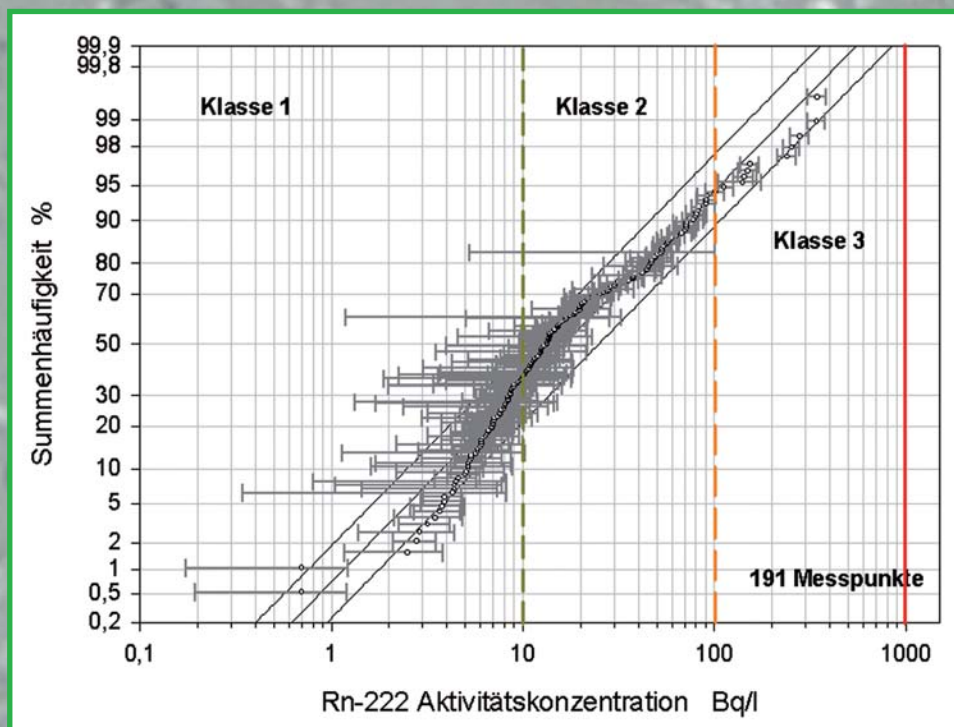


Abbildung 2: Summenhäufigkeitsverteilung der Rn-222-Messwerte über Erkennungsgrenze - Erstbeprobung

4.3 Ergebnisse der Spezialbeprobung

Radon-222

An allen 149 Messstellen der Spezialbeprobung wurde Radon-222 mit dem LSC Triathler vor Ort analysiert. Alle Messstellen liegen bezüglich Radon-222 über der Erkennungsgrenze, keiner davon in Klasse 4 (≥ 1000 Bq/l), 74 in Klasse 3 (≥ 100 Bq/l). Die höchste gemessene Rn-222-Aktivitätskonzentration (900 Bq/l) zeigte ein Tiefbrunnen im unteren Mühlviertel. Vom Strahlenschutzaspekt ist für die Exposition der Bevölkerung durch Radionuklide im Trinkwasser die Aktivität direkt beim Verbraucher relevant. Es wurden innerhalb der Spezialbeprobung 36 Proben aus Wasserleitungen direkt beim Verbraucher (Ortswasserversorgungen, kleinere Wassergenossenschaften, Hausbrunnen) genommen. 17 davon liegen bezüglich ihrer Radon-222-Aktivitätskonzentration über 100 Bq/l. 16 der 17 Messstellen über 100 Bq/l (Klasse 3 - orange) aus der Leitung beim Verbraucher befinden sich im mittleren oder unteren Mühlviertel (Abbildung 3). Den höchsten Wert lieferte ein Hausbrunnen im mittleren Mühlviertel (750 Bq/l). Ein Punkt liegt im Innviertel, wo auch bereits bei der Spezialbeprobung und in den Altdaten höhere Radonwerte gefunden wurden (Donaustörung). Außerdem ist zu sehen, dass die meisten der höheren Radonwerte beim Verbraucher an Hausbrunnen genommen wurden. Grundsätzlich ist in diesem Zusammenhang laut den Ergebnissen des Projekts zu sagen, dass "Probleme" bezüglich Radon-222-Aktivitäten eher an Hausbrunnen auftreten können, von dem der Verbraucher das Wasser direkt konsumiert (und da vor allem im Mühlviertel). Bei Wasserversorgungsanlagen ist die Radonaktivitätskonzentration direkt beim Verbraucher bis auf wenige Ausnahmen eher unproblematisch.

Die Messungen der Erstbeprobung zeigten relativ niedrige Radonaktivitäten über Oberösterreich verteilt. Der Medianwert der Summenhäufigkeitsverteilung der Messwerte lag bei etwa 12 Bq/l (Abbildung 2). Dem gegenüber stehen die viel höher liegenden Radonaktivitäten der Spezialbeprobung. Dies kommt einerseits durch die direkte Probenahme und Messung ohne Verluste zustande, andererseits durch die nicht mehr über Oberösterreich gleich verteilten Messpunkte. Da die Spezialbeprobung nur mehr an Stellen mit höheren Messwerten der Erstbeprobung bzw. in geologisch ausgesuchten Gebieten durchgeführt wurde, ergibt die Summenhäufigkeitsverteilung der Radon-222-Aktivitätsmessergebnisse der Spezialbeprobung einen deutlich höheren Median von 100 Bq/l (Abbildung 4).

Man erkennt in der Abbildung, dass diese Werte nicht mehr nur logarithmisch normalverteilt sind. Die bei niedrigen Radonaktivitäten innerhalb sehr geringer Unsicherheiten einer logarithmischen Normalverteilung folgende Kurve "biegt" bei höheren Aktivitäten ab etwa 200 Bq/l stark nach oben ab. Es zeigt sich daher (Abbildung 4), dass die Messwerte aus zwei Verteilungen stammen. Während die Extrapolation der ersten Summenhäufigkeitsverteilung Radonaktivitäten von über 1000 Bq/l für rund 10 % der Trinkwässer in Oberösterreich liefert, ergibt die Berücksichtigung der zweiten Verteilung (ab etwa 200 Bq/l - rot in Abbildung 4) lediglich einen Anteil von 1 % über 1000 Bq/l. Das heißt, mit einer reinen Extrapolation der Summenhäufigkeitsverteilung der niedrigen Radon-Aktivitäten würde man das "Radonaktivitätsproblem" überschätzen.



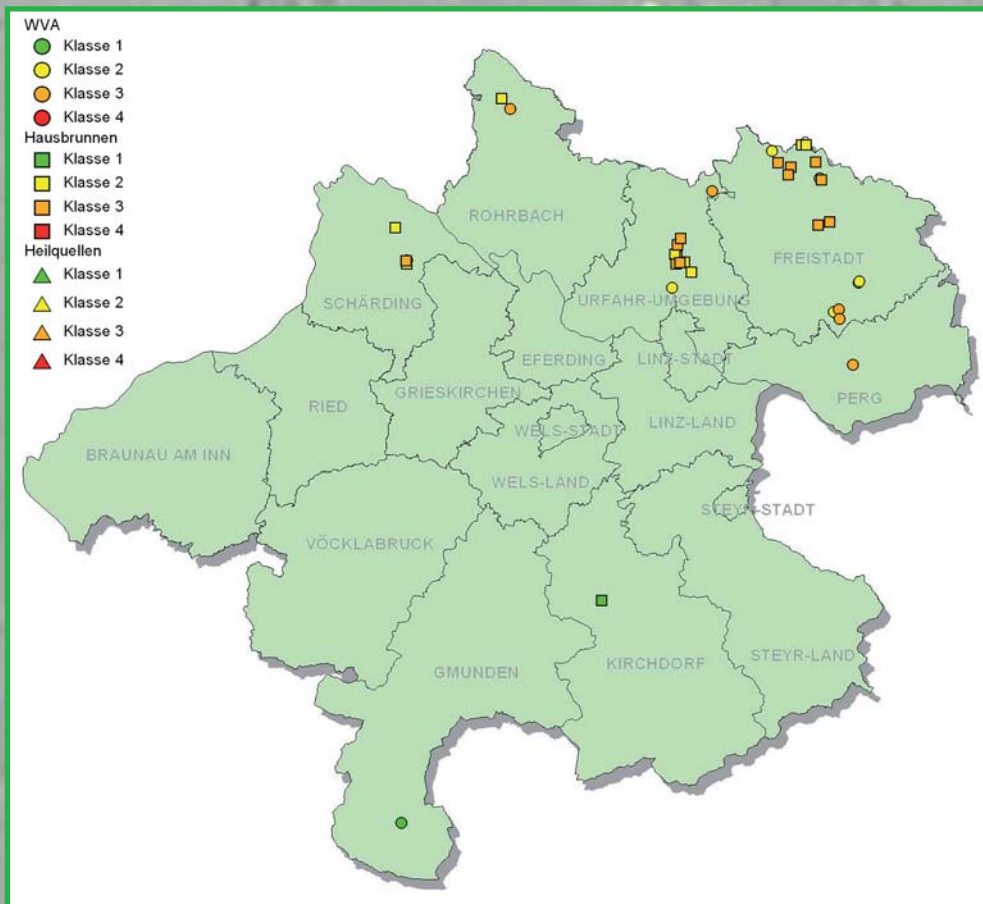


Abbildung 3: Darstellung der Radon-222-Messwerte aus der Leitung direkt beim Verbraucher (Klassen: Tabelle 1, Seite 9)

