



Abschlussbericht vom 30.12.2004

Strahlenexposition durch natürliche Radioisotope aus gewerblichen Betrieben in Bayern

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz



**Strahlenexposition durch natürliche Radioisotope
aus gewerblichen Betrieben
in Bayern**

Abschlussbericht vom 30.12.2004

Dr. Simone Körner, Alexander Buchanzow

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit
und Verbraucherschutz

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	7
2. Chronik der Radonsituation in Bayern	11
3. Bestimmung der Radonkonzentration und Radonexposition	15
3.1. Bestimmung der Radonkonzentration	15
3.1.1. Bestimmung mit ortsgebundenen Exposimetern	15
3.1.2. Bestimmung mit zeitauflösenden Messgeräten	16
3.2. Bestimmung der Radonexposition	17
3.2.1. Bestimmung der Routineexposition mittels personengebundener Exposimeter	17
3.2.2. Bestimmung der Routineexposition durch die Radonkonzentration und die Aufenthaltszeit	18
3.2.3. Bestimmung der Exposition durch außergewöhnliche Arbeiten durch die Radonkonzentration und die Aufenthaltszeit	19
3.2.4. Bestimmung der Gesamtjahresexposition	19
3.2.5. Bestimmung der Jahresexposition im Rahmen der „ständigen Überwachung“	20

4. Information	21
4.1. Beratung der WVU	21
4.2. Vorträge	25
4.3. Informationsveranstaltung	28
4.4. Internetauftritt	29
5. Vollzug der Strahlenschutzverordnung in WVU	31
5.1. Erhebung der Radonexposition (§ 95 (1))	31
5.1.1. Vorgehensweise bei Wasserversorgungsunternehmen	31
5.1.2. Externe Firmen	33
5.1.3. Weiteres Vorgehen	33
5.1.4. „Erinnerungsschreiben“ und Stand zum Ende des Jahres 2004	34
5.2. Überwachung der Radonexposition (§ 95 (2))	35
5.2.1. Ablauf	35
5.2.2. Bestimmung der Jahresexposition	37
5.3. Vorgehen bei der Radonreduktion	38
5.4. Konzept zur „Entlassung aus der ständigen Überwachung“	42
5.4.1. Konzept	42
5.4.2. Antrag	42
5.4.3. Nachhaltigkeit	43
5.4.4. „Entlassung aus der Überwachung“	44
5.4.5. Verbleiben in der Überwachung	44
6. RADEX-Datenbank	45
7. Messungen des LfU in ausgewählten WVU	47
7.1. Messungen im WVU 3022	47
7.2. Messungen im WVU 3038	53
7.3. Messungen im WVU 5074	55

7.4. Messungen im WVU 5332	57
7.5. Messungen im WVU 6013	60
7.6. Messungen im WVU 7311	61
7.7. Messungen bei der Behälterreinigung	64
7.8. Messungen bei einem Mineralbrunnen	68
8. Zusammenarbeit mit U.R.A.-Labor	71
8.1. Übersicht über die betreuten WVU	71
8.2. Reduktionsmaßnahmen im WVU 3005	72
8.3. Messungen im WVU 5065	75
8.4. Reduktionsmaßnahmen im WVU 5111	79
8.5. Reduktionsmaßnahmen im WVU 5127	80
8.6. Messungen im WVU 5131	81
8.7. Reduktionsmaßnahmen im WVU 5306	84
8.8. Weitere Reduktionsmaßnahmen im WVU 5322	84
8.9. Messungen im WVU 5367	87
8.10. Messungen im WVU 5413	90
8.11. Reduktionsmaßnahmen im WVU 5425	93
8.12. Zusammenfassung: Reduktionsmaßnahmen	94
9. Höhlen, (Besucher-)Bergwerke und Radonheilbäder	99
9.1. Höhlen und (Besucher-)Bergwerke	99
9.2. Radonheilbäder	103
10. Fremdfirmen	107
11. Uran und Radium im Trinkwasser	109
11.1. Anlass und Ziel der Untersuchung	109
11.2. Probenahmeorte	110
11.3. Messmethoden und Ergebnisse	111

11.4. Bewertung der Messergebnisse	113
11.4.1. Dosisberechnung	113
11.4.2. Nuklidverteilung im Rohwasser	115
11.4.3. Einfluss der Trinkwasseraufbereitung	118
11.5. Vergleich der Summenparameter Gesamt- α - und Gesamt- β -Aktivität mit den Ergebnissen der Einzelnuklidmessungen	120
11.5.1. Problemstellung	120
11.5.2. Gesamt- α -Aktivität	120
11.5.3. Gesamt- β -Aktivität	121
12. Exposimetertest	123
13. Zusammenfassung	127
Literaturverzeichnis	131
Anhang	137
A. Begriffsdefinitionen und Abkürzungen	139
A.1. Begriffe aus der Wasserversorgung	139
A.2. Begriffe aus der Radonmesstechnik	144
B. Begleittext zum Vortrag	149
C. „Erinnerungsschreiben“	165
D. „Ständige Überwachung“	169
E. Stand der Reduktionsmaßnahmen	175
F. Arbeitsanweisung	181
G. Formblatt für Fremdfirmen zur Ermittlung der Radonexposition	183
H. Detailergebnisse der Messungen von Uran und Radium im Trinkwasser	187

1. Einleitung

Durch die Umsetzung der Richtlinie 96/29/EURATOM der Europäischen Union [1] in nationales Recht ist erstmals die Strahlenexposition durch natürliche Radioisotope an Arbeitsplätzen gesetzlichen Vorschriften unterworfen.

Die Novelle der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [2] ist am 01. August 2001 in Kraft getreten. In Teil 3 – Schutz von Mensch und Umwelt vor natürlichen Strahlungsquellen bei Arbeiten – ist u.a. die Strahlenexposition an bestimmten Arbeitsplätzen (Anlage XI, Teil A) geregelt. Hierzu zählen untertägige Bergwerke, Schächte und Höhlen, einschließlich Besucherbergwerken, Radonheilbäder sowie Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung. Im Untersuchungsvorhaben „Strahlenexposition durch natürliche Radioisotope aus gewerblichen Betrieben in Bayern“ wurde die Radonexposition der Beschäftigten in diesen Arbeitsfeldern untersucht.

Im vorangegangenen Untersuchungsvorhaben „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ [3], siehe Kap. 2, wurden bereits 550 Wasserversorgungsunternehmen detaillierter untersucht. Es wurden Maßnahmen zur Reduktion erhöhter Radonexposition bei den Beschäftigten erfolgreich getestet. Des Weiteren wurde ein Ablaufplan zur Erhebung der Radonexposition der Beschäftigten in den bayerischen Wasserwerken erstellt. Ende 2001 wurden alle Wasserversorgungsunternehmen schriftlich aufgefordert, die Radonexposition ihrer Beschäftigten zu erheben.

Zu Beginn des vorliegenden Untersuchungsvorhabens war eine wichtige Aufgabe, die Beschäftigten der Wasserversorgungsunternehmen über das Thema „Radon und Radonmessun-

gen“ umfassend zu informieren. Dies geschah einerseits individuell am Telefon, andererseits in Vorträgen auf Veranstaltungen u.a. der Wasserwerksnachbarschaften und der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (Kap. 4).

Weiterhin wurde eine Vorgehensweise entwickelt (Kap. 5), wie der Vollzug der §§ 93 – 96 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in der Praxis durchgeführt werden kann.

Es wurden, wie schon im vorangegangenen Untersuchungsvorhaben, auf dessen Ergebnissen das vorliegende Untersuchungsvorhaben aufbaut, Wasserversorgungsunternehmen, deren Beschäftigte stark erhöhte Expositionen aufwiesen, bei der Sanierung ihrer Anlagen betreut (Kap. 7). Dies geschah auch in Zusammenarbeit mit dem U.R.A.-Labor der Universität Regensburg (Kap. 8).

In untertägigen Betriebsstätten (Höhlen, Bergwerke und Besucherbergwerke) sowie in den beiden bayerischen Radonheilbädern wurden Untersuchungen zum Radongehalt der Raumluft und den Arbeitsabläufen der Beschäftigten vorgenommen (Kap. 9).

Die Strahlenschutzverordnung betrifft auch externe Firmen, die in Anlagen der Anlage XI Teil A der StrlSchV Arbeiten durchführen (sog. „Fremdfirmen“). Ein Beispiel hierfür sind Firmen, die sich auf die Reinigung von Hochbehältern spezialisiert haben. Auch hier können für das Personal erhöhte Radonexpositionen auftreten (Kap. 10).

Im vorliegenden Untersuchungsvorhaben wurden Roh- und Reinwasserproben einiger Wasserversorgungsunternehmen auf ihren Gehalt an natürlichen Radionukliden untersucht (Kap. 11).

Das Untersuchungsvorhaben wurde Ende Oktober 2004 abgeschlossen. Es wurden zwei Zwischenberichte ([4] und [5]) sowie der vorliegende Abschlussbericht erstellt. Der gesamte Inhalt der Zwischenberichte ist in diesem Abschlussbericht enthalten. Außerdem wurden vom U.R.A.-Labor der Universität Regensburg, das als Unterauftragnehmer im Rahmen dieses und des vorangegangenen Untersuchungsvorhabens tätig war, drei Zwischenberichte und ein Abschlussbericht [6] angefertigt. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Berichte wurden auch in den vorliegenden Abschlussbericht eingearbeitet. Teilergebnisse des vorliegenden Untersuchungsvorhabens wurden vom LfU auch noch an anderer Stelle, z.T. in englischer Sprache, veröffentlicht [7, 8, 9, 10].

Im gesamten Bericht ist unter dem Begriff „Radon“ das Isotop Radon-222 zu verstehen. Zerfallsproduktkonzentrationen werden durch die sogenannte gleichgewichtsäquivalente Konzentration (EEC) ausgedrückt. Im Bericht wurde auf die Berechnung der effektiven Dosis (Einheit: mSv) aus der Radonexposition verzichtet. Es wird im Folgenden nur die Exposition in der Einheit MBq h m^{-3} angegeben. Bei „normalen“ Bedingungen (der Gleichgewichtsfaktor ist im Bereich 0,4 und der unangelagerte Anteil der Zerfallsprodukte ist nicht stark erhöht) kann als Faustformel jedoch gelten: $2 \text{ MBq h m}^{-3} \hat{=} 6 \text{ mSv}$.

In Anhang A sind einige spezielle Begriffe aus der Wasserwirtschaft und aus der Radonmesstechnik erklärt, die in diesem Bericht verwendet werden. Unter dem Begriff „Radonkonzentration“ ist im gesamten Bericht ausnahmslos die Radon-222-Aktivitätskonzentration zu verstehen. Diese Vereinfachung und kleine Unkorrektheit hat sich im allgemeinen Sprachgebrauch schon seit einiger Zeit eingebürgert und trägt zur besseren Lesbarkeit von Texten bei.

Aus Datenschutzgründen sind in diesem Bericht die Namen der Wasserversorgungsunternehmen (WVU) durch eine sogenannte REx-Nummer verschlüsselt. Einzelne Wassergewinnungsanlagen eines Unternehmens werden durch zwei Buchstaben nach der REx-Nummer gekennzeichnet. Diese REx-Nummer entspricht der sogenannten WVU-Nummer aus Ref. [3]. Die erste Ziffer der vierstelligen REx-Nummer repräsentiert die Nummer der geologischen Region aus Abb. 4.1 auf S. 23 (nähere Erklärung siehe dort) mit der Ausnahme, dass 0 der Region 10 entspricht.

2. Chronik der Radonsituation in Bayern

Seit den Veröffentlichungen der Ergebnisse zahlreicher epidemiologischer Studien an kanadischen, amerikanischen und tschechischen Bergarbeitern [11, 12, 13] und an den Mitarbeitern der WISMUT AG [14, 15] steht zweifelsfrei fest, dass die Inhalation von Radon und seinen Zerfallsprodukten Lungenkrebs verursacht. Bis vor einiger Zeit hat sich der Strahlenschutz in Bezug auf Radon auf die Überwachung von Bergarbeitern und bergbaulichen Anlagen beschränkt. Doch auch an anderen Arbeitsplätzen muss mit einer erhöhten Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte gerechnet werden. Besonders hohe Konzentrationen wurden außer in Bergwerken [16, 17] in Besucherhöhlen [18, 19], Radonheilbädern [20, 21, 22] und auch in Anlagen der Wasserversorgung [23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30] gemessen.

Schon 1996 wurde deshalb das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) vom damaligen Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU; heute: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, StMUGV) beauftragt, die Situation in Bezug auf die Radonexposition der Beschäftigten in den etwa 2 600 bayerischen Wasserversorgungsunternehmen zu untersuchen.

Im Rahmen eines Radon-Screening-Projekts in den Regionen Fichtelgebirge, Pfälzer-, Fränkischer- und Bayerischer Wald, das vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz 1996/97 durchgeführt wurde, wurden in über 100 verschiedenen Wassergewinnungsanlagen erste Radonmessungen durchgeführt [31, 32].

Fast gleichzeitig mit Beginn des Screening-Projekts wurde im Mai 1996 eine „Richtlinie zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeits-

kräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlung“ [1] des Rates der Europäischen Gemeinschaften verabschiedet, die von den Mitgliedsstaaten bis Mai 2000 in nationales Recht umgesetzt werden sollte. In dieser Richtlinie sind neben den künstlichen auch die natürlichen Strahlenquellen berücksichtigt. Auch die Strahlenschutzkommission hat Empfehlungen zu den Belastungen durch natürliche Radionuklide am Arbeitsplatz herausgegeben [33].

Im Anschluss an das Screening-Projekt wurde 1998 am LfU das Untersuchungsvorhaben „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ begonnen, um flächendeckende Messungen in den bayerischen Wasserversorgungsunternehmen durchzuführen. Ziel dieses Vorhabens war es unter anderem, möglichst viele Beschäftigte mit erhöhten Radonexpositionen aufzuspüren und dann Maßnahmen zur Reduktion ihrer Radonbelastung zu entwickeln und danach anzuwenden. Für den Vollzug der im August 2001 in Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung wurde ein Konzept zur Überwachung von Personen mit erhöhter Radonexposition entwickelt, das zum großen Teil als Grundlage für Kap. 5 des vorliegenden Abschlussberichts herangezogen wurde. Die Ergebnisse diese Untersuchungsvorhabens sind ausführlich im zugehörigen Abschlussbericht [3] dargestellt. Ähnliche Messungen führten verschiedene Institute in Wasserversorgungsunternehmen in Baden-Württemberg [28], Sachsen [34], Hessen [35] und Rheinland-Pfalz [36] durch.

Seit Beginn des Jahres 2000 bestand eine Zusammenarbeit mit dem zentralen Radionuklidlabor (U.R.A.-Labor) der Universität Regensburg. Durch die räumliche Nähe zu den Gebieten mit besonders erhöhten Radonexpositionen im ostbayerischen Raum konnten die Mitarbeiter dieses Labors komplexe zeitaufgelöste Messungen vor Ort effektiv durchführen. Sie entwickelten zusammen mit dem Wasserversorgungsunternehmen Maßnahmen zur Reduktion der Radonexposition und überprüften deren Wirksamkeit vor Ort. Die Zusammenarbeit wurde auch im vorliegenden Untersuchungsvorhaben fortgesetzt.

Im August 2001 wurde durch die Novelle der Strahlenschutzverordnung [2] die oben genannte europäische Richtlinie in deutsches Recht umgesetzt. Die Exposition durch Radon und seine

Zerfallsprodukte durch Arbeiten ist dort in Teil 3, Kapitel 1 bis 3, geregelt. Beschäftigte in bestimmten Arbeitsfeldern, die in Anlage XI, Teil A der StrlSchV aufgelistet sind, müssen nun die Jahresexposition durch Radon abschätzen. Eine Übergangsfrist bis August 2003 wurde eingeräumt. In Anlage XI, Teil A der StrlSchV sind genannt: 1. untertägige Bergwerke, Schächte und Höhlen, einschließlich Besucherbergwerken, 2. Radonheilbäder und -heilstollen und 3. Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung. Wird ein Wert der Jahresexposition von 6 mSv überschritten, besteht Anzeigepflicht gegenüber der zuständigen Behörde. Die Exposition muss dann kontinuierlich überwacht werden. Weiterhin müssen Maßnahmen zur Reduktion der Exposition getroffen werden. Das Ziel ist die dauerhafte Unterschreitung dieses „Eingreifwerts“ von 6 mSv pro Jahr. Grundsätzlich müssen auch bei einer nicht erhöhten Radonexposition einfache Maßnahmen zur Reduktion der Exposition ergriffen werden. Eine Jahresexposition über dem Grenzwert von 20 mSv ist nicht zulässig. Nach der Strahlenschutzverordnung kann davon ausgegangen werden, dass eine effektive Dosis von 6 mSv bzw. 20 mSv nicht überschritten wird, wenn die Radonexposition 2 MBq h m^{-3} bzw. 6 MBq h m^{-3} nicht übersteigt.

Durch die Verordnung über die Zuständigkeiten zum Vollzug atomrechtlicher Vorschriften (AtZustV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 9. Oktober 2001 wurde das Landesamt für Umweltschutz vom StMUGV mit dem Vollzug der §§ 94 – 96 StrlSchV beauftragt. Daraufhin wurden alle Wasserversorgungsunternehmen vom LfU zu Erhebungsmessungen aufgefordert, s. Kap. 5.

Von Januar 2002 bis Oktober 2004 ermöglichte das vorliegende Untersuchungsvorhaben Messungen der Radonkonzentration und -exposition in untertägigen Bergwerken, Schächten und Höhlen sowie Besucherbergwerken und in Radonheilbädern sowie die Fortsetzung der Messungen in Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung. Die Ergebnisse sind im vorliegenden Abschlussbericht dargestellt.

Ein weiteres Untersuchungsvorhaben des Landesamts für Umweltschutz im Auftrag des StMUGV befasste sich in der Zeit von September 2002 bis Dezember 2004 mit der „Ermitt-

lung von Arbeitsfeldern mit erhöhten Expositionen durch natürliche Radioisotope und überwachungsbedürftigen Rückständen“. Hierbei wurde unter anderem die Radonexposition der Beschäftigten in Brauereien, Molkereien und Mineralbrunnen in Bayern ermittelt. Daneben wurden Arbeitsfelder mit erhöhten Strahlenexpositionen durch Uran und Thorium untersucht. Die Ergebnisse des Untersuchungsvorhabens sind im zugehörigen Abschlussbericht [37] ausführlich dargestellt.

3. Bestimmung der Radonkonzentration und Radonexposition

3.1. Bestimmung der Radonkonzentration in der Raumluft

3.1.1. Bestimmung der Radonkonzentration mit ortsgebundenen Exposimetern

Ein ortsgebundenes Exposimeter besteht aus einer Diffusionskammer, meist aus Kunststoff, in der ein passiver Kernspurdetektor angebracht ist. Dieser Detektor ist eine strahlungsempfindliche Kunststofffolie. Während der Messung diffundiert Radon in die Kammer. Das Radon und die innerhalb der Kammer entstehenden Zerfallsprodukte emittieren Alphateilchen, die bei ihrem Auftreffen im Kunststoff der Detektorfolie unsichtbare Spuren hinterlassen. Nach der Messung wird der Detektor durch die Messstelle entnommen und ausgewertet. In einer Ätzlösung entstehen aus den bislang unsichtbaren Spuren sichtbare Spuren, die unter einem Mikroskop gezählt werden. Die Anzahl der Spuren pro Flächeneinheit ist ein Maß für die Höhe der Radonexposition der Folie. Die mittlere Radonkonzentration im Messzeitraum wird durch Division dieses Werts durch die Messzeit von der Messstelle ermittelt. Um eine Exposition vor der Messung zu vermeiden, werden die Exposimeter von der Messstelle in radondichter Folie verpackt versandt.

Nach dem Öffnen der Verpackung wird das ortsgebundene Exposimeter vom Verwender an dem gewünschten Platz (Wasserversorgung, untertägige Arbeitsplätze, Radonheilbäder, aber auch in Häusern) aufgestellt. Die Messzeit richtet sich nach der zu erwartenden Radonkonzentration. Sie sollte jedoch mindestens 14 Tage betragen, um die Radonkonzentration über einen ausreichenden Zeitraum zu mitteln und die Messgenauigkeit zu verbessern. In Unternehmen nach Anlage XI, Teil A der StrlSchV sind 14 Tage in der Regel ausreichend. Nach Ende der Messzeit wird das ortsgebundene Exposimeter vom Verwender zur Vermeidung nachträglicher Exposition wieder in die Folie eingepackt und zusammen mit der Angabe des Messzeitraums zur Auswertung an die Messstelle zurückgeschickt. Die Radonkonzentration wird dem Verwender nach Auswertung durch die Messstelle mitgeteilt.

3.1.2. Bestimmung der Radonkonzentration mit zeitauflösenden Messgeräten

Im vorliegenden Untersuchungsvorhaben wurden zur zeitaufgelösten Bestimmung der Radonkonzentration Geräte der Typen „AlphaGuard“ (Firma Genitron) und „Doseman“ (Firma Sarad) eingesetzt. Das Gerät „AlphaGuard“ bestimmt die Radonkonzentration über eine Impuls-Ionisationskammer, das Gerät „Doseman“ über eine Messkammer mit Silizium-Halbleiterdetektor. Eine genaue Beschreibung der Arbeitsweisen dieser Messkammern kann Ref. [38] entnommen werden.

Beide Geräte bestehen aus einem elektronischen Detektorsystem (Messkammer) und einem Microcomputer zur Datenerfassung. Sie liefern den zeitlichen Verlauf der Radonkonzentration. Das zeitliche Auflösungsvermögen des Alphaguards liegt zwischen einer Minute (Pumpbetrieb) und einer Stunde (Diffusionsbetrieb). Das zeitliche Auflösungsvermögen des Dosemans kann stufenlos eingestellt werden (nur Diffusionsbetrieb). Zu beachten ist jedoch, dass sich bei geringerer Integrationszeit die Nachweisempfindlichkeit verschlechtert.

3.2. Bestimmung der Radonexposition der Beschäftigten

3.2.1. Bestimmung der Routineexposition mittels personengebundener Exposimeter

Bei der Erhebung der Radonexposition (Kap. 5.1) werden zur Bestimmung der Routineexposition pro Beschäftigtem zwei Kernspurdetektoren (personengebundenes Exposimeter und Referenzexposimeter) eingesetzt. Sie sind klein, leicht, einfach zu handhaben und werden über einen Zeitraum von drei Monaten bei allen Routinearbeiten in allen Anlagen (auch in Quellschächten und Brunnenstuben) getragen. Personengebundene Exposimeter und Referenzexposimeter entsprechen in der technischen Ausführung den oben genannten ortsgebundenen Exposimetern. Sie werden zur Bestimmung der Routineexposition allerdings anders eingesetzt als ortsgebundene Exposimeter (Bestimmung der Radonkonzentration).

Da Exposimeter nicht abgeschaltet werden können, registriert das personengebundene Exposimeter auch außerhalb der Tragezeiten in den Anlagen die Radonbelastung der umgebenden Luft. Um diesen unerwünschten Effekt zu eliminieren wird ein weiteres, sog. Referenzexposimeter benötigt. Es wird im gesamten Messzeitraum an einem radonarmen Ort gelagert, z.B. an einem gut gelüfteten Ort wie einem Briefkasten an der Außenwand, einem Raum mit ständig offenen Fenstern, einer gut gelüfteten Garage oder im Kofferraum eines Autos, das am besten immer im Freien, nicht jedoch in einer Tiefgarage oder einer schlecht gelüfteten Garage steht. Während der Arbeiten in den Anlagen trägt der Wasserwart das personengebundene Exposimeter sichtbar am Oberkörper auf der Kleidung. Wird es nicht getragen, muss es immer neben dem Referenzexposimeter gelagert werden. Nach Beendigung der Messzeit werden beide Exposimeter, zusammen mit Angabe des Messzeitraums und der gesamten Tragezeit des personengebundenen Exposimeters, wieder verpackt und zur Auswertung an die Messstelle zurückgeschickt. Diese korrigiert den Messwert des personengebundenen Exposimeters mit dem des Referenzexposimeters nach folgender Formel, um nur die Exposition während der Tragezeit zu erhalten:

$$E_k = E_p - (1 - t_a/t_g) \cdot E_R$$

E_k	korrigierte Exposition während der Arbeitszeiten
E_p	vom personengebundenen Exposimeter registrierte Exposition
E_R	vom Referenzexposimeter ermittelte Exposition
t_a	Summe der Tragezeiten des personengebundenen Exposimeters
t_g	Gesamtzeit der Exposition

Zum Schluss wird von der Messstelle aus der Exposition im dreimonatigen Expositionszeitraum auf eine Jahresexposition hochgerechnet ($\hat{=}$ hochgerechnete Jahresexposition).

3.2.2. Bestimmung der Routineexposition durch die Radonkonzentration und die Aufenthaltszeit

Zur Erhebung der Radonexposition kann bei kleinen Anlagen die Exposition auch durch die Radonkonzentration und die Aufenthaltszeiten der Beschäftigten bestimmt werden. Eine Anlage gilt als „klein“, wenn sie nur wenige Räume und Gebäude hat und sich der Wasserwart nur unregelmäßig (1 – 2 mal pro Monat) sowie weniger als 20 Stunden im Jahr in den Anlagen aufhält.

Zur Ermittlung der Routineexposition muss in allen Räumen und Gebäuden des Wasserversorgungsunternehmens die Radonkonzentration durch ortsgebundene Exposimeter ermittelt werden. Weiterhin muss die Aufenthaltszeit zu Routinetätigkeiten in den verschiedenen Anlagen ermittelt werden. Die Exposition E_i aus der Anlage i in MBq h m^{-3} ergibt sich dann aus der Multiplikation von Konzentration $a_{\text{Rn},i}$ in der Anlage i in Bq m^{-3} mit der Aufenthaltszeit t_i in der jeweiligen Anlage i in Stunden (hochgerechnet auf ein Jahr). Danach muss dieses Ergebnis durch eine Million geteilt werden. Die Routineexposition ergibt sich dann aus der Summe der Expositionen aus den einzelnen Anlagen:

$$E_r = \sum_i (a_{Rn,i} \cdot t_i) / 1\,000\,000$$

E_r	Routineexposition in MBq h m ⁻³
$a_{Rn,i}$	Radonkonzentration in der Anlage i in Bq m ⁻³
t_i	Aufenthaltszeit in der Anlage i im Jahr in Stunden

3.2.3. Bestimmung der Exposition durch außergewöhnliche Arbeiten durch die Radonkonzentration und die Aufenthaltszeit

Zusätzlich zur Routineexposition muss die Exposition, die durch außergewöhnliche Arbeiten entsteht, ermittelt werden. Damit sind z.B. Arbeiten gemeint, die einmal im Jahr durchgeführt werden und mehrere Arbeitstage oder -wochen in Anspruch nehmen (z.B. Behälterreinigung). Um diese Exposition zu ermitteln, muss in jeder von außergewöhnlichen Arbeiten betroffenen Anlage die Radonkonzentration mit einem ortsgebundenen Exposimeter bestimmt werden. Die Radonkonzentration in Hochbehältern kann im Routinebetrieb bestimmt werden, da während der Hochbehälterreinigung aus der sich in Betrieb befindlichen Wasserkammer Radon ausgast und die Radonkonzentration nicht wesentlich geringer ist als im Routinebetrieb.

Die Bestimmung der Exposition durch außergewöhnliche Arbeiten erfolgt dann analog zu Abschnitt 3.2.2.

3.2.4. Bestimmung der Gesamtjahresexposition

Die Summe aus Routineexposition, bestimmt wie in Abschnitt 3.2.1 oder 3.2.2 erläutert, und Exposition durch außergewöhnlichen Arbeiten, bestimmt wie in Abschnitt 3.2.3 erläutert, ergibt die Gesamtjahresexposition.

Bei Personen mit gleichen Aufgaben, die sich weniger lang als das Hauptpersonal in den Anlagen aufhalten (z.B. stellvertretende Wasserwarte), kann auf das Tragen von personengebun-

denen Exposimetern bei der Erhebung verzichtet werden. Es wird die Exposition des zu vertretenden Wasserwerks, versehen mit einem „<“-Zeichen, verwendet.

3.2.5. Bestimmung der Jahresexposition im Rahmen der „ständigen Überwachung“

Wurde in einem Unternehmen bei der Erhebung eine Jahresexposition eines oder mehrerer Beschäftigten von mehr als 2 MBq h m^{-3} ermittelt, muss die Exposition kontinuierlich überwacht werden, s. Kap. 5.2. Davon betroffen sind alle Beschäftigten des Wasserversorgungsunternehmens, bei denen eine erhöhte Jahresexposition ($> 2 \text{ MBq h m}^{-3}$) festgestellt wurde.

Zur Bestimmung der Exposition wird pro betroffenem Beschäftigten ein personengebundenes Exposimeter und ein Referenzexposimeter wie in Abschnitt 3.2.1 beschrieben, benutzt. Das personengebundene Exposimeter wird immer und in allen Anlagen getragen, auch bei außergewöhnlichen Arbeiten. Nach drei Monaten werden die Exposimeter durch neue ausgetauscht und die Messung ohne Unterbrechung weitergeführt. Die Summe der Exposition aus den vier Quartalen eines Kalenderjahres ergibt dann die Gesamtjahresexposition.

4. Information

4.1. Beratung der Wasserversorgungsunternehmen

Im November 2001 wurden alle Wasserversorgungsunternehmen in Bayern schriftlich aufgefordert, ihre Radonexposition auf Grund der Novellierung der Strahlenschutzverordnung [2] zu erheben. In diesem Schreiben (Az: 4/3-633-10) wurde auch die Vorgehensweise bei der Messung erläutert. Dem Schreiben lag weiterhin ein Rückantwortbogen zur Erhebung der Radonexposition, ein Ablaufplan zur Erhebung der Radonexposition, eine Liste der Messstellen sowie ein Auszug aus der Strahlenschutzverordnung mit den zutreffenden Paragraphen bei, s. Abschlussbericht des Untersuchungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ [3]. Im Januar 2003 wurden dann alle Wasserversorgungsunternehmen an ihre Pflicht, eine Abschätzung der jährlichen Radonexposition ihrer Mitarbeiter durchzuführen, erinnert, s. Kap. 5.

Da die Wasserversorgungsunternehmen zum Zeitpunkt des ersten Schreibens mit der Radonproblematik noch nicht vertraut waren, warf dieses Schreiben einige Fragen auf. Viele Wasserversorgungsunternehmen erkundigten sich daraufhin telefonisch, per Fax, e-mail oder schriftlich beim LfU. Weitere Wasserversorgungsunternehmen erkundigten sich nach Erhalt des zweiten Schreibens nach denselben Informationen, da sie das erste Schreiben nicht erhalten oder nicht beachtet hatten. Die häufigsten dieser Fragen sind mit Antworten im nachstehenden Abschnitt dargestellt.

- „Was ist Radon?“

Noch vor der Entstehung der Erde vor 5 Milliarden Jahren bildeten sich die schweren Elemente wie z.B. Uran. Auf Grund seiner langen Halbwertszeit (nach dieser Zeit ist die Hälfte der Atome zerfallen) ist das radioaktive Uran heute noch vorhanden. Es ist überall, in mehr oder weniger hoher Konzentration, in der Erdkruste verteilt. Alle Uranzerfallsprodukte außer Radon sind Schwermetalle, die in der Regel in den tieferen Bodenschichten verbleiben. Radon hingegen ist ein radioaktives Edelgas und sehr mobil. Es ist farb-, geruch- und geschmacklos. Es diffundiert in die umgebende Bodenluft und löst sich im Grundwasser. Mit der Bodenluft und durch die grundwasserführenden Bodenschichten verbreitet sich Radon weiträumig im Untergrund. Über Erdspalten und Bodenporen tritt es dann in die Atmosphäre über oder gast aus Quell- und Oberflächenwässern in die umgebende Luft aus. Die ersten vier Zerfallsprodukte des Radon-222 (Polonium-218, Blei-214, Wismut-214 und Polonium-214) mit Halbwertszeiten bis zu 27 Minuten sind sehr kurzlebig. Diese kurzlebigen Zerfallsprodukte werden beim Zerfall des Radons in der Luft gebildet und lagern sich zum Teil an Aerosolen (z.B. Staub) an, die im Gegensatz zum Radongas an Oberflächen haften können.

- „Wo kommt Radon in Bayern, speziell in Wasserwerken, vor?“

Das Radonvorkommen in bayerischen Wasserwerken hängt sowohl von der Geologie als auch von den Grundwasserleitern ab. Eine Einteilung Bayerns in 10 Regionen nach dem Radonpotential kann Ref. [3] entnommen werden und ist in Abb. 4.1 wiedergegeben. Bei der Einteilung wurden neben der geologischen Übersichtskarte die Struktur der Grundwasserleiter, die Radonkonzentration in der Bodenluft und die Urangehalte in den Bachsedimenten berücksichtigt. In Gebieten mit hohem Radonpotential (v.a. Region 5) ist oftmals auch die Radonkonzentration im Rohwasser erhöht. Das im Wasser gelöste Radon gast bei Bewegung des Wassers oder durch große Wasseroberflächen aus dem Wasser aus und gelangt so in die Raumluft der Anlagen. Radon gibt es damit in allen Regionen Bayerns und in allen Anlagen eines Wasserversorgungsunternehmens.