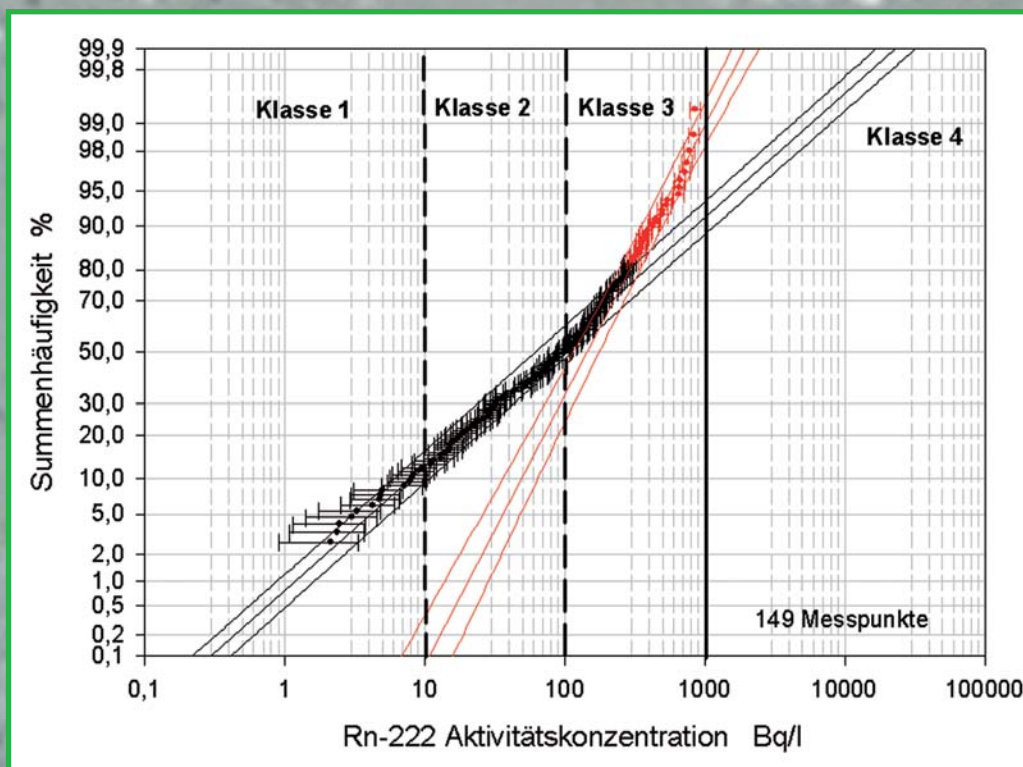
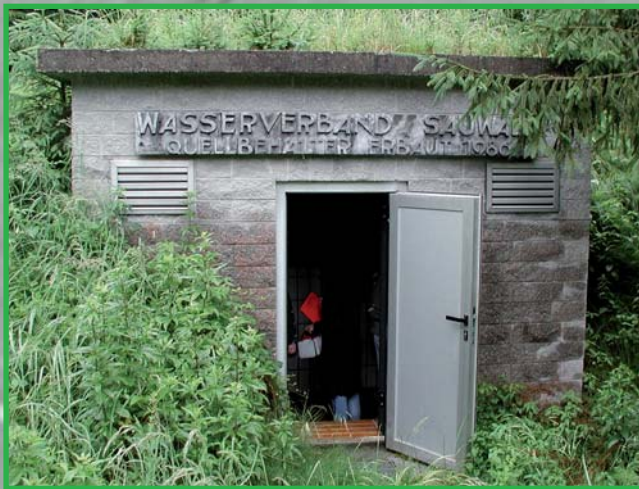


Abbildung 4: Summenhäufigkeitsverteilung aller Radon-222-Messwerte - Spezialbeprobung

Tritium

Proben von 127 Messstellen wurden auf Tritium untersucht. 59 davon waren über der Erkennungsgrenze von 0,54 bis 0,91 Bq/l. Diese 59 Messstellen mit einer Tritiumaktivität über der Erkennungsgrenze liegen alle in Klasse 1 (< 10 Bq/l). Die Summenhäufigkeitsverteilung zeigt einen Median von ungefähr 1,8 Bq/l. Dies entspricht gut dem Median der Summenhäufigkeitsverteilung der Erstbeprobung von rund 1,4 Bq/l. Die Tritium-Aktivitäts-Ergebnisse haben sich durch die Spezialbeprobung an ausgewählten Stellen also nicht merklich verändert, was darauf schließen lässt, dass die Tritium-Aktivitätskonzentrationen im Trinkwasser in Oberösterreich generell niedrig und nicht dosisrelevant sind.



Radium-226

Proben von 121 Messstellen wurden auf Radium-226 analysiert. Davon lagen nur 7 über der Erkennungsgrenze von 0,037 bis 0,055 Bq/l. Die Messstellen mit einer Radium-226-Aktivität über der Erkennungsgrenze sind über Oberösterreich verteilt (Mühlviertel und südliches Oberösterreich). Den höchsten Messwert (0,15 Bq/l) lieferte ein Tiefbrunnen im unteren Mühlviertel, den zweithöchsten (0,08 Bq/l) ein Hausbrunnen im mittleren Mühlviertel (Probe direkt aus der Leitung genommen). Die 5 weiteren Messstellen liegen alle im südlichen Oberösterreich. Diese Werte nähern sich der Erkennungsgrenze. Da diese 5 Werte alle innerhalb der gleichen Messserie gemessen wurden, kann daraus nicht geschlossen werden, dass im südlichen Oberösterreich die Ra-226 Aktivität im Wasser höher ist, sondern bei dieser Messserie aus messtechnischen Gründen (Zählstatistik) die Erkennungsgrenze insgesamt geringer war. Eine Summenhäufigkeitsverteilung kann auf Grund der wenigen Messwerte über der Erkennungsgrenze nicht sinnvoll ermittelt werden.



Radium-228

An Proben von 83 Messstellen wurden Radium-228-Analysen durchgeführt. 23 dieser Messstellen haben eine Radium-228-Aktivitätskonzentration über der Erkennungsgrenze (5 bis 7 mBq/l). Nur ein Messwert (22 mBq/l) liegt in der Klasse 2 - ein Hausbrunnen im unteren Mühlviertel. Der Median der Summenhäufigkeitsverteilung der Radium-228-Aktivitätsmesswerte beträgt ungefähr 8 mBq/l. Für 99 % der Trinkwässer in Oberösterreich ist eine Radium-228-Aktivität von unter 20 mBq/l (Klasse 1) zu erwarten.



Blei-210 und Polonium-210

Die Bestimmung der Blei-210- und Polonium-210-Aktivitätskonzentration erfolgte durch LSC-Messungen im Labor der AGES Wien mit Korrekturrechnungen. Da in der Wasserprobe im Probenbehälter Blei-210 aus dem darin zerfallenden Radon nachwächst, muss dies korrigiert werden. Generell ist der Einfluss der Radonfolgeprodukte Blei-210 und Polonium-210 im Trinkwasser auf die Exposition schwierig einzuschätzen, da man die Vorgänge innerhalb der Wasserleitung nicht genau abschätzen kann, und es sein kann, dass diese Nuklide in der Leitung abgelagert werden und daher im Trinkwasser reduziert sind.

Um das tatsächlich im Wasser vorhandene und direkt aus der Leitung bzw. aus der Quelle stammende expositionsrelevante Blei-210 und Polonium-210 zu bestimmen, sollte die Wasserprobe sofort nach der Probenahme eingedampft werden, um späteres Nachwachsen dieser Nuklide durch das zerfallende Radon zu verhindern. Um genauere Aussagen über das Verhalten und die Aktivitätskonzentration der Radonfolgeprodukte im Trinkwasser zu machen, wären solche Messungen zukünftig von großer Bedeutung.

An Proben von 106 Messstellen wurde die Aktivität von Blei-210 bestimmt, 58 davon liegen über der Erkennungsgrenze von 3,3 bis 7,9 mBq/l. Ein Messwert liegt in Klasse 3 (460 mBq/l, Tiefbrunnen im unteren Mühlviertel). Bis auf eine Ausnahme (Innviertel)

bewegen sich alle Messpunkte im Mühlviertel mit einer Blei-210-Aktivität innerhalb der Klasse 2. Die Summenhäufigkeitsverteilung der Blei-210-Messergebnisse liefert einen Medianwert von rund 9 mBq/l. Es ist zu erwarten, dass 99,8 % der Trinkwässer in Oberösterreich eine Blei-210-Aktivitätskonzentration von unter 200 mBq/l aufweisen (entspricht einer effektiven Dosis von unter 0,1 mSv/a).

An Proben von 104 Messstellen wurde Polonium-210 untersucht, davon überschreiten 92 die Erkennungsgrenze. 9 davon liegen bezüglich ihrer Polonium-210-Aktivität in Klasse 3 (>100 mBq/l entspricht >0,1 mSv/a). 8 dieser Messpunkte sind im unteren Mühlviertel, einer im oberen Mühlviertel zu finden (Abbildung 5). 27 der 104 auf Polonium-210 untersuchten Proben sind direkt aus der Leitung beim Verbraucher genommen, 26 davon liegen über der Erkennungsgrenze.

Die höchsten Po-210-Aktivitäten beim Verbraucher (rund 100 mBq/l) weisen drei Hausbrunnen in derselben Gemeinde im unteren Mühlviertel auf. Die Summenhäufigkeitsverteilung der Polonium-210-Messwerte liefert einen Median von ungefähr 15 mBq/l. Laut der Verteilung der Messergebnisse des Projekts ist zu erwarten, dass 96 % aller Trinkwässer in Oberösterreich eine Polonium-210-Aktivität von weniger als 100 mBq/l (Klasse 3) aufweisen.

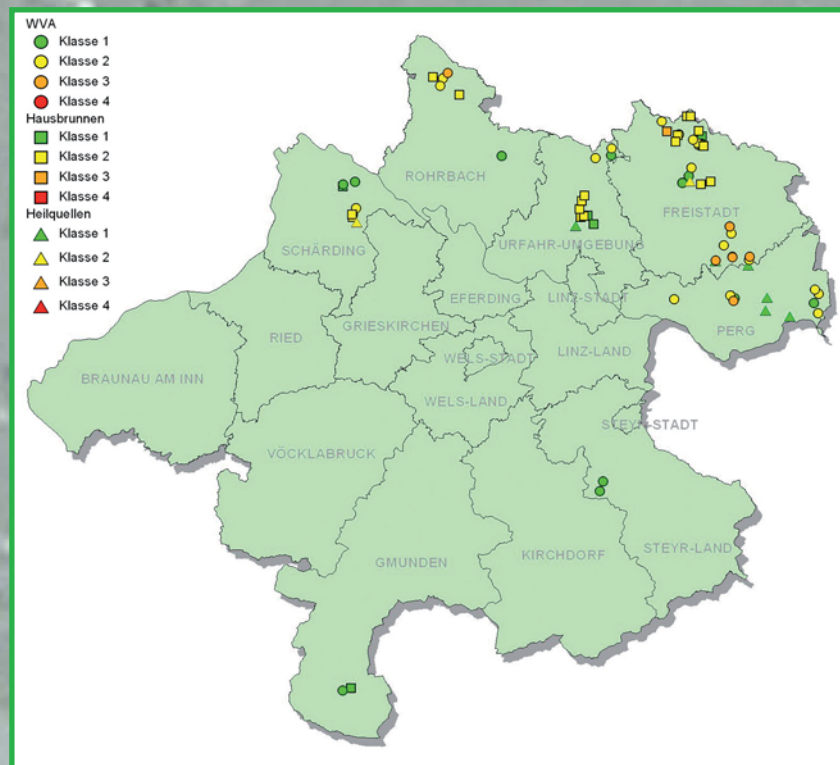


Abbildung 5: Darstellung aller Polonium-210-Messwerte - Spezialbeprobung (Klassen: Tabelle 1, Seite 9)

Uran-238

An Proben von 128 Messstellen wurden Uran-238-Analysen durchgeführt, 102 davon liegen über der Erkennungsgrenze. Drei Messstellen fallen bezüglich ihrer Uran-238-Aktivität in Klasse 3, diese sind ein Tiefbrunnen (1 Bq/l) und eine Quelle vor (0,49 Bq/l) und nach der Entsäuerung (0,45 Bq/l) in derselben Gemeinde im unteren Mühlviertel. Nur zwei der Messwerte über Klasse 1 wurden direkt beim Verbraucher genommen - bei beiden handelt es sich um Hausbrunnen im mittleren und unteren Mühlviertel.

Die Summenhäufigkeitsverteilung der Uran-238-Aktivitätsmessergebnisse der Spezialbeprobung liefert einen Median von etwa 4 mBq/l (Abbildung 6), die

Summenhäufigkeitsverteilung der Erstbeprobung lieferte einen etwas höheren Median von rund 6 mBq/l. Anders als bei den Ergebnissen der Radon-222-Aktivitäten der Spezialbeprobung liefert hier die Probenahme an den - nach bestimmten Kriterien - speziell ausgewählten Messstellen keine höheren Uran-238-Aktivitätswerte. Es scheint, dass in diesen speziell beprobten Gebieten (vor allem Mühlviertel) keine signifikant höheren Uran-238-Aktivitätswerte zu erwarten sind als im restlichen Oberösterreich. Dies stimmt gut mit der gleichmäßigen Verteilung der leicht erhöhten Uran-Aktivitätswerte der Erstbeprobung über Oberösterreich überein.

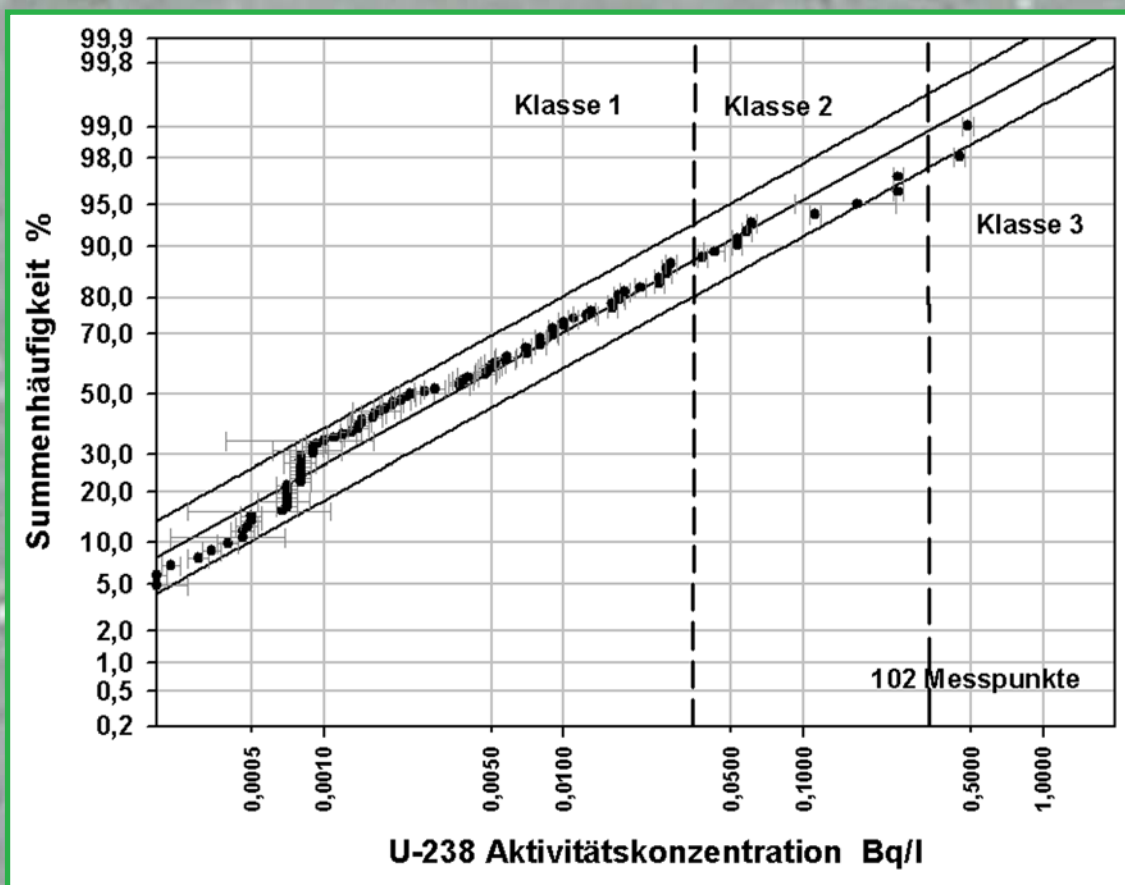


Abbildung 6: Summenhäufigkeitsverteilung aller Uran-238-Messwerte über der Erkennungsgrenze - Spezialbeprobung

4.4 Aktivitätsverläufe innerhalb von Wassereinheiten

Bei der Spezialbeprobung wurden an mehreren Stellen innerhalb einer Wasserversorgungsanlage Proben genommen, um Aktivitätsverläufe entlang des Weges des Wassers darzustellen. So kann man durch direkte Beprobung von Quellen und Brunnen Zusammenhänge mit dem geologischen Untergrund erkennen.

Für die Exposition der Bevölkerung durch das Trinkwasser sind jedoch jene Aktivitätskonzentrationen von Bedeutung, die an der Leitung direkt beim Verbraucher "ankommen". Daher ist es interessant zu untersuchen, wie sich die Aktivitätskonzentrationen des Wassers auf seinem Weg von der Quelle bis zum Verbraucher verändern bzw. welche Einflüsse zu erkennen sind (z.B. Leitung, Aufbereitungsanlagen, Hochbehälter).

Die Darstellung solcher Aktivitätsverläufe aus den Ergebnissen dieses Projekts ist nur mit Radon-222 möglich, da (aus Kosten und Kapazitätsgründen) nur eine Auswahl aller Proben einer Wasserversorgungseinheit auf weitere Nuklide untersucht werden konnte.

Die Darstellung dieser Aktivitätsverläufe zeigt, dass zumindest die hier angewendete Entsäuerung durch Marmorokies keine nennenswerte Reduktion der Radon-222-Aktivität bewirkt. Trotzdem zeigt sich bei allen Beispielen ein Verlauf der Radonaktivität von relativ hohen Werten an den Quellen/Brunnen bis hin zu Werten in Klasse 1 aus der Leitung direkt beim Verbraucher.

Es scheint, dass die effektivste Methode zur Reduktion der Radonaktivität das Mischen mit Wässern niedriger Aktivität und die Verweilzeit (physikalischer Zerfall des Rn-222) sind. Mischen des Wassers oder der Verlauf des Wassers durch Hochbehälter und Leitungen und seine Verweilzeit darin reduzieren die Radonaktivität oft um einige hundert Bequerel.

Die Abbildung 7 zeigt ein Beispiel eines Radon-222-Aktivitätsverlaufs in einer Wassereinheit im unteren Mühlviertel.