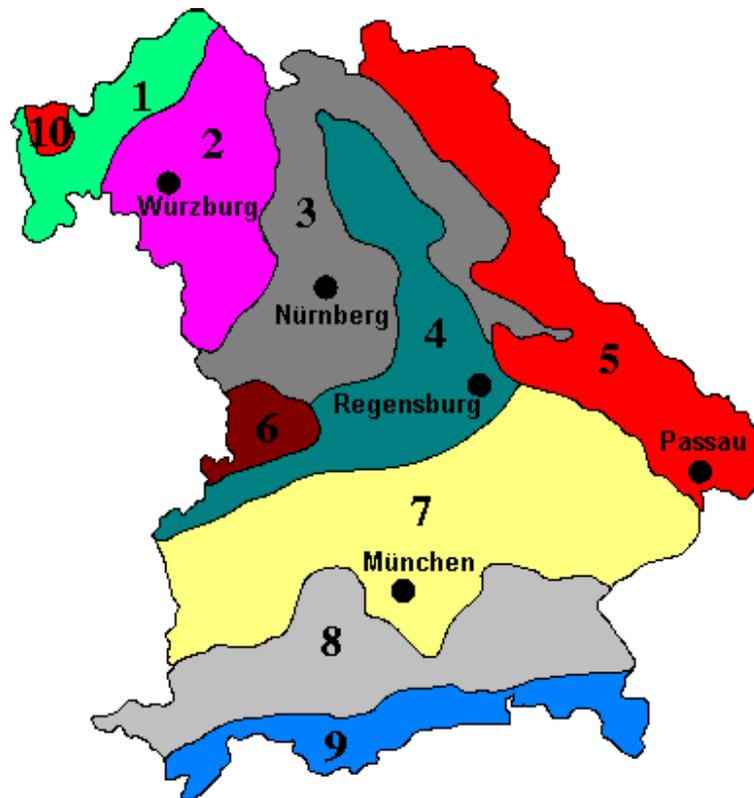


Abbildung 4.1.: Die Aufteilung Bayerns in 10 Regionen mit in sich ähnlichem Radonpotential. Abbildung aus Ref. [3]. Regionen: 1 Buntsandstein; 2 Muschelkalk, Keuper; 3 Fränkischer Keuper; 4 Dogger, Malm, Kreide; 5, 10 Granite, Gneise; 6 Auswurfmasse des Riesmeteoriten; 7 Sedimente, Molassen; 8 Jungmoränen, 9 Trias, Jura, Alttertiär.

- „Müssen wir messen?“

Die Strahlenschutzverordnung [2] legt fest, dass jedes Wasserversorgungsunternehmen die Radonexposition seiner Mitarbeiter abschätzen muss. Da in keinem Gebiet in Bayern sicher ausgeschlossen werden kann, dass die Exposition den Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} im Jahr überschreitet, ist jedes Wasserversorgungsunternehmen dazu verpflichtet, Erhebungsmessungen durchzuführen. Die einzige Ausnahme bilden diejenigen Wasserversorgungsunternehmen, die Fernwasser beziehen, dieses nur verteilen und dazu keine Anlagen betreiben.

- „Müssen wir nochmals messen?“

Wasserversorgungsunternehmen, die am vorangegangenen Untersuchungsvorhaben „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ teilgenommen hatten, erkundigten sich, ob und in welchem Umfang sie die Messungen zur Erhebung der Radonexposition durchführen müssen. Im vorangegangenen Untersuchungsvorhaben wurden schwerpunktmäßig personengebundene Messungen sowie ortsgebundene Messungen im Hochbehälter mit der längsten Aufenthaltsdauer durchgeführt. Diese Ergebnisse konnten für die Erhebung verwendet werden. Sie mussten nur gegebenenfalls durch ortsgebundene Messungen in den restlichen Hochbehältern zur Bestimmung der Exposition während der Behälterreinigung ergänzt werden.

- „Was sind orts- und personengebundene Exposimeter, wo kauft man sie und wieviel kosten sie?“

Orts- und Personenexposimeter sind Geräte, mit denen die Radonexposition bzw. die Radonkonzentration gemessen werden kann. Eine Liste der vom LfU akzeptierten Messstellen lag dem vorher erwähnten Schreiben bei. Die Kosten für ein Exposimeter liegen, je nach Bezugsquelle, zwischen 16 und 25 Euro.

- „Wie werden orts- und personengebundene Exposimeter gehandhabt?“

Die Handhabung orts- und personengebundener Exposimeter ist in Kap. 3 ausführlich beschrieben.

- „Wie wird die Radonexposition bestimmt?“

Die **Routineexposition** wird durch dreimonatiges Tragen eines Personenexposimeters durch die Beschäftigten ermittelt. Zusätzlich muss die **Exposition**, die durch **außergewöhnliche Arbeiten** entsteht, ermittelt werden. Dazu gehört z.B. die Behälterreinigung. Die Summe beider Expositionen ergibt dann die Jahresexposition. Die Ermittlung der Exposition ist ausführlich in Kap. 3 dargestellt.

4.2. Vorträge

Im Januar 2002 wurden die Leiter der 73 Wasserwerksnachbarschaften (WWN) durch einen Vortrag über das Problem „Radon“ informiert. Viele sahen sich danach nicht in der Lage, ihre Mitglieder in diesem für sie selbst fremden Thema zu schulen. Deshalb wurde oft der Wunsch nach einem Referenten des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz geäußert. Nur wenige Nachbarschaftsleiter wollten ihre Mitglieder persönlich schulen. Diese baten um Unterlagen zum Thema „Radon“. Auch die vielen Anrufe zeigten deutlich, dass Informationsbedarf und Interesse für das Thema „Radon“ besteht.

Daher wurde ein Vortrag mit dem Titel „Neue Pflichten für die Wasserversorgungsunternehmen: Strahlenschutz jetzt auch für das Wasserwerkspersonal“ entwickelt, der sich speziell an die Beschäftigten der Wasserversorgungsunternehmen richtet. Damit wurde eine Schulung für zumindest einen großen Teil des Wasserwerkspersonals in Bayern in Angriff genommen. Der Vortrag soll die meistgestellten Fragen rund um das Thema „Radon und Radonmessungen“ auf verständliche Art und Weise beantworten, z.B.:

- Was ist Radon und woher kommt es?
- Warum muss ich mich davor schützen?
- Wovon hängt die Exposition ab?
- Gesetzliche Grundlage
- Wie sieht ein Kernspurdetektor (Exposimeter) aus und was kostet er?
- Was muss bei der Messung beachtet werden?
- Wie läuft die Messung ab?
- Gibt es schon Ergebnisse?
- Wie kann ich die Exposition senken?

Der Vortrag wurde, wie in Tab. 4.1 ausgeführt, von Referenten des LfU als PowerPoint-Präsentation in jeweils aktualisierter Form vor pro Veranstaltung bis zu 120 Beschäftigten der Wasserwirtschaft gehalten.

Für Leiter von Wasserwerksnachbarschaften wurde zusätzlich zu den Folien bzw. der Präsentation noch ein Begleittext erarbeitet. Er vermittelt ihnen die zusätzlichen Informationen, die benötigt werden, um als „Laie“ einen Vortrag zum Thema „Radon“ zu halten. Der Begleittext, der alle Folien des Vortrags in verkleinerter Form enthält, ist in Anhang B abgedruckt. Dieser Vortrag wurde inzwischen auch zu einem Schulungsvortrag für WVU-interne Zwecke (s. Kap. 5.4) erweitert.

Alle genannten Dateien stehen auf der Homepage des LfU (www.bayern.de/lfu) zum Download zur Verfügung. Folien, Präsentation und Begleittext wurden außerdem im März 2002 zur weiteren Verteilung an das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft weitergeleitet.

Es wurden auch verschiedene Vorträge mit dem Schwerpunkt „Reduktion der Exposition“ ausgearbeitet und u.a. auf der Tagung der Leiter der Wasserwerksnachbarschaften im Januar 2004 präsentiert.

Desweiteren wurden die Ergebnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet „Radon in bayerischen Wasserwerken“ auf mehreren nationalen und internationalen Tagungen vorgestellt. Die Einzelheiten sind in Tab. 4.1 zusammengestellt.

Tabelle 4.1.: *Termine und Orte der Vorträge aus dem Bereich „Radon in bayerischen Wasserwerken“. Referentenkürzel R: T – Dr. Trautmannsheimer, K – Dr. Körner., R – Dr. Reifenhäuser.*

Veranstaltung	Ort	Datum	R
Tagung Leiter der WWN	Pleinfeld	23.01.02	T
3. Expertentreffen des TÜV Süddeutschland	Überlingen	13.03.02	T
Fortbildungstagung der WWN Oberallgäu	Memmingen	10.03.02	K

Veranstaltung	Ort	Datum	R
Tagung der DVGW-Deliwa Schwaben	Gersthofen	19.03.02	T
Schulungstag der WWN Main-Spessart	Kreuzwertheim	09.04.02	K
Frühjahrstagung der ARGE Oberbayern	Taufkirchen	11.04.02	K
Fortbildung der WWN Passau-Süd	Passau	18.04.02	R
Frühjahrsseminar der ARGE Niederbayern – Oberpfalz	Regensburg	18.04.02	K
Fachveranstaltung des DVGW Mittel- und Oberfranken	Schwabach	19.04.02	K
Tagung der WWN Landsberg	Dießen	23.04.02	K
Fortbildung der WWN Passau-Nord	Obernzell	24.04.02	K
Fortbildung der WWN Aschaffenburg	Aschaffenburg	13.05.02	K
Fortbildung der WWN Deggendorf und Regen	Moos	15.05.02	K
DVGW-Projektkreis „Strahlenschutz“ (mit BMU)	Bonn	26.09.02	T
Radon-Statusgespräch (BMU)	Berlin	23.10.02	K
Fortbildung der WWN Traunstein-Süd	Bad Adelholzen	06.11.02	K
ENOR III Konferenz	Dresden	05.03.03	K
Fortbildung der WWN Ostallgäu	Ruderatshofen	03.04.03	K
Fachdienstbesprechung Strahlenschutz Baden-Württemberg	Schömburg	14.05.03	K
Radon-Statusgespräch (BMU)	Berlin	21.10.03	K
Fortbildungstag VUP	Ingolstadt	23.10.03	K
Radon-Informationstag des LfU und U.R.A.-Labor	Regensburg	03.11.03	K, T
FZK: Umgebungs- und Umweltüberwachung	Karlsruhe	07.11.03	T
FZK: Radon-Informationstag	Karlsruhe	11.11.03	K
Tagung der Vorsitzenden der WWN	Pleinfeld	21.01.04	K
Tagung DVGW Ortsgruppe Oberbayern	Karlsfeld	02.03.04	K

Veranstaltung	Ort	Datum	R
39. radiometrisches Seminar Theuern	Theuern	14.05.04	K
Fernsehaufnahmen Bayerischer Rundfunk	Unterschleißheim	21.07.04	K
6th Conference on HLNRRRA	Osaka, Japan	08.09.04	K
7th Workshop on Radon Risk Mapping	Prag, Tschechien	16.09.04	T
WWN-Tag München-Land	Unterschleißheim	25.10.04	K

4.3. Informationsveranstaltung

Am 03.11.2003 fand eine eintägige Informationsveranstaltung zum Thema „Radon in bayerischen Wasserwerken“ in Zusammenarbeit mit dem U.R.A.-Labor der Universität Regensburg statt. Das U.R.A.-Labor übernahm dabei die organisatorischen Aufgaben. Als Veranstaltungsort wurde Regensburg gewählt, um den Wasserwarten aus der von der Radonproblematik besonders betroffenen Region 5 die Anfahrt zu erleichtern. Sie richtete sich an Wasserwarte und informierte eingehend über die verschiedenen Aspekte (physikalisch, rechtlich, ...) des Themas. Es referierten zu den unterschiedlichen Punkten verschiedene Fachleute:

- Radon im Trinkwasser (Hr. Rühle, ehemals Bundesamt für Strahlenschutz)
- Radon im Menschen und in der Umwelt (Hr. Dr. Haas, Universität Regensburg)
- Verfahren zur Messung von Radon in Wasserwerken (Hr. Aign, Universität Regensburg)
- Radonexponierte Arbeitsplätze in Bayern – Umsetzung der neuen Strahlenschutzverordnung (Hr. Dr. Trautmannsheimer, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz)
- Zusammenfassung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Radon in bayerischen Wasserwerken“ (Hr. Dr. Schupfner, Universität Regensburg)
- Besichtigung der Laboratorien der Arbeitsgruppe Umweltradioaktivität (U.R.A.-Labor)

- Bewährte Maßnahmen zur Reduzierung von Radon in Wasserwerken (Hr. Bauer, Universität Regensburg)
- Überwachung der Exposition bei anzeigebedürftigen Arbeiten (Fr. Dr. Körner, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz)

Eine ähnliche Veranstaltung wurde auch durch das Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt am Forschungszentrum Karlsruhe unter Beteiligung eines Referenten vom LfU durchgeführt.

4.4. Internetauftritt

Informationen zum Thema „Radon in bayerischen Wasserwerken“ sind inzwischen auch auf der Homepage des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz (www.bayern.de/lfu) zu erhalten. Sie befinden sich bei der Abteilung „Strahlenschutz“ in einem eigenen Kapitel. Hier kann z.B. der Vortrag „Neue Pflichten für die Wasserversorgungsunternehmen: Strahlenschutz jetzt auch für das Wasserwerkspersonal“ sowie der Begleittext hierzu heruntergeladen werden. Es stehen auch der Abschlussbericht des vorangegangenen Untersuchungsvorhabens [3] und unser Schreiben vom 30. November 2001 zur Verfügung. Es ist geplant, auch den vorliegenden Bericht den interessierten Wasserversorgungsunternehmen auf diese Weise zugänglich zu machen. Am Ende der Seite sind noch die Ansprechpartner genannt. Auf der Seite soll auch weiterhin über Neuerungen und Entwicklungen der Radonsituation in bayerischen Wasserwerken informiert werden.

5. Vollzug der Strahlenschutzverordnung in Wasserversorgungsunternehmen

5.1. Erhebung der Radonexposition (§ 95 (1))

5.1.1. Vorgehensweise bei Wasserversorgungsunternehmen

Mit dem Schreiben vom 30. November 2001 (AZ: 4/3-633-10) wurden, beziehend auf die am 1. August 2001 in Kraft getretene Novelle der Strahlenschutzverordnung [2], alle bayerischen Wasserversorgungsunternehmen zu Erhebungsmessungen aufgefordert. Die im vorangegangenen Untersuchungsvorhaben gewonnenen Daten konnten dazu, bei Bedarf durch eigene Messungen vervollständigt, herangezogen werden. Dem Schreiben lagen ein Erhebungsbogen zur Übermittlung der Ergebnisse an das Landesamt für Umweltschutz, eine Liste der Messstellen, ein detaillierter Ablaufplan sowie ein Auszug aus der Strahlenschutzverordnung bei. Folgende Vorgehensweise bei der Ermittlung der jährlichen Radonexposition der Beschäftigten wurde vorgegeben (s. auch Kap. 3):

- Alle Beschäftigten des Unternehmens, die in einem oder mehreren Arbeitsfeldern im Sinne der Anlage XI, Teil A der StrlSchV tätig sind, müssen ermittelt werden.

- Von einer Messstelle müssen sogenannte personengebundene und dazugehörige Referenzexposimeter bezogen werden. Das personengebundene Exposimeter muss vom Beschäftigten über einen Zeitraum von mindestens drei Monaten beim Aufenthalt in allen Anlagen des Wasserversorgungsunternehmens mitgeführt werden. Dazu gehören u.a. Hochbehälter-, Aufbereitungsgebäude, Brunnenstuben, Quellschächte und auch das Büro, sofern sich dieses in einem Hochbehälter- oder Aufbereitungsgebäude befindet. Die Aufenthaltszeiten müssen dokumentiert werden. Für jeden Beschäftigten muss ein Formblatt angelegt und die Resultate der Messungen eingetragen werden. Bei Personen mit gleichen Aufgaben, die sich weniger lang als das Hauptpersonal in den Anlagen aufhalten (z.B. stellvertretende Wasserwarte), kann auf das Tragen von personengebundenen Exposimetern verzichtet werden. Es wird die Exposition des zu vertretenden Wasserwarts, versehen mit einem „<“-Zeichen, eingetragen.
- Expositionen durch Arbeiten, die außerhalb der monatlichen Routineaufgaben anfallen, müssen getrennt erfasst werden. Damit sind z.B. Arbeiten gemeint, die einmal im Jahr durchgeführt werden und mehrere Arbeitstage oder -wochen in Anspruch nehmen (z.B. Behälterreinigung). Für die Erfassung dieser Exposition muss bei einer Messstelle ein sogenanntes ortsgebundenes Exposimeter zur Messung der Radonkonzentration der Raumluft bezogen werden. Aus dem Messwert der Raumluftkonzentration und der für diese Arbeiten abgeschätzten Aufenthaltszeit kann diese zusätzliche Exposition berechnet werden.
- Die Routineexposition (Punkt 2) und die außergewöhnlichen Expositionen (Punkt 3) müssen zu einer Gesamtjahreexposition addiert werden.
- Wasserversorgungsunternehmen, die Fernwasser beziehen, dieses nur verteilen und dazu keine Anlagen betreiben, müssen als einzige Wasserversorgungsunternehmen keine Erhebungsmessungen durchführen.

5.1.2. Externe Firmen

Die Jahresexposition muss auch für Beschäftigte externer Firmen, die an Arbeitsplätzen nach Anlage XI, Teil A der StrlSchV arbeiten, erhoben werden. Das Wasserversorgungsunternehmen sollte die externe Firma am besten schon vor Vertragsabschluss auf eine mögliche Gefährdung durch Radon aufmerksam machen.

Der Verpflichtete der externen Firma muss eine Abschätzung oder Messung der Exposition, die sein Personal bei den Arbeiten in den Anlagen des Wasserversorgungsunternehmens erhält, durchführen. Die Wasserversorgungsunternehmen sollten Messdaten, soweit sie vorhanden sind, der externen Firma zur Verfügung stellen.

Der Verpflichtete der externen Firma muss eine Liste mit den Expositionen der betroffenen Mitarbeiter führen. Überschreitet die Exposition im Kalenderjahr 2 MBq h m^{-3} , ist die Arbeit anzeigebedürftig. Dies muss dem Landesamt für Umweltschutz angezeigt und ein Strahlenpass beantragt und geführt werden. Den Umgang mit dem Strahlenpass regelt die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu §§ 40 und 95 StrlSchV und § 35 RöV (AVV Strahlenpass).

5.1.3. Weiteres Vorgehen

Nachdem die Ergebnisse der Erhebung vom Wasserversorgungsunternehmen an das Bayerische Landesamt für Umweltschutz geschickt worden sind, wurden sie auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft. Waren die Ergebnisse nicht plausibel, wurden durch einen Anruf beim Wasserversorgungsunternehmen Ergänzungs- oder Wiederholungsmessungen veranlasst. Auch diese wurden wiederum auf ihre Plausibilität und Vollständigkeit geprüft.

Sind die Ergebnisse vollständig und plausibel und liegt die Gesamtjahresexposition unter dem Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} , so muss das Wasserversorgungsunternehmen die Messung selbstständig wiederholen, wenn der Arbeitsplatz so verändert wird, dass eine höhere Exposition auftreten kann. Eine Wiederholung der Erhebung ist auch nach spätestens 10 Jahren sinnvoll, da sich in diesem Zeitraum mit großer Wahrscheinlichkeit Änderungen an den Anlagen oder im

Arbeitsablauf ergeben haben, die eine Wiederholung der Erhebung nötig machen. Des Weiteren muss das Minimierungsgebot nach § 94 StrlSchV eingehalten werden. Dies kann in diesem Fall nach § 95 (12) auch dadurch geschehen, dass Strahlenschutzmaßnahmen auf der Grundlage von Vorschriften des allgemeinen Arbeitsschutzes Anwendung finden.

Liegt die Jahresexposition eines oder mehrerer Mitarbeiter eines Wasserversorgungsunternehmens über dem Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} , so muss dies dem LfU gemeldet werden und die ständige Überwachung der Exposition erfolgen (Kap. 5.2). Weiterhin muss die Exposition reduziert werden (Kap. 5.3).

5.1.4. „Erinnerungsschreiben“ und Stand zum Ende des Jahres 2004

Bis zum Jahresende 2002 hatten ca. 650 Wasserversorgungsunternehmen die Ergebnisse ihrer Erhebungsmessungen an das Landesamt für Umweltschutz geschickt. Dabei lag die Jahresexposition der Mitarbeiter nur in zwei Wasserversorgungsunternehmen über dem Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} , Grenzwertüberschreitungen wurden keine gemeldet. Zu beachten ist jedoch, dass vor allem von kleinen Wasserversorgungsunternehmen und Wasserversorgungsunternehmen, die an dem Untersuchungsvorhaben teilgenommen haben, sowie von Wasserversorgungsunternehmen mit Fernwasserversorgung die Erhebungsbögen zurückgesandt wurden. Bei diesen Unternehmen war entweder keine Messung erforderlich oder die Messung war ohne viel Aufwand möglich. Deshalb war aus diesen Rückantworten keine Aussage über die Anzahl der zu erwartenden Grenz- bzw. Eingreifwertüberschreitungen insgesamt möglich.

Auf Grund der geringen Resonanz auf das Schreiben vom 30. November 2001 wurden am 21. Januar 2003 nochmals alle bayerischen Wasserversorgungsunternehmen auf ihre Pflicht, Erhebungsmessungen nach § 95 der Strahlenschutzverordnung durchzuführen, hingewiesen. Das Schreiben (AZ: 4/1-633-5) ist in Anhang C abgedruckt. In diesem Schreiben wird auf das Schreiben vom 30. November 2001 verwiesen, in dem der Ablauf der Erhebung genau geschildert und eine Liste der Messstellen beigelegt war.

Daraufhin meldeten sich viele Wasserversorgungsunternehmen telefonisch, per Post oder Fax beim Landesamt für Umweltschutz, s. Kapitel 4. Eine spezielle Messstelle wurde darauf mit Bestellungen überhäuft. Die eingesandten Ergebnisse wurden von Mitarbeitern des Referats 4/1 auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft. Bei Fragen von Seiten des LfU wurden diese mit dem Wasserversorgungsunternehmen erörtert und gegebenenfalls Ergänzungsmessungen veranlasst. Die Daten der einzelnen Wasserversorgungsunternehmen wurden in die RADEX-Datenbank (s. Kap. 6) eingegeben. Inzwischen konnten alle Wasserversorgungsunternehmen durch oftmals auch mehrmalige telefonische und schriftliche Aufforderung, z.T. mit Bußgeldandrohung, zur Durchführung der Erhebung bewegt werden.

Ende 2004 stellt sich der Stand wie in Tab. 5.1 aufgelistet dar.

Tabelle 5.1.: *Stand der Erhebung der Radonexposition Ende 2004. Anzahl der WVU insgesamt:*

*2550. * – Jahresexposition > Eingreifwert, jedoch < Grenzwert.*

Status	Anzahl	Prozentsatz
> Grenzwert	28	1,1
> Eingreifwert*	41	1,6
< Eingreifwert	1676	65,7
Fernwasser	549	21,5
in Arbeit	256	10,0

5.2. Überwachung der Radonexposition (§ 95 (2))

5.2.1. Ablauf

Wurde bei der Erhebung eine Jahresexposition über 2 MBq h m^{-3} ermittelt, so musste dies innerhalb von 3 Monaten dem Landesamt für Umweltschutz angezeigt werden (§ 95 (2)) und

unverzüglich mit der kontinuierlichen Überwachung der Jahresexposition begonnen werden (§ 95 (10)). Aus der Anzeige mussten weiterhin die konkrete Art der Arbeit, das betreffende Arbeitsfeld, die Anzahl der betroffenen Personen, die vorgesehene Ermittlung der Exposition und die vorgesehenen bzw. schon durchgeführten Reduktionsmaßnahmen hervorgehen. Allen betroffenen Unternehmen wurde dieser Sachverhalt und die aus der Strahlenschutzverordnung folgenden Maßnahmen vom LfU nach Bekanntwerden einer Exposition von mehr als 2 MBq h m^{-3} schriftlich mitgeteilt. Exemplarisch für alle Kategorien wurden das Anschreiben an die Unternehmen, deren Mitarbeiter einer Jahresexposition zwischen Eingreifwert und Grenzwert ausgesetzt sind, der Ablaufplan der ständigen Überwachung sowie ein Informationsblatt zur Radonreduktion in Anhang D abgedruckt.

Zur Reduktion der Jahresexposition ist es dem Wasserversorgungsunternehmen freigestellt, ob es alle notwendigen Schritte (Detailmessungen, Planung und Umsetzung der Maßnahmen sowie Erfolgskontrolle) in Eigenregie oder von externen Firmen durchführen lassen möchte. Dazu wurde dem Wasserversorgungsunternehmen die Liste des DVGW an die Hand gegeben, auf der Firmen aufgelistet sind, die bei der Reduktion der Radonexposition helfen können. Von den wenigsten betroffenen Wasserversorgungsunternehmen wurden jedoch Angaben zu Reduktionsmaßnahmen an das LfU gesandt. Es ist deshalb geplant, jährlich den Stand der Reduktionsmaßnahmen mit einem speziell hierfür entwickelten Formblatt abzufragen. Diese Angaben können dann auch in die RADEX-Datenbank (s. Kap. 6) übernommen werden.

Nach § 95 (11) müssen die Mitarbeiter, deren Jahresexposition den Eingreifwert überschreiten kann, einmal jährlich von einem ermächtigten Arzt untersucht werden.

Weiterhin muss für die betroffenen Mitarbeiter die Dokumentation nach § 96 durchgeführt werden, d.h. u.a. müssen die Ergebnisse der Überwachung so lange aufbewahrt werden, bis die überwachte Person das 75. Lebensjahr vollendet hat oder vollendet hätte, mindestens jedoch 30 Jahre nach Beendigung der jeweiligen Beschäftigung. Die Ergebnisse müssen spätestens 95 Jahre nach Geburt der betreffenden Person gelöscht werden. Sie müssen auf Verlangen der überwachten Person vorgelegt werden.

Aus der Erhebung und dem vorangegangenen Untersuchungsvorhaben sind nun einige Wasserversorgungsunternehmen bekannt, deren Mitarbeiter eine Gesamtjahresexposition von mehr als 2 MBq h m^{-3} erhalten. Von den betroffenen Unternehmen waren bei der Erhebung 28 über dem Grenzwert von 6 MBq h m^{-3} und 41 zwischen Eingreifwert (2 MBq h m^{-3}) und Grenzwert.

In allen betroffenen Wasserversorgungsunternehmen sollten Maßnahmen zur Reduktion der Exposition durchgeführt werden. Das Vorgehen hierzu ist in Kap. 5.3 beschrieben. Der Stand der Reduktionsmaßnahmen ist in Anhang E aufgelistet.

Liegt die Jahresexposition dann nach erfolgreichen Maßnahmen längere Zeit unter dem Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} , so kann vom Wasserversorgungsunternehmen ein Antrag an das Landesamt für Umweltschutz gestellt werden, um aus der Überwachung „entlassen“ zu werden, siehe Kap. 5.4.

Ergibt eine Prüfung durch das Landesamt für Umweltschutz, dass die Voraussetzungen für eine anzeigebedürftige Arbeit nicht mehr bestehen, kann die Überwachung der Jahresexposition entfallen. Das Wasserversorgungsunternehmen muss jedoch bei Änderungen der Anlagen oder der Betriebsabläufe unaufgefordert neue Messungen durchführen, die Maßgaben des § 94 einhalten und die Nachhaltigkeit der Reduktionsmaßnahmen sicherstellen. Dies wird stichprobenartig durch das Landesamt für Umweltschutz geprüft werden müssen.

Kann dem Antrag nicht stattgegeben werden, da der Eingreifwert nicht sicher unterschritten wird, muss die Überwachung fortgeführt werden. Ein erneuter Antrag kann nach Beseitigung der Probleme gestellt werden.

5.2.2. Bestimmung der Jahresexposition

Zur kontinuierlichen Überwachung der Jahresexposition wurde den betroffenen Wasserversorgungsunternehmen im vorher genannten Schreiben eine Vorgehensweise vom Landesamt für Umweltschutz vorgeschlagen. Es steht dem Wasserversorgungsunternehmen jedoch offen, die

Jahresexposition auf eine andere Art (z.B. durch elektronische Radonmessgeräte) zu ermitteln, solange diese Vorgehensweise sinnvoll und mit dem Landesamt für Umweltschutz abgestimmt ist.

Der Vorschlag des Landesamts für Umweltschutz stellt jedoch einen einfachen und kostengünstigen Weg zur Bestimmung der Jahresexposition dar: Das Wasserversorgungsunternehmen bestellt für jede betroffene Person ein personengebundenes Exposimeter sowie ein Referenzexposimeter bei einer Messstelle. Die Messung erfolgt kontinuierlich, d.h. bei jedem Betreten einer Anlage oder eines Anlagenteils muss das personengebundene Exposimeter von der betreffenden Person getragen werden, s. auch Kap. 3. Nach drei Monaten werden alle Exposimeter zur Auswertung eingeschickt. Die Messung wird ohne Unterbrechung mit neuen Exposimetern fortgesetzt. So bleibt dem Wasserversorgungsunternehmen bei Eintreffen der ersten Ergebnisse genügend Zeit, bei anfänglich hohen Werten der hochgerechneten Jahresexposition „Sofortmaßnahmen“ (z.B. Beschaffung und Verwendung eines mobilen Lüfters) einzuleiten, um eine eventuelle Überschreitung des Grenzwerts von 6 MBq h m^{-3} im Jahr zu verhindern. Nach Eingang des Ergebnisses beim Wasserversorgungsunternehmen muss dieses dann binnen Monatsfrist (§ 96 (3) StrlSchV) an das LfU geschickt werden. In der Praxis ist jedoch nicht jedes betroffene Wasserversorgungsunternehmen dieser Pflicht nachgekommen, so dass wiederholt gemahnt und sogar mit Bußgeld gedroht werden musste.

5.3. Vorgehen bei der Radonreduktion

Ziel der Reduktionsmaßnahmen ist es, die Jahresexposition der Beschäftigten dauerhaft unter den Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} zu senken. Die Wasserversorgungsunternehmen wurden deshalb vom Landesamt für Umweltschutz aufgefordert mitzuteilen, welche Reduktionsmaßnahmen sie geplant bzw. eventuell schon durchgeführt haben (Erfolgskontrolle!) oder zu begründen, warum keine Maßnahmen durchgeführt werden sollen. Zur Reduktion der Jahresexposition ist es dem Wasserversorgungsunternehmen freigestellt, ob es alle notwendigen Schritte

in Eigenregie oder von externen Firmen durchführen lassen möchte. Diese Schritte sind im folgenden „Ablaufplan“ zusammengestellt:

- Detailmessungen

Es muss die Radonkonzentration in allen Anlagen des Wasserversorgungsunternehmens gemessen werden. Unter Umständen sind dazu zeitauflösende Messgeräte nötig.

- Erstellung eines „Maßnahmenplans“

Wenn die Radonkonzentration in allen Teilen der Anlage bekannt ist, kann mit Hilfe der Aufenthaltszeiten festgestellt werden, welcher Anteil der Exposition aus den einzelnen Anlagenteilen stammt und welche Reduktionsmaßnahmen in welchen Anlagen am erfolgversprechendsten sind.

- Durchführung der Reduktionsmaßnahmen

Die im vorangegangenen Schritt erarbeiteten Reduktionsmaßnahmen werden vom Wasserversorgungsunternehmen durchgeführt, d.h. z.B. Einbau eines Lüfters, Anschaffung und Benutzung mobiler Lüfter, Änderung (und danach Beibehaltung) der Betretungszeiten.

- Erfolgskontrolle

Nach Abschluss aller Maßnahmen muss vom Wasserversorgungsunternehmen der Erfolg kontrolliert werden. Dazu muss die Radonkonzentration erneut gemessen werden, am Besten mit elektronischen Geräten, die die Radonkonzentration in Abhängigkeit von der Zeit aufzeichnen. Des weiteren wird sich der Erfolg in einer reduzierten Jahresexposition der Beschäftigten zeigen. Diese wird auf Grund der „ständigen Überwachung“ mit den personengebundenen Exposimetern bestimmt. Auch nach erfolgten Reduktionsmaßnahmen muss die Jahresexposition weiter auf unbestimmte Zeit überwacht werden. Reichen die durchgeführten Maßnahmen nicht aus, müssen weitere Maßnahmen erarbeitet und durchgeführt werden.

Als erfolgreiche Maßnahmen zur Reduktion der Radonexposition haben sich bewährt:

- Organisatorische Maßnahmen

Unter diesen Punkt fällt z.B. die Schulung der Mitarbeiter, evtl. im Rahmen der jährlichen Sicherheitsbelehrung. Weiterhin kann eine Reduktion der Exposition durch Änderung der Betretungszeiten der verschiedenen Anlagen erreicht werden. Hierzu müssen in den meisten Fällen zeitaufgelöste Messungen der Radonkonzentration erfolgen. Als weitere organisatorische Maßnahme kommt die Verlegung von Räumen mit langen Aufenthaltszeiten (Büro, Labor, Sozialräume,...) aus Gebäuden mit offenen Wasserflächen oder Aufbereitungsanlagen in Betracht.

- Lüftungsmaßnahmen

Die Lüftung kann mit stationären oder mobilen Geräten erfolgen. Mobile Geräte sind besonders für die Hochbehälterreinigung und Arbeiten in schlecht belüfteten Schächten sowie, mit Stromaggregat, für Anlagen ohne Stromversorgung geeignet. Es hat sich dabei bewährt, die radonarme Außenluft über Schläuche direkt an den Arbeitsplatz zu blasen.

- Maßnahmen zum Abdichten und Abtrennen

Als weiteres Konzept kommt das Abdichten und Abtrennen der verschiedenen Anlagen bzw. Anlagenteile in Betracht. Es sollte darauf geachtet werden, dass keine radonbelastete Prozessluft, z.B. aus den Filterkesseln oder -becken, in die Raumluft des Gebäudes gelangen kann (Abdichten der Spülkästen und Behälterdeckel, Zusammenfassen und Verlegen der Abluft der Filterkessel ins Freie). Sollte das nicht möglich sein, kann die Abtrennung der betreffenden Anlagenteile (offene Filterkiesbecken, Hochbehälterkammern,...), evtl. kombiniert mit einer Be-/Entlüftung, die Radonkonzentration senken.