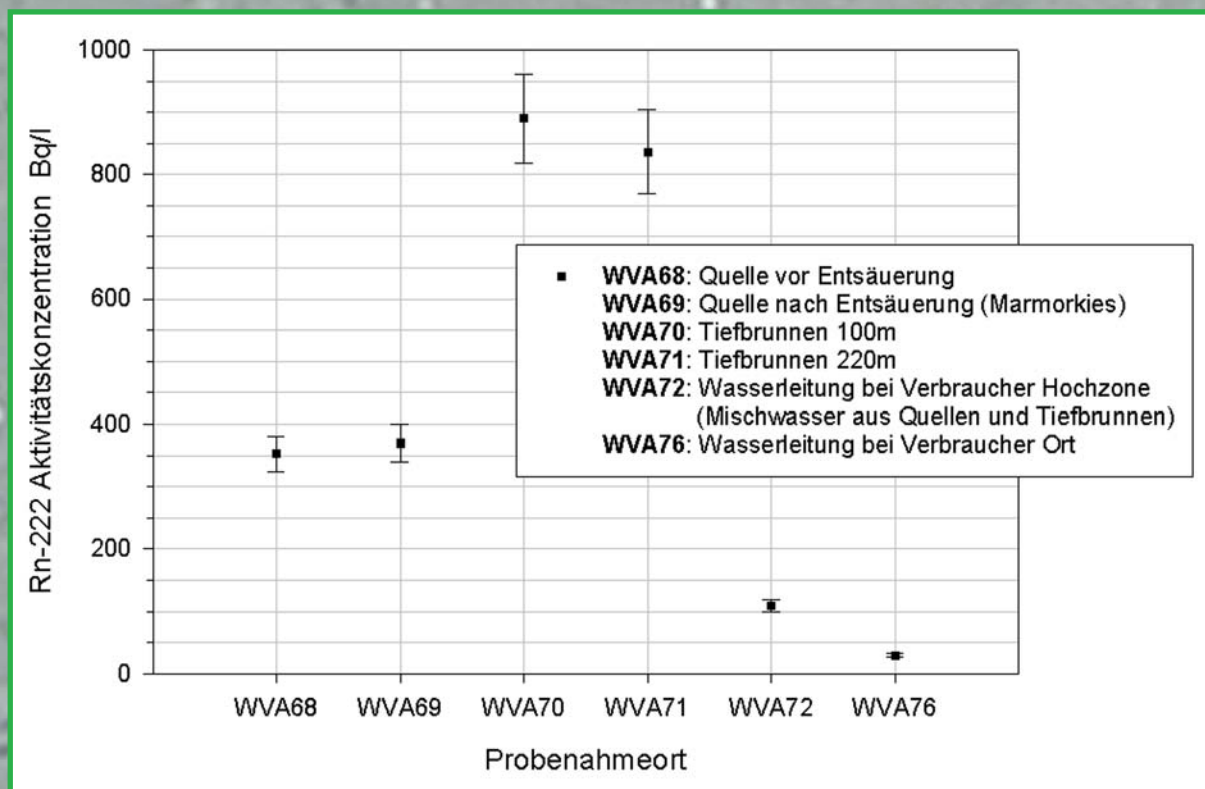


Abbildung 7: Verlauf der Rn-222-Aktivitätskonzentration in einer Wassereinheit im unteren Mühlviertel

4.5 Hydrogeologie und Radioaktivität im Wasser

Eine spezielle Aufgabe innerhalb des Projekts war es, die gemessenen Aktivitäten der verschiedenen Nuklide in Bezug zur Geologie Oberösterreichs zu setzen. Daher wurden mit Hilfe der Landesgeologie diesbezüglich relevante Gebiete für die Spezialbeprobung ausgewählt und außerdem alle Ergebnisse in Karten dargestellt. Basis der meisten Darstellungen bildet die Karte "Hydrogeologie von Oberösterreich" [Vohryzka1973].

Abbildung 8 zeigt die klassifizierte Radon-222-Aktivitätsmessergebnisse der Erstbeprobung in dieser hydrogeologischen Karte. Rn-222-Messwerte der

Klasse 3 wurden nur im Gebiet der Gneise und Granite und des Weinsberger Granits gefunden. Rn-222-Messwerte in Klasse 2 treten auch in den Gebieten der jungen Talfüllungen im mittleren und im westlichen Oberösterreich und in den eiszeitlichen Ablagerungen im Alpenvorland auf.

Die Spezialbeprobung bestätigt diese Aussagen, wenngleich die Rn-222-Aktivitäten bei diesen Messungen höher liegen. Weiters wurden auch geringfügige Korrelationen der Radon-222-Aktivitätsergebnisse mit den wichtigsten geologischen Störungen "Bayrischer Pfahl", "Haselgraben" und "Donaustörung" gefunden.

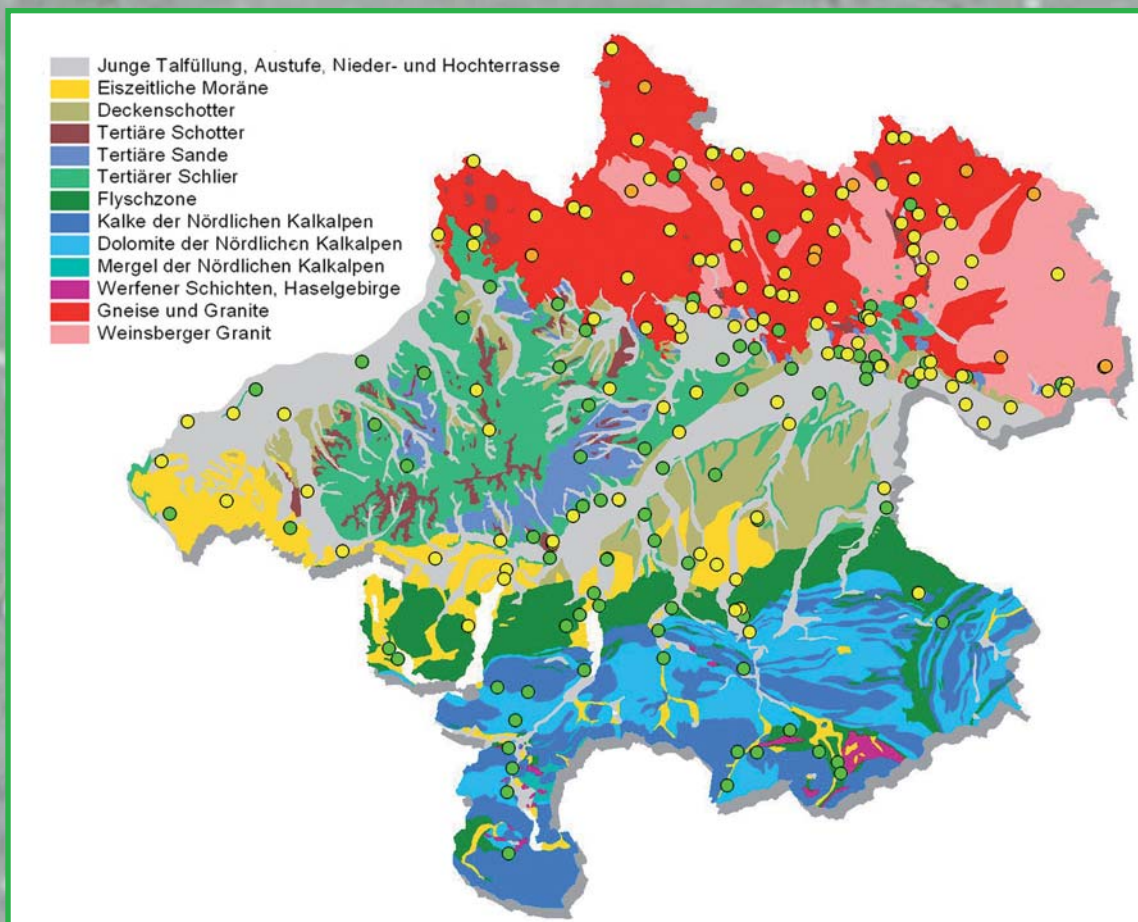


Abbildung 8: Darstellung der klassifizierten Radon-222-Aktivitätsmessergebnisse der Erstbeprobung in der hydrogeologischen Karte von Oberösterreich (Klassifizierung: Tabelle 1, Seite 9)

Die Uran-238-Aktivitätsmesswerte in Klasse 2 verteilen sich gleichmäßig über Oberösterreich, vor allem in den jungen Talfüllungen und den Gneisen und Graniten im Mühlviertel (Abbildung 9). Die Spezialbeprobung zeigt geringfügig erhöhte Uran-238-Aktivitätswerte im Weinsberger Granit. Die Uran-238-Aktivitätsergebnisse zeigen keine Zusammenhänge mit den geologischen Störungen. Außerdem wurden die Uran-238-Daten der Erstbeprobung und Spezialbeprobung (nur direkt aus Quellen und Brunnen) in den geochemischen Atlas [Geologische Bundesanstalt 1987] eingezeichnet. Auch hier kann man keine signifikanten Zusammenhänge erkennen.

Die Aktivitätsmessergebnisse der analysierten Nuklide der Spezialbeprobung wurden in der hydrogeologischen Karte dargestellt. Bei Tritium liegen alle Messergebnisse in Klasse 1, bei Radium-228 eines in Klasse 2 (Granit, unteres Mühlviertel), bei allen anderen Radionukliden in Klasse 1.

Alle Aktivitätsergebnisse der Spezialbeprobung an den Quellen höher als Klasse 1 von Gesamt-Alpha, Gesamt-Beta, Polonium-210 und Blei-210 liegen im Mühlviertel (Granite und Gneise). Eine Untersuchung dieser Zone mit genauer unterteilten geologischen Karten wäre hier zukünftig sinnvoll, um nähere Aussagen über Zusammenhänge zwischen Aktivitätskonzentrationen und Gesteinsart machen zu können.

Die wenigen Messstellen mit einer Radium-226-Aktivitätskonzentration höher als Klasse 1, liegen in verschiedenen hydrogeologischen Gebieten Oberösterreichs, sowohl in den Graniten und Gneisen des Mühlviertels, als auch in den jungen Talfüllungen des Alpenvorlands und im Dolomit der Kalkalpen. Es sei hier aber wieder erwähnt, dass die Erkennungsgrenze bei der Radium-226-Analyse variiert, und ein Messwert knapp über der Erkennungsgrenze bereits in Klasse 2 liegt.

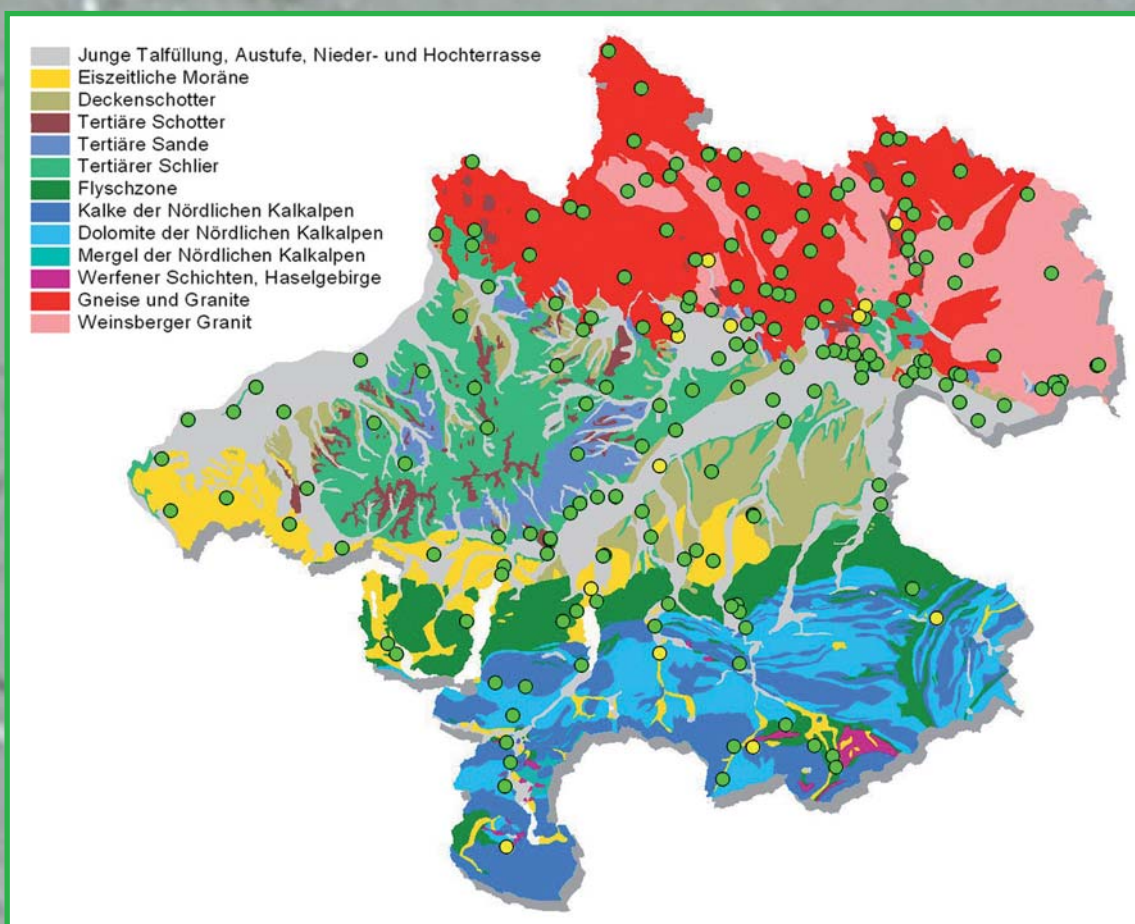


Abbildung 9: Darstellung der klassifizierten Uran-238-Aktivitätsmesswerte der Erstbeprobung in der hydrogeologischen Karte von Oberösterreich (Klassifizierung: Tabelle 1, Seite 9)

4.6 Auswertung der Gesamtdosis der untersuchten Proben

In den bisherigen Kapiteln wurden alle Messergebnisse des Projekts bezüglich ihrer Aktivitätskonzentration der jeweiligen Nuklide dargestellt und diskutiert. Die strahlenschutzrelevante Größe ist die effektive Dosis, welche durch Radionuklide im Trinkwasser verursacht wird. Aus diesem Grund wurde auch die Klassifizierung der Aktivitätskonzentrationen in Bezug auf die effektive Dosis gewählt.

Relevant für Österreich ist dabei die "Bestimmung und Bewertung der Gesamtdosis durch Radionuklide im Trinkwasser" nach ÖNORM S5251:2005. Die Gesamtdosis ist innerhalb dieser Norm definiert als die durch Ingestion der jährlichen Konsumationsmenge von Trinkwasser (730 l) bewirkte effektive Dosis, ohne Berücksichtigung der Beiträge von Tritium, Kalium-40, Radon und Radonfolgeprodukten. Als indikative Gesamtrichtdosis gemäß Trinkwasserverordnung - TWV BGBl. II Nr. 304/2001 - ist eine effektive Dosis von 0,1 mSv mit einem Bezugszeitraum von einem Jahr festgelegt (Gesamtrichtdosis 0,1 mSv/a). Herangezogen werden für die Bewertung der Radioaktivität im Trinkwasser gemäß ÖNORM S 5251:2005 grund-

sätzlich nur die natürlichen Radionuklide Radium-228 und Radium-226, andere natürliche und künstliche Radionuklide nur, wenn begründeter Verdacht auf dosisrelevante Konzentrationen vorliegt.

Die Abbildung 10 zeigt die Summenhäufigkeitsverteilung der berechneten Gesamtdosiswerte laut ÖNORM S 5251:2005 der im Projekt untersuchten Proben (Spezialbeprobung). An 84 Messstellen wurde sowohl Radium-226 als auch Radium-228 analysiert, an 26 Messstellen davon lag zumindest eine der Aktivitätskonzentrationen der beiden Nuklide über der Erkennungsgrenze. Die Abbildung zeigt, dass keine berechnete Gesamtdosis in Klasse 3 oder 4 einzuordnen ist (über dem indikativen Richtwert von 0,1 mSv/a). Die Dosis von nur 3 Trinkwasserproben liegt in Klasse 2 (über 0,01 mSv/a). Laut der Summenhäufigkeitsverteilung der Ergebnisse der Gesamtdosis laut ÖNORM S 5251:2005 verursachen 90 % aller Trinkwässer eine Dosis von weniger als 0,01 mSv/a, und 99,9 % aller Trinkwässer weniger als 0,025 mSv/a. Laut Gesamtrichtdosis nach ÖNORM S 5251:2005 ist man hier weit entfernt von Dosisüberschreitungen.

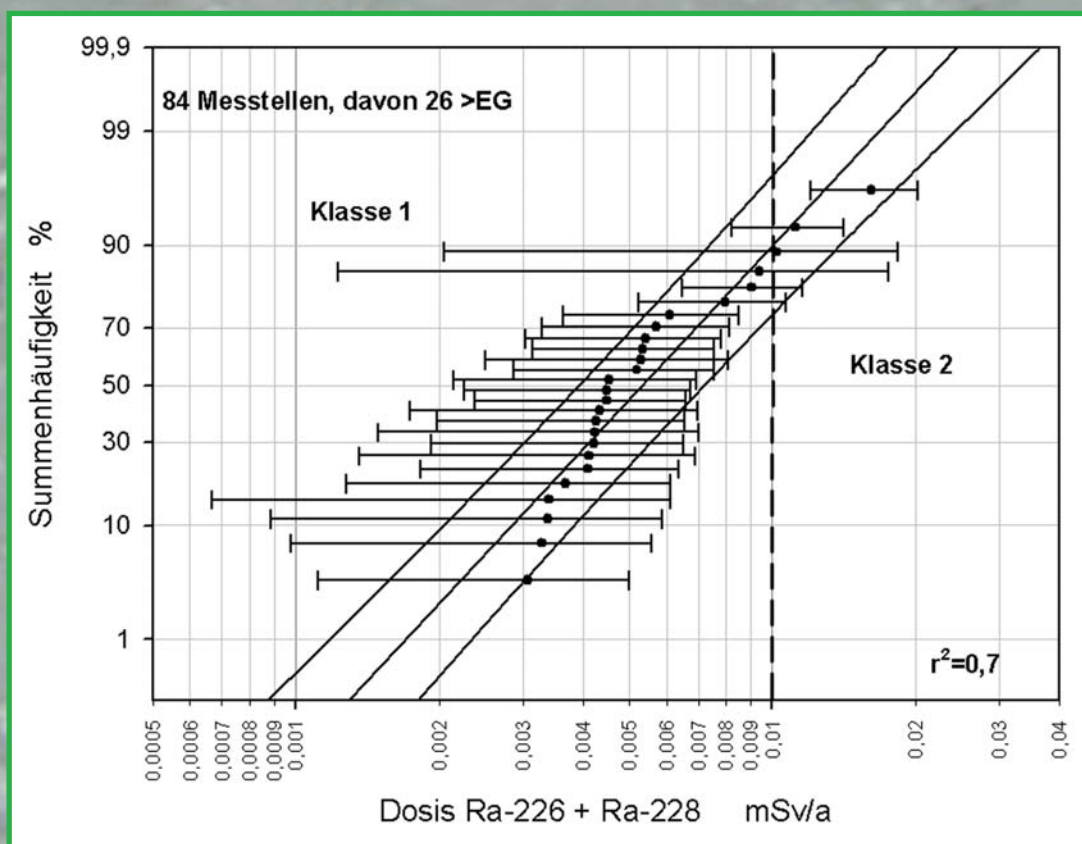


Abbildung 10: Summenhäufigkeitsverteilung der Gesamtdosis nach ÖNORM S 5251:2005

Darüber hinaus wurde der Dosisbeitrag der Radonfolgeprodukte Polonium-210 und Blei-210 berechnet, da die Dosiskonversionsfaktoren für diese Radionuklide größer sind als für Radium-226 und Radium-228.