- In einigen Fällen ist es auch möglich, das sprudelnde Befüllen von Becken und Behältern zu vermeiden.

Bei den vorgestellten Reduktionsmaßnahmen handelt es sich jedoch nur um allgemeine Konzepte. Die Umsetzung im jeweiligen Wasserversorgungsunternehmen muss individuell an die Anlagen und Arbeitsroutinen angepasst werden. Es kann auch nicht das Ausmaß der Reduktion durch einzelne Maßnahmen vorhergesagt werden. Die Reduktionsmaßnahme muss in der Praxis durchgeführt und der Erfolg durch Messungen überprüft werden.

Bisher sind dem Landesamt für Umweltschutz 69 Wasserversorgungsunternehmen bekannt, deren Beschäftigte zum Zeitpunkt der Erhebung einer Jahresexposition von mehr als 2 MBq h m^{-3} ausgesetzt waren. In diesen Unternehmen wird die Jahresexposition der betroffenen 126 Beschäftigten bereits kontinuierlich überwacht.

In 12 Unternehmen mit Jahresexpositionen über 6 MBq h m^{-3} wurden bereits durch die Universität Regensburg, die dazu vom Landesamt für Umweltschutz im Rahmen eines Forschungsvorhabens beauftragt wurde, Detailmessungen durchgeführt. Es wurden effektive Reduktionsmaßnahmen erarbeitet und den Wasserversorgungsunternehmen zur Umsetzung vorgeschlagen. Anschließend wurde und wird noch der Erfolg der Maßnahmen anhand erneuter detaillierter Messungen ermittelt, s. Kap. 8.

Die übrigen Wasserversorgungsunternehmen mit Jahresexpositionen über 6 MBq h m^{-3} haben bereits selbständig mit Reduktionsmaßnahmen begonnen.

Auch die Wasserversorgungsunternehmen mit Jahresexpositionen zwischen 2 und 6 MBq h m^{-3} begannen mit einfachen Reduktionsmaßnahmen (z.B. Einsatz eines mobilen Belüftungsgerätes bei der Behälterreinigung und der Begehung besonders schlecht belüfteter Schächte).

Der Erfolg der angewandten Maßnahmen zeigt sich in einer verringerten Jahresexposition im Jahr 2004: in 8 Wasserversorgungsunternehmen lag die Exposition zwischen Eingreifwert und Grenzwert, in 2 Wasserversorgungsunternehmen lag sie noch über dem Grenzwert. Von 8 Wasserversorgungsunternehmen wurde, zum Teil erst nach mehrfacher Aufforderung, mit der ständigen Überwachung zum 4. Quartal 2004 begonnen, so dass für 2004 noch keine Messwerte vorliegen. Der Stand der Reduktionsmaßnahmen ist in Anhang E detailliert dargestellt.

5.4. Konzept zur „Entlassung aus der ständigen Überwachung“

5.4.1. Konzept

Das in Kap. 5.4 vorliegende Konzept zur „Entlassung aus der ständigen Überwachung“ wurde im Rahmen des vorliegenden Untersuchungsvorhabens entwickelt. Es soll zum einen dem Landesamt für Umweltschutz Entscheidungskriterien geben, um zu beurteilen, ob die Jahresexposition der Beschäftigten eines Wasserversorgungsunternehmens nach den Reduktionsmaßnahmen dauerhaft unter dem Eingreifwert liegt. Zum anderen stellt dieses Konzept eine Hilfestellung für die Wasserversorgungsunternehmen dar, wie sie die Entlassung aus der ständigen Überwachung erreichen können.

5.4.2. Antrag

Ein „Antrag auf Entlassung aus der Überwachung“ kann vom Wasserversorgungsunternehmen an das Landesamt für Umweltschutz gestellt werden, wenn nach erfolgreichen Reduktionsmaßnahmen die Jahresexposition aller Beschäftigten für mindestens 2 Jahre unter dem Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} liegt.

In diesem Antrag müssen u.a. folgende Punkte enthalten sein, wenn eine „Entlassung“ von Seiten des Landesamts für Umweltschutz stattfinden soll:

- schlüssige Begründung, warum die Exposition gesunken ist
- Nachweis einer ausreichenden Kenntnis der Radonproblematik
- Einhaltung aller Reduktionsmaßnahmen
- Angaben, wie die Nachhaltigkeit der Reduktionsmaßnahmen zukünftig sichergestellt wird

Nach erfolgter „Entlassung“ werden vom Landesamt für Umweltschutz stichprobenartige Kontrollen der Nachhaltigkeit vorgenommen werden müssen, um das Fortbestehen der Voraussetzungen für eine Jahresexposition unter dem Eingreifwert zu überprüfen.

5.4.3. Nachhaltigkeit

Um die Nachhaltigkeit sicherzustellen, bietet sich an, dass von den Wasserversorgungsunternehmen eine Arbeitsanweisung speziell für die eigene Situation erstellt wird, die von allen einzuhalten ist, die die Anlagen des jeweiligen Wasserversorgungsunternehmens betreten. Jene kann auch in Zusammenarbeit mit der Firma erarbeitet werden, die die Reduktionsmaßnahmen plant. Sie kann natürlich in schon bestehende Arbeitsanweisungen integriert werden.

Die Arbeitsanweisung muss beinhalten:

- die oder den Verantwortlichen für das Thema „Radon“ und deren oder dessen Adresse
- Regelung zur Dokumentation der Messergebnisse und Reduktionsmaßnahmen
- alle einzuhaltenden Maßnahmen, z.B. dass die Aufenthaltszeit in den Anlagen so gering wie möglich zu halten ist
- Hinweis auf die Einhaltung spezieller Betretungszeiten für bestimmte Gebäude, in denen die Radonkonzentration sich mit bestimmten Betriebsabläufen um mehrere Größenordnungen ändert
- Anweisung zur Benutzung mobiler Lüfter für entsprechende Situationen
- Regelung von Zeitpunkt und Art der Prüfung und Wartung der verschiedenen Lüfter und deren Dokumentation
- Hinweis auf eine jährlich wiederkehrende Schulung der Beschäftigten (intern oder extern), die auch in Schulungsmaßnahmen zum Thema Arbeitsschutz integriert sein kann

Ein Vorschlag des LfU für eine solche Arbeitsanweisung ist in Anhang F abgedruckt.

5.4.4. „Entlassung aus der Überwachung“

Sind alle Voraussetzungen erfüllt und das Gefährdungspotential unter den Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} gesunken, so kann dem Antrag auf „Entlassung aus der Überwachung“ vom Landesamt für Umweltschutz stattgegeben werden. Weiterhin wird durch das Landesamt für Umweltschutz die Nachhaltigkeit der Reduktionsmaßnahmen überprüft werden. Werden die Maßnahmen nicht eingehalten oder sind sie nicht mehr wirksam, muss wieder mit der ständigen Überwachung der Jahresexposition begonnen werden. Da bisher bei keinem Wasserversorgungsunternehmen alle Voraussetzungen erfüllt waren, konnte von Seiten des LfU noch keinem Antrag auf „Entlassung aus der Überwachung“ stattgegeben werden.

5.4.5. Verbleiben in der Überwachung

Erfolgt vom Wasserversorgungsunternehmen kein sicherer Nachweis, dass der Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} unterschritten wird, muss die Überwachung der Jahresexposition aller Beschäftigten in diesem Wasserversorgungsunternehmen auf unbestimmte Zeit fortgesetzt werden. Es kann nach Reduktion der Exposition unter den Eingreifwert und Erfüllung aller in diesem Kapitel genannten Voraussetzungen vom Wasserversorgungsunternehmen erneut ein Antrag auf „Entlassung“ an das Landesamt für Umweltschutz gestellt werden.

Ein Verbleiben in der Überwachung auf unbestimmte Zeit kann nur erfolgen, wenn die Jahresexposition zwischen Eingreifwert und Grenzwert liegt und alle zumutbaren Reduktionsmaßnahmen bereits durchgeführt wurden.

6. RADEX-Datenbank

Die zur Erfassung der Exposimeterdaten ehemals Linux-gestützte Datenbank wurde bereits Anfang 2002 auf eine Windows-gestützte Oracle Datenbank umgestellt. Die Daten des vorangegangenen Untersuchungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ wurden integriert. So kann sie von jedem Mitarbeiter des zuständigen Referats 4/1 des LfU genutzt und gepflegt werden. Die Daten werden nun nicht mehr ausschließlich für das Untersuchungsvorhaben „Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide aus gewerblichen Betrieben in Bayern“, sondern auch zum Vollzug der Strahlenschutzverordnung [2] genutzt. Ein Beispiel der Oberfläche zeigt Abb. 6.1.

Mit der RADEX-Datenbank (RADEX = **RA**D**On**EXponierte Arbeitsplätze) ist es z.B. möglich, die gesamten Messdaten eines Wasserversorgungsunternehmens auszudrucken bzw. zur Weiterleitung ausschließlich an dieses Wasserversorgungsunternehmen in ein pdf-File umzuwandeln. Weiterhin kann das Ergebnis einer Suche zusammen mit den Suchparametern in einer Excel-Tabelle gespeichert werden und so z.B. als Verteiler für Serienbriefe an einen bestimmten Kreis von Wasserversorgungsunternehmen dienen. Des weiteren können die Reduktionsmaßnahmen bei verschiedenen Anlagen eines Wasserversorgungsunternehmens erfasst werden. Hierbei können auch Dateien, z.B. Bilder der Anlage oder zeitaufgelöste Messungen, abgelegt werden. Inzwischen kann auch eine Datei erzeugt werden, die die Exposition aus der ständigen Überwachung in einem für das Strahlenschutzregister geeigneten Format enthält.

Die eingegangenen Daten werden von Mitarbeitern des Referats 4/1 auf Vollständigkeit und Plausibilität überprüft und in die Datenbank eingegeben, s. auch Kapitel 5.

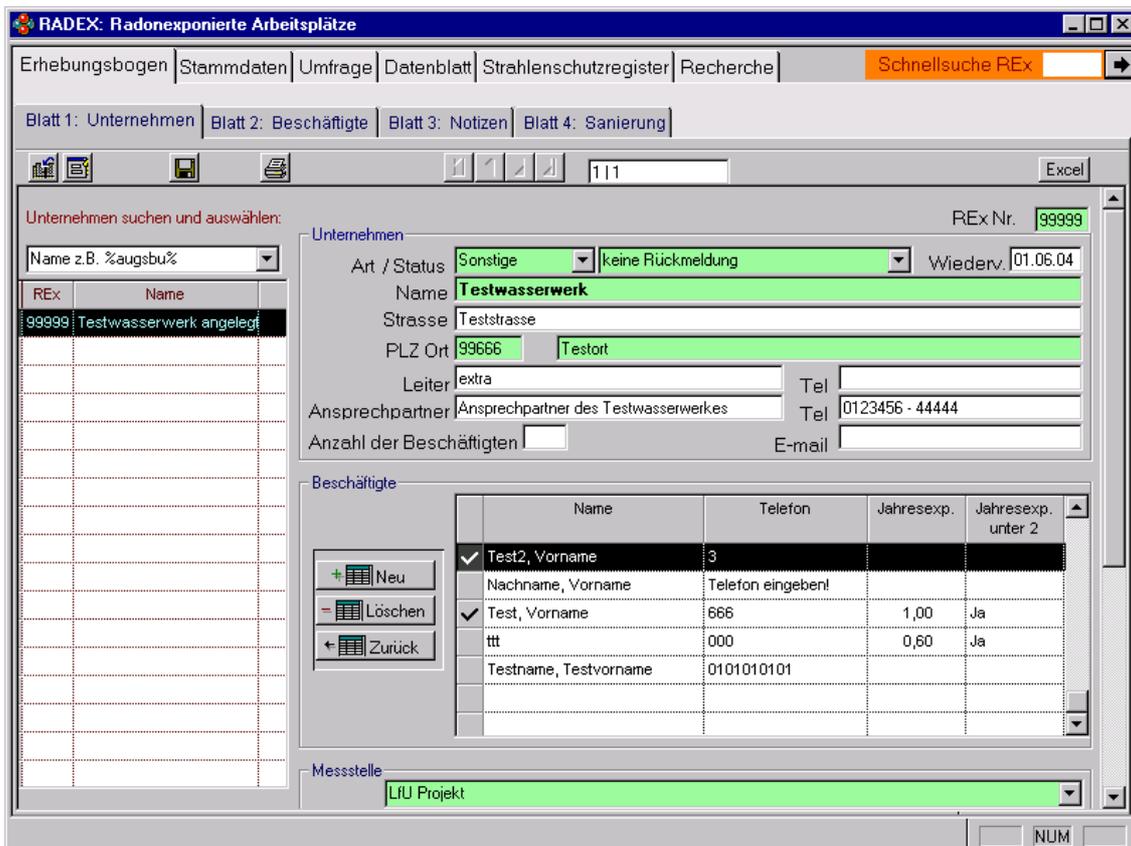


Abbildung 6.1.: Beispiel der Oberfläche von RADEX.

In der RADEX-Datenbank werden inzwischen auch die Daten aus Brauereien, Molkereien und Mineralbrunnen (Untersuchungsvorhaben „Ermittlung von Arbeitsfeldern mit erhöhten Expositionen durch natürliche Radioisotope und überwachungsbedürftige Rückstände“ des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz) verwaltet.

7. Messungen des LfU in ausgewählten Wasserversorgungsunternehmen

7.1. Messungen im Wasserversorgungsunternehmen 3022

In den Jahren 1999 und 2000 veranlasste das LfU im Rahmen des Untersuchungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ (s. Ref. [3]) Messungen im Wasserversorgungsunternehmen 3022.

Der Radongehalt einer Rohwasserprobe aus Brunnen 2 betrug 21 Bq l^{-1} . Im Wasserwerk wurden Radonkonzentrationen von bis zu $22\,400 \text{ Bq m}^{-3}$ (HB Kammer 1) mit Kernspurdetektoren gemessen. Die 2-Monats-Messung der Exposition des damaligen Wasserwirts ergab extrapoliert auf ein Jahr 18 MBq h m^{-3} im Jahr 1999, eine weitere Messung im Jahr 2000 ergab 21 MBq h m^{-3} . Da die Jahresexposition über dem Grenzwert von 6 MBq h m^{-3} lag, mussten Reduktionsmaßnahmen erarbeitet werden. Dazu wurden weitere Messungen nötig.

Eine Besichtigung vor Ort ergab folgendes Bild des Wasserwerks, das in Abb. 7.1 skizziert ist: Im Wasserwerk sind neben zwei Aufbereitungsanlagen (AB I und AB II), einem Kaskadenraum und vier Hochbehälterkammern auch das Büro, die Steuereinheit, das Labor und einige Nebenräume untergebracht. Seit den Messungen im Jahr 2000 wurde je ein stationärer Lüfter in den beiden Aufbereitungsräumen installiert, der von 04:00 bis 06:00 Uhr, 12:00 bis 13:00 Uhr und 18:00 bis 20:00 Uhr in Betrieb ist. Desweiteren wurden die Spülkästen abgedeckt. Die Tür des Büros wurde mit einem Schließmechanismus versehen.

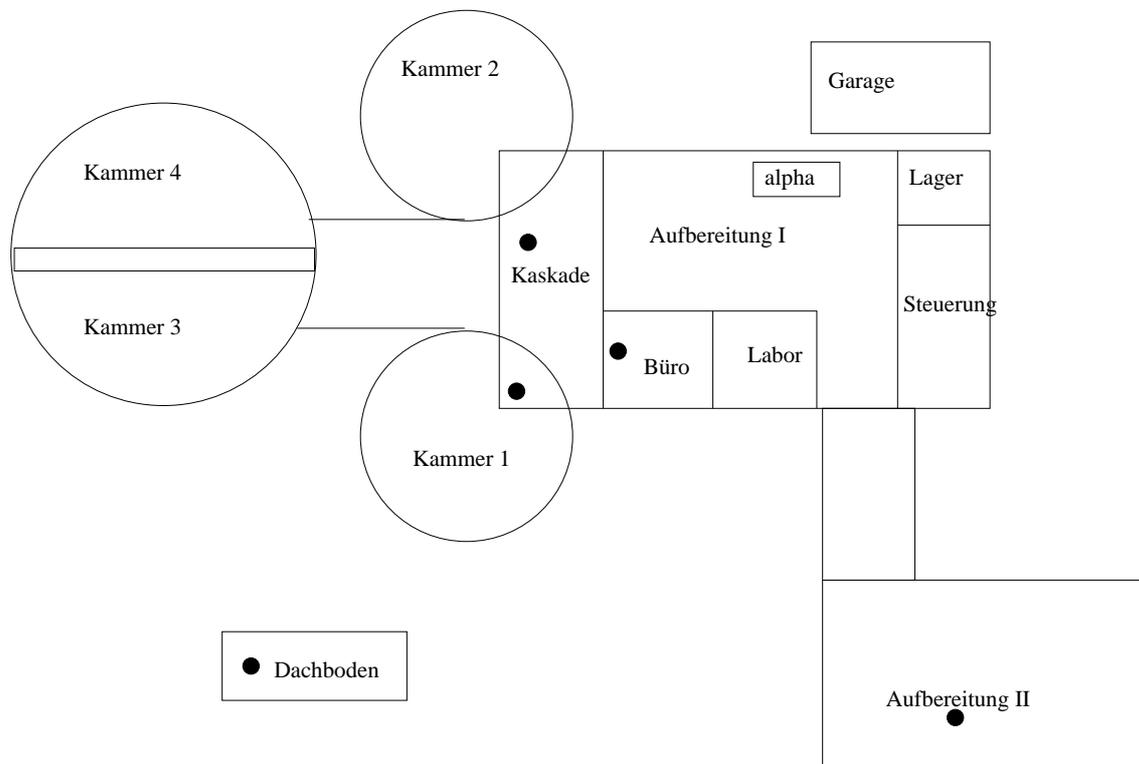


Abbildung 7.1.: Skizze (Aufsicht) des Wasserwerks im WVU 3022. Die Positionen der Orts-exposimeter sind durch \bullet , die des elektronischen Messgeräts durch „alpha“ gekennzeichnet.

Das Gerät AlphaGuard wurde im Aufbereitungsraum der AB I aufgestellt. Der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration ist in Abb. 7.2 dargestellt. Die mittlere Radonkonzentration im Messzeitraum betrug 1040 Bq m^{-3} , die mittlere gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentration 550 Bq m^{-3} (Rn-EEC). Dies entspricht einem Gleichgewichtsfaktor von 0,53. Der einmal pro Woche durchgeführte Rückspülvorgang der Aufbereitungsanlage I ist deutlich als scharfer Peak zu erkennen. Der Rückspülvorgang der Aufbereitungsanlage II ist jeweils drei Tage später als wesentlich schwächerer Peak erkennbar, da diese Anlage weit vom AlphaGuard entfernt war. In Tab. 7.1 sind die Rückspülvorgänge im Messzeitraum detaillierter aufgelistet. Es sind Zeit und Radonkonzentration (a_{Rn}) am AlphaGuard bei Beginn, maximaler Radonkonzentration und Ende des Rückspülvorgangs angegeben. Es ist deutlich zu erkennen, dass

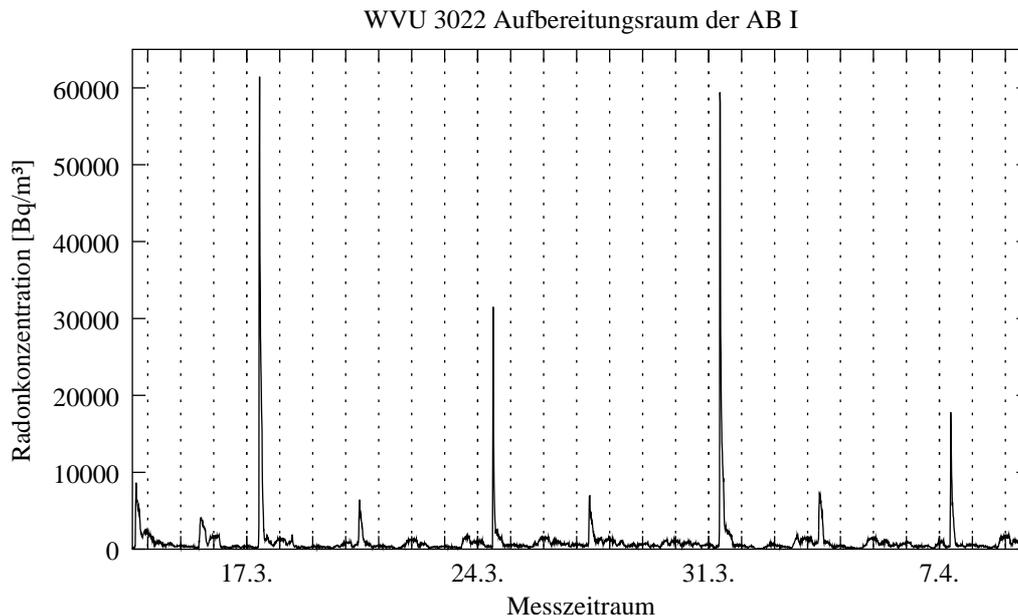


Abbildung 7.2.: Verlauf der Radonkonzentration im Aufbereitungsraum der AB I des WVUs 3022 im Messzeitraum März/April 2003.

Tabelle 7.1.: Rückspülvorgänge in der Aufbereitungsanlage I (AB I) und Aufbereitungsanlage II (AB II) im WVU 3022. Es sind Zeit und Radonkonzentration (a_{Rn}) am AlphaGuard bei Beginn, maximaler Radonkonzentration und Ende des Rückspülvorgangs angegeben.

Anlage	Datum 2003	Beginn		Maximum		Ende	
		Zeit	a_{Rn} [Bq m ⁻³]	Zeit	a_{Rn} [Bq m ⁻³]	Zeit	a_{Rn} [Bq m ⁻³]
AB I	17.03.	08:40	800	09:20	61 400	10:20	24 400
AB II	20.03.	09:10	800	10:00	6 400	10:50	4 600
AB I	24.03.	10:40	300	11:20	31 500	12:20	5 300
AB II	27.03.	09:00	3 900	09:40	7 000	10:30	4 600
AB I	31.03.	08:40	700	09:20	59 400	10:20	18 000
AB II	03.04.	09:00	1 300	09:40	7 300	10:30	6 400
AB I	07.04.	08:40	500	09:10	17 800	10:20	5 700

im Aufbereitungsraum der AB I das Maximum der Radonkonzentration 30 – 40 Minuten, das der Aufbereitungsanlage II 40 – 50 Minuten nach Beginn der Rückspülung vom Gerät Alpha-Guard registriert wurde. Bei Ende des Prozesses waren die Konzentrationswerte noch nicht auf das normale Maß zurückgegangen. Dies geschah erst nach ca. 1,5 bis 2 Stunden. Am 27.03.03 wurde auf Grund der hohen Radonkonzentration mit dem Rückspülvorgang vermutlich bereits vor der vom Wasserwart angegebenen Zeit (09:00 Uhr) begonnen. Der Betrieb des Lüfters in bisheriger Form hatte nur einen geringen Einfluß auf die Radonkonzentration.

Die schwarzen Kreise in Abb. 7.1 kennzeichnen die Positionen der Kernspurdetektoren, deren Messergebnisse in Tab. 7.2 wiedergegeben sind. Im Vergleich zu den ersten Messungen in den Jahren 1999 und 2000 (s. S. 47) sind die gemittelten Radonkonzentrationen deutlich gesunken. Dies ist vermutlich auf die aktive Belüftung des Gebäudes zurückzuführen. Durch die kurzen Aufenthaltszeiten und die niedrigen Radonkonzentrationen in Brunnen II ($a_{Rn} = 230 \text{ Bq m}^{-3}$), Brunnen III ($a_{Rn} = 170 \text{ Bq m}^{-3}$) und im Hochbehälter 2 (Schieberkammer: $a_{Rn} = 120 \text{ Bq m}^{-3}$, Wasserkammer: $a_{Rn} = 830 \text{ Bq m}^{-3}$) tragen diese Anlagen nicht wesentlich zur Exposition bei. Mitte 2003 wurde im Wasserwerk die Wasserführung geändert. Bis zu diesem Zeitpunkt floss das aus Brunnen II geförderte Wasser durch die Aufbereitungsanlage I und das aus Brunnen III durch die Aufbereitungsanlage II. Seither fließt das gesamte geförderte Wasser zuerst durch die Aufbereitungsanlage I und danach durch die Aufbereitungsanlage II. Gleichzeitig wurde auch der Lüfter so umgestellt, dass er zusätzlich auch zu den Zeiten der Rückspülungen in Betrieb ist und sich erst eine Stunde nach Beendigung des Rückspülvorgangs ausschaltet. Danach wurde die Raumluftkonzentration durch Messungen mit Kernspurdetektoren und einem zeitauflösenden Gerät erneut überprüft. Die Ergebnisse der ortsgebundenen Exposimeter sind in Tab. 7.2 eingetragen, die zeitaufgelöste Messung im Aufbereitungsraum der Aufbereitungsanlage I ist in Abb. 7.3 dargestellt. Die gemittelte Raumluftkonzentration hat sich im Vergleich zum Messzeitraum März 2003 kaum geändert. Die geänderte Wasserführung zeigt demnach keinen erkennbaren Einfluß auf die Radonkonzentration. Aus Abb. 7.3 ist jedoch ersichtlich, dass zu den Zeiten der Rückspülung (AB I: 19. und 26.01.04, AB II: 15. und 23.01.04) durch

Tabelle 7.2.: Aufstellungsorte und Ergebnisse der Kernspurdetektoren im WVU 3022. (*) – Mittelwert einer zeitaufgelösten Messung.

Aufstellungsort	Radonkonzentration 03/03 [Bq m ⁻³]	Radonkonzentration 01/04 [Bq m ⁻³]
Büro	470	410
Kaskadenraum	2 100	1 800
HB Kammer 1	2 300	8 200
AB I (*)	1 040	1 230
AB II	1 600	2 600
Dachboden	1 100	890

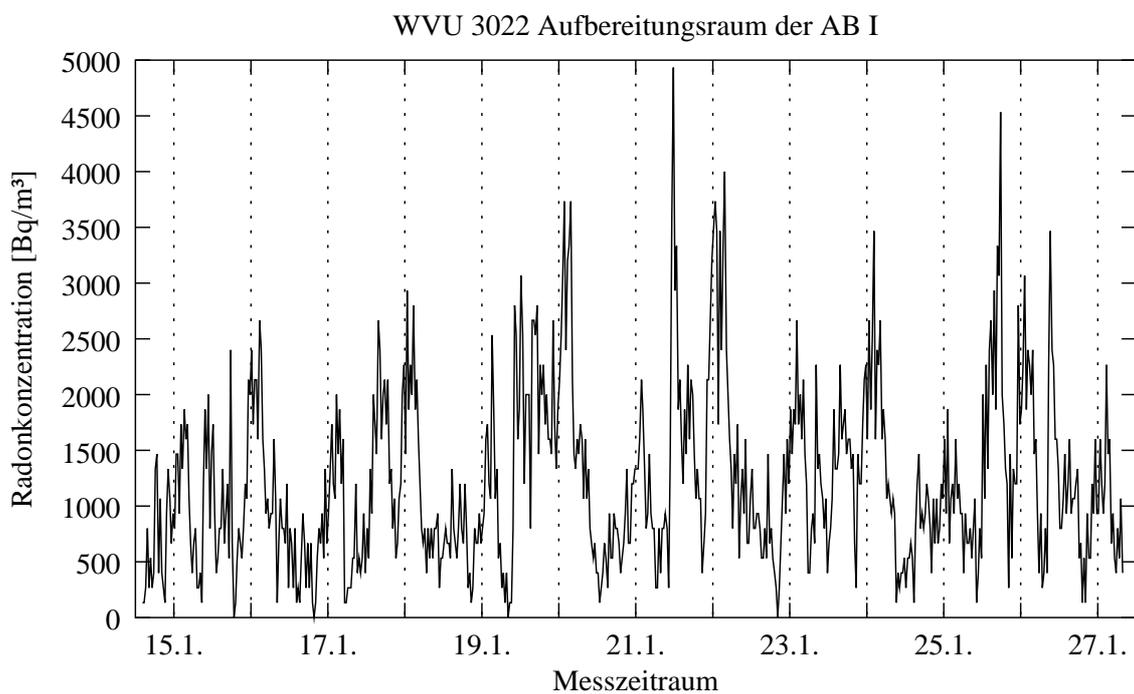


Abbildung 7.3.: Verlauf der Radonkonzentration im Aufbereitungsraum der AB I des WVUs 3022 im Messzeitraum Januar 2004.

den Betrieb des Lüfters der Anstieg der Radonkonzentration nicht mehr so sprunghaft erfolgt wie ohne Betrieb des Lüfters (Abb. 7.2). Die mittlere Radonkonzentration wird hierdurch jedoch kaum beeinflusst.

In Tab. 7.3 ist die hochgerechnete Jahresexposition des Wasserwarts und seiner Stellvertreter aufgelistet. Es ist deutlich zu sehen, dass die Exposition aller Betroffenen nach den ersten Reduktionsmaßnahmen unter den Grenzwert von 6 MBq h m^{-3} gesunken ist. Die Verbesserung der Belüftung während der Rückspülung führte zu einer weiteren Verringerung der Exposition für das Jahr 2004. Jedoch sind die bisher ergriffenen Reduktionsmaßnahmen noch nicht ausreichend, um die Jahresexposition des Wasserwarts unter den Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} zu senken. Hierzu wurde zur Verringerung der Aufenthaltszeiten im Aufbereitungsgebäude vom Wasserversorgungsunternehmen der Bau eines eigenen Gebäudes geplant, das Büro, Labor und Sozialräume enthält. Die Baugenehmigung wurde bereits erteilt, so dass mit dem baldigen Baubeginn zu rechnen ist. Weiterhin wurde dem Wasserversorgungsunternehmen empfohlen, den Lüfter kontinuierlich zu betreiben. Ob diese Maßnahmen zum gewünschten dauerhaften Rückgang der Exposition des Wasserwarts führen werden, muss noch durch weitere Messungen der Radonkonzentration und der Exposition bewiesen werden.

Tabelle 7.3.: *Hochgerechnete Jahresexposition der Wasserwarte im WVU 3022. Aus den Jahren 2001 und 2002 liegen keine Messwerte vor. * – Vorgänger des jetzigen Wasserwarts, aus Altersgründen ausgeschieden.*

Wasserwart	Exposition [MBq h m^{-3}]			
	1999	2000	2003	2004
Vorgänger*	18	21	–	–
Wasserwart	–	–	4,6	3,4
Stellvertreter 1	–	–	4,4	1,0
Stellvertreter 2	–	–	3,0	1,0

7.2. Messungen im Wasserversorgungsunternehmen 3038

Im Wasserversorgungsunternehmen 3038 wurden vom Wasserversorger selbst personengebundene und ortsgebundene Messungen durchgeführt. Die aus den personengebundenen Messungen hochgerechnete Jahresexposition betrug im Jahr 2002 $4,9 \text{ MBq h m}^{-3}$, im Jahr 2003 $6,9 \text{ MBq h m}^{-3}$. Da die personengebundenen Exposimeter jedoch von beiden Wasserwarten gemeinsam benutzt wurden, ist eine Aussage über die jeweilige Jahresexposition des einzelnen Wasserwarts nicht möglich.

Eine Besichtigung vor Ort ergab folgendes Bild des Aufbereitungsgebäudes, das in Abb. 7.4 skizziert ist: Im Aufbereitungsgebäude sind neben den Filterkesseln zur Wasseraufbereitung auch das Büro mit der Steueranlage und einige Nebenräume untergebracht. Unter dem Gebäude befindet sich ein Pufferbecken mit 20 m^3 Inhalt, das zum reibungslosen Betrieb der Pumpen dient.

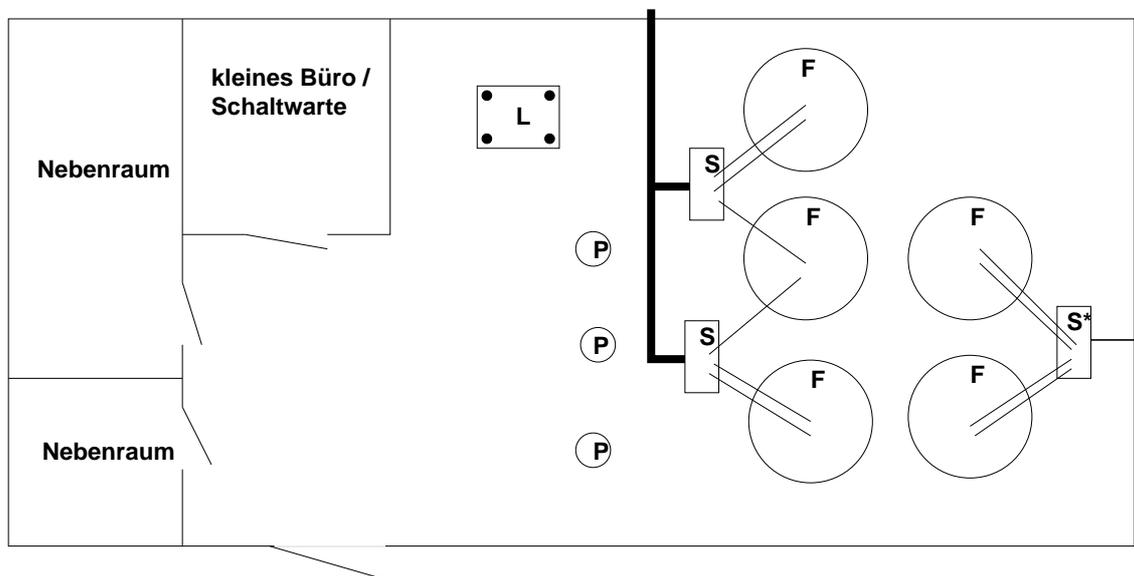


Abbildung 7.4.: Skizze (Aufsicht) des jetzigen Zustands des Aufbereitungsgebäudes im WVU 3038. F: Filterkessel, P: Pumpe, S: Spülkasten, S*: Spülkasten, im Ursprungszustand schon abgedichtet, L: Luke zum Pufferbecken.

Die Entlüftung der Filterkessel erfolgte ursprünglich über Rohre in den Aufbereitungsraum hinein. Zur Rückspülung wurde von unten in die Kessel Pressluft und Wasser eingeblasen. Das Wasser-Luft-Gemisch wurde in Rohren zu den überwiegend offenen Spülkästen geleitet und sprudelte hinein. In diesem baulichen Zustand betrug die Radonkonzentration im Aufbereitungsgebäude 5800 Bq m^{-3} .

In einem ersten Schritt, der bei der Ortsbesichtigung bereits ausgeführt war, wurden die Abluftrohre der Filterkessel gebündelt und ins Freie geleitet. Damit konnte auf diesem Wege keine radonbelastete Abluft mehr in das Gebäude gelangen. Die Radonkonzentration verringerte sich auf 3400 Bq m^{-3} . Jedoch trat weiterhin bei der Rückspülung radonbelastete Abluft aus den Filterkesseln über die überwiegend offenen Spülkästen in die Raumluft über. Der Erfolg der Reduktionsmaßnahmen aus dem ersten Schritt wurden auch in den Ergebnissen der personengebundenen Exposimeter sichtbar. Die hochgerechnete Jahresexposition betrug für die Wasserwarte nur mehr $0,7$ bzw. $0,6 \text{ MBq h m}^{-3}$.

Bei der Ortsbesichtigung wurden weitere Maßnahmen zur Reduktion der Radonkonzentration erörtert. So wurden in einem zweiten Schritt die Abluft der Filterkessel in die Spülkästen verlegt, diese abgedichtet und eine Verbindung ins Freie hergestellt, s. dickere Linien in Abb. 7.4. Auch die Luke zum Pufferbecken (L in Abb. 7.4) wurde abgedichtet. Damit sollte nun keine radonbelastete Abluft mehr in das Gebäude gelangen. Eine ortsgebundene Messung der Radonkonzentration ergab nur noch 1000 Bq m^{-3} im Aufbereitungsraum. Der Erfolg der Reduktionsmaßnahmen aus dem zweiten Schritt wurden auch in den Ergebnissen der personengebundenen Exposimeter sichtbar. Die hochgerechnete Jahresexposition der Wasserwarte liegt nun unterhalb der Nachweisgrenze von $0,3 \text{ MBq h m}^{-3}$.

Die vom Wasserversorgungsunternehmen ergriffenen Maßnahmen scheinen in diesem Fall auszureichen, um den Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} dauerhaft zu unterschreiten. Zur Sicherstellung des Erfolges der ergriffenen Reduktionsmaßnahmen müssen die personengebundenen Messungen jedoch noch fortgesetzt werden.

7.3. Messungen im Wasserversorgungsunternehmen 5074

Im Wasserversorgungsunternehmen 5074 wurden in den Jahren 1999 und 2001 im Rahmen des Untersuchungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ (s. Ref. [3]) bereits Messungen durchgeführt.

Der Radongehalt einer Rohwasserprobe aus der Quelle OC betrug 49 Bq l^{-1} und aus der Quelle GF 20 Bq l^{-1} . Im Aufbereitungsgebäude des Versorgungsgebiets OC ergaben Messungen mit Kernspurdetektoren Radonkonzentrationen von bis zu $44\,000 \text{ Bq m}^{-3}$. Die aus dem zweimonatigen Tragezeitraum auf ein Jahr hochgerechnete Exposition des damaligen Wasserwirts lag mit $2,5 \text{ MBq h m}^{-3}$ über dem Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} . Zur Erarbeitung von Reduktionsmaßnahmen wurden damit weitere Messungen nötig.

Eine Besichtigung vor Ort ergab, dass der Wasserwart sechs untereinander unabhängige Versorgungsgebiete betreut. Die Aufbereitungsgebäude, meist mit integriertem Hochbehälter, der Gebiete OC, GF und KL liegen im Wald und haben keinen Stromanschluss. Das Aufbereitungsgebäude und der Hochbehälter SI sind neu gebaut, die Anlage im Gewinnungsgebiet BE wird zur Zeit saniert. Die letzte Anlage besteht nur aus einer kleinen Aufbereitungsanlage mit angebautem Ein-Kammer-Hochbehälter.

Der Verlauf der Radonkonzentration in den Aufbereitungsräumen der Anlagen GF, KL und SI ist in Abb. 7.5 aufgetragen. In den Aufbereitungsräumen GF und SI spiegeln die regelmäßigen Maxima die Aufbereitungszeiten wider. Die mittlere Radonkonzentration im Aufbereitungsraum GF beträgt $21\,300 \text{ Bq m}^{-3}$, im Aufbereitungsraum SI $1\,500 \text{ Bq m}^{-3}$ und im Aufbereitungsraum KL 520 Bq m^{-3} .

Die Exposition des Wasserwirts wird seit April 2003 kontinuierlich durch Tragen eines Exposimeters bestimmt, die Ergebnisse sind in Tab. 7.4 zusammengefasst. Die Exposition des Wasserwirts ist im Vergleich zum Jahr 1999 stark zurückgegangen. Dies liegt zum großen Teil an einer Verringerung der Aufenthaltszeit in den Anlagen auf ein Drittel der Zeit des Jahres 1999. Im gesamten Messzeitraum fand jedoch keine Reinigung der Hochbehälter statt, so dass

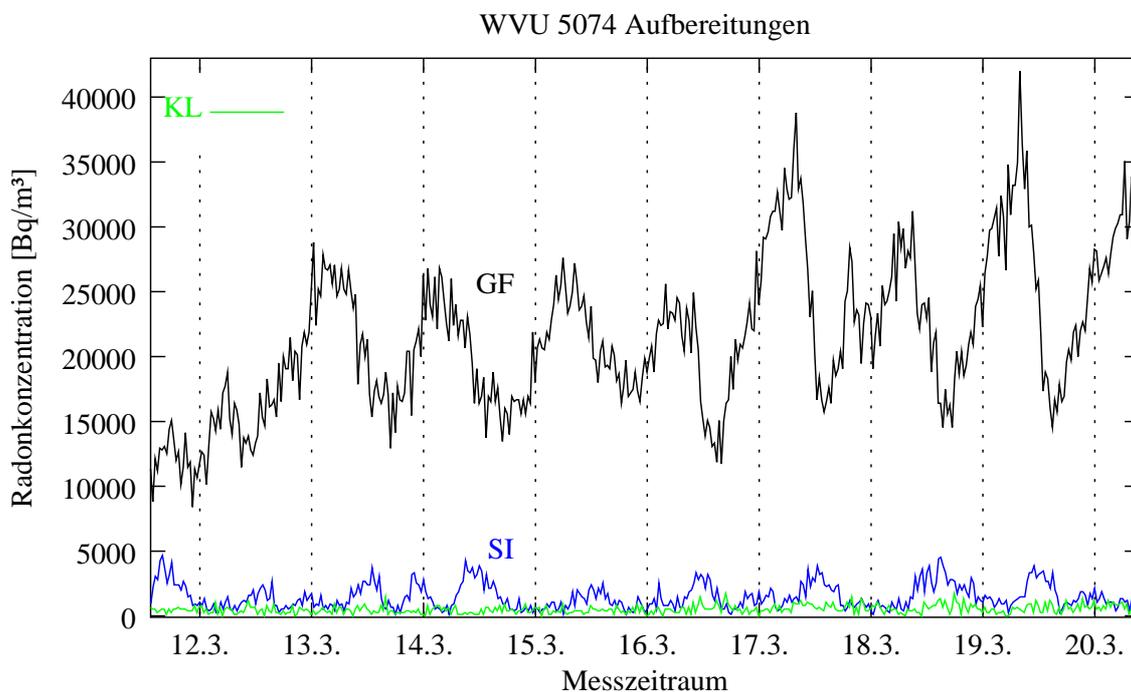


Abbildung 7.5.: Verlauf der Radonkonzentration in den Aufbereitungsräumen der Gebiete GF, SI und KL im Messzeitraum März 2003.

Tabelle 7.4.: Gemessene Exposition (in Zeiträumen von drei Monaten) und hochgerechnete Jahresexposition des Wasserwirts im WVU 5074. () – der Messzeitraum betrug weniger als drei Monate, (*) – Ergebnis liegt noch nicht vor.

Jahr	Exposition [MBq h m ⁻³]				Jahresexposition [MBq h m ⁻³]
	01 – 03	04 – 06	07 – 09	10 – 12	
1999	–	(0,49)	–	–	2,5
2003	–	0,17	0,08	0,05	0,40
2004	0,09	0,10	0,15	(*)	0,45

eine Verringerung der Exposition durch den Einsatz eines mobilen Lüfters bei der Reinigung noch nicht verifiziert werden konnte.

Angesichts der hohen Konzentrationswerte in einigen Anlagen des Wasserversorgungsunternehmens 5074 wurde dem Betreiber empfohlen, bei der Rückspülung der Aufbereitungsanlagen, Reinigung der Hochbehälter und längerer Begehung der Quellschächte ein mobiles Lüftungsaggregat zur Reduktion der Exposition der Mitarbeiter einzusetzen. Diese Maßnahme wurde jedoch noch nicht umgesetzt.

7.4. Messungen im Wasserversorgungsunternehmen 5332

Schon 1993 wurden vom TÜV Bayern Radonmessungen in Wasserversorgungsanlagen durchgeführt [24]. In einer Anlage des Wasserversorgungsunternehmens 5332 im Fichtelgebirge (5332 WS) wurden extrem hohe Konzentrationen aufgespürt. Die Radonkonzentration im Wasser kann dort bis zu 900 Bq l^{-1} erreichen. Im Aufbereitungsgebäude wurden Raumluftkonzentrationen von bis zu $50\,000 \text{ Bq m}^{-3}$ gemessen. Da in diesem Gebäude auch die Werkstatt, das Labor und eine Aufenthaltsraum untergebracht sind, ist die Aufenthaltszeit des Wasserwarts in diesem Gebäude relativ hoch.

In den Jahren 1997 und 1998 wurden deshalb im Rahmen des Untersuchungsvorhabens „Radon-exponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ (s. Ref. [3]) erneut Messungen durchgeführt. Die Bestimmung der Jahresexposition des Wasserwarts ergab etwa 33 MBq h m^{-3} . Daraufhin wurden Maßnahmen zur Reduktion der Exposition durchgeführt:

- Im Aufbereitungsgebäude wurde im Aufbereitungsraum eine gläserne Trennwand zwischen den Filterbecken und dem Steuerpult eingebaut und ein Ventilator im Aufbereitungsraum installiert, der im Dauerbetrieb auf mittlerer Leistung arbeitet. Durch eine Öffnung in der Trennwand saugt er die Luft aus dem Vorraum über die Filterbecken ab. Ein Entlüftungsröhr führt die radonhaltige Raumluft über den Speicher ins Freie. Die radonarme Zuluft gelangt durch den entstandenen Unterdruck über eine verschließba-

re Öffnung zum vorderen Gang in den Raum. Durch diese Maßnahme konnte die Radonkonzentration im Aufbereitungsraum von im Mittel $20\,000\text{ Bq m}^{-3}$ auf $8\,000\text{ Bq m}^{-3}$ hinter und $2\,000\text{ Bq m}^{-3}$ vor der Trennwand gesenkt werden. Auch in den angrenzenden Räumen sank dadurch erwartungsgemäß die Radonkonzentration.

- Messungen im Hochbehälter ergaben eine Radonkonzentration von $400\,000\text{ Bq m}^{-3}$, die für das Personal nur durch die jährlich stattfindende Behälterreinigung zu einer Exposition von bis zu 6 MBq h m^{-3} führt. Der Wasserwart nimmt dabei nicht am Behälterreinigungsprozess teil. Es wurde zur Reduktion der Exposition ein mobiles Belüftungssystem eingesetzt und über mehrere Jahre optimiert. Es wird nun Frischluft kurz über dem Boden der zu reinigenden Kammer eingeblasen. Die Belüftung wird 24 Stunden vor Beginn der mehrtägigen Reinigungsarbeiten in Betrieb genommen und erst nach Beendigung wieder abgeschaltet. Dadurch kann die Radonkonzentration während der Belüftung auf $8\,000\text{ Bq m}^{-3}$ reduziert werden.

Durch diese Maßnahmen sank die Exposition des Wasserwarts und des Personals, das die Behälterreinigungen durchführt. Die Ergebnisse sind in Ref. [3] in Kap. 9.4 ausgeführt. Mit Beginn der ständigen Überwachung wurde jedoch festgestellt, dass die Exposition des Wasserwarts nicht den niedrigen Stand von 1998 erreicht, sondern schon den Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} pro Jahr und einmal sogar den Grenzwert von 6 MBq h m^{-3} pro Jahr in den einzelnen 3-Monats-Messzeiträumen überschreitet. Nach Angaben des Wasserversorgungsunternehmens hat sich in diesen Zeiträumen der Wasserwart vermehrt hinter der Abtrennung der Filterbecken aufgehalten. Des weiteren betrat der Wasserwart den Hochbehälter zu Routine-tätigkeiten und war auch bei der Hochbehälterreinigung, die jeweils im Frühjahr stattfindet, vermehrt zur Kontrolle der Reinigungsarbeiten im Hochbehälter anwesend.

Der Wasserwart wurde in einem Gespräch vor Ort nochmals eingehend über die Ernsthaftigkeit der Situation informiert. Das Wasserversorgungsunternehmen hat darum gebeten, nach § 95 (6) StrlSchV vorzugehen. Hiernach kann nach Überschreitung des Grenzwerts die Beschäftigung des Wasserwarts nur fortgesetzt werden, wenn die Exposition in den folgenden vier Jahren unter

Tabelle 7.5.: Exposition des Wasserwerts im WVU 5332 WS. Jahresexposition gemittelt – Ermittlung der mittleren Jahresexposition aus den verschiedenen Expositionen in den jeweiligen Messzeiträumen.

Zeitraum	Exposition im Messzeitraum [MBq h m ⁻³]	Jahresexposition gemittelt [MBq h m ⁻³]
01 – 12 1998	–	< 2
07 – 09 2003	4,0	
10 – 12 2003	0,3	8,3
01 – 03 2004	6,6	
04 – 06 2004	4,4	
07 – 10 2004	0,3	
10 – 12 2004	0,8	12

Berücksichtigung der erfolgten Grenzwertüberschreitung so begrenzt wird, dass insgesamt innerhalb von fünf Jahren in der Summe das fünffache des Jahresgrenzwerts, 30 MBq h m⁻³, nicht überschritten wird. Dass dies möglich ist, zeigt der niedrige Wert der Exposition im Messzeitraum Juli – September 2004.

Als Sofortmaßnahmen wurde eine strikte Minimierung der Aufenthaltszeiten sowie eine Verlegung der Routinetätigkeiten im Hochbehälter auf Zeiten niedrigerer Radonkonzentrationen vereinbart. Alle einzuhaltenden Maßnahmen werden demnächst in einer Arbeitsanweisung festgehalten. Bei der nächsten Hochbehälterreinigung im Frühjahr 2005 werden Trennwände im Hochbehälter eingebaut, die die einzelnen Wasserkammern vom Rest des Raumes abtrennen. Dadurch sollte die Radonkonzentration gesenkt werden können. Um weitere kritische Punkte in den weitläufigen Anlagen des Wasserversorgungsunternehmens zu erkennen und langfristig zu beobachten sowie den Erfolg eventueller Maßnahmen feststellen zu können, wurde von diesem Wasserversorgungsunternehmen ein Radonmessgerät vom Typ „Doseman“ beschafft.

7.5. Messungen im Wasserversorgungsunternehmen 6013

Im Wasserversorgungsunternehmen 6013 wurden im Rahmen des Untersuchungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ (s. Ref. [3]) bereits in den Jahren 1999 und 2000 Messungen durchgeführt.

Die Bestimmung des Radongehalts einer Rohwasserprobe aus Brunnen 4 ergab 16 Bq l^{-1} . Im Aufbereitungsgebäude wurde im September 1999 in der Luft der Hochbehälterkammern eine Radonkonzentration von $12\,500 \text{ Bq m}^{-3}$ mit einem Kernspurdetektor gemessen. Die Messung der Exposition des damaligen Wasserwartes ergab hochgerechnet $1,9 \text{ MBq h m}^{-3}$ und lag damit nahe am Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} .

Eine Besichtigung vor Ort ergab, dass im Aufbereitungsgebäude auch der Hochbehälter untergebracht ist. Die Aufbereitungsanlage besteht aus einem alten und einem neuen Teil, die baulich nur durch eine Mauer getrennt sind, die einen breiten Durchgang ohne Tür freilässt. Der Luftaustausch zwischen den beiden Aufbereitungsräumen ist ungehindert möglich. Der in einem Aufbereitungsraum liegende Zugang zu den Hochbehälterkammern ist durch einen Deckel mit Dichtung verschlossen. Im neuen Teil der Aufbereitungsanlage wurden alle Abläufe direkt in ein Rohr verlegt, das das Spülwasser ins Absetzbecken leitet, im alten Teil der Anlage laufen diese in eine offene Rinne am Boden ins Absetzbecken.

Im alten und neuen Teil der Aufbereitungsanlage sowie in einem Hochbehälterkammerraum wurde je ein zeitauflösendes Messgerät (Doseman) aufgestellt. Der Verlauf der Radonkonzentration in den Aufbereitungsräumen zeigt Abb. 7.6. Es ist gut zu erkennen, dass im alten und neuen Teil der Aufbereitungsanlage dieselbe Radonkonzentration herrscht, im Mittel $2\,200 \text{ Bq m}^{-3}$. Der Verlauf der Radonkonzentration kann keinem betriebsbedingten Parameter zugeordnet werden. In der Hochbehälterkammer ist die Konzentration höher, im Mittel $6\,100 \text{ Bq m}^{-3}$. Auch hier ist keine Zuordnung zu betriebsbedingten Parametern möglich. Die Radonkonzentration ist im Vergleich zur ersten Messung gesunken. Dies könnte durch vermehrte Frischluftzufuhr verursacht worden sein, da im Winter die im Vergleich zur Außenluft

wärmere Luft aus den Hochbehälterkammern aufsteigt und austritt und so die Zufuhr radonarmer Außenluft begünstigt.

Es wurden auch erneut Messungen der Exposition des Wasserwerts durchgeführt, sie ergaben 2002 hochgerechnet $0,7 \text{ MBq h m}^{-3}$, 2003 hochgerechnet $0,4 \text{ MBq h m}^{-3}$. Vermutlich hat die Information über Radon zu einem erhöhten Problembewußtsein geführt, das sich in kürzeren Betretungszeiten und damit auch niedrigeren Expositionen äußert.

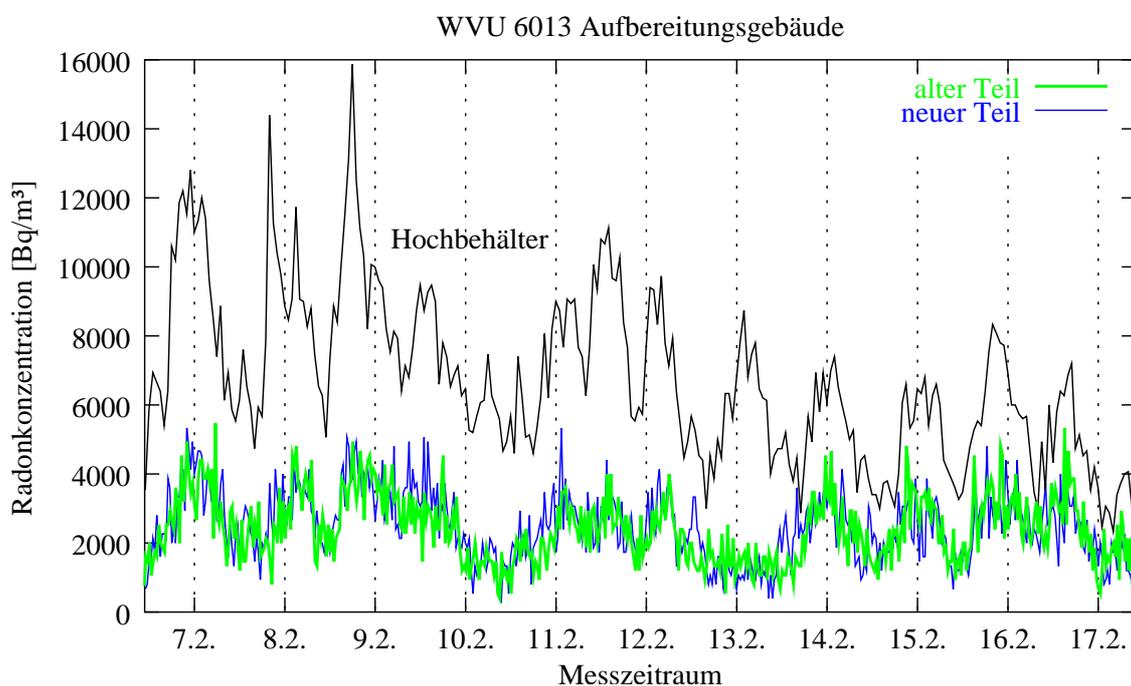


Abbildung 7.6.: Verlauf der Radonkonzentration in den Aufbereitungsräumen und im Hochbehälterkammerraum des WVUs 6013 im Messzeitraum Februar 2003.

7.6. Messungen im Wasserversorgungsunternehmen 7311

Die Abschätzung der Radonexposition im Wasserversorgungsunternehmen 7311 erfolgte im Rahmen des Untersuchungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ (s. Ref. [3]) bereits im Jahr 1999.

Der Radongehalt im Rohwasser einer Mischprobe aus Brunnen I + II betrug 14 Bq l^{-1} . Die Radonkonzentration in der Raumluft, gemessen mit Kernspurdetektoren, betrug im Hochbehälter 2000 Bq m^{-3} und im Aufbereitungsraum 6900 Bq m^{-3} . Da die Exposition des Wasserwarts mit hochgerechnet 17 MBq h m^{-3} über dem Grenzwert von 6 MBq h m^{-3} lag, wurden weitere Messungen nötig, um die Ursachen dieser Exposition zu bestimmen und geeignete Reduzierungsmaßnahmen auszuwählen.

Eine Besichtigung vor Ort bereits im Frühjahr 2002 ergab das in Abb. 7.7 skizzierte Bild des Aufbereitungsgebäudes. Hier sind neben der Aufbereitungsanlage das Büro mit der Steuerein-

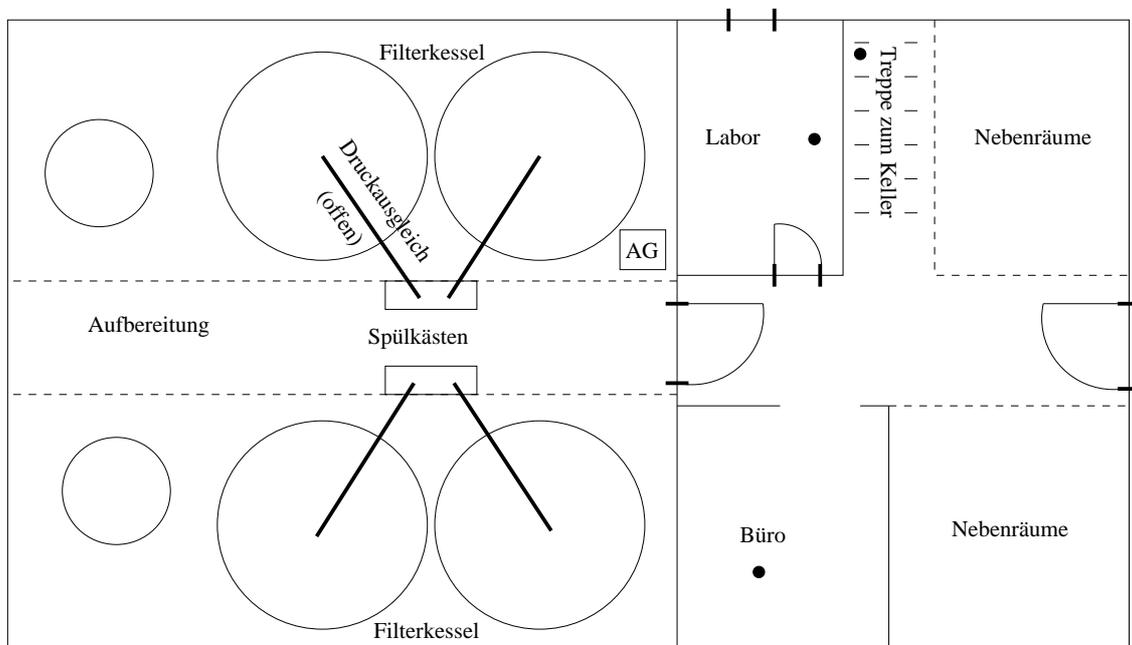


Abbildung 7.7.: Skizze (Aufsicht) des Aufbereitungsgebäudes im WVU 7311. Es existiert keine Belüftung. Die Positionen der Ortsexposimeter sind durch •, die des elektronischen Messgeräts durch „AG“ gekennzeichnet.

heit, das Labor und einige Nebenräume untergebracht. Das Gebäude besitzt nur zwei kleine Fenster im Labor und keine Belüftung. Im Aufbereitungsraum ist eine Klimaanlage installiert. Die Türen zu den angrenzenden Räumen in Erdgeschoss und Keller sind nicht radondicht.

Die Entlüftung der Aufbereitungskessel erfolgt über Stahlrohre in den Aufbereitungsraum hinein. Wie in Abb. 7.7 zu sehen, führen sie von der Mitte der Kesseldeckel zu den Spülkästen. Zur Rückspülung wird von unten in die Kessel Pressluft und Wasser eingeblasen. Das Wasser fließt über die Entlüftungsrohre und sprudelt in die Spülkästen. Von dort wird es in das Absetzbecken geleitet, das sich außerhalb des Aufbereitungsgebäudes befindet.

Der Wasserwart verbringt ca. 1000 Stunden im Jahr im Aufbereitungsgebäude, den größten Teil hiervon im Büro. Es wurde zuerst vermutet, dass durch die fehlende aktive Lüftung im Gebäude die Radonkonzentration in den anderen Räumen des Gebäudes nicht wesentlich niedriger ist als im Aufbereitungsraum. Deshalb wurden Ortsexposimeter im Büro, im Labor und im Keller aufgestellt. Die Positionen sind in Abb. 7.7 gekennzeichnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 7.6 wiedergegeben.

Tabelle 7.6.: *Radonkonzentration an verschiedenen Stellen der Wasserversorgungsanlage des WVUs 7311 im Messzeitraum April 2002. Siehe hierzu auch Abb. 7.7.*

Ort	Radonkonzentration [Bq m ⁻³]
Büro	900
Labor	1 000
Rohrkeller	1 100
Brunnen I	1 600
Brunnen II	200
Brunnen III	300
Brunnen IV	100

Des weiteren wurde im Aufbereitungsraum bereits im Frühjahr 2002 mit einem elektronischen Radonmessgerät (AlphaGuard) für zwei Wochen gemessen. Die mittlere Radonkonzentration betrug hier 6 500 Bq m⁻³. Abb. 7.8 zeigt den Verlauf der Radonkonzentration im Aufberei-

tungsraum, s. auch Abb. 7.7. Der Anstieg in der Radonkonzentration findet nur während der Förderphase aus den Brunnen statt. Von den Brunnen wird das Wasser vor der Speicherung im Hochbehälter durch die Aufbereitungsanlage geleitet. Ein signifikanter Anstieg der Radonkonzentration ist jedoch erst bei Förderzeiten größer einer Stunde zu erkennen. Ebenso zeigt sich keine Konzentrationserhöhung bei der Rückspülung der Filter, die nur ca. eine Stunde dauert. Sie fand am 17., 22. und 25. April statt, jeweils ca. 07:30 – 8:30.

Eine weitere Messung wurde im Büro durchgeführt. Der Verlauf der Radonkonzentration im Büro ist in Abb. 7.9 wiedergegeben. Die mittlere Radonkonzentration betrug $1\,150\text{ Bq m}^{-3}$ und damit um einen Faktor 5,7 weniger als im Aufbereitungsraum. Die Türe zwischen Aufbereitungsraum und den anderen Räumen des Gebäudes (s. Abb. 7.7) stellt damit, entgegen ersten Annahmen, doch eine Radonbarriere dar.

Die Exposition des Wasserwerts sank von 16 MBq h m^{-3} im Jahr 1999 auf unter $0,8\text{ MBq h m}^{-3}$ im Jahr 2002 bzw. unter $0,2\text{ MBq h m}^{-3}$ im Jahr 2003. Hierfür wurden jedoch keine Maßnahmen durchgeführt. Deshalb ist es wahrscheinlich, dass bei der ersten Messung ein Bedienungsfehler des Wasserwerts vorlag.

Für das Jahr 2005 ist ein Umbau der Luftführung im Wasserwerk und im Hochbehälter geplant. Nach dem Umbau muss die Radonsituation durch eine weitere Erhebungsmessung durch das Wasserversorgungsunternehmen neu bewertet werden.

7.7. Messungen bei der Behälterreinigung

Bei zwei Wasserversorgungsunternehmen wurden während der Reinigung der Hochbehälter Messungen mit zeitauflösenden Geräten durchgeführt.

Im Hochbehälter des Wasserversorgungsunternehmens 5405 betrug die Radonkonzentration im Normalbetrieb durchschnittlich $330\,000\text{ Bq m}^{-3}$ (ermittelt mit ortsgebundenem Exposimeter). Damit würde die Exposition nur durch die Reinigung des Hochbehälters mit einer Aufenthaltszeit von 10 Stunden pro Jahr $3,3\text{ MBq h m}^{-3}$ betragen. Zur Reduktion der Exposition während

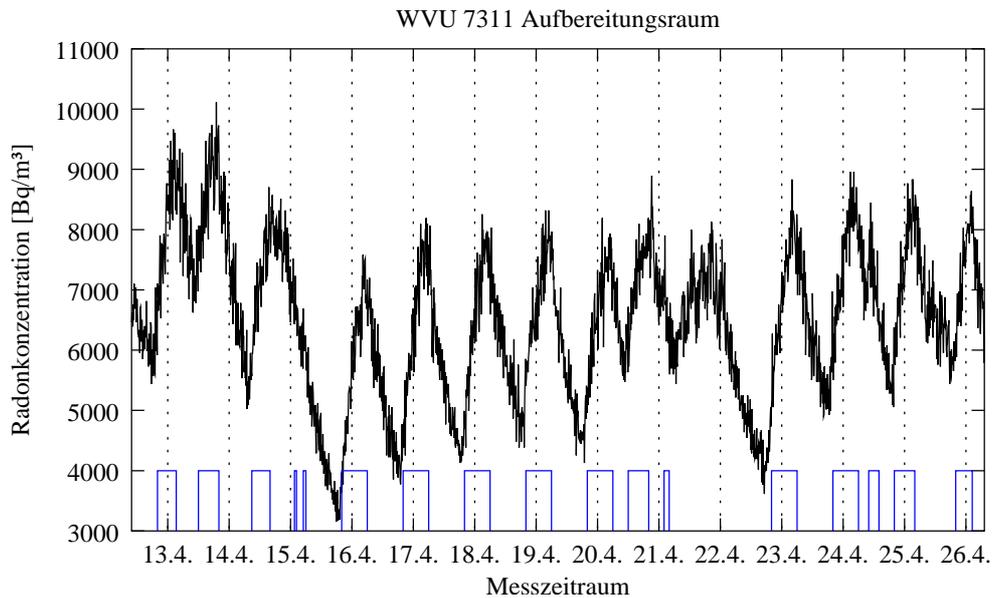


Abbildung 7.8.: Verlauf der Radonraumluftkonzentration in $Bq\ m^{-3}$ im Aufbereitungsraum des WVUs 7311 im Messzeitraum April 2002. Die Rechtecke entsprechen den Förderzeiten im Messzeitraum.