An 104 Messstellen wurde sowohl Polonium-210 als auch Blei-210 analysiert, bei 93 Messstellen liegt zumindest die Aktivität eines der beiden Nuklide über der Erkennungsgrenze. Die Darstellung der Summen-

häufigkeitsverteilung (Abbildung 11) zeigt, dass der Dosisbeitrag durch diese beiden Nuklide weitaus höher ist, als jener der beiden Radiumisotope. Laut dieser Verteilung ist für 10 % der Trinkwässer eine Dosis durch Polonium-210 und Blei-210 von über 0,1 mSv/a zu erwarten, für 0,1 % über 0,8 mSv/a.

Es zeigt sich, dass der Dosisbeitrag von Polonium-210 und Blei-210 gegenüber jenem der Radiumisotope stark überwiegt.

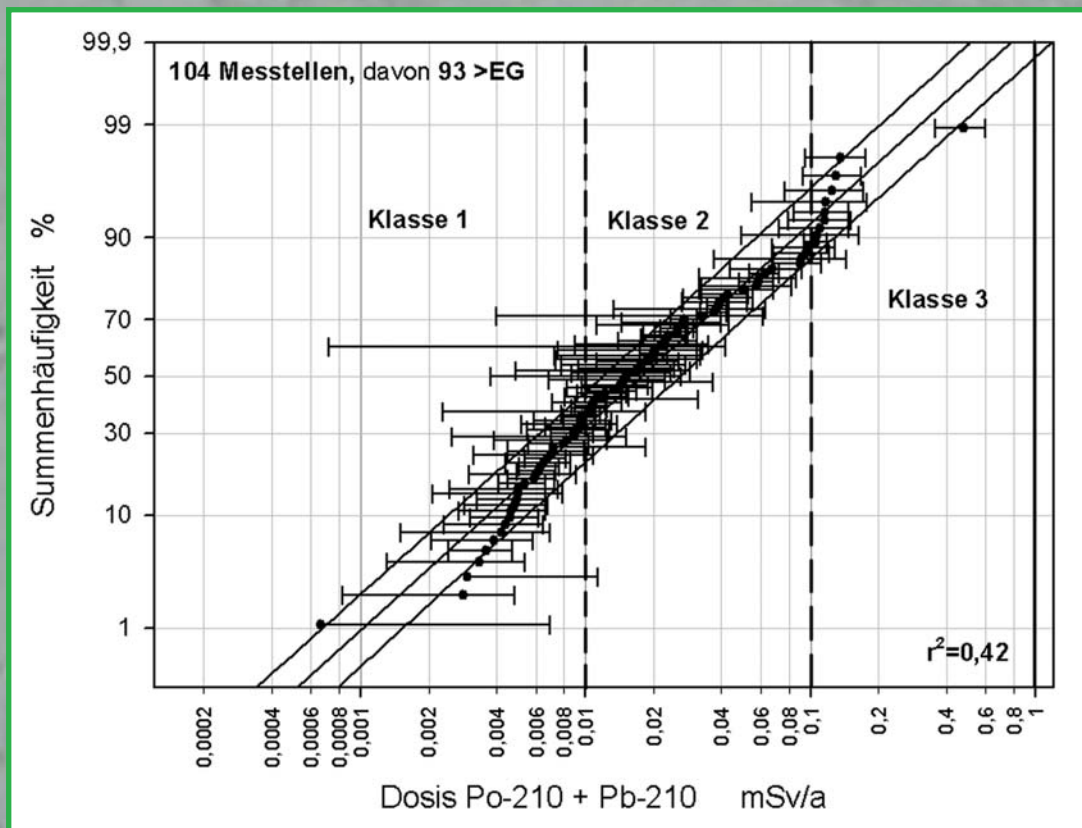


Abbildung 11: Summenhäufigkeitsverteilung der Dosis durch Polonium-210 und Blei-210



5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

5.1 Schlussfolgerungen

Ein wesentliches Ergebnis dieses Projekts ist die Erkenntnis, dass in ganz Oberösterreich generell die Dosisbeiträge von Po-210 und Pb-210 im Trinkwasser weit höher sind als jene von Ra-226 und Ra-228. Daher sollten die Beiträge von Pb-210 und Po-210 bei der Expositionsabschätzung grundsätzlich berücksichtigt werden.

Bei der Probenahme und Messung, wie sie innerhalb dieses Projekts durchgeführt wurden, können die Radonfolgeprodukte durch das im Probenbehälter vorhandene Radon nachwachsen, da generell ausreichend Zeit zwischen Probenahme und Analyse (mehrere Halbwertszeiten von Rn-222) vergangen ist. Um das dosisrelevante Pb-210 und Po-210 zu bestimmen, sollte die Wasserprobe möglichst bald nach der Probenahme eingedampft werden, um späteres Nachwachsen dieser Nuklide durch das Radon zu verhindern. Eine andere Möglichkeit wäre, das Radon bei der Probenahme aus dem Probenbehälter mechanisch vollständig zu exhaliieren. Um genauere Aussagen über das Verhalten und die Aktivitätskonzentration der Radonfolgeprodukte im Trinkwasser treffen zu können, wären derartige Untersuchungen zukünftig von großem Interesse.

Grundsätzlich ist aus den Untersuchungen erkennbar, dass die relativ leicht und schnell zu bestimmende Radon-222-Aktivitätskonzentration (z.B. Messung mit dem Triathler) nicht als eindeutiger Indikator für die "Unbedenklichkeit" bezüglich der Aktivität von weiteren Radionukliden (Ra-226, U-238...) im Trinkwasser herangezogen werden kann. Lediglich für Pb-210 und Po-210 ist in vielen Fällen eine deutliche erhöhte

Rn-222-Aktivitätskonzentration (> 100 Bq/l) ein Hinweis auf erhöhte Folgeprodukt-Aktivitätskonzentrationen.

Zwischen der Po-210- und der Pb-210-Aktivitätskonzentration wurde nur eine schwach signifikante Korrelation gefunden. Daher kann die Messung von Pb-210 allein nur eine grobe Abschätzung für die Po-210-Aktivitätskonzentration liefern. In vielen Fällen wird daher nur die Analyse beider Nuklide zur Dosisabschätzung zielführend sein.

Die einzelnen Radionuklidaktivitäten in den untersuchten Wasserproben sind nicht oder nur gering signifikant miteinander korreliert. Daher wird es vorerst zur Dosisabschätzung notwendig sein, sämtliche relevanten Radionuklide zu analysieren. Weiterführende Untersuchungen in Oberösterreich und die Verdichtung des Probenahmernetzes könnten verbesserte Aussagen ermöglichen, die zukünftig zu einer Reduktion des Analysenaufwandes genutzt werden können.

In Hinblick auf Sanierungsmaßnahmen im Falle erhöhter Aktivitätskonzentrationen an natürlichen Radionukliden wären zukünftig detaillierte Untersuchungen der Aktivitäts-Verläufe von weiteren Radionukliden (z.B. Po-210, Pb-210, U-238) - analog zu den hier durchgeführten Untersuchungen von Rn-222 - von der Quelle zum Verbraucher von großem Interesse. Damit könnten - falls notwendig - Maßnahmen zur Reduktion von Aktivitätskonzentrationen konzipiert und technisch umgesetzt werden.



5.2 Empfehlung für begleitende Analysen von Radionukliden im Trinkwasser in Oberösterreich

Zur mittelfristigen Erstellung einer verbesserten Übersicht der Trinkwasserradioaktivität in Oberösterreich hinsichtlich der Exposition der o.ö. Bevölkerung durch Radionuklide natürlichen Ursprungs wird empfohlen, im Rahmen von Untersuchungsprogrammen die Radioaktivität routinemäßig mit zu bestimmen (z.B. Trinkwasserbus OÖ). Sämtliche Probenahmen und radiometrischen Analysen können nach den in diesem Projekt angewandten Methoden durchgeführt werden.

Dabei sollte vor Ort mit einer mobilen Flüssigszintillationseinheit (z.B. LSC Triathler) die Rn-222-Aktivitätskonzentration an den jeweiligen Untersuchungsstellen in-situ miterhoben werden. Überschreitet der vor Ort erhobene Rn-222-Messwert 100 Bq/l, wird empfohlen, eine zusätzliche Trinkwasserprobe (2 Liter, radiochemisch konditioniert) zu entnehmen und hinsichtlich Pb-210- und Po-210-Aktivität im Labor zu analysieren, da aufgrund der erhöhten Rn-222-Aktivitätskonzentration der Hinweis auf möglicherweise erhöhte Pb-210- und Po-210-Aktivitätskonzentrationen vorliegt. Der daraus resultierende Dosisbeitrag von Po-210 und Pb-210 ist entsprechend der in ÖNORM S 5251:2005 beschriebenen Methodik (Summenformel (1)) zu ermitteln und zu dokumentieren.

Weiters wird empfohlen, an jeder Trinkwasserprobe im Labor den Beitrag von Ra-226 und Ra-228 zur Gesamtdosis gemäß ÖNORM S 5251:2005 sowie die Urankonzentration zu bestimmen (2,5 Liter Probe).

Bei begründetem Verdacht (z.B. großräumige Umweltkontamination nach einem Nuklearzwischenfall, Umweltkontamination durch radioaktive Reststoffe) wird empfohlen, im Zuge der Laboranalytik weitere relevante Radionuklide wie z.B. H-3, Sr-90, Cs-137 etc. in den Untersuchungsumfang einzubeziehen (Probenmenge nuklid- und konzentrationsabhängig).