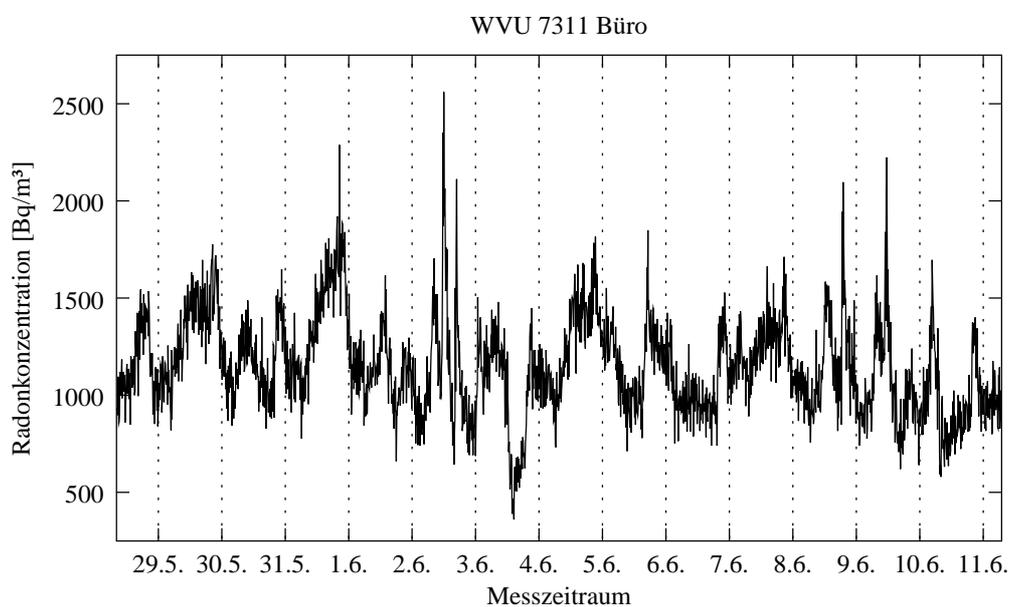


Abbildung 7.9.: Verlauf der Radonkonzentration im Büro des WVUs 7311 im Messzeitraum Mai/Juni 2002.

der Hochbehälterreinigung kam ein mobiles Belüftungsgerät zum Einsatz. Dabei gelangte die Frischluft über Schläuche direkt an den Arbeitsplatz (Behälterkammer). Zur Dokumentation der Wirksamkeit dieser Maßnahme wurden zeitaufgelöste Messungen im Rohrkeller und in der Behälterkammer selbst durchgeführt. Die Radonkonzentration während der Behälterreinigung ist in Abb. 7.10 dargestellt. Die Belüftung begann um ca. 10:10 Uhr. Die Konzentration sank mit aktiver Belüftung in der Behälterkammer innerhalb von kurzer Zeit auf ca. $10\,000\text{ Bq m}^{-3}$. Die Radonkonzentration im benachbarten Rohrkeller sank langsamer ab. Folglich ist es wichtig, bei der Belüftung die frische Außenluft direkt an den Arbeitsplatz zu transportieren. Nach Abschalten der Belüftung um ca. 14:10 Uhr stieg die Radonkonzentration erwartungsgemäß wieder an. Mit dieser Maßnahme sank die Exposition der Beschäftigten durch die Reinigung des Hochbehälters auf $0,1\text{ MBq h m}^{-3}$. Zur Sicherstellung der Weiterführung der Belüftung bei der Behälterreinigung wurde diese Maßnahme durch das Wasserversorgungsunternehmen in einer Betriebsanweisung festgehalten.

Im Hochbehälter ER des Wasserversorgungsunternehmens 5414 betrug die Radonkonzentration im Normalbetrieb im Messzeitraum bis zu $12\,000\text{ Bq m}^{-3}$. Die Radonkonzentration vor, während und nach der Behälterreinigung ist in Abb. 7.11 dargestellt. Auch hier wurde vom Wasserversorgungsunternehmen zur Reduktion der Exposition ein mobiles Belüftungsgerät während der Hochbehälterreinigung eingesetzt. Bei Einschalten des Gebläses sank die Radonkonzentration innerhalb von 6 Stunden auf ca. 160 Bq m^{-3} ab. Dadurch ist die Exposition der Beschäftigten bei der Behälterreinigung vernachlässigbar. Zur Sicherstellung der Weiterführung der Belüftung bei der Behälterreinigung aller Hochbehälter wurde diese Maßnahme auch von diesem Wasserversorgungsunternehmen in einer Betriebsanweisung festgehalten.

Eine richtig ausgeführte Belüftung des Arbeitsplatzes bei der Hochbehälterreinigung kann allen Wasserversorgungsunternehmen als wirksame Maßnahme empfohlen werden. Die Zeit nach Einschalten der Belüftung bis zum Erreichen minimaler Radonkonzentration muss jedoch für jeden Hochbehälter individuell durch eine zeitaufgelöste Messung der Radonkonzentration bestimmt werden.

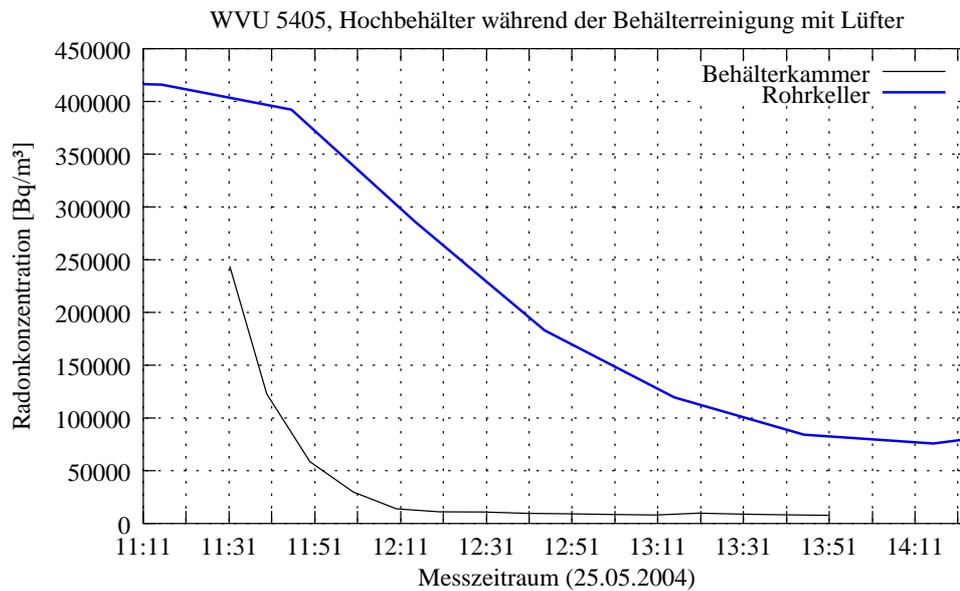


Abbildung 7.10.: Verlauf der Radonkonzentration bei der Behälterreinigung mit aktiver Belüftung im Wasserversorgungsunternehmen 5405 im Messzeitraum 25.05.2004.

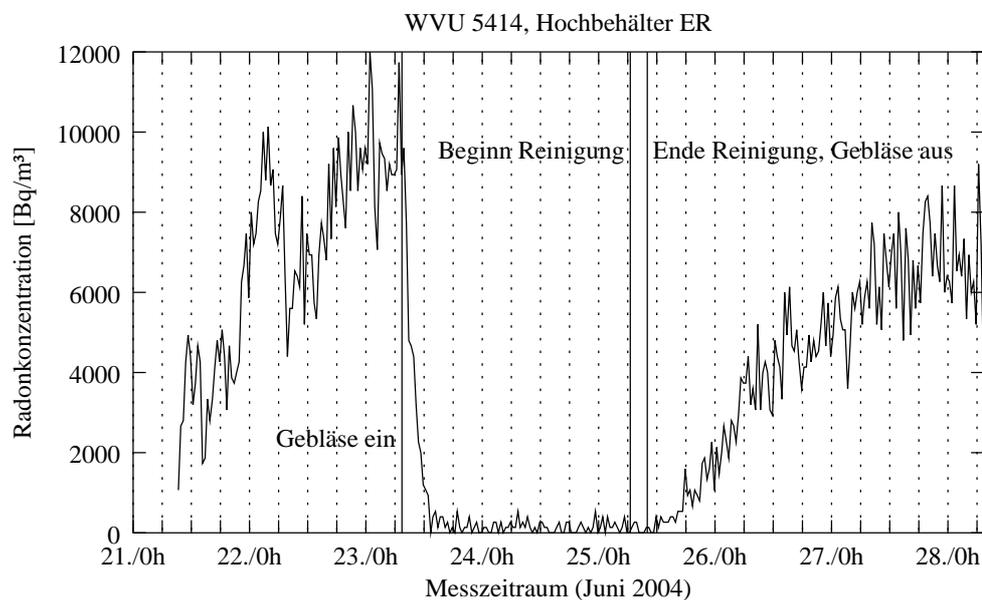


Abbildung 7.11.: Verlauf der Radonkonzentration bei der Behälterreinigung mit aktiver Belüftung im Wasserversorgungsunternehmen 5414 im Messzeitraum Juni 2004.

7.8. Messungen bei einem Mineralbrunnen

Im Rahmen des vorliegenden Untersuchungsvorhabens wurden auch Messungen mit Kernspurdetektoren bei einem Mineralbrunnen durchgeführt, da dieser sein Wasser zum Teil auch in eine öffentliche Wasserversorgung einspeist. Die Messungen in den Produktionsräumen wurden in Zusammenarbeit mit dem Untersuchungsvorhaben „Ermittlung von Arbeitsfeldern mit erhöhten Expositionen durch natürliche Radioisotope und überwachungsbedürftige Rückstände“ durchgeführt.

Tab. 7.7 zeigt die mit Kernspurdetektoren gemessenen Werte in den verschiedenen Bereichen der Anlage. Die Analyse der Wasserproben ergab 5 Bq l^{-1} im Wasser von Brunnen I und 13 Bq l^{-1} im Wasser der Heilquelle. Die Exposition des Wasserwerts in allen Anlagen wurde

Tabelle 7.7.: Radonkonzentration an verschiedenen Stellen im Mineralbrunnenbetrieb im Messzeitraum Dezember 2002/Januar 2003.

Ort	Radonkonzentration [Bq m^{-3}]
Brunnen I	70
Brunnen II	< 70
HB I	420
HB II	1 340
Heilquelle 1	2 000
Heilquelle 2	690
Heilquelle 3	450
HB Heilquelle	2 310
Zwischenpumpstation	360
Flaschenwaschanlage	< 70
Mixerammer	< 70

durch Tragen eines personengebundenen Exposimeters über einen Zeitraum von drei Monaten gemessen. Hochgerechnet auf ein Jahr ergab sich eine Routineexposition von $0,06 \text{ MBq h m}^{-3}$. Durch die einmal im Jahr stattfindende Reinigung der Behälter ergab sich zusätzlich eine Exposition von $0,02 \text{ MBq h m}^{-3}$, so dass sich die Gesamtjahresexposition des Wasserwarts in diesem Mineralbrunnenbetrieb auf $0,08 \text{ MBq h m}^{-3}$ beläuft. Dieser Wert liegt weit unter dem Eingriffswert von 2 MBq h m^{-3} . Für den Wasserwart sind außer den Strahlenschutzmaßnahmen auf der Grundlage von Vorschriften des allgemeinen Arbeitsschutzes (§ 95 (12) StrlSchV [2]) keine weiteren Strahlenschutzmaßnahmen notwendig.

In den Produktionsräumen ist der Radongehalt sehr niedrig. Hier ist für das Personal keine erhöhte Strahlenexposition zu erwarten.

8. Zusammenarbeit mit dem U.R.A.-Labor der Universität Regensburg

8.1. Übersicht über die betreuten WVU

Seit Beginn des Jahres 2000 bestand eine Kooperation zwischen dem U.R.A.-Labor (Umweltradioaktivitätslabor) der Universität Regensburg (Leiter: Dr. Schupfner) und dem Untersuchungsvorhaben „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ des LfU. Diese Zusammenarbeit wurde fortgesetzt. Das Untersuchungsvorhaben „Beurteilung der radiologischen Situation durch ^{222}Rn in ausgewählten Wasserwerken in Bayern“ des U.R.A.-Labors wurde unter demselben Titel nahtlos weitergeführt.

Auf Grund der räumlichen Nähe zu den Gebieten mit erhöhtem Radonpotential im ostbayerischen Raum wurde das U.R.A.-Labor vom LfU beauftragt, in in Abstimmung mit dem LfU ausgewählten Wasserversorgungsunternehmen Messungen durchzuführen. Zweck dieser Messungen war es, den Einfluss von Arbeitsabläufen, Lüftungsbedingungen und der Bausubstanz auf die Exposition des Wasserwerts zu ermitteln. Weiterhin wurden diesen Wasserversorgungsunternehmen vom U.R.A.-Labor Maßnahmen zur Reduktion der Exposition der Wasserwerte empfohlen und nach deren Ausführung die Effektivität dieser Maßnahmen überprüft. In geringem Umfang wurde auch der Gleichgewichtsfaktor F und der unangelagerte Anteil F_p der

Zerfallsprodukte bestimmt. Es wurde in einigen Anlagen außerdem der Zusammenhang zwischen Ortsdosisleistung (ODL) und Radonkonzentration ermittelt.

Tabelle 8.1 gibt einen Überblick über die zwölf Wasserversorgungsunternehmen, die vom U.R.A.-Labor der Universität Regensburg betreut wurden. Die Ergebnisse des U.R.A.-Labors sind in drei Zwischenberichten und einem Abschlussbericht [6], der alle Ergebnisse der Zwischenberichte enthält, festgehalten. Die wichtigsten Resultate dieser Berichte sind jedoch auch in Kapitel 8 des vorliegenden Abschlussberichts dargestellt. Das Untersuchungsvorhaben „Beurteilung der radiologischen Situation durch ^{222}Rn in ausgewählten Wasserwerken in Bayern“ des U.R.A.-Labors war zum Ende des vorliegenden Untersuchungsvorhabens beendet.

Im Abschlussbericht des Untersuchungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ [3] sind die Detailmessungen in den Wasserversorgungsanlagen 3005, 5055, 5111, 5122, 5127, 5306, 5322 und 5425 sowie die Reduktionsmaßnahmen in den Wasserversorgungsanlagen 5122 und 5322 bereits eingehend beschrieben, die beide vom U.R.A.-Labor der Universität Regensburg durchgeführt wurden.

8.2. Reduktionsmaßnahmen im Wasserversorgungsunternehmen 3005

Im Wasserversorgungsunternehmen 3005 wurden bereits 1999 erste Messungen mit Kernspurdetektoren durchgeführt. Die maximale Exposition des Wasserwerts 1, Messzeitraum Mai – Juli 2001, ergab hochgerechnet eine Jahresexposition von 17 MBq h m^{-3} .

Messungen mit Kernspurexposimetern und zeitaufgelöste Messungen in allen Anlagen des Wasserversorgungsunternehmens ergaben durchweg hohe Radonkonzentrationen von bis zu $13\,000 \text{ Bq m}^{-3}$. Zur Reduktion der Exposition der Wasserwarte wurden zwei Maßnahmen getroffen:

Tabelle 8.1.: Übersicht über die vom U.R.A.-Labor betreuten Wasserversorgungsanlagen. (X) – geplant für 2005, z – Bestimmung der Radonkonzentration durch zeitaufgelöste Messungen, p – Bestimmung der Exposition durch personen-gebundene Messungen.

Status	WVU											
	3005	5055	5065	5111	5122	5127	5131	5306	5322	5367	5413	5425
Detailmessungen abgeschlossen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Reduktionsmaßnahmen erarbeitet	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Durchführung Sanierung:												
Minimierung Betretungszeiten	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bauliche Abtrennung	X	(X)	X									X
Passive Lüftung		X		X							X	X
Aktive Lüftung, stationär	X		X	X		X	(X)		X	(X)		X
Aktive Lüftung, mobil		X		X	X		X		X		X	
Otimierung Reduktionsmaßnahmen			X	X					X			X
Kontrolle Sanierungserfolg	z,p	p	z,p	z,p	z,p	p	p	p	z,p	p	p	z,p

- In einem Brunnen wurde ein mobiler Lüfter erfolgreich getestet. Die Radonkonzentration sank innerhalb von 30 Minuten von $7\,300\text{ Bq m}^{-3}$ auf 870 Bq m^{-3} . In einigen der 12 Brunnen wurden daraufhin stationäre Lüfter installiert, die anderen werden derzeit nachgerüstet.
- Im Wasserwerk liegt eine sehr komplexe Situation vor. In diesem Gebäude sind neben 8 Filtertanks in vier Filterräumen auch Rohwasserbecken, Kaskadenbelüfter, diverse Büros und Nebenräume untergebracht. Es erstreckt sich über drei Etagen, die teilweise durch Türen, teilweise jedoch nicht voneinander getrennt sind. Als eizige sinnvolle Möglichkeit zur Reduktion der Radonkonzentration wurde empfohlen im Gebäude eine stationäre Lüftung zu installieren. Der Umbau sollte in Kürze abgeschlossen sein. Danach werden weitere Messungen zur Erfolgskontrolle durchgeführt werden müssen. Der Erfolg sollte sich auch in einem weiteren Rückgang der Exposition der Wasserwarte zeigen.

Tabelle 8.2.: *Hochgerechnete Jahresexposition der Wasserwarte im WVU 3005. – – Exposition nicht ermittelt.*

Person	Exposition [MBq h m ⁻³]					
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Wasserwart 1	9,4	12	9,6	8,8	2,1	0,6
Wasserwart 2	2,8	1,8	–	–	1,1	0,3
Wasserwart 3	–	–	–	–	0,7	0,5
Wasserwart 4	–	–	–	–	0,6	0,6
Wasserwart 5	–	–	–	–	1,1	0,8

Der Erfolg der Belüftung der Brunnen dokumentiert sich in der Exposition der Wasserwarte, wie Tab. 8.2 zeigt. Bei Beibehaltung der Maßnahmen und Belüftung des Wasserwerks sollte bei der Exposition der Wasserwarte eine weitere Verringerung und damit auch eine dauerhafte Unterschreitung des Eingreifwerts von 2 MBq h m^{-3} erreichbar sein. Die personengebundenen Messungen werden fortgesetzt.

8.3. Messungen im Wasserversorgungsunternehmen 5065

Die Wasserversorgungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens 5065 besteht aus drei verschiedenen Wassergewinnungsgebieten, im Folgenden bezeichnet mit PL, RE und SA. Die Gebiete sind separat, lediglich ein Hochbehälter wird mit Wasser aus den Gebieten PL und SA gespeist. Sie weisen bezüglich Radon keinen Zusammenhang auf, weder zeitlich noch in der Höhe der Radonkonzentration.

Im Wasserversorgungsunternehmen 5065 ist die Situation in allen Quellsammlern besonders ungünstig. Quellsammler werden in der Regel nicht belüftet und enthalten offene Wasserbecken, in die das Wasser hineinsprudelt. Die Radonkonzentration im Wasser aus verschiedenen Quellsammlern beträgt nach Messungen aus dem vorangegangenen Untersuchungsvorhaben zwischen 300 und 460 Bq l⁻¹. Es lagen keine Messungen der Radonkonzentration in der Raumluft vor. Angesichts des sehr hohen Radongehalts im Wasser musste aber mit stark erhöhten Raumluftkonzentrationen gerechnet werden.

Das Gebiet PL besteht aus fünf Quellschächten, einem Hochbehälter mit Entsäuerungsanlage und Pumpstation sowie einem Hochbehälter, der sowohl das aufbereitete Wasser aus dem Gebiet PL als auch aus dem Gebiet SA aufnimmt.

Die Radonkonzentration beträgt in den Quellsammelschächten des Gebiets PL bis zu 240 000 Bq m⁻³. Die Sammelschächte werden in der Regel jedoch nur selten betreten. Im Hochbehälter mit Entsäuerungsanlage beträgt die Radonkonzentration im Mittel im Vorraum 6 300 Bq m⁻³ und in dem durch eine Türe abgetrennten Raum, der die Wasserkammern, Entsäuerungsanlage und Pumpstation enthält, 81 000 Bq m⁻³. In diesem Raum spiegelt sich der Pumpbetrieb in einem Anstieg der Radonkonzentration wider, s. Abb. 8.1.

Im Gebiet SA existieren zwei Quellschächte mit Radonkonzentrationen von bis zu 88 000 Bq m⁻³. Der Hochbehälter mit Entsäuerungsanlage und Pumpstation ist ähnlich wie im Gebiet PL gestaltet. Auch hier ist der Vorraum durch eine Türe von den übrigen Räumen getrennt. Bei normalem Wasserverbrauch liegt der Mittelwert der Radonkonzentration

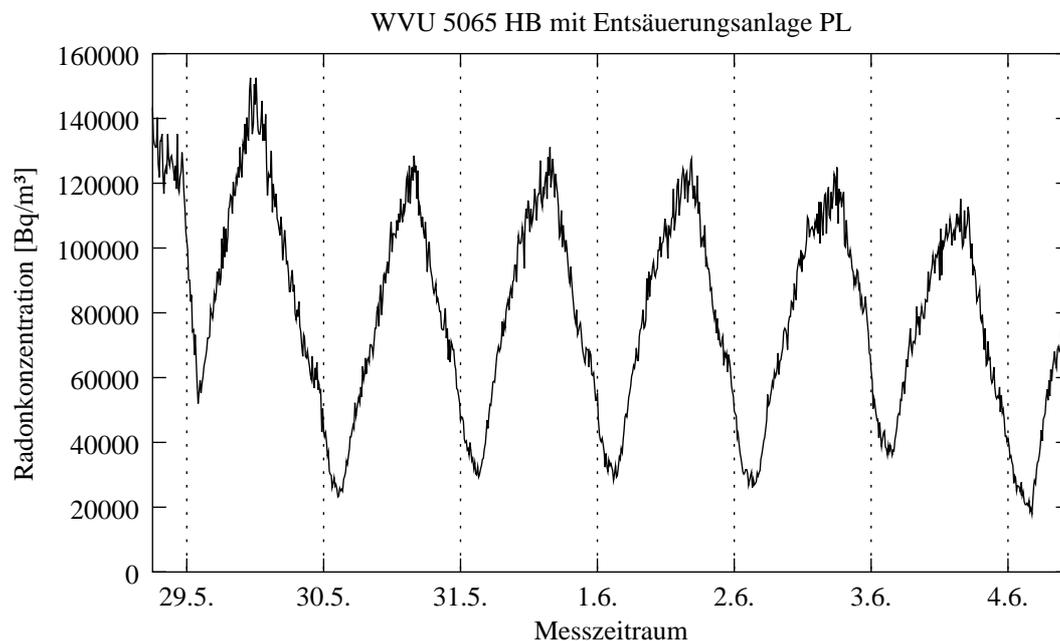


Abbildung 8.1.: Verlauf der Radonkonzentration im Hochbehälter mit Entsäuerungsanlage PL des WVUs 5065 im Messzeitraum Mai/Juni 2002.

bei 600 Bq m^{-3} , bei außerordentlich hohem Verbrauch bei ca. 4000 Bq m^{-3} . Die Türe schließt den Vorraum weitestgehend gasdicht ab, da der Verlauf der Radonkonzentration im Entsäuerungsraum nicht widerspiegelt wird. Im Entsäuerungsraum beträgt die Radonkonzentration im Mittel 18900 Bq m^{-3} .

Eine Besonderheit zeigt der Hochbehälter, der von Reinwasser aus den Gebieten PL und SA gespeist wird. Dieses Hochbehältergebäude besteht zum großen Teil aus Wasserkammern, so dass das Volumenverhältnis von Luft zu Wasser klein ist. Der Verlauf der Radonkonzentration ist in Abb. 8.2 dargestellt. Der periodische Verlauf der Radonkonzentration ist durch folgenden betrieblichen Ablauf bedingt: der Hochbehälter wird nur ab 22:00 Uhr unter Nutzung des kostengünstigeren Nachtstroms befüllt. Dabei läuft das Wasser immer oberhalb des Wasserspiegels sprudelnd zu. In dieser Zeit wird vermehrt Radon freigesetzt und die Radonkonzentration steigt sprunghaft an. Bei maximalem Wasserstand um jeweils ca. 03:00 Uhr wird die Zufuhr gestoppt. Danach sinkt die Radonkonzentration in dem Maße, wie Wasser aus den Wasserkam-

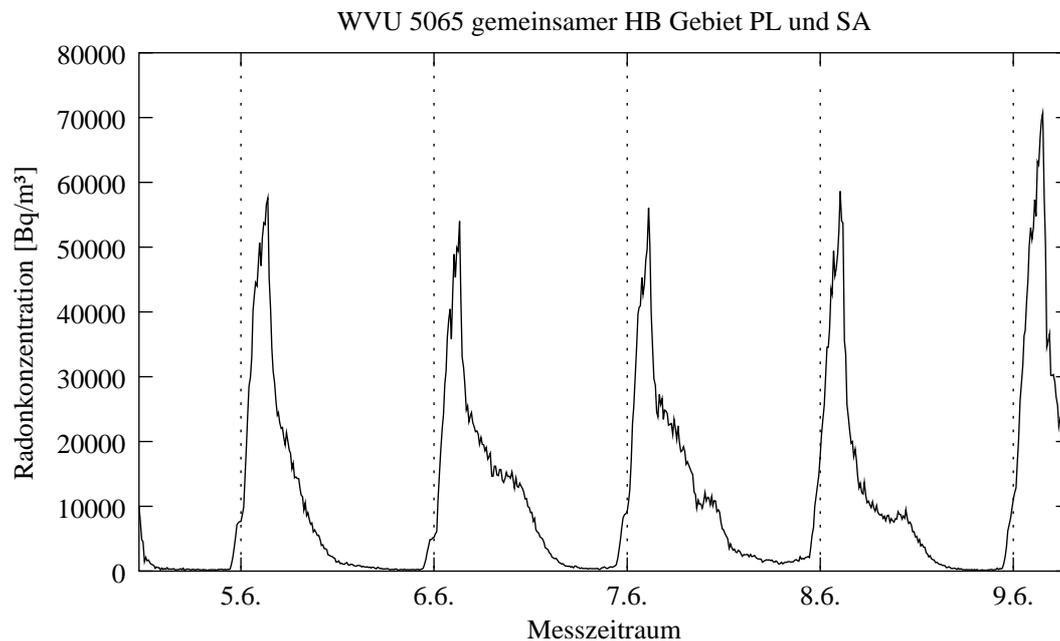


Abbildung 8.2.: Verlauf der Radonkonzentration im Wasserkammerraum des von den Gebieten PL und SA gemeinsam genutzten Hochbehälters im WVU 5065 im Messzeitraum Juni 2002.

mern ins Ortsnetz fließt. Durch das abfließende Wasser entsteht ein Unterdruck im Gebäude, der durch Zufuhr radonarmer Frischluft von außen ausgeglichen wird („Kolbeneffekt“). Der Mittelwert der Radonkonzentration beträgt $11\,700\text{ Bq m}^{-3}$, die Maxima der Radonkonzentration liegen zwischen $54\,000\text{ Bq m}^{-3}$ und $70\,700\text{ Bq m}^{-3}$. Die Minima der Radonkonzentration liegen bei ca. 200 Bq m^{-3} . Sie treten zwischen 18:00 und 21:00 Uhr auf. Durch eine Änderung der Begehungszeiten von bisher zwischen 08:00 und 09:00 Uhr auf die Zeiten der Minima der Radonkonzentration oder auch eine Änderung des Förderzeitraums könnte die Exposition des Wasserwerts aus dieser Anlage etwa um den Faktor 25 gesenkt werden.

Im Gebiet RE wurde im Laufe des Jahres 2002 mit Sanierungsmaßnahmen begonnen. Bei Umbau und Neubau wurde die Radonproblematik durch den Einbau von fest installierten Lüftungen und gasdichten Türen berücksichtigt. Ein Hochbehältergebäude und ein Quellschacht bleiben jedoch von den Maßnahmen unberührt. In diesem Hochbehältergebäude herrschen diesel-

ben Bedingungen wie im vorher beschriebenen Hochbehältergebäude. Auch hier ist das Luft-zu Wasservolumen klein und es wird über Nacht Wasser in die Behälterkammern gepumpt. Die gemessene Radonkonzentration verläuft analog zu Abb. 8.2. Auch hier ist damit eine einfache und effektive Reduktion der Exposition durch Betreten des Gebäudes am späten Nachmittag ab ca. 16:00 Uhr möglich. Der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration im Quellschacht besitzt einen ausgeprägten periodischen Charakter. Die Maxima treten täglich zwischen 06:00 und 08:00 Uhr auf, die Minima sind weniger deutlich ausgeprägt und treten in der Zeit zwischen 15:00 und 20:00 Uhr auf. Diese Periodizität ist für einen Quellschacht nach den bisherigen Beobachtungen außergewöhnlich. Die Wasserzufuhr erfolgt ausschließlich über die zulaufenden Quellen, die keiner zeitlichen Steuerung unterliegen. Es ist lediglich die natürliche Schwankung vorhanden, die jedoch nicht protokolliert ist.

Die Exposition des Wasserwerts wurde über einen längeren Zeitraum registriert. Sie betrug bei der ersten Messung hochgerechnet auf ein Jahr 130 MBq h m^{-3} . Hierin waren auch länger dauernde Aufenthalte in den Quellschächten enthalten. Sie reduzierte sich aber durch Verringerung der Aufenthaltszeiten in den Anlagen ab dem Jahr 2001, s. Tab. 8.3. Zur weiteren Senkung der Exposition wurden im Jahr 2003 Lüfter in die Aufbereitungsanlagen mit Hochbehälter in den Gebieten SA und RE eingebaut. Die Wirkung der Belüftung zeigt sich in einer weiteren Verringerung der Exposition. Die Lüftung wird zur Zeit noch optimiert.

Tabelle 8.3.: Hochgerechnete Jahresexposition des Wasserwerts im WVU 5065 in MBq h m^{-3} .

Jahr	1998	2000	2001	2002	2003	2004
Exposition	65,3	86,5	22	3	5	2,6

8.4. Reduktionsmaßnahmen im Wasserversorgungsunternehmen 5111

Im Wasserversorgungsunternehmen 5111 erfolgten bereits 1999 erste Messungen mit Kernspurdetektoren. Die Ermittlung der Exposition des Wasserwerts ergab hochgerechnet eine Jahresexposition (2000) von 19 MBq h m^{-3} .

Messungen mit Kernspurexposimetern und zeitaufgelöste Messungen in allen Anlagen des Wasserversorgungsunternehmens ergaben durchweg hohe Radonkonzentrationen von bis zu $11\,000 \text{ Bq m}^{-3}$. Zur Reduktion der Exposition des Wasserwerts wurden mehrere Maßnahmen getroffen:

- In einem Hochbehältergebäude mit integrierter Entsäuerungsanlage genügt das Offenhalten der Türe, um die Radonkonzentration im Steuerungsraum von $1\,600 \text{ Bq m}^{-3}$ nach einer Stunde auf unter 500 Bq m^{-3} abzusinken.
- In den anderen Gebäuden mit Stromanschluss wurde je eine stationäre Belüftung eingebaut. Sie wird im Intervallbetrieb betrieben. In einem Hochbehältergebäude mit integrierter Entsäuerungsanlage sank die Radonkonzentration von $3\,500 \text{ Bq m}^{-3}$ auf 500 Bq m^{-3} . In einem anderen wurde zuerst der Rohwasserzulauf unter die Wasseroberfläche verlegt, wodurch die Radonkonzentration von $11\,000 \text{ Bq m}^{-3}$ auf $2\,500 \text{ Bq m}^{-3}$ sank. Durch den Betrieb des Lüfters verringerte sie sich weiter auf unter $2\,000 \text{ Bq m}^{-3}$.

Weiterhin wurde dem Wasserwart empfohlen, die Betretungszeiten zu minimieren und bei der Begehung von Quellschächten und Gebäuden ohne Stromanschluss ein mobiles Belüftungsaggregat zu benutzen. Ob die Durchführung dieser Maßnahmen erfolgte, wurde vom Wasserversorgungsunternehmen nicht mitgeteilt. Ergebnisse personengebundener Messungen sind erst Anfang 2005 zu erwarten, da vom Wasserversorgungsunternehmen trotz Aufforderung versäumt wurde, diese durchzuführen.

8.5. Reduktionsmaßnahmen im Wasserversorgungsunternehmen 5127

Im Wasserversorgungsunternehmen 5127 wurden bereits 1999 erste Messungen mit Kernspurdetektoren durchgeführt. Die Ermittlung der Exposition des Wasserwerts ergab hochgerechnet eine Jahresexposition (1999) von 16 MBq h m^{-3} .

Messungen mit Kernspurexposimetern und zeitaufgelöste Messungen in allen Anlagen des Wasserversorgungsunternehmens in den Jahren 2000 – 2002 ergaben durchweg hohe Radonkonzentrationen von bis zu $30\,000 \text{ Bq m}^{-3}$. Zur Reduktion der Exposition des Wasserwerts wurden zwei Maßnahmen getroffen:

- Durch Information des Wasserwerts konnte ein Problembewusstsein für das Thema „Radon“ geschaffen werden. Darauf aufbauend wurden die Arbeitsabläufe so umstrukturiert, dass sich die Betretungszeiten stark verkürzten.
- Beim Begehen aller Anlagen wird ein mobiler Lüfter zur radonarmen Frischluftzufuhr verwendet. In Abb. 8.3 ist der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration vor und während des Betriebs des mobilen Lüfters am Beispiel des Quellschachts GL gezeigt. Die Radonkonzentration fiel nach Inbetriebnahme des Lüfters innerhalb kurzer Zeit (ca. 20 min) von im Mittel $98\,000 \text{ Bq m}^{-3}$ auf unter $1\,000 \text{ Bq m}^{-3}$ ab.

Der Erfolg beider Maßnahmen dokumentiert sich in der Exposition des Wasserwerts, wie Tab. 8.4 zeigt. Bei Beibehaltung beider Maßnahmen kann bei der Exposition des Wasserwerts von einer dauerhaften Unterschreitung des Eingreifwerts von 2 MBq h m^{-3} ausgegangen werden.

Tabelle 8.4.: Hochgerechnete Jahresexposition des Wasserwerts im WVU 5127 in MBq h m^{-3} .

Jahr	1999	2000	2001	2002
Exposition	16	3,1	0,9	< 1,0

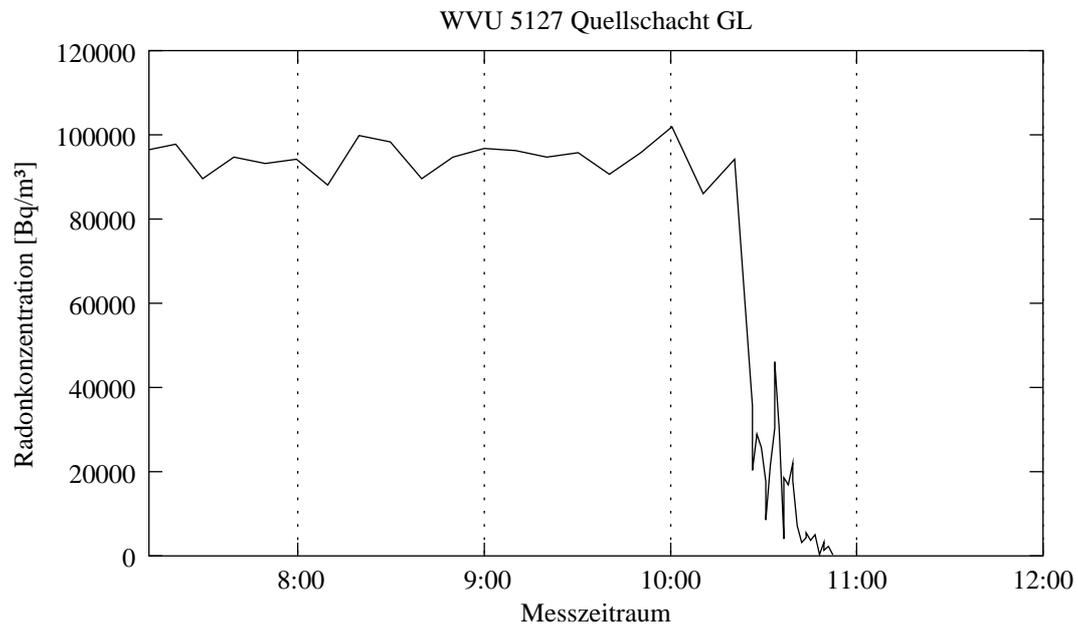


Abbildung 8.3.: Verlauf der Radonkonzentration im Quellschacht GL des WVUs 5127 im Messzeitraum 26.09.2002. Nach Inbetriebnahme des Lüfters (ca. 10:15 Uhr) fiel die Radonkonzentration stark ab.

8.6. Messungen im Wasserversorgungsunternehmen 5131

Die Wasserversorgungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens 5131 besteht aus drei verschiedenen Wassergewinnungsgebieten, im Folgenden bezeichnet mit HL, UM und KB. Die verschiedenen Gebäude sind sehr verstreut und im Wald zum Teil nur schwer zugänglich. Diese Gebäude besitzen auch keinen Stromanschluss. Es handelt sich hierbei um Quellsammler und Entsäuerungsgebäude. Sie sind komplett unterirdisch ausgeführt. Alle Räume sind schlecht gelüftet, so dass sich eine hohe Radonkonzentration aufbauen kann.

Im Gebiet HL betrug die Radonkonzentration im Sammelschacht $120\,000\text{ Bq m}^{-3}$, im Vorraum des Entsäuerungsgebäudes $1\,200\text{ Bq m}^{-3}$, in dem im Gebäude integrierten Wasserkammerraum ca. $1\,600\text{ Bq m}^{-3}$ und im Keller ca. $3\,700\text{ Bq m}^{-3}$. Die Zeitabhängigkeit der Radonkonzentration kann nicht durch die Betriebsabläufe erklärt werden.

Im Gebiet UM betrug die Radonkonzentration im Sammelschacht $55\,000\text{ Bq m}^{-3}$. Bei einer Aufenthaltszeit von 72 Stunden im Jahr führt dies zu einer Exposition von 4 MBq h m^{-3} allein durch den Aufenthalt in diesem Schacht. Im Gegensatz dazu herrschte in dem im Entsäuerungsgebäude integrierten Wasserkammerraum eine mittlere Radonkonzentration von nur 850 Bq m^{-3} . Worauf dieser Unterschied zurückzuführen ist, ist nicht bekannt.

Im Gebiet KB betrug die Radonkonzentration im Sammelschacht im Mittel $210\,000\text{ Bq m}^{-3}$, sie schwankte dabei zwischen $93\,000\text{ Bq m}^{-3}$ und $401\,000\text{ Bq m}^{-3}$. Auch im günstigsten Fall liegt die Exposition des Wasserwarts allein durch den Aufenthalt in diesem Schacht über dem Grenzwert von 6 MBq h m^{-3} , im ungünstigsten Fall um den Faktor 4 höher. Da auch die Maxima in der Radonkonzentration nicht immer zur selben Tageszeit auftraten oder an bestimmte Betriebsvorgänge gekoppelt waren, kann die Exposition nicht durch eine geeignete Wahl der Betretungszeiten reduziert werden. In dem komplett unterirdisch gebauten Entsäuerungsraum betrug die Radonkonzentration im ersten Messzeitraum $220\,000\text{ Bq m}^{-3}$, im zweiten Messzeitraum $439\,000\text{ Bq m}^{-3}$. Bei Betreten des Raums öffnet der Wasserwart beide Entlüftungsdeckel und die Radonkonzentration sinkt ab, jedoch nicht in dem Maße und in der Zeit, wie es in diesem Raum für eine effektive Reduktion der Exposition erforderlich ist.

Nachdem das Reinwasser aus den Gebieten HL und KB durch das Ortsnetz geflossen ist, wird das überschüssige Wasser zuerst im Hochbehälter HB-U und bei weiterem Bedarf im Hochbehälter HB-O gespeichert. Bei Bedarf wird es dann wieder an das Ortsnetz zurückgegeben. Dieser Zusammenhang spiegelt sich im Verlauf der Radonkonzentration in den beiden Anlagen wider und ist in Abb. 8.4 dargestellt. Da der Wasserverbrauch in der Gemeinde nach Mitternacht sinkt, füllt das überschüssige Wasser aus dem Ortsnetz zuerst den Hochbehälter HB-U. Hier steigt, da das Wasser sprudelnd oberhalb der Wasseroberfläche zugeführt wird, die Radonkonzentration stark an. Ist der Hochbehälter HB-U gefüllt, wird das überschüssige Wasser in gleicher Art und Weise in den Hochbehälter HB-O weitergeleitet. Auch hier erhöht sich bei Wasserzulauf die Radonkonzentration stark.

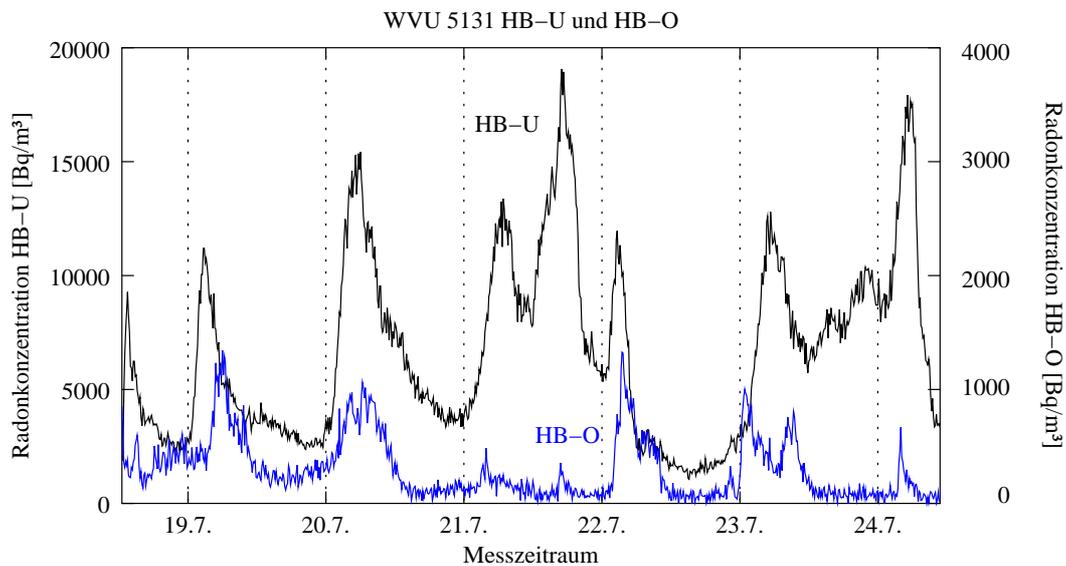


Abbildung 8.4.: Verlauf der Radonkonzentration im Hochbehälter HB-U (obere Kurve, linke Ordinate) und im nachfolgenden Hochbehälter HB-O (untere Kurve, rechte Ordinate) des WVUs 5131 im Messzeitraum Juli 2002.

Die Exposition des Wasserwerts betrug im Jahr 2000 26 MBq h m^{-3} . Da viele Anlagen im Wasserversorgungsunternehmen 5131 relativ alt sind, ist die Wartung im Vergleich zu modernen Anlagen sehr aufwändig. Daraus resultieren wiederum lange Begehungszeiten und damit auch hohe Expositionen. Zur Senkung der Exposition wurde dem Wasserversorgungsunternehmen nahegelegt, im Wasserkammerraum des Wassergewinnungsgebiets UM die Betretungszeiten zu reduzieren. Für alle anderen Anlagen wurde eine Belüftung mit hinreichend großer Leistungsfähigkeit empfohlen, da wegen der hohen Radonkonzentrationen durch die Reduktion der Betretungszeiten allein keine ausreichende Reduktion der Exposition erreicht werden kann. Seit 2003 ist nach Angaben des Wasserversorgungsunternehmens ein mobiler Lüfter im Einsatz, der vor und während der Begehung in allen Gebäuden betrieben wird. Er bläst Frischluft in den entsprechenden Raum. Im Jahr 2003 und 2004 ist die Exposition dadurch auf einen Wert unter $0,3 \text{ MBq h m}^{-3}$ zurückgegangen. Für das Jahr 2005 ist der Neubau einer Entsäuerungsanlage geplant. Hierbei wird eine stationäre Lüftung integriert.

8.7. Reduktionsmaßnahmen im Wasserversorgungsunternehmen 5306

Das LfU veranlasste bereits 1999 im Wasserversorgungsunternehmen 5306 erste Messungen mit Kernspurdetektoren. Die Ermittlung der Exposition des Wasserwirts ergab hochgerechnet eine Jahresexposition von 140 MBq h m^{-3} . Im Jahr 2000 ging sie dank der Information des Wasserwirts über Radon auf 20 MBq h m^{-3} zurück.

Sehr hohe Radonkonzentrationen von bis zu $132\,000 \text{ Bq m}^{-3}$ wurden in den Quellschächten und in der Brunnenstube des Tiefbrunnens festgestellt. Im Aufbereitungsgebäude betrug die Radonkonzentration $77\,000 \text{ Bq m}^{-3}$ und im Hochbehälter zwischen 400 und $2\,800 \text{ Bq m}^{-3}$.

Dem Wasserversorgungsunternehmen wurde eine Belüftung des Aufbereitungsgebäudes sowie aller Schächte und der Brunnenstube empfohlen. Der Wasserwart hat inzwischen die Betretungszeiten minimiert. Die Beschaffung eines Belüftungsgeräts bzw. der Einbau einer Belüftung in das Aufbereitungsgebäude wurde nach Angaben des Wasserversorgungsunternehmens zwar diskutiert, aber aus Kostengründen nicht umgesetzt. Ergebnisse personengebundener Messungen sind erst Anfang 2005 zu erwarten, da das Wasserversorgungsunternehmen bisher trotz Aufforderung keine diesbezüglichen Messungen durchführte.

8.8. Weitere Reduktionsmaßnahmen im Wasserversorgungsunternehmen 5322

Im Abschlussberichts des Untersuchungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ [3] sind die Sanierungsmaßnahmen im Wasserversorgungsunternehmen 5322 ausführlich beschrieben. In den schlecht belüfteten Anlagen ohne Stromanschluss wird mit gutem Ergebnis ein mobiles dieselbetriebenes Lüftungsaggregat eingesetzt. Im Aufbereitungsgebäude wurden zwei Ventilatoren fest installiert. Der Dauerbetrieb auf höchster Stufe

erbrachte aber nur eine Reduktion der Radonkonzentration auf im Mittel 5500 Bq m^{-3} . Die Ventilatoren wurden nun so umgestellt, dass Frischluft in den Entsäuerungsraum eingeblasen wird, nachdem vorher die Luft mit den Ventilatoren aus diesem Raum abgesaugt wurde. Die mittlere Radonkonzentration sank nach Inbetriebnahme der modifizierten Ventilatoren von

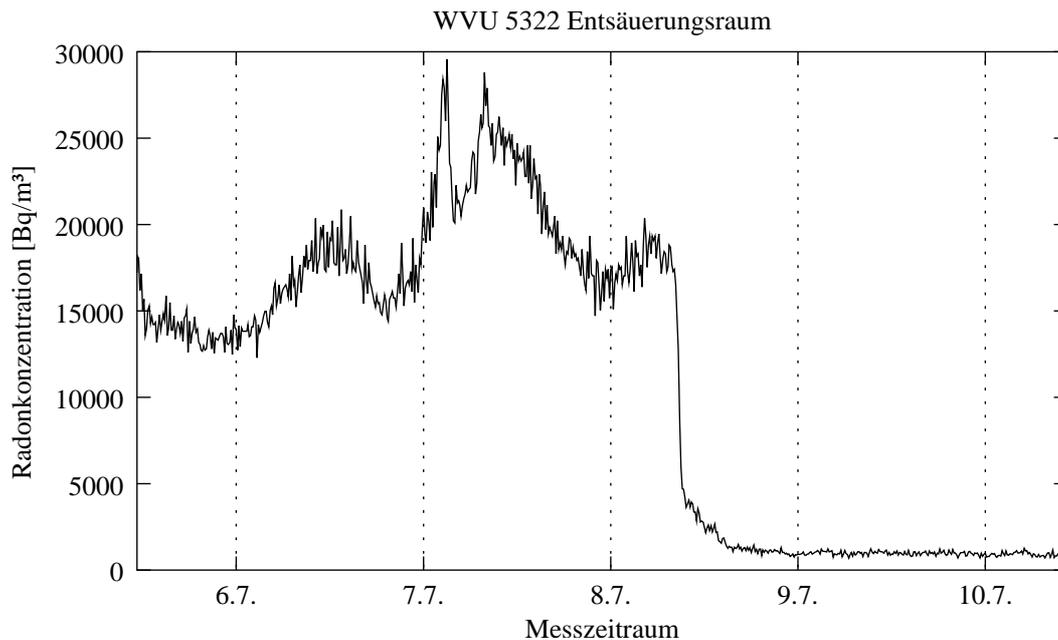


Abbildung 8.5.: Verlauf der Radonkonzentration im Entsäuerungsraum des WVUs 5322 im Messzeitraum Juli 2002. Am 08.07.2002 um ca. 08:30 Uhr wurde die modifizierte Lüftung eingeschaltet.

durchschnittlich 18000 Bq m^{-3} auf 970 Bq m^{-3} , siehe Abb. 8.5. Das Einblasen von radonarmer Frischluft erwies sich in diesem Gebäude, wie auch in einigen anderen, als effektiver.

Die Entwicklung der Exposition des Wasserwarts ist in Tab. 8.5 aufgelistet. Hier ist der Rückgang der Exposition mit den verschiedenen Stadien der Reduktionsmaßnahmen gut zu erkennen. Mit den optimierten Lüftungsmaßnahmen sollte eine Reduktion der Jahresexposition auf ca. $0,5 \text{ MBq h m}^{-3}$ möglich sein, die jedoch noch nicht erreicht wurde. Zur weiteren Optimierung und Sicherstellung der Nachhaltigkeit der bisher ergriffenen Maßnahmen werden die personengebundenen Messungen fortgesetzt.

Tabelle 8.5.: Exposition des Wasserwerts im WVU 5322. Aufklärung – Schaffung des Problembewußtseins beim Wasserwart und Umstellung der Arbeitsgewohnheiten; Optimierung – Optimierung der stationären Lüftungsanlage; Jahresexposition gemittelt – Ermittlung der mittleren Jahresexposition aus den verschiedenen Expositionen in den jeweiligen Messzeiträumen.

Maßnahme	Zeitraum	Exposition im Messzeitraum [MBq h m ⁻³]	Jahresexposition gemittelt [MBq h m ⁻³]
Aufklärung	01 – 03 1999	2,8	18
	03 – 05 2000	1,3	
	06 – 08 2000	1,0	
	09 – 11 2000	0,7	
	11 – 12 2000	0,4	4,9
Belüftung	01 – 01 2001	0,4	
	01 – 03 2001	0,6	
	03 – 05 2001	0,4	
	05 – 07 2001	0,4	
	09 – 11 2001	0,3	
	11 – 12 2001	0,2	2,6
	01 – 01 2002	0,2	
	01 – 04 2002	0,9	
	05 – 07 2002	0,4	
	10 – 12 2002	0,5	2,7
Optimierung	01 – 01 2003	0,1	
	11 – 12 2003	0,2	1,6
	01 – 03 2004	0,1	
	04 – 06 2004	0,6	1,4

8.9. Messungen im Wasserversorgungsunternehmen 5367

Die Wasserversorgungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens 5367 besteht aus drei verschiedenen Wassergewinnungsgebieten, im Folgenden bezeichnet mit Gewinnungsgebiet KO, ST und WI. Der größte Anteil des geförderten Wassers stammt dabei aus dem Gewinnungsgebiet WI. Das Wasserversorgungsunternehmen betreibt eine Aufbereitungsanlage, in der sowohl das Wasser aus dem Gewinnungsgebiet KO aufbereitet und anschließend in den Hochbehälter I gefördert als auch separat davon das Wasser aus den Gewinnungsgebieten ST und WI aufbereitet und in den Hochbehälter II gefördert wird.

Im Aufbereitungsgebäude ist neben der eigentlichen Aufbereitungsanlage (Filterkessel) und einigen Nebenräumen auch ein Büro untergebracht. Es wurden zeitauflösende Messgeräte in Kesselraum, Rohrkeller und Büro aufgestellt. Der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration ist in Abb. 8.6 für den Kesselraum und das Büro dargestellt. Die Radonkonzentration im Rohrkeller ist identisch mit der im Kesselraum. Es ist deutlich zu erkennen, dass die am 15.11.2002 durchgeführte Rückspülung zu einem starken Anstieg der Radonkonzentration führte. Das Maximum gegen Ende des Messzeitraums (21.11.2002) könnte durch die Änderung des Luftdrucks zu dieser Zeit verursacht worden sein. Es ist weiterhin ersichtlich, dass das Büro in keiner Weise vom Rest des Gebäudes abgekoppelt ist. Es herrscht die gleiche Radonkonzentration wie im Rest des Gebäudes. Dies ist dadurch zu erklären, dass zum einen das Büro mit dem Rohrkeller durch einen Abfluss im Boden des Büros verbunden ist, zum anderen befindet sich im hinteren Teil des Büros ein nur durch eine Glasabdeckung verschlossener Schacht, durch den die Zufuhr des gesamten Quellwassers in die Aufbereitungsanlage erfolgt. Über den zeitlichen Verlauf des Wasserzulaufs liegen leider keine Aufzeichnungen vor.

Der Verlauf der Radonkonzentration im Wasserkammerraum des Hochbehälters I ist in Abb 8.7 dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass die Radonkonzentration beim Füllen der Wasserkammern stark ansteigt und nach Ende des Füllvorgangs genauso schnell wieder auf unter $1\,000\text{ Bq m}^{-3}$ abfällt. Der Anstieg wird durch den Einlauf des Wassers verursacht, der immer über der Wasseroberfläche erfolgt. Der Abfall der Radonkonzentration wird durch die spezielle

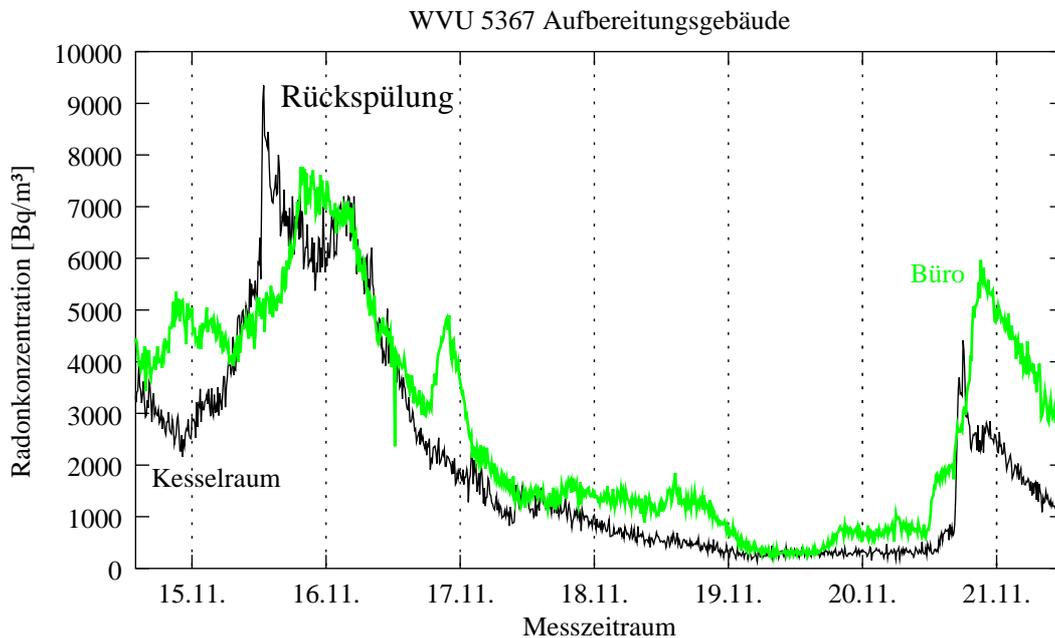


Abbildung 8.6.: Verlauf der Radonkonzentration im Kesselraum und im Büro des Aufbereitungsgebäudes im WVU 5367 im Messzeitraum November 2002.

Bauweise des Hochbehälters I verursacht. Das Hochbehältergebäude verfügt im vorderen Teil (Vorraum und Rohrkeller) über eine zweischichtige Decke, in der sich Lüftungskanäle befinden. An den hintersten Teil der Anlage ist ein Lüftungsschacht angeschlossen, der mit dem Wasserkammerraum über ein Lüftungsgitter in der Zugangstür verbunden ist. Die Kaminwirkung des Lüftungsschachts bedingt eine Luftströmung im Hochbehälter und damit auch die Frischluftzufuhr in den Wasserkammerraum („Kamineffekt“). Diese passiert auf ihrem Weg durch das Gebäude jedoch zuerst den Bereich Vorraum – Rohrkeller, der durch eine Türe mit Gummidichtung vom Wasserkammerraum getrennt ist. Dadurch lässt sich die konstant niedrige Radonkonzentration von im Mittel 150 Bq m^{-3} erklären. Im Routinebetrieb muss der Wasserkammerraum vom Wasserwart in der Regel nicht betreten werden. So kann diese Bauweise, zumindest wenn wie im Messzeitraum die Außentemperatur unter der Gebäudetemperatur liegt, einen geeigneten Schutz vor Radonexposition darstellen, wenn der Wasserwart das Gebäude nur zu Zeiten niedriger Radonkonzentration betritt. Ob dies auch für umgekehrte Temperaturverhältnisse gilt, muss noch geprüft werden.

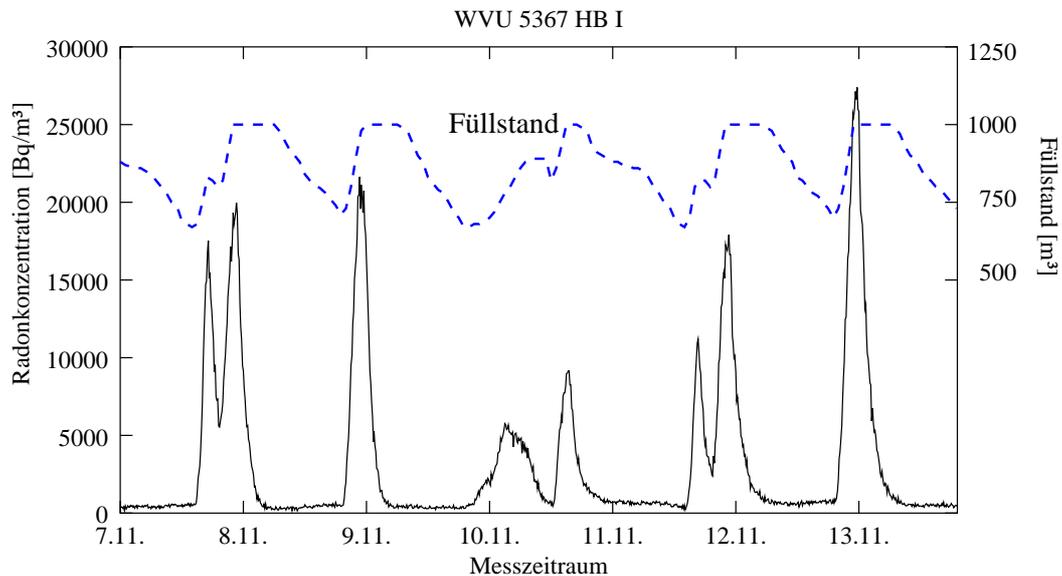


Abbildung 8.7.: Verlauf der Radonkonzentration (untere Kurve, linke Ordinate) und des Hochbehälterfüllstandes (obere Kurve, rechte Ordinate) im Wasserkammerraum im HB I des WVUs 5367 im Messzeitraum November 2002.

Bei dem Hochbehälter II handelt es sich um eine oberirdische Anlage in Form eines Turms. Hier sind Vorraum und Rohrkeller jedoch nicht gegen den Wasserkammerraum abgeschlossen. Der Hochbehälter liegt auf einem kleinen Hügel auf freiem Feld und besitzt Lüftungsschlitze auf beiden Seiten. Das Verhältnis Luftvolumen zu Wasservolumen (bei gefüllten Kammern) ist klein. Die Wasserkammern werden immer über dem Wasserspiegel befüllt, was zu einem Anstieg der Radonkonzentration führt, durch die Entleerung wird dann Frischluft in das Gebäude gesaugt, die Radonkonzentration fällt. Diese Anlage verhält sich damit ähnlich wie die Hochbehälter des Wasserversorgungsunternehmens 5065.

Im Tiefbrunnengebäude II des Gewinnungsgebiets KO herrscht eine allgemein niedrige Radonkonzentration. Es sind im zeitlichen Verlauf der Radonkonzentration die Pumpintervalle genau zu sehen. Während des Pumpvorgangs stieg die Radonkonzentration auf ca. 550 Bq m^{-3} an, danach fiel sie wieder auf im Mittel 150 Bq m^{-3} ab.

In den verschiedenen Sammelschächten wurden Radonkonzentrationen von bis zu $179\,000\text{ Bq m}^{-3}$ gemessen. Durch die kurzen Begehungszeiten der Sammelschächte erhält der Wasserwart jedoch den Hauptteil der Exposition aus dem vergleichsweise langen Aufenthalt im Aufbereitungsgebäude.

Als Reduktionsmaßnahmen wurden dem Wasserversorgungsunternehmen empfohlen, die Betretungszeiten in den Hochbehältergebäuden auf Zeiten mit fallendem Wasserstand zu beschränken. Falls dies nicht möglich ist, muss eine aktive Belüftung der Räume erfolgen. Eine aktive Belüftung ist außerdem im Aufbereitungsgebäude und idealerweise in den Sammelschächten durchzuführen. Die Brunnenstube des Tiefbrunnens sollte nur betreten werden, wenn die Pumpe nicht in Betrieb ist. Die Exposition des Wasserwarts betrug im Jahr 2000 14 MBq h m^{-3} , sie verringerte sich im Jahr 2003 und 2004 auf jeweils hochgerechnet $1,1\text{ MBq h m}^{-3}$. Bisher wurden nach Angaben des Wasserversorgungsunternehmens nur die Betretungszeiten der Anlagen durch den Wasserwart minimiert. Im Jahr 2005 ist jedoch der Umbau einer Anlage vorgesehen.

8.10. Messungen im Wasserversorgungsunternehmen

5413

Die Wasserversorgungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens 5413 besteht aus mehreren Quellen, Sammelschächten und Brunnen sowie drei verschiedenen Gebäudekomplexen (Wasserwerk, Hochbehälter HZ und Hochbehälter TZ).

Beim Wasserwerk handelt es sich um eine oberirdische Anlage bestehend aus einem Filterkesselraum, einem Büro, einem Schaltraum, der durch Fenster von dem Filterbeckenraum getrennt ist, verschiedenen Nebenräumen und einem das gesamte Untergeschoss umfassenden Rohrkeller. Der Verlauf der Radonkonzentration in Schaltraum, Filterkesselraum und Büro ist in Abb. 8.8 dargestellt. Der periodische Verlauf der Radonkonzentration ist auf den Filtervorgang zurückzuführen. Dieser beginnt täglich um 22:00 Uhr und endet, wenn beide Hochbehälter

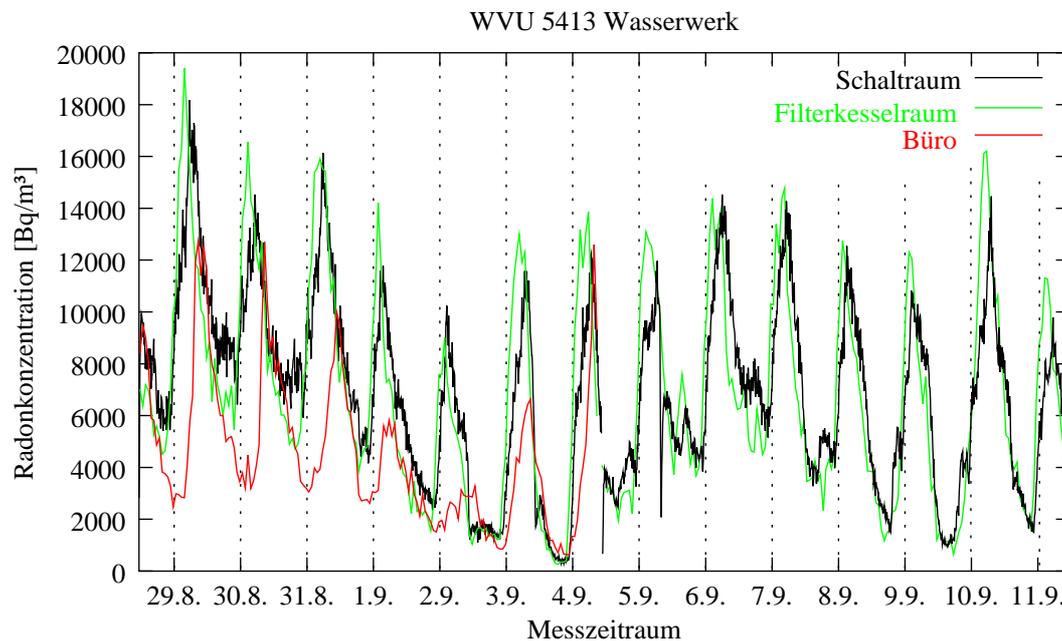


Abbildung 8.8.: Verlauf der Radonkonzentration in Schaltraum, Filterkesselraum und Büro im Wasserwerk des WVUs 5413 im Messzeitraum August/September 2002.

wieder ausreichend mit Wasser versorgt sind. Das Büro ist durch eine Tür von den anderen Gebäudeteilen abgetrennt. Deutlich sichtbar ist jedoch, dass diese Türe keine wirksame Radonbarriere darstellt.

In den beiden Hochbehältern zeigt sich ein ähnliches Verhalten wie in denen der Wasserversorgungsunternehmen 5065 und 5367. Während die Wasserkammern gefüllt werden, steigt die Radonkonzentration im Wasserkammerraum stark an, siehe Abb. 8.9. Leert sich der Behälter, wird radonarme Frischluft durch die Lüftungsschlitze zugeführt und die Radonkonzentration sinkt. Im Vorraum des Hochbehältergebäudes HZ wurde eine niedrige, zeitlich kaum schwankende Radonkonzentration von im Mittel 140 Bq m^{-3} gemessen.

In einem der Brunnen des Wasserversorgungsunternehmens 5413 wurde mit zeitauflösenden Geräten eine mittlere Radonkonzentration von 8500 Bq m^{-3} festgestellt, die keinen regelmäßigen zeitlichen Verlauf besitzt.

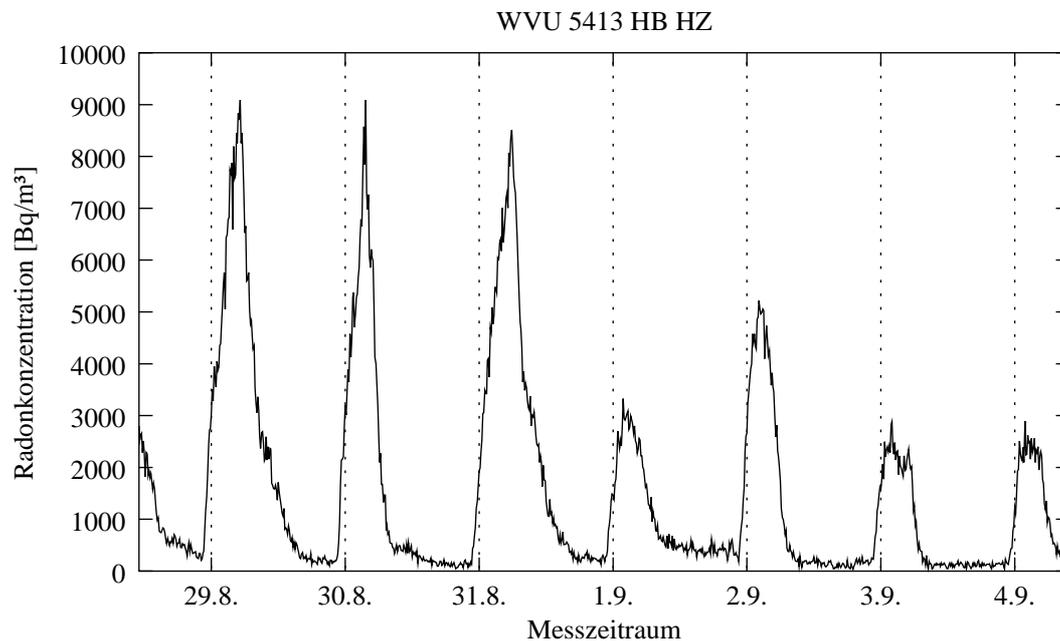


Abbildung 8.9.: Verlauf der Radonkonzentration im Wasserkammerraum im Hochbehälter HZ des WVUs 5413 im Messzeitraum August/September 2002.