Es wird empfohlen, die bei derartigen Untersuchungen erhobenen Proben- und Analysendaten zusammen mit den im vorliegenden Projekt und - soweit dies möglich ist - im Zuge von gesetzlich vorgeschriebenen Radioaktivitätsuntersuchungen (gemäß Trinkwasserverordnung) erhobenen Daten in der oberösterreichischen Landesverwaltung zentral zu dokumentieren und mittelfristig (in 5 - 10 Jahren) GIS-basierend radioökologisch auszuwerten, um eine weitestgehend vollständige Übersicht über das Expositionspotential durch natürliche radioaktive Stoffe im Trinkwasser in Oberösterreich zu erhalten.



5.3 Empfehlungen für die behördliche/gutachterliche Kontrolle von Trinkwasser auf Radioaktivität

Europäische und nationale rechtliche Rahmenbedingungen

Die europäischen Vorgaben hinsichtlich Qualität und Überwachung von Trinkwasser sind in der Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch festgelegt. Diese Richtlinie orientiert sich im Wesentlichen an den Vorgaben der Weltgesundheitsorganisation bezüglich der Qualität von Trinkwasser [WHO1993].

Auf Forderung des Europäischen Parlaments wurden in die Richtlinie 98/83/EG erstmals auch Bestimmungen zur Radioaktivität im Trinkwasser aufgenommen. Gemäß diesen Bestimmungen zählt die Radioaktivität zu den sogenannten Indikatorparametern, deren Werte nach Artikel 5 Absatz 2 nur Überwachungszwecken dienen, insbesondere also keine Grenzwerte darstellen. Entsprechend Artikel 8 der Richtlinie ist bei jeder Nichteinhaltung von Indikatorparameterwerten die Ursache zu klären, sowie zu prüfen, ob diese Nichteinhaltung ein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellt. Falls erforderlich, sind geeignete Abhilfemaßnahmen zu treffen und die betroffenen Verbraucher darüber zu unterrichten.

Für die Radioaktivität wurden zwei Indikatorparameter, nämlich Tritium und die sogenannte Gesamtrichtdosis eingeführt. Als Parameterwerte wurden eine Aktivitätskonzentration von 100 Bq/l für Tritium und eine effektive Dosis von 0,1 mSv pro Jahr für die Gesamtrichtdosis festgelegt. Dabei sind mit Ausnahme von Tritium, Kalium-40, Radon und Radonzerfallsprodukten die Dosisbeiträge aller im Trinkwasser vorhandenen natürlichen und künstlichen Radionuklide zu berücksichtigen.

Über die Kontrollhäufigkeit, die Kontrollmethoden und die geeignetsten Überwachungsstandorte trifft die Richtlinie 98/83/EG keine Festlegungen. Gemäß Anhang I, Teil C, Anmerkung 10 sollen jedoch Beschlüsse darüber in einem Ausschussverfahren nach Artikel 12 gefasst werden, und die Kommission sollte spätestens 18 Monate nach In-Kraft-Treten der Richtlinie entsprechende Vorschläge vorlegen, in denen die geltenden einschlägigen Bestimmungen sowie die von ihnen abgeleiteten angemessenen Überwachungsprogramme einschließlich der Überwachungsergebnisse berücksichtigt sind.

Bislang liegt jedoch lediglich ein Entwurf der Kommission für eine Richtlinie vor, die die Kontrollhäufigkeit, die Kontrollmethoden und die Kontrolle der Einhaltung der Gesamtrichtdosis (mittels Referenzkonzentrationen und entsprechender Summenformel) regeln soll. Die im Entwurf angeführ-

ten Referenzkonzentrationen wurden unter Zugrundelegung der Dosiskoeffizienten für Erwachsene gemäß der Richtlinie 96/29/Euratom und eines Wasserkonsums von 730 Litern pro Jahr berechnet. (Laut Auskunft des BMGF wird eine Richtlinie auf Basis dieses Entwurfes demnächst in Kraft treten; wesentliche inhaltliche Änderungen sind nicht mehr zu erwarten.)

Unter bestimmten Umständen besteht gemäß der Richtlinie 98/83/EG keine Verpflichtung zur Überwachung von Trinkwasser auf Radioaktivität. Voraussetzung dafür ist, dass - auf Grundlage anderer durchgeführter Überwachungen - der Kommission das deutliche Unterschreiten der Parameterwerte für Radioaktivität nachgewiesen wird. (Laut BMGF ist es weder geplant, noch für ganz Österreich möglich, von dieser Ausnahmeregelung Gebrauch zu machen.)



Die am 1. September 2001 in Kraft getretene Trinkwasserverordnung - TWV (BGBl. II Nr. 304/2001) dient in erster Linie der Umsetzung der Richtlinie 98/83/EG in österreichisches Recht. Hinsichtlich Radioaktivität wurden dabei die Parameterwerte für Tritium und die Gesamtrichtdosis aus der Richtlinie übernommen. Zusätzlich wurde noch die Untersuchungshäufigkeit festgelegt, für die bislang keine konkreten EU-Vorgaben existieren. Diese Untersuchungshäufigkeit wurde jedoch mit einer Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung (BGBl. II Nr. 254/2006) geändert. Gemäß Anhang II, Teil B der geänderten TWV sind - abhängig von der abgegebenen Wassermenge - ein, drei oder zehn jährliche Kontrollen auf Radioaktivität erforderlich. Für Versorgungsanlagen, die maximal 100 m³ Wasser pro Tag abgeben, sind keine solchen routinemäßigen Untersuchungen auf Radioaktivität vorgeschrieben. Jedoch sind bei Neuerschließung solcher kleiner Anlagen vom Betreiber in den Untersuchungsumfang

jene Parameter einzubeziehen, die nachteiligen Einfluss auf die Beschaffenheit des Wassers haben können. Zu diesen Parametern wird in bestimmten Regionen Österreichs jedenfalls auch die Radioaktivität zählen, und somit bei Neuerschließung solcher Anlagen eine diesbezügliche Kontrolle erforderlich machen. Über die Kontrollmethoden, also die Ermittlung der Tritium-Aktivitätskonzentration und der Gesamtrichtdosis, enthält - wie die Richtlinie 98/83/EG - auch die geänderte TWV noch keine Bestimmungen. Von den Bestimmungen der Richtlinie 98/83/EG und der TWV sind Radon und Radonfolgeprodukte ausgenommen. Bezüglich dieser Radionuklide gibt es jedoch eine Empfehlung der Kommission vom 20. Dezember 2001 über den Schutz der Öffentlichkeit vor der Exposition gegenüber Radon im Trinkwasser. Gemäß dieser Empfehlung sollte oberhalb von 100 Bq/l ein Referenzwert für Radon

festgelegt werden, bei dessen Überschreitung die Erforderlichkeit von Gegenmaßnahmen zum Schutz der menschlichen Gesundheit zu prüfen ist. Bei Konzentrationen über 1000 Bq/l werden Gegenmaßnahmen aus Strahlenschutzgründen als gerechtfertigt angesehen.

Die Kommission empfiehlt darin auch die Vorschreibung einer Überwachung von Trinkwässern, in denen erhebliche Konzentrationen an Polonium-210 und Blei-210 vermutet werden. Diese sollte in Kombination mit der Überwachung anderer natürlicher Radionuklide gemäß Richtlinie 98/83/EG erfolgen. Oberhalb einer Referenzkonzentration von 0,1 Bq/l für Polonium-210 und 0,2 Bq/l für Blei-210 sollte geprüft werden, ob Gegenmaßnahmen zum Schutz der menschlichen Gesundheit erforderlich sind.

Empfehlungen für den Untersuchungsumfang und für Eingreifwerte

Zurzeit gibt es keine rechtsverbindlichen Vorgaben hinsichtlich des Untersuchungsumfanges von Trinkwasser auf Radioaktivität. Auch existieren spätestens seit Außer-Kraft-Treten der Strahlenschutzverordnung (BGBl. Nr. 47/1972) mit 1. Juni 2006 keine höchstzulässigen Konzentrationen radioaktiver Stoffe im Trinkwasser mehr. (Die Allgemeine Strahlenschutzverordnung, BGBl. II Nr. 191/2006, enthält keine solchen Grenzwerte mehr.) Im Folgenden werden daher Empfehlungen für die Kontrolle von Trinkwasser auf Radioaktivität unter Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen sowie des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik gegeben.

Die Untersuchungshäufigkeit ist durch die TWV gesetzlich vorgegeben. Durch die oben erwähnte Änderung dieser Verordnung kommt es einerseits bei Anlagen, die mehr als 100 m³ Wasser pro Tag abgeben, zu einer Steigerung der Untersuchungshäufigkeiten (ein, drei oder zehn Proben pro Jahr, abhängig von der abgegebenen Wassermenge). Andererseits fällt aber bei Anlagen, die maximal 100 m³ Wasser pro Tag abgeben, die bislang bei Neuerschließung verpflichtend vorgeschriebene Untersuchung auf Radioaktivität weg.

Gemäß der geänderten Verordnung hat der Betreiber solcher Anlagen jedoch bei Neuerschließung jene Parameter einzubeziehen, die nachteiligen Einfluss auf die Beschaffenheit des Wassers haben können. In Gebieten mit erhöhter natürlicher Radioaktivität wird ein Betreiber also von sich aus auch den Gehalt an natürlichen Radionukliden ermitteln lassen müssen. Gemäß § 7 Z 4 der TWV kann die zuständige Behörde den Untersuchungsumfang und die Untersuchungs-

häufigkeit erhöhen. Um für alle Beteiligten klare Verhältnisse zu schaffen, wird daher gestützt auf diese Bestimmung empfohlen, bei Neuerschließung von Anlagen, die maximal 100 m³ Wasser pro Tag abgeben, grundsätzlich eine Untersuchung auf Radioaktivität vorzuschreiben. Lediglich bei Anlagen in Gebieten, in denen aufgrund anderer durchgeführter Untersuchungen von einer deutlichen Unterschreitung der Parameterwerte für die Radioaktivität ausgegangen werden kann, könnte auf eine solche Vorschreibung verzichtet werden.