In dem Sammelschacht, in den alle Quellen münden, wurde ebenfalls eine zeitauflösende Messung durchgeführt. Sie ergab eine mittlere Radonkonzentration von $1\,040\,000\text{ Bq m}^{-3}$. Dies ist die im Rahmen der Untersuchungsvorhaben bisher höchste gemessene Radonkonzentration.

Als Reduktionsmaßnahmen wurden dem Wasserversorgungsunternehmen empfohlen, die Betretungszeiten in den Hochbehältergebäuden auf Zeiten mit fallendem Wasserstand zu beschränken. Falls dies nicht möglich ist, muss, wie auch im Aufbereitungsgebäude und in den Sammelschächten, eine aktive Belüftung der Räume erfolgen. Das Entlüftungsrohr des Tiefbrunnens III sollte über die Einstiegs Luke hinaus verlängert werden.

Die Messung der Exposition des Wasserwarts mit Personenexposimetern ergab die in Tab. 8.6 dargestellten Ergebnisse. Der Rückgang der Jahresexposition bis 2002 zeigt deutlich, dass allein durch das geschaffene Problembewusstsein und die damit verbundenen Verhaltensänderungen die Exposition gesenkt werden kann. Seit 2003 wird bei der Rückspülung durch Öffnen der Fenster und Türen eine Reduktion der Radonkonzentration herbeigeführt. Seit 2004 wird vom

Wasserwart ein mobiler Lüfter eingesetzt, um die in den Quellschächten auftretenden hohen Radonkonzentrationen während der Wartungsarbeiten zu reduzieren. Der Erfolg dieser Maßnahmen zeigt sich in einer weiteren Reduktion der Exposition.

Tabelle 8.6.: *Hochgerechnete Jahresexposition des Wasserwarts im WVU 5413 in MBq h m⁻³.*

Jahr	2000	2001	2002	2003	2004
Exposition	14	5,2	2,8	1,0	0,7

8.11. Reduktionsmaßnahmen im Wasserversorgungsunternehmen 5425

Im Wasserversorgungsunternehmen 5425 wurde in einem Aufbereitungsgebäude eine Abtrennung der Entsäuerungsbecken und eine stationäre Belüftung installiert. Diese senkt die Radonkonzentration innerhalb von 10 Minuten von 12 000 Bq m⁻³ auf 100 Bq m⁻³. Auch in einem weiteren Aufbereitungsgebäude wurde eine stationäre Belüftung installiert. Zur Senkung der Radonkonzentration in den Quellschächten wird ein mobiles Belüftungsaggregat verwendet. Zusätzlich wurden die Betretungszeiten minimiert.

Der Erfolg der Belüftung der Aufbereitungsanlagen dokumentiert sich in der Exposition der Wasserwarte, wie der Unterschied der Exposition im Jahr 1999 und in den Jahren 2003 und 2004 in Tab. 8.7 zeigt. Wasserwart 3 und Wasserwart 4 waren zusammen im hochbelasteten Quellgebiet eingesetzt. Wasserwart 3 führte die Arbeiten in den Quellschächten durch, während ihn Wasserwart 4 von draußen sicherte. Durch unvollständig belüftete Quellschächte (mobiler Lüfter wurde 4 – 5 Minuten vor Begehen des Schachtes eingeschaltet, zur Begehung jedoch wieder ausgeschaltet) kam es zur hohen Exposition des Wasserwarts 3. Bei konsequenter Anwendung bzw. Verbesserung (längere Belüftungszeit der Quellschächte, auch während der Begehungen) der Maßnahmen sollte jedoch bei der Exposition der Wasserwarte eine deutliche Verringerung und damit auch eine dauerhafte Unterschreitung des Eingreifwerts von

Tabelle 8.7.: *Hochgerechnete Jahresexposition der Wasserwarte im WVU 5425. – – Exposition nicht ermittelt.*

Person	Exposition [MBq h m ⁻³]					
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Wasserwart 1	–	0,6	0,5	1,0	< 0,3	1,1
Wasserwart 2	–	0,9	3,3	–	–	–
Wasserwart 3	–	–	2,2	6,7	3,5	5,6
Wasserwart 4	7,8	–	–	–	1,5	1,2
Wasserwart 5	0,2	–	–	–	< 0,3	0,8

2 MBq h m⁻³ erreichbar sein. Die personengebundenen Messungen werden fortgesetzt.

Am Beispiel dieses Wasserversorgungsunternehmens ist deutlich zu sehen wie wichtig es ist, für die Sicherstellung der Nachhaltigkeit der verschiedenen Maßnahmen zu sorgen.

8.12. Zusammenfassung: Reduktionsmaßnahmen

In zwölf Wasserversorgungsunternehmen mit Anlagen unterschiedlichster Bauart wurde vom U.R.A.-Labor der Universität Regensburg der Einfluss von Arbeitsabläufen, Lüftungsbedingungen und Bausubstanz auf die Exposition der einzelnen Wasserwarte untersucht. Verschiedene Reduktionsmaßnahmen wurden erfolgreich getestet. Mit diesen Erfahrungen ist es bayernweit in allen betroffenen Wasserversorgungsunternehmen möglich, die Exposition der Wasserwarte unter den Eingreifwert zu senken. Um die aus den gewonnenen Erfahrungen erarbeiteten Reduktionsmaßnahmen, die nachfolgend zusammengefasst sind, sinnvoll umzusetzen, muss Folgendes beachtet werden:

- Es ist eine umfassende messtechnische Erfassung aller relevanten Expositionsorte (Anlagenteile) notwendig. Es ist von Vorteil, neben Kernspurexposimetern auch zeitauflösen-

de Messmethoden einzusetzen, da der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration wichtige Aufschlüsse über einzuleitende Reduktionsmaßnahmen ermöglicht. Wegen der möglicherweise auftretenden starken Schwankungen der Radonkonzentration darf der Messzeitraum, in dem die Radonkonzentration erfasst wird, nicht zu kurz sein (Minimum: 7 Tage).

- Um die Hauptbeiträge der Radonexposition zu ermitteln und belastbare Daten für eine effektive Sanierungsplanung zu erarbeiten, muss für jedes Wasserversorgungsunternehmen eine Übersicht über die Exposition aus den einzelnen Gebäuden erstellt werden, die nur auf der Basis von Messungen (siehe vorhergehender Punkt) und anhand der Erfahrungen der Betretungszeiten in allen Anlagenteilen ermittelt werden kann. In dieser Übersicht werden alle baulichen Einrichtungen mit Radonkonzentration und geschätzter Aufenthaltszeit aufgelistet, um einen Überblick über die Größe der in den einzelnen Einrichtungen erhaltenen Exposition zu bekommen. Hieraus können dann Schwerpunkte für die Reduktionsmaßnahmen ermittelt werden.
- Alle Maßnahmen zur Reduktion der Radonexposition müssen berücksichtigen, dass die aus den Messzeiträumen von ca. zwei Monaten abgeleiteten Jahresexpositionen den wahren Wert, durch jahreszeitliche Schwankungen bedingt, über- oder unterschätzen können.
- Grundsätzlich kann eine Reduktion der Radonexposition von Wasserwarten nur erfolgreich sein, wenn alle für die Wasserversorgung Verantwortlichen ein Bewusstsein für die Radonproblematik entwickeln.

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, können erfolgreiche Konzepte zur Reduktion der Radonexposition aufgestellt werden. In der Praxis haben sich folgende Maßnahmen bewährt:

1. Aufklärung

Die sachliche Vermittlung von Informationen zur erhöhten Radonexposition für den Wasserwart und die Verantwortlichen bindet alle betroffenen Personen aktiv in die Bemühungen zur Reduktion ein. Als sehr wichtig hat sich in diesem Zusammenhang erwiesen, die

betroffenen Personen über die gemessenen Veränderungen der Radonexpositionswerte regelmäßig und umfassend auf dem Laufenden zu halten. Ein konkreter Ansprechpartner auf beiden Seiten hat sich bei Rückfragen ebenfalls als nützlich erwiesen. Je umfassender die sachliche Aufklärung, umso größer sind die Reduktionserfolge.

2. Minimierung und Anpassung der Betretungszeiten

Unabhängig von Höhe und Verlauf der Radonkonzentration führt eine Minimierung der Betretungszeiten immer zu einer Reduktion der Exposition. Diese Maßnahme ist ohne jeglichen finanziellen Aufwand in allen Fällen möglich.

Wird durch die Bewegung des Wasserkörpers im Hochbehälter beim Verbrauch von Trinkwasser aufgrund des Kolben- oder des Kamineffekts (s. S. 77 und 88) eine effektive Frischluftzufuhr erzwungen, so lassen sich kurze Phasen sehr hoher (Peaks) und längere Phasen sehr niedriger Radonkonzentrationen nachweisen, die sich regelmäßig abwechseln und zeitlich gut mit bestimmten Betriebsabläufen oder -zuständen korreliert sind (deterministischer Verlauf der Radonkonzentration). Betretungen zu Zeiten minimaler Radonkonzentration in der Raumluft führen hier zu vernachlässigbar geringen Expositionen. Voraussetzung für den Kolbeneffekt ist neben ausreichenden Lüftungsöffnungen auch eine ausreichende Volumenänderung des Wassers sowie die Bedingung, dass das Luftvolumen bei gefüllten Wasserkammern erheblich kleiner als das Wasservolumen sein muss.

Eine Anpassung der Betretungszeiten an die Zeiten minimaler Radonkonzentration kann auch in den Räumen zu einer Reduktion der Exposition führen, in denen der Verlauf der Radonkonzentration betriebsbedingten Vorgängen (z.B. Filter- oder Pumpzeiten) eindeutig zugeordnet werden kann.

Erfahrungsgemäß sind diese Maßnahmen allein nicht ausreichend, um die Exposition unter den Eingreifwert zu senken.

3. Passive bauliche Maßnahme

Eine einfache und sehr wirksame Reduktionsmaßnahme ist die Abtrennung von Räumen mit offenen Wasserflächen mit einer Wand mit möglichst gasdichter Tür von den Orten, an denen sich der Wasserwart häufig und/oder lange aufhält. Diese Maßnahme eignet sich vor allem für Aufbereitungs- und Hochbehältergebäude.

4. Aktive Lüftungsmaßnahmen

Aktive Maßnahmen zur Verbesserung der Frischluftzufuhr umfassen die Zufuhr von radonarmer Außenluft mittels geeigneter stationärer oder mobiler Lüfteraggregate oder das kurzzeitige Öffnen von Türen bzw. Fenstern durch den Wasserwart. Letzteres führt nur in seltenen Fällen zum Erfolg und kann nicht pauschal empfohlen werden. Der Einsatz von Lüfteraggregaten hat sich bei allen bisher erfolgreich sanierten Wasserversorgungsanlagen dann bewährt, wenn alle sonstigen Optimierungsmöglichkeiten ausgeschöpft waren. Erfreulich ist, dass es sich bei den sanierten Wasserversorgungsanlagen um Anlagen verschiedenster Bauart handelt, so dass mit einem breiten erfolgreichen Einsatz dieser Methoden gerechnet werden kann.

Durch die jetzt gestiegene Anzahl der erfassten Wasserversorgungsanlagen kann eine erste vorsichtige Klassifizierung vorgenommen werden, die die Optimierung der Reduktion der Radonexposition ermöglichen soll. Es können Betriebsräume mit deterministischem und statistischem (= nicht deterministischem) Verlauf der Radonkonzentration in der Raumluft unterschieden werden. Deterministisch heißt in diesem Zusammenhang, dass betriebsbedingte Einflussfaktoren wie Wasserverbrauch und Pump- bzw. Filtervorgänge zeitlich und kausal eindeutig einer signifikanten Änderung der Radonkonzentration zugeordnet werden können. Statistisch bedeutet, dass wegen vieler verschiedener Einflussfaktoren auf die Radonkonzentration keine betriebsbedingten Einflussfaktoren angegeben werden können, die messtechnisch erfassbar bzw. kontrollierbar sind und die zu signifikanten, eindeutig zeitlich und kausal zuordenbaren Änderungen der Radonkonzentration führen. Deterministische Anlagen bieten unter bestimmten

Bedingungen die Möglichkeit, durch entsprechende einfache Betriebsanpassungen ohne aufwändige Sanierungsmaßnahmen die Radonexposition der Beschäftigten um mehrere Größenordnungen zu senken. Deterministische Anlagen sind z.B. solche, die durch den Kolben- oder Kamineffekt einen effektiven Luftaustausch von radonreicher Gebäudeluft mit radonarmer Frischluft erzwingen. Die Beurteilung, ob die Betretung ausschließlich zu Zeiten minimaler Radonkonzentration zur Reduktion der Exposition ausreicht, kann jedoch nur nach zeitaufgelöster Messung erfolgen. Einen statistischen Verlauf der Radonkonzentration zeigen in der Regel Quell- bzw. Sammelschächte. Da bei diesen Gebäuden häufig höchste Radonkonzentrationen beobachtet werden und diese auch zeitlich keine ausgeprägten Minima aufweisen, sind hier generell aktive Belüftungsmaßnahmen zu empfehlen.

9. Höhlen, (Besucher-)Bergwerke und Radonheilbäder

9.1. Höhlen und (Besucher-)Bergwerke

Nach Anlage XI, Teil A der StrlSchV [2] muss auch bei Arbeiten in untertägigen Bergwerken, Schächten und Höhlen, einschließlich Besucherbergwerken, die Radonexposition der dort Beschäftigten ermittelt werden.

Durch Nachfrage bei den beiden bayerischen Bergämtern und eine weitergehende Suche u.a. im Internet wurden alle in Frage kommende Objekte ermittelt. Einen Überblick dazu gibt Tab. 9.1. Zwischen 1989 und 1997 waren bereits in vielen dieser Einrichtungen Erhebungsmessungen von Dr. Schmitz im Rahmen des Forschungsvorhabens „Radon- und Radonfolgeproduktmessungen in bayerischen Untertagebetrieben“ [39] im Auftrag des bayerischen StMLU durchgeführt worden. Einige Einrichtungen mit erhöhten Radonwerten wurden detaillierter untersucht. Bei den Untersuchungen wurde die Radonzerfallsproduktkonzentration in der Einheit WL (working level) bestimmt. Dabei entspricht 1 WL einer gleichgewichtsäquivalenten Radonkonzentration von $3\,700\text{ Bq m}^{-3}$ (EEC). Bei einem mittleren Gleichgewichtsfaktor von 0,4, der laut Strahlenschutzverordnung [2] in der Regel anzunehmen ist, entspricht dies einer Radonkonzentration von $9\,250\text{ Bq m}^{-3}$. Die in Ref. [39] genannte Obergrenze des Normalbereichs der Jahresexposition von $0,1\text{ WL} \times 2\,000\text{ Stunden}$ entspricht demnach etwa dem Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} [2]. Die Exposition der Mitarbeiter wurde durch die Multiplikation der gemittelten

Zerfallsproduktkonzentration mit der durchschnittliche Aufenthaltszeit in der Einrichtung berechnet. Dabei blieb unberücksichtigt, dass die Aufenthaltszeit des Personal an unterschiedlich stark belasteten Orten stark variierte. Auf Grundlage der so ermittelten Exposition wurden einigen Einrichtungen Maßnahmen in Form von Arbeitszeitbeschränkung der Mitarbeiter und/oder besserer Bewetterung (= Belüftung) empfohlen. Reduktionsmaßnahmen (im Wesentlichen eine Verbesserung der Bewetterung) sind in untertägigen Bergwerken, Schächten und Höhlen sowie Besucherbergwerken, im Gegensatz zu Wasserversorgungsunternehmen, jedoch nur mit erheblichem technischen und finanziellen Aufwand möglich.

Tabelle 9.1.: Untertägige Bergwerke, Schächte, Höhlen und Besucherbergwerke in Bayern.

Nummer: ABW – aktives Bergwerk, BBW – Besucherbergwerk, H – Höhle. Status: i.A. – in Arbeit, ex.n. – existiert nicht mehr, < 2 – Jahresexposition unter 2 MBq h m^{-3} , k.R. – keine Rückmeldung, Ü. – Jahresexposition muss kontinuierlich überwacht werden. In Spalte 3 bedeuten: LfU – Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Sch – Dr. Schmitz [39], eigen – Messungen von Einrichtung veranlasst. Bei den in Ref. [39] untersuchten Anlagen sind die aktuellen Ergebnissen dieses Berichts in Spalte 4 aufgeführt. Sie sind bereits in eine Radonkonzentration (a_{Rn}) umgerechnet. Die Abkürzungen in Spalte 5 bedeuten: E – Erhebungsmessung, D – Detailmessung, P – personengebundene Messung, T – technische Auflagen (= verbesserte Bewetterung) und A – Aufenthaltszeitbeschränkung.

Nummer	Status	Messung durch	a_{Rn} [Bq m ⁻³]	[39]
BBW01	Ü.	Sch, LfU	37 000	E T A
BBW02	ex.n.	Sch	11 000	E
ABW03	i.A.	Sch, LfU	1 000	E D P T A
ABW04	i.A.	Sch, LfU	100	E
BBW05	i.A.	Sch, LfU	300	E
BBW06	ex.n.	Sch	5 900	E

Nummer	Status	Messung durch	a_{Rn} [Bq m ⁻³]	[39]
ABW07	ex.n.	Sch	1 300	E
BBW08	< 2	Sch	11 000	E T A
BBW09	< 2	Sch	4 700	E A
BBW10	< 2	Sch	250	E
ABW11	< 2	Sch	1 100	E
H12	< 2	LfU		
H13	< 2	LfU		
H14	< 2	Sch	150	E
H15	< 2	Sch	1 400	E D A
H16	k.R.	Sch	500	E
H17	k.R.			
H18	i.A.	Sch	1 300	E D A
H19	< 2	Sch, LfU	900	E
H20	< 2	Sch, LfU	900	E
H21	ex.n.	Sch	8 500	E D T A
ABW/BBW22	i.A.	Sch, LfU, eigen	2 700	E P
H23	ex.n.	-		
BBW24	< 2	Sch	40	E
BBW25	k.R.	Sch	16 000	E T A
BBW26	k.R.	Sch	500	E P T
ABW27	ex.n.	Sch	5 200	E
BBW28	k.R.			
ABW29	k.R.	Sch	1 300	E D A
BBW30	k.R.	Sch	4 400	E D A
BBW31	i.A.	LfU		
BBW32	< 2	Sch	< 400	E
BBW33	< 2	LfU		

Nummer	Status	Messung durch	a_{Rn} [Bq m ⁻³]	[39]
ABW/BBW34	i.A.	Sch, LfU	1 800	E
H35	< 2	Sch	< 400	E
H36	< 2	Sch	< 400	E
H37	i.A.	Sch, LfU	1 500	E D A
ABW38	i.A.	Sch, LfU	1 300	E D T

Alle genannten Einrichtungen wurden durch ein Schreiben über die novellierte Strahlenschutzverordnung informiert. Gleichzeitig wurde mit einem Fragebogen um Auskunft nach dem derzeitigen Status (in Betrieb, stillgelegt oder geplant) und nach den Betriebsabläufen und Aufenthaltszeiten gebeten. Die Spanne der Aufenthaltszeiten „unter Tage“ reicht von 8 Stunden bis zu 1 500 Stunden pro Person und Jahr.

In den Einrichtungen mit kurzen Aufenthaltszeiten und einer geringen Radonkonzentration nach Ref. [39] wurde die Jahresexposition nach der Formel: Jahresexposition = maximal gemessene Radonkonzentration \times Aufenthaltszeit errechnet. An Einrichtungen mit höheren Radonkonzentrationen [39] und an Einrichtungen, die in Ref. [39] nicht untersucht wurden, wurden ortsgebundene Exposimeter und in einem Fall (H37, Radonkonzentration bis zu 5 400 Bq m⁻³) auch personengebundene Exposimeter versandt. Nach Auswertung der ortsgebundenen Exposimeter wurde die Jahresexposition wie oben beschrieben berechnet. Die personengebundene Messung musste wegen eines Materialfehlers wiederholt werden, das Ergebnis liegt noch nicht vor.

Vom Betreiber eines Bergwerks (ABW/BBW22) wurde ein von einem Gutachter angefertigter Bericht über die Radonexposition übersandt. Dabei wurden gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentrationen von bis zu 900 Bq m⁻³ (Rn-EEC, entspricht einer Radongaskonzentration von 2475 Bq m⁻³) gemessen. Es wurde auch die Exposition der unter Tage beschäftigten Mitarbeiter seit 1990 kontinuierlich erfasst. Die Jahresexposition betrug zwischen 2 und 3,5 MBq h m⁻³.

Die kontinuierliche Überwachung wird wie bei Wasserversorgungsunternehmen durchgeführt und fortgesetzt.

In einem anderen Bergwerk (ABW/BBW34) wurden im Rahmen des Untersuchungsvorhabens Messungen mit Kernspurdetektoren und zeitauflösenden Messgeräten an 27 verschiedenen Orten unter Tage durchgeführt. Die Radonkonzentration betrug zwischen 200 und 4 900 Bq m⁻³. Von drei verschiedenen Personen wurden auch personengebundene Exposimeter getragen. Die Ergebnisse sind in Tab. 9.2 wiedergegeben. Person 3 hält sich dabei im Durchschnitt 2,5 mal so lange unter Tage auf wie Person 1 oder Person 2. Vom Betreiber des Bergwerks werden derzeit Maßnahmen zur besseren Bewetterung geprüft, um die Radonkonzentration und damit auch die Exposition der Beschäftigten zu senken.

Tabelle 9.2.: *Hochgerechnete Jahresexposition der Beschäftigten im Untertagebetrieb ABW/BBW34.*

Person	hochgerechnete Jahresexposition [MBq h m ⁻³]		
	04 – 06/03	09 – 11/03	04 – 07/04
Person 1	0,6	0,5	0,7
Person 2	0,8	< 0,7	0,5
Person 3	1,9	1,9	1,4

9.2. Radonheilbäder

In Bayern gibt es zwei Radonheilbäder (REx-Nummer 9904 und 9908). Beide liegen im Fichtelgebirge auf granitischem Untergrund.

Im Radonheilbad 9904 wurden im Rahmen des Untersuchungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ (s. Ref. [3]) bereits einige Messungen mit Kernspurdetektoren durchgeführt. Nur im Mineralbad lag die Radonkonzentration mit 1 700 Bq m⁻³

so hoch, dass bei einer Aufenthaltszeit von 2000 Stunden im Jahr mit einer Überschreitung des Eingreifwerts von 2 MBq h m^{-3} gerechnet werden muss. Weitere Messungen ergaben Radonkonzentrationen im Bereich von 300 Bq m^{-3} im Badehaus, bis $1\,300 \text{ Bq m}^{-3}$ im Keller und $3\,100 \text{ Bq m}^{-3}$ am Brunnen. Zur genauen Erfassung der Radonexposition ohne Abschätzung der Aufenthaltszeiten an den verschiedenen Orten wurden von einigen Beschäftigten, die repräsentativ für die verschiedenen Arbeitsfelder ausgewählt wurden, in einem Zeitraum von drei Monaten personengebundene Exposimeter getragen. Es ergab sich eine hochgerechnete Jahresexposition von $< 0,3 \text{ MBq h m}^{-3}$, $0,3 \text{ MBq h m}^{-3}$ und $0,5 \text{ MBq h m}^{-3}$ für den jeweiligen Beschäftigten. Der Aufenthalt in den Räumen des Heilbades führt für die Beschäftigten dank guter Lüftungsverhältnisse und geringer Aufenthaltszeiten in Räumen mit höherer Radonkonzentration nur zu einer geringen Strahlenbelastung unterhalb des Eingreifwerts.

Im Radonheilbad 9908 wurden im Auftrag des Betreibers von einem Gutachter Radonmessungen durchgeführt, die in einem Bericht zusammengefasst sind. Dieser wurde dem LfU vom Betreiber übersandt. Im Radonheilbad wurden erste Messungen in den Jahren 1996 und 1997 vorgenommen. Im Jahr 2001 wurden Messungen unter dem Aspekt der Forderungen der novellierten Strahlenschutzverordnung [2] an einer Reihe von Arbeitsplätzen durchgeführt und im Jahr 2002 durch eine Überprüfungsmessung ergänzt. Das Radonheilbad besteht aus den Gebäudekomplexen A und B + C. In Bau A befinden sich alle für die medizinische Kohlendioxid- und Radonanwendung notwendigen technischen und therapeutischen Einrichtungen sowie unter anderem die Physiotherapie und die Fangoanwendung. Der Bau B beinhaltet das große Bewegungsbad mit Dampfgrotte, den Umkleidebereich, die Verwaltung und die konventionelle Badewassertechnik. Der Praxisbereich des Arztes und ein Restaurant sind ebenfalls in Bau B untergebracht. Im Anschluss an das große Bewegungsbad befindet sich in Bau C der Badetempel. Bau B + C sind dabei räumlich und lüftungstechnisch von Bau A getrennt. Messungen ergaben Werte von weniger als 150 Bq m^{-3} in Bau B + C. In Bau A wurden Messungen in den verschiedenen Stockwerken durchgeführt. In den Radonkabinen im Obergeschoß wurde eine Radonkonzentration von im Mittel $300 - 400 \text{ Bq m}^{-3}$ gemessen. Tagsüber liegt die Radonkonzentration jedoch deutlich niedriger, da die Lüftung nur tagsüber betrieben wird. Der

Gleichgewichtsfaktor F liegt hier mit 0,2 erwartungsgemäß auch niedriger als im allgemeinen Mittel. Die im Erdgeschoss (physiotherapeutische Maßnahmen) ermittelte Radonkonzentration von 30 Bq m^{-3} weist auf eine sehr effektive Belüftung dieses Arbeitsbereichs hin. Erhöhte Werte der Radonkonzentration fanden sich im Keller mit im Mittel bis zu $1\,140 \text{ Bq m}^{-3}$. Hier laufen die Kellerentwässerung und vor allem der Überlauf des kontinuierlich geförderten Heilwassers in einem Pumpensumpf zusammen. Nachts steigt die Radonkonzentration dann bis auf $3\,000 \text{ Bq m}^{-3}$ an, nach Einsetzen der Hauptlüftung fällt die Radonkonzentration auf tagsüber ca. $100 - 200 \text{ Bq m}^{-3}$. Die Berechnungen der Exposition für die Beschäftigten in Bau A aus Aufenthaltszeit mal Konzentration am Aufenthaltsort ergab für die verschiedenen Personengruppen die in Tab. 9.3 gezeigten Werte. Diese liegen weit unter dem Eingreifwert

Tabelle 9.3.: *Jahresexposition der verschiedenen Personengruppen, die im Radonheilbad 9908 in Bau A beschäftigt sind.*

Personengruppe	Jahresexposition [MBq h m^{-3}]
Techniker	$\leq 0,34$
Badehelfer	$\leq 0,22$
med. Bademeister	$\leq 0,03$
Physiotherapeut	$\leq 0,02$

von 2 MBq h m^{-3} . Für das Personal sind außer den Strahlenschutzmaßnahmen auf der Grundlage von Vorschriften des allgemeinen Arbeitsschutzes (§ 95 (12) StrlSchV [2]) keine weiteren Strahlenschutzmaßnahmen notwendig. Im Sinne dosisreduzierender Maßnahmen wurden bisher schon einige Verbesserungen durchgeführt. So wurde z.B. die Trennung der Abwasserbehandlung in inaktiv/aktiv vorgenommen. Des weiteren wurde das Belüftungsverfahren in Bau A verändert. Nicht zuletzt wird das Personal vermehrt flexibel zwischen dem Radonbereich und dem übrigen Kur- und Wellnessbereich eingesetzt.

10. Fremdfirmen

Nach § 95 der Strahlenschutzverordnung [2] muss auch dann eine Abschätzung der Jahresexposition vorgenommen werden, wenn die Arbeiten in fremden Betriebsstätten durchgeführt werden. Beträgt die ermittelte Jahresexposition mehr als 2 MBq h m^{-3} , so muss ein bei der zuständigen Behörde registrierter Strahlenpass angefordert und geführt werden. Der Strahlenpass nach § 40 StrlSchV ist inzwischen durch eine Änderung der AVV Strahlenpass (allgemeine Verwaltungsvorschrift Strahlenpass) so umgestaltet worden, dass er auch bei Arbeiten nach Teil 3 der Strahlenschutzverordnung benutzt werden kann.

Um diese „Fremdfirmen“ zu ermitteln, wurden diejenigen Wasserversorgungsunternehmen, deren Hochbehälter von externem Personal gereinigt werden, nach dem Namen dieser Fremdfirma befragt.

Es stellte sich heraus, dass in Bayern zwei Firmen (FF 1 und FF 2) existieren, die auf solche Reinigungen spezialisiert sind und deren Personal sich lange Zeit in verschiedenen Hochbehältern aufhält. Da jedoch im Verlauf des Jahres bei unterschiedlichsten Wasserversorgungsunternehmen gereinigt wird, kann eine personengebundene Messung über drei Monate, wie es bei den Wasserversorgungsunternehmen praktiziert wurde, nicht als repräsentativ angesehen werden. Deshalb wurde die Jahresexposition des Personals durch Tragen von personengebundenen Exposimetern bei allen Arbeiten in Wasserversorgungsanlagen über einen Zeitraum von einem Jahr bestimmt. Die Exposimeter wurden dabei alle zwei Monate ausgetauscht.

Das Personal der FF 1 besteht aus 10 Beschäftigten. Alle wurden vor Ort über die Radonproblematik und die durchzuführenden Messungen informiert. Die Messungen wurden jedoch nicht

zuverlässig ausgeführt, so dass keine verwertbaren Ergebnisse erzielt wurden. Die Fremdfirma wurde wiederholt aufgefordert, die Messungen für alle Beschäftigten durchzuführen. Von der Fremdfirma wurde inzwischen mitgeteilt, dass die Messungen zum 4. Quartal 2004 begonnen wurden. Ergebnisse liegen deshalb noch nicht vor.

Das Personal der FF 2 besteht aus 2 Beschäftigten. Die maximale Exposition während eines Zwei-Monats-Zeitraums betrug $0,05 \text{ MBq h m}^{-3}$. Die Jahresexposition beider Mitarbeiter betrug jeweils weniger als $0,3 \text{ MBq h m}^{-3}$ und lag damit unterhalb des Eingreifwerts von 2 MBq h m^{-3} . Da sich jedoch im Verlauf der Jahre die Auftragslage und damit auch die Orte verändern, an denen Hochbehälter gereinigt werden, wurde der Fremdfirma empfohlen, die Exposition weiterhin zu bestimmen. Das hierzu erstellte Formblatt ist in Anhang G abgedruckt. Ist abzusehen, dass die Exposition den Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} im Jahr überschreiten wird, so muss ein Strahlenpass geführt und die Exposition mit personengebundenen Exposimetern kontinuierlich, analog zu den Wasserversorgungsunternehmen, ermittelt werden.

11. Uran und Radium im Trinkwasser

11.1. Anlass und Ziel der Untersuchung

Bei Trinkwasseruntersuchungen in Nordbayern durch die Gesundheitsverwaltung wurden in den vergangenen Jahren teilweise erhöhte Urankonzentrationen festgestellt. Die gemessenen Urangelhalte lagen in einer Größenordnung, die zu keiner signifikanten Strahlenbelastung der Bevölkerung führen. Allerdings entstehen aus dem Uran durch Zerfall weitere radioaktive Elemente, über deren Vorkommen und Größenordnung in den bayerischen Trinkwässern noch wenig bekannt ist.

Die Untersuchung sollte daher insbesondere zu folgenden Fragestellungen Aufschluss geben:

- Wie hoch ist die Dosisbelastung durch den Konsum bayerischer Trinkwässer?
- Wie ist die Radionuklidverteilung in bayerischen Trinkwässern?
- Ist eine Vorhersage über die Radionuklidverteilung und Aktivitätskonzentration anhand des geologischen Untergrunds möglich?
- Welchen Einfluss hat die Trinkwasseraufbereitung auf die Radionuklidgehalte?

Aktuelle Bedeutung gewann diese Thematik mit der Novellierung der Trinkwasserverordnung (TrinkwV [40]) vom 21.05.2001. Darin wurden für die Radioaktivität Überwachungswerte für die Parameter Tritium (100 Bq l^{-1}) und Gesamtrichtdosis ($0,1 \text{ mSv a}^{-1}$) festgelegt. Hinter dem

Parameter „Gesamtrichtdosis“ verbirgt sich eine Rechengröße, die aus der Summe der Produkte der jeweiligen Aktivitätskonzentration mit einem für dieses Radionuklid festgelegten Dosisfaktor und dem jährlichen Trinkwasserkonsum besteht. Für die Ermittlung der Gesamtrichtdosis sind daher diejenigen Radionuklide aufzufinden, die im Trinkwasser tatsächlich vorkommen. Die Bestimmung dieser Radionuklide ist jedoch analytisch sehr zeit- und personalaufwändig. Bei der Festlegung einer Überwachungsstrategie steht daher eine Minimierung des Messaufwands im Vordergrund. In der Diskussion für die Überwachung der Gesamtrichtdosis stehen deshalb als erster Schritt Screening-Messungen der Gesamt- α - und der Gesamt- β -Aktivitätskonzentration. Daneben können auch andere zuverlässige Prüfmethode verwendet werden [41].

11.2. Probenahmeorte

Bei der Auswahl der Probenahmeorte wurden Regionen bevorzugt, in welchen erhöhte Urangehalte durch Untersuchungen der Trinkwasserüberwachung festgestellt worden waren [42]. Aus Region 3 und 4 gemäß Abb. 11.1 wurden daher vier Probenahmeorte und aus Region 5 drei Probenahmeorte ausgewählt, da in dieser granitisch geprägten Gegend mit erhöhten Radioaktivitätsgehalten gerechnet werden kann. Die übrigen Probenahmestellen lagen in den Regionen 2, 7, 8 und 9. Zur Zuordnung der Messwerte zu verschiedenen geologischen Gebieten musste die Einteilung Bayerns in Regionen mit in sich ähnlichem Radonpotential (Abb. 4.1 auf Seite 23) etwas verfeinert werden [43]. Die Regionennummern in diesem Kapitel beziehen sich deshalb auf Abb. 11.1.