Für bereits bestehende Anlagen dieser Kategorie wird eine zumindest einmalige Bestimmung der Radioaktivität des Wassers als sinnvoll erachtet. Dabei sollten prioritär Anlagen in Gebieten untersucht werden, in denen aufgrund der geologischen Bedingungen höhere Radioaktivitätswerte zu erwarten sind.

Wie vorhin erwähnt, bestehen bezüglich Untersuchungsverfahren und -umfang zurzeit weder auf europäischer noch auf österreichischer Ebene verbindliche rechtliche Vorgaben. Es ist daher angebracht, als Grundlage dafür den Stand der Technik heranzuziehen. Konkret wird für die Untersuchung von Trinkwasser auf Radioaktivität die Anwendung der Ö-NORM S 5251:2005 "Bestimmung und Bewertung der Gesamtdosis durch Radionuklide im Trinkwasser" empfohlen.



Bei der Erarbeitung dieser ÖNORM durch das Österreichische Normungsinstitut wurde insbesondere auf die geologische und geochemische Situation in Österreich und deren Einfluss auf die natürliche Radioaktivität im Trinkwasser Bedacht genommen. Dementsprechend brauchen gemäß dieser ÖNORM in der Regel nur die natürlich vorkommenden Radionuklide Radium-226 und Radium-228 berücksichtigt werden. Andere Radionuklide natürlichen oder künstlichen Ursprungs sind nur dann bei der Ermittlung der Gesamtdosis einzubeziehen, wenn Hinweise auf dosisrelevante Aktivitätskonzentrationen vorliegen.

Wie vorhin ausgeführt, wird die Radioaktivität in den europäischen und österreichischen Rechtsvorschriften als Indikatorparameter betrachtet. Die dementsprechend sehr niedrig festgelegten Parameterwerte für Tritium und die Gesamtrichtdosis dienen also nur Überwachungszwecken und haben nicht die Funktion von Grenzwerten. Während der Parameterwert für Tritium von 100 Bq/l in österreichischen Trinkwässern derzeit bei Weitem nicht erreicht wird, kann es aufgrund natürlicher Radioaktivität in bestimmten Regionen Österreichs zu Überschreitungen des sehr niedrigen Wertes für die Gesamtrichtdosis von 0,1

mSv pro Jahr kommen.

Da zurzeit keine Grenzwerte oder Eingreifwerte für die Radioaktivität im Trinkwasser bestehen, werden die Parameterwerte im Rahmen von Begutachtungen fälschlicherweise häufig als Grenzwerte betrachtet. Dies führt unter Umständen zu Verwendungsverboten von Trinkwässern, die aus strahlenhygienischer Sicht völlig unbedenklich sind. (Die nicht ganz geschickte Umsetzung der diesbezüglichen Regelungen der Richtlinie 98/83/EG in der ursprünglichen Form der TWV begünstigte leider diese Betrachtungsweise. In der geänderten TWV wird nunmehr jedoch deutlich darauf hingewiesen, dass die Werte für Indikatorparameter lediglich für Überwachungszwecke gelten, also insbesondere keine Grenzwerte darstellen.)

Um hier Klarheit für Gutachter, Wasserversorger und Verbraucher zu schaffen und nicht unnötige Verwendungsverbote zu erlassen, wird empfohlen, in einem ersten Schritt für die Gesamtrichtdosis einen Eingreifwert von 1 mSv pro Jahr anzuwenden. Bei Überschreitung dieses Wertes soll die zuständige Behörde das Setzen von geeigneten Abhilfemaßnahmen in einem angemessenen Zeitraum vorschreiben.

Die einfachsten Abhilfemaßnahmen sind die Nichtverwendung eines solchen Wassers als Trinkwasser oder das Mischen mit Wasser, das geringe Mengen an natürlichen Radionukliden enthält. Wo immer dies möglich ist, sollten diese Maßnahmen Vorrang gegenüber anderen bekommen. Damit wird auch der Anfall von radioaktiven Rückständen vermieden, die unter Umständen zu einem Entsorgungsproblem führen können.

In die Gesamtrichtdosis sind entsprechend den rechtlichen Vorschriften Radon und Radonfolgeprodukte nicht einbezogen. Um auch für diese Radionuklide klare Grundlagen für die gutachterliche Tätigkeit zu schaffen, empfiehlt sich ebenfalls die Anwendung von Eingreifwerten im obigen Sinn. Für Radon-222 wird ein Eingreifwert von 1000 Bq/l als ausreichend angesehen, für die Radonfolgeprodukte Polonium-210 und Blei-210 sollten Eingreifwerte von 1 Bq/l bzw. 2 Bq/l verwendet werden.

Es wird empfohlen, Trinkwässer, in denen aufgrund ihrer Herkunft Radon-222-Konzentrationen von über 100 Bq/l zu erwarten sind, auf Radon-222 sowie auf Polonium-210 und Blei-210 zu untersuchen. Liegen trotz niedriger Radon-222-Werte Hinweise auf höhere Polonium-210- bzw. Blei-210-Konzentrationen vor, sollte das betreffende Wasser auch auf diese beiden Nuklide untersucht werden.

Bestehen begründete Hinweise auf radioaktive Kontaminationen künstlichen Ursprungs, wird empfohlen, entsprechend ÖNORM S 5251:2005 die Gesamtdosis für den

In Tabelle 2 sind die empfohlenen Radionuklidkonzentrationen zur Beurteilung von Trinkwasser zusammengestellt.

Nuklid	Aktivitätskonzentration Bq/l		Basis der Überwachungswerte
	Überwachungswert	Eingreifwert	
Ra-226*	0,5	5,0	EU Richtlinie 98/83/EG des Rates, Trinkwasserverordnung BGBl. II 304/2001, ÖNORM S5251:2005
Ra-228*	0,2	2,0	EU Richtlinie 98/83/EG des Rates, Trinkwasserverordnung BGBl. II 304/2001, ÖNORM S5251:2005
H-3**	100	1000	EU Richtlinie 98/83/EG des Rates, Trinkwasserverordnung BGBl. II 304/2001
Rn-222**	100	1000	EU Empfehlung 2001/982/Euratom
Pb-210	0,2	2,0	EU Empfehlung 2001/982/Euratom
Po-210	0,1	1,0	EU Empfehlung 2001/982/Euratom
U-238****	0,37***	3,7	WHO Guidelines for drinking water quality, 2nd edition, 1998

Tabelle 2: Zusammenstellung der empfohlenen Radionuklidwerte zur Beurteilung von Trinkwasser

* angegebene Werte der Aktivitätskonzentration sind Maximalwerte, wenn nur das betrachtete Radionuklid vorliegt. Falls weitere Radionuklide vorhanden sind, ist die Gesamtdosis gemäß ÖNORM S525:2005 unter Anwendung der Summenformel (1) zu berechnen.

** die hier angegebenen Werte liegen weit unter einer Dosisrelevanz

*** entspricht einer Urankonzentration (nat. Isotopengemisch) von 30 µg/l

**** die Begrenzung von Uran basiert auf der chemotoxischen Wirkung; die WHO Guidelines for drinking water quality, 3rd edition, 2004, schlagen ein provisorisches Limit von 15 µg/l für Uran vor (entspricht 0,19 Bq/l U-238) - jedoch ist derzeit weder ein tatsächliches Gesundheitsrisiko für U-Konzentrationen über diesem Limit ausreichend belegt noch sind praktische Sanierungsmethoden für diesen Konzentrationsbereich verfügbar



6 Literatur

EUROPÄISCHE KOMMISSION

RICHTLINIE 98/83/EURATOM vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlung. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 159 vom 29/6/1996

EUROPÄISCHE KOMMISSION

RICHTLINIE 98/83/EG DES RATES vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Amtsblatt Nr. L 330 vom 05/12/1998 S. 0032 - 0054

EUROPÄISCHE KOMMISSION

Commission Recommendation of 20 December 2001 on the protection of the public against exposure to radon in drinking water, 2001/982/Euratom

FRIEDMANN, H.

Prognose von Radongehalten im Wasser für potentielle Trinkwasserquellgebiete, Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Universität Wien, 1999 (persönliche Kommunikation mit dem Autor)

GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (Hrsg.)

Geochemischer Atlas der Republik Österreich, Wien, 1987

HIRSCH, S., RUZICKA, W.

Heilige Quellen in Oberösterreich, Freya Verlag, 2002

ÖNORM

ON S 5251, Bestimmung und Bewertung der Gesamtdosis durch Radionuklide im Trinkwasser, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2005

RISICA, S., GRANDE, S.

Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption: calculation of derived activity concentrations, Istituto Superiore Di Sanita, Rapporti ISTISAN 00/16, Roma, 2000

SCHUBERT, G., FINGER, F., GASSER, V., LETTNER H.

Radionuklide im Grundwasser des kristallinen Untergrunds im Mühlviertel. Endbericht zum Pilotprojekt. Geologische Bundesanstalt Wien, Feb. 2003

VORHYZKA, K.

Hydrogeologie von Oberösterreich, Geologische Spezialkarte, Land Oberösterreich, 1973

WHO

Guidlines for Drinking-water Quality, World Health Organisation, Geneva, 1993

WHO

Guidlines for Drinking-water Quality, Second Edition, World Health Organisation, Geneva, 1998

WHO

Guidlines for Drinking-water Quality, Third Edition, Volume 1 Recommendations. World Health Organisation, Geneva, 2004