In der Zeit von Juli bis Oktober 2002 wurden bei insgesamt 12 Wasserversorgungsunternehmen jeweils eine 100 l Rohwasser- und eine 100 l Reinwasserprobe entnommen. Die Anzahl der genutzten Trinkwasserbrunnen und -quellen liegt jedoch je nach Wasserversorgungsunternehmen zwischen 2 und 50, so dass für eine endgültige Bewertung der Strahlenexposition durch den Trinkwasserkonsum ggf. weitere Messungen erforderlich sind. Die Untersuchung von Roh-

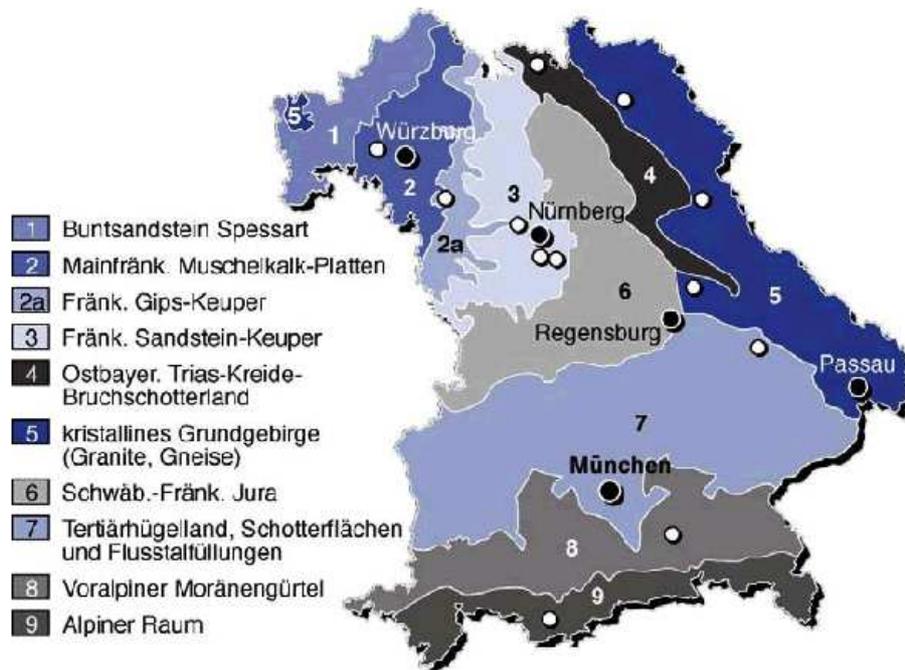


Abbildung 11.1.: Einteilung Bayerns in 10 Regionen mit ähnlicher geologischer Struktur und Grundwasserleiter, ○ – Lage der Probenahmeorte.

und Reinwasserproben derselben Wassergewinnungsanlage soll Aufschluss über den Einfluss der Trinkwasseraufbereitung geben.

11.3. Messmethoden und Ergebnisse

Die Messung der Radionuklidgehalte erfolgte mittels Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) und Gamma-Spektrometrie. In Tab. 11.1 ist eine Übersicht über die beiden Methoden gegeben. In Tab. 11.2 sind alle Ergebnisse der untersuchten Roh- und Reinwässer der zwölf beprobten Wasserversorgungsunternehmen zusammengefasst. Die Minimal- und Maximalgehalte der Radionuklide in den untersuchten Proben liegen alle in dem Bereich, der bisher für Trinkwasser in Deutschland ermittelt wurde [44]. Eine detaillierte Auflistung nach Wasserversorgungsunternehmen ist in Tab. H.1 in Anhang H dargestellt. Jeder Probe wurde dazu eine Nummer zugeordnet. Die erste Ziffer dieser Zahl entspricht der Nummer der Region in Abb. 11.1.

Tabelle 11.1.: *Kenndaten der verwendeten Messmethoden. Err. NG – Erreichbare Nachweisgrenze.*

Methode	Probenmenge/ -vorbereitung	Nachweisbare Nuklide	Err. NG [mBq l ⁻¹]	Vorteile und Nachteile
ICP-MS	100 ml	U-238	1,2	+ keine Probenvorbereitung
	keine	Th-232	0,02	+ sehr gute Nachweisgrenzen – weitere Radionuklide sind nicht messbar
Gamma- Spektrometrie	100 l Eindampfen am Rotations- verdampfer	Th-234	10	+ mit einer Messung sind
		Ra-226	16	mehrere Radionuklide
		Pb-210	13	nachweisbar
		U-235	4	– große Probenmenge
		Ra-228 (über Ac-228)	3	erforderlich
		Th-228 (über Pb-212)	1,4	– aufwändige Proben- vorbereitung
Ra-224 (über Pb-212)	1,4			

Tabelle 11.2.: Zusammenfassung der Messergebnisse der Aktivitätskonzentration für die einzelnen Radionuklide. Literaturwerte aus Ref. [44].

Nuklid	Aktivitätskonzentration [mBq l ⁻¹]				
	Mittelwert	Median	Min.	Max.	Literaturwerte
U-238	81	29	10	376	< 0,1 – 500
Th-228	1,2	0,5	0,2	4,4	< 0,2 – 20
Th-232	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,04	< 0,1 – 4
Th-234	69	34	< 4,8	270	k.A.
Ra-226	36	12	< 2	330	< 0,4 – 300
Ra-228	24	9,7	1	108	< 4 – 130
Pb-210	13	9	3	32	< 0,2 – 200
Rn-222	18 000	10 000	< 2 000	97 000	< 1 000 – 1 500 000

11.4. Bewertung der Messergebnisse

11.4.1. Dosisberechnung

Ein Ziel dieser Messungen war die Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Trinkwasserkonsum unter Berücksichtigung aller tatsächlich vorkommenden dosisrelevanten Radionuklide. Für die gesundheitliche Bewertung des Trinkwassers wurde eine Dosisberechnung durchgeführt, da sich die verschiedenen Radionuklide in ihrer radiologischen Wirkung unterscheiden und die gemessenen Aktivitätskonzentrationen nicht direkt miteinander verglichen werden können. Die Strahlenexposition, die die Bevölkerung durch die Aufnahme der im Trinkwasser vorhandenen Radionuklide erfährt, entspricht der Summe der Produkte der jeweiligen Aktivitätskonzentration mit einem für dieses Radionuklid festgelegten Dosisfaktor und dem jährlichen Trinkwasserkonsum. Für die untersuchten Reinwasserproben bzw. Rohwasserproben bei den Wasserversorgungsunternehmen, von denen keine Reinwasserpro-

ben vorhanden waren, wurde die Dosisberechnung unter Berücksichtigung der Verzehrmenüen (350 l a^{-1}) und mit den Dosisfaktoren für den Erwachsenen nach der novellierten Strahlenschutzverordnung [2] durchgeführt. Berücksichtigt wurden hierbei nur die dosisrelevanten Nuklide U-238, U-234, Ra-226 und Ra-228. Aus Ref. [45] und von eigenen Messungen ist bekannt, dass die U-234-Aktivitätskonzentration in Grundwässern im Durchschnitt um etwa 1,6 mal höher liegt als die des U-238. Die Gehalte der drei Thoriumisotope Th-228, Th-230 und Th-232 lagen unterhalb der Nachweisgrenze und mussten daher für die Dosisberechnung nicht berücksichtigt werden.

Der zukünftig einzuhaltende Dosisrichtwert der Trinkwasserverordnung von $0,1 \text{ mSv a}^{-1}$ wird in allen untersuchten Proben eingehalten. Die beiden Radiumisotope Ra-226 und Ra-228 sind in der Regel dosisdominierend, ihre Dosisbeiträge lagen bei maximal $0,031$ bzw. $0,014 \text{ mSv a}^{-1}$. Für U-238 ergab sich ein Beitrag von bis zu $0,006 \text{ mSv a}^{-1}$, für U-234 von bis zu $0,010 \text{ mSv a}^{-1}$. Obwohl der Dosisrichtwert der Trinkwasserverordnung nicht für Radon und seine Zerfallsprodukte gilt, wurde auch die Dosis durch Pb-210 und Po-210 ermittelt. Der durch Pb-210 verursachte Dosisbeitrag lag bei höchstens $0,007 \text{ mSv a}^{-1}$. Für die Bestimmung von Po-210 steht zwar derzeit keine Messmethode zur Verfügung, die Aktivitätskonzentration kann aber über das Mutternuklid Pb-210 abgeschätzt werden. In der Regel ist die Aktivitätskonzentration von Po-210 niedriger als die von Pb-210. Deshalb wurde konservativ von der gleichen Aktivitätskonzentration wie Pb-210 ausgegangen. Damit lag der Po-210-Anteil an der Dosis bei maximal $0,012 \text{ mSv a}^{-1}$. Die Einzelergebnisse der Dosisberechnung sind für jede Reinwasserprobe bzw. Rohwasserprobe bei den Wasserversorgungsunternehmen, von denen keine Reinwasserproben vorhanden waren, in Tab. 11.3 wiedergegeben. Grundlage hierfür sind die Daten aus Tab. H.1 in Anhang H.

Tabelle 11.3.: Dosisberechnung für den Erwachsenen. Der Richtwert für die Bevölkerung beträgt $0,1 \text{ mSv a}^{-1}$.

Nr.	Dosis [mSv a^{-1}]					
	U-238	U-234	Ra-226	Ra-228	Summe	Pb-210
2	0,0002	0,00035	< 0,0004	0,0004	0,00095	0,0015
2	0,0004	0,0008	< 0,0001	0,0009	0,0021	0,0072
2a	0,0016	0,0029	< 0,0005	0,0017	0,0062	0,0015
31	0,0018	0,0032	0,0012	0,0023	0,0085	0,0022
31	0,0012	0,0021	< 0,001	0,0017	0,005	0,007
32	0,0032	0,0056	< 0,002	0,0046	0,0134	0,0055
33	0,0005	0,0009	0,0012	0,0043	0,0069	0,0007
4	0,0059	0,0103	0,0313	0,0137	0,0612	0,0048
51	0,0004	0,0007	0,0044	0,0111	0,0166	0,0024
52	0,0001	0,00016	0,0051	0,0113	0,0166	0,0041
53	0,0001	0,0003	< 0,0004	0,00026	0,00066	0,0021
7	0,0001	0,0003	0,0015	0,0031	0,005	0,0009
7	0,0008	0,0015	< 0,0003	0,0017	0,004	0,0007
8	0,0027	0,0047	< 0,0009	0,0029	0,0103	0,0051
8	0,00001	0,00003	< 0,0007	0,0014	0,00144	0,0014
9	0,00025	0,00044	< 0,0003	0,0003	0,00099	0,001

11.4.2. Nuklidverteilung im Rohwasser

Ein weiteres Ziel der Untersuchungen war es, Informationen über Zusammenhänge wie geologischer Untergrund und Vorhandensein von Radionukliden zu gewinnen.

Der Einfluss des geologischen Untergrunds auf das Vorkommen von Radionukliden im Trink-

wasser wurde nur in den Rohwässern untersucht, da durch die Trinkwasseraufbereitung Veränderungen der Aktivitätskonzentrationen der verschiedenen Radionuklide auftreten können.

Abb. 11.2 zeigt die Verteilung der Radionuklide U-238, Ra-226, Ra-228 und Pb-210 für jedes untersuchte Rohwasser, s. auch Tab. H.1.

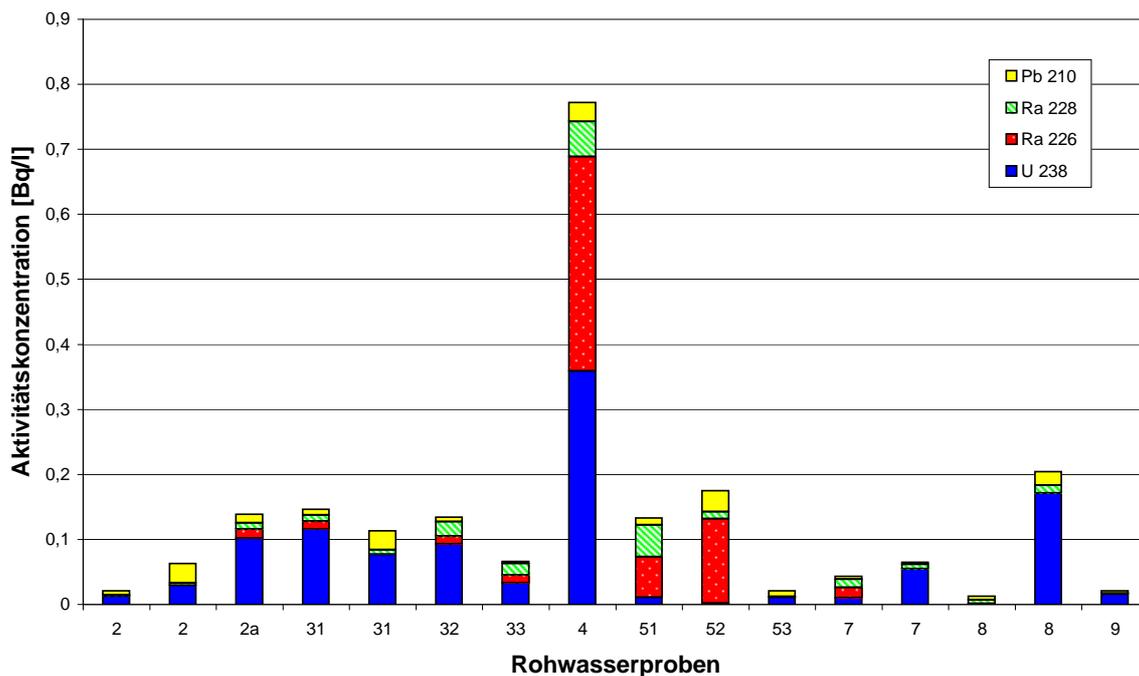


Abbildung 11.2.: Nuklidverteilung im Rohwasser.

Die vorliegenden Ergebnisse geben auf Grund ihrer geringen Anzahl noch keinen bayernweiten Überblick, einige Sachverhalte zeichnen sich aber dennoch schon ab:

- Aus dem U-238-Gehalt ist keine Vorhersage auf das Vorkommen und die Aktivitätskonzentration der Tochternuklide Ra-226 und Pb-210 möglich.
- Auch bei Abwesenheit von U-238 können hohe Radiumkonzentrationen auftreten.
- Die beiden Radiumisotope Ra-226 und Ra-228 korrelieren sehr gut und liegen in ihrer Aktivitätskonzentration etwa in der gleichen Größenordnung.

- Die Thoriumisotope müssen für die Dosisbetrachtung nicht berücksichtigt werden, da Th-228, Th-230 und Th-232 auf Grund ihrer schweren Löslichkeit nicht nachweisbar waren.
- Die analysierten Urangelhalte der Proben aus der Region 3 – Fränkischer Sandsteinkeuper – schwanken zwischen 0,033 und 0,206 Bq l⁻¹, im Allgemeinen können in diesem Gebiet Uranwerte bis zu 0,3 Bq l⁻¹ erwartet werden. Die Radiumisotope Ra-226 wurden in diesem Bereich von 0,012 bis 0,022 Bq l⁻¹ analysiert, Ra-228 lag in einer ähnlichen Größenordnung zwischen 0,007 und 0,039 Bq l⁻¹.
- In Region 4 wurde eine Probe untersucht, die sowohl einen sehr hohen Uran-238- als auch Ra-226-Gehalt aufwies. Die Ra-228-Aktivitätskonzentration betrug mit 0,054 Bq l⁻¹ nur 1/6 der Ra-226-Aktivitätskonzentration (0,33 Bq l⁻¹). In dieser geologischen Formation sind erhöhte Urangelhalte zu erwarten. Wie die Verteilung der Tochternuklide in der Regel aussieht, müssen weitere Untersuchungen zeigen. Um die vergleichsweise hohe Aktivitätskonzentration von Uran zu senken, wird in diesem Wasserversorgungsunternehmen bereits ein kleintechnischer Versuch zur Uranentfernung mittels Ionenaustauscher im Rahmen des Forschungsvorhabens „Verfahrenstechnische Untersuchungen zur optimalen großtechnischen Nutzung des starken Anionenaustauscherharzes S6368 zur Uranentfernung in bayerischen Wasserwerken“ des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft durchgeführt.
- Im kristallinen Grundgebirge (granitisch geprägte Region 5) wurden im Trinkwasser keine oder nur sehr geringe Urankonzentrationen nachgewiesen. Hier würde man auf Grund der erhöhten Urankonzentrationen in den Untergrundgesteinen erhöhte Urangelhalte im Trinkwasser erwarten. Umfangreichen Urananalysen des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft bestätigen jedoch, dass im kristallinen Grundgebirge generell mit geringen Urankonzentrationen gerechnet werden kann, da das Uran hier in schwerlöslichen Verbindungen vorliegt. Trotzdem muss nach den bisher vorliegenden Ergebnissen des Untersuchungsprogramms mit dem Auftreten anderer natürlicher Radionuklide (z.B. Ra-226 und Ra-228) gerechnet werden.

- Die zwei Proben aus Region 7 und 9 zeigen keine Auffälligkeiten bezüglich ihrer Radioaktivitätskonzentrationen. Die Urangehalte lagen mit etwa $0,01 - 0,05 \text{ Bq l}^{-1}$ vergleichsweise niedrig, die übrigen Radionuklidgehalte wurden maximal mit $0,012 \text{ Bq l}^{-1}$ bestimmt.
- Die beiden Proben der Region 8 zeigen, dass auch am gleichen Standort ausgeprägte Unterschiede auftreten können. Im Bereich der voralpinen Moränengürtel zeichnen sich Regionen mit erhöhten Urangehalten ab, wenn Sedimente und Böden im Einzugsgebiet erhöhte organische Substanzen enthalten.

Die ersten Ergebnisse deuten demnach darauf hin, dass den verschiedenen hydrogeologischen Regionen Bayerns auch unterschiedliche Radionuklidzusammensetzungen im Trinkwasser zugeordnet werden können. Dieser Befund muss allerdings noch durch weitere Analysendaten bestätigt werden. Dafür könnten z.B. auch Analyseergebnisse der Wasserversorger oder beauftragter Ingenieurbüros in einem gemeinsamen Datenpool zusammengeführt werden.

11.4.3. Einfluss der Trinkwasseraufbereitung

Mit der Untersuchung von Roh- und Reinwasserproben derselben Wassergewinnungsanlage sollte ein möglicher Einfluss der Wasseraufbereitung auf die Radioaktivitätskonzentration untersucht werden. Bei fünf Wasserversorgungsunternehmen konnten die Roh- und Reinwasserproben direkt miteinander verglichen werden. Bei den anderen Anlagen bestand das Reinwasser z.B. aus einer Mischung mehrerer Brunnen oder es gab keine Aufbereitung.

Häufige Aufbereitungsverfahren sind die Entfernung von Eisen und Mangan mit anschließender Filtration (WVU 2a, 32, 4 und 51; WVU 53: Entsäuerung). Der Dekontaminationseffekt ist im allgemeinen jedoch eher gering [46]. In Abb. 11.3 sind die analysierten Nuklidgehalte im Rohwasser und im aufbereiteten Reinwasser gegenübergestellt. Ein deutlicher Dekontaminationseffekt ist auch bei diesen Proben nicht festzustellen. Die Gehalte der beiden Radiumisotope und des Pb-210 sind nach der Aufbereitung nur geringfügig niedriger. Bei Uran ist in

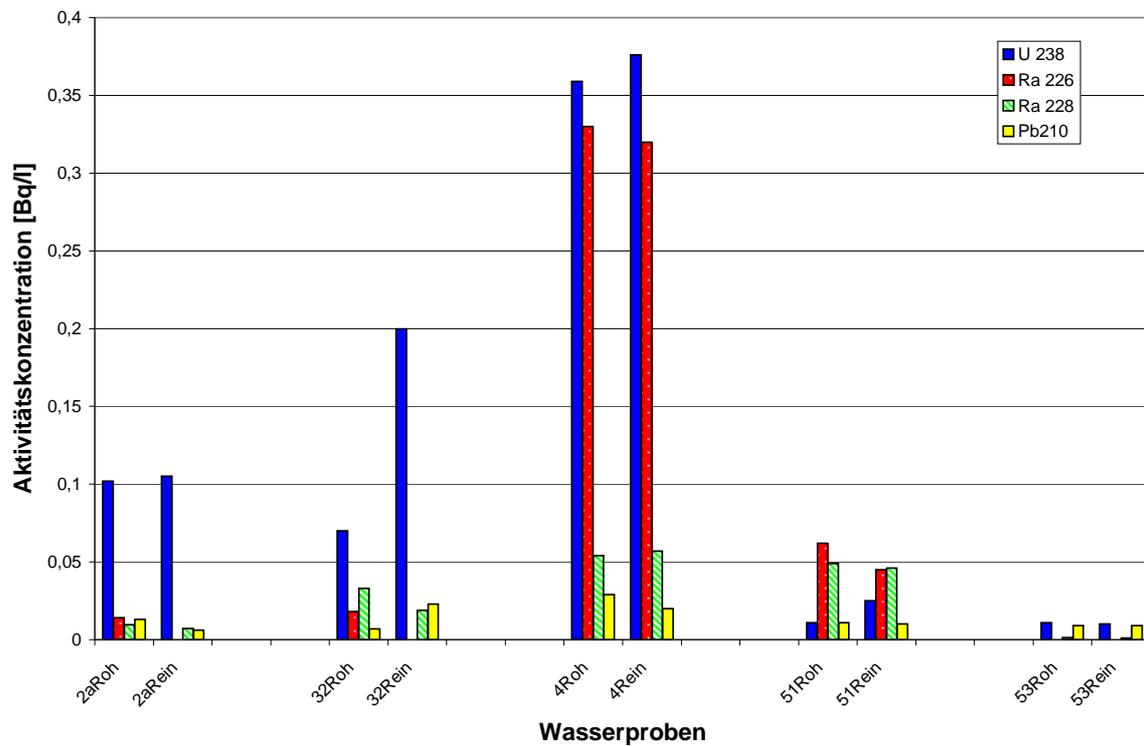


Abbildung 11.3.: Einfluss der Aufbereitung auf die Nuklidgehalte.

vier von fünf untersuchten Roh-/Reinwasserproben ein leichter Anstieg der Urankonzentration nach der Aufbereitung festzustellen. Im Fall des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 32 lag die Urankonzentration im Reinwasser allerdings in etwa doppelt so hoch wie im Rohwasser. Der Betreiber geht diesem Phänomen zwar nach, eine Erklärung ist jedoch noch nicht bekannt.

11.5. Vergleich der Summenparameter Gesamt- α - und Gesamt- β -Aktivität mit den Ergebnissen der Einzelnuklidmessungen

11.5.1. Problemstellung

Nach der EU-Richtlinie 98/83 [47] ist für die Trinkwasserüberwachung die Bestimmung der Gesamt- α - und Gesamt- β -Aktivität als Screeningmessung ausreichend, wenn ein Schwellenwert von $0,1 \text{ Bq l}^{-1}$ für die Gesamt- α -Aktivität und ein Schwellenwert von 1 Bq l^{-1} für die Gesamt- β -Aktivität nicht überschritten wird. Wird einer dieser Schwellenwerte überschritten, so wird eine Einzelnuklidanalyse zur Bestimmung der Dosis nötig.

Zu den jeweiligen Einzelnuklidanalysen wurden deshalb in den untersuchten Trinkwasserproben auch die Gesamt- α - und Gesamt- β -Gehalte bestimmt und miteinander verglichen. Da nicht alle Radionuklide der Zerfallsreihen mit den derzeit zur Verfügung stehenden Messmethoden direkt bestimmt werden konnten, ist in Tab. H.2 und Tab. H.3 in Anhang H zusammengestellt, wie die Summe der Einzelnuklidanteile berechnet wurde.

11.5.2. Gesamt- α -Aktivität

Die Bestimmung der Gesamt- α -Aktivität (keine energieabhängige Kalibrierung, Selbstabsorption) liefert erfahrungsgemäß relativ stark streuende Messergebnisse (siehe Ringversuche des BfS). Bei den untersuchten Wasserproben stimmt in über der Hälfte der Ergebnisse die Gesamt- α -Aktivitätskonzentration vergleichsweise gut mit der berechneten Summe der vorhandenen α -Strahler (Tab. H.2) überein, s. Abb. 11.4. Allerdings liegen die Gesamt- α -Aktivitäten nahezu ausschließlich zu niedrig, vereinzelt findet man Abweichungen von bis zu 70 %.

Der überwiegende Teil der untersuchten Proben liegt über dem Schwellenwert von $0,1 \text{ Bq l}^{-1}$ für die Gesamt- α -Aktivität. Wie die durchgeführten Dosisberechnungen für den Erwachsenen

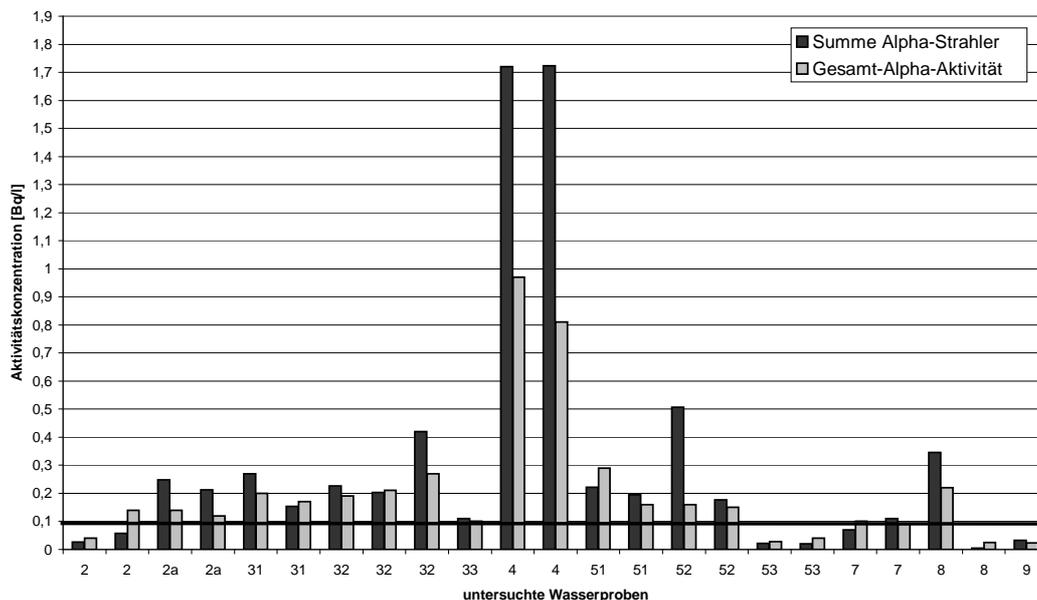


Abbildung 11.4.: Vergleich der Gesamt- α -Aktivität mit der berechneten Summe der α -Strahler.

(Tab. 11.3) zeigen, wird der Dosisrichtwert der Trinkwasserverordnung bei allen untersuchten Proben unterschritten. Da demnach bei keiner Probe mit einer Gesamt- α -Aktivität unterhalb des Schwellenwerts von $0,1 \text{ Bq l}^{-1}$ eine Überschreitung des Dosisrichtwerts von $0,1 \text{ mSv a}^{-1}$ auftritt, kann der im EU-Entwurf vorgeschlagene Schwellenwert für die Gesamt- α -Aktivität für eine Aussage, ob der Dosisrichtwert für den Erwachsenen eingehalten wird, herangezogen werden.

11.5.3. Gesamt- β -Aktivität

Auch die Bestimmung der Gesamt- α -Aktivität liefert erfahrungsgemäß relativ stark streuende Messergebnisse. Der Vergleich der Gesamt- β -Aktivität mit der berechneten Summe der vorhandenen β -Strahler (Tab. H.3), siehe Abb. 11.5, zeigt bei weniger als der Hälfte der Proben eine vergleichsweise gute Übereinstimmung. Deutliche Abweichungen stellt man auch hier fest, wobei meistens die Gesamt- β -Messung zu niedrige Werte aufweist.

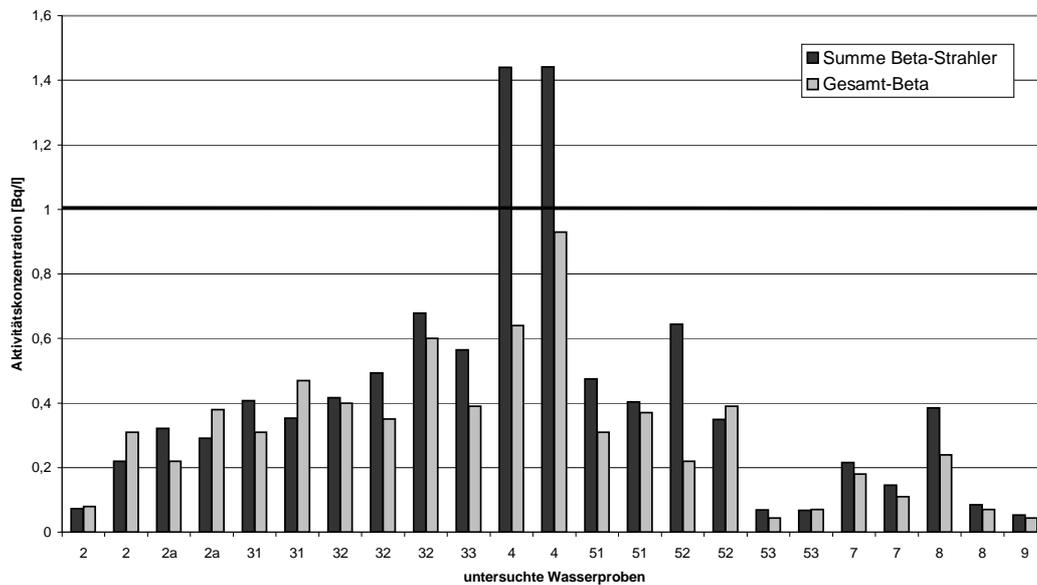


Abbildung 11.5.: Vergleich der Gesamt- β -Aktivität mit der berechneten Summe der β -Strahler.

Aufgrund der Fehleranfälligkeit der Messung ist es deshalb erforderlich, dass ein ausreichend großer Sicherheitsabstand zwischen Schwellenwert und resultierender Gesamtdosis vorgesehen wird. In keiner der untersuchten Proben überschreitet die Gesamt- β -Aktivität den Schwellenwert von 1 Bq l^{-1} und die berechnete Dosis (Tab. 11.3) den Dosisrichtwert von $0,1 \text{ mSv a}^{-1}$. Der von der EU vorgeschlagene Schwellenwert für die Gesamt- β -Aktivität scheint deshalb nach diesen ersten Ergebnissen für den Erwachsenen größenordnungsmäßig ausreichend.

12. Exposimetertest

Den Wasserversorgungsunternehmen wurden Kernspurdetektoren als orts- oder personengebundene Messsysteme zur Durchführung der Erhebungsmessungen und der Messungen zur ständigen Überwachung der Radonexposition empfohlen. Den Wasserversorgungsunternehmen wurde hierzu eine Liste mit fünf Firmen an die Hand gegeben, bei denen diese Exposimeter erhältlich sind.

Von jeder dieser Firmen wurden nun mehrere Exposimeter bei verschiedenen Radonkonzentrationen exponiert. Zum einen sollte die Übereinstimmung der verschiedenen Exposimeter untereinander ermittelt werden. Zum anderen sollte nachgeprüft werden, ob eine Überexposition der Kernspurdetektoren oberhalb der oberen Nachweisgrenze bei der Auswertung durch die jeweilige Firma erkannt und dem Kunden mitgeteilt wird. Die untere und obere Nachweisgrenze der zu vergleichenden Exposimeter ist in Tab. 12.1 aufgelistet. Von Firma 5 werden zur Bestimmung der Radonkonzentration routinemäßig Aktivkohleröhrchen versandt. Diese haben den Nachteil, dass sie, im Gegensatz zu Kernspurdetektoren, auf Grund von Diffusionsvorgängen und der kurzen Halbwertszeit des Radons nur über die Radonkonzentration der letzten drei Tage mitteln.

Die Ergebnisse dieses Test bei verschiedenen Radonkonzentrationen und Expositionszeiten sind in Tab. 12.2 zusammengefasst. Die verschiedenen Radonkonzentrationen wurden durch unterschiedliches radiumhaltiges Gestein erzeugt, das in einem gasdichten Container mit einem Volumen von 50 l eingeschlossen war. Die Radonkonzentration wurde mit einem zeitauflösenden Messgerät (AlphaGuard) bestimmt.

Tabelle 12.1.: Untere und obere Nachweisgrenze (NG) der verglichenen Exposimeter jeweils nach Angaben der Firma.

Firma	Art	untere NG [MBq h m ⁻³]	obere NG [MBq h m ⁻³]
1	Kernspur	0,032	86,4
2	Kernspur	0,015	8
3	Kernspur	0,045	10
4	Kernspur	0,03	90
5	Aktivkohle	10 Bq m ⁻³	einige kBq m ⁻³

Tabelle 12.2.: Ergebnisse des Exposimetertests. Angegeben ist die Abweichung von der mit dem AlphaGuard ermittelten Radonkonzentration bzw. Exposition („Referenzwert“).
* – von dieser Firma werden als ortsgebundene Exposimeter Aktivkohleröhrchen verschickt.

Firma	Abweichung vom „Referenzwert“ [%]		
1. $E = 0,051 \text{ MBq h m}^{-3}$, $t = 29 \text{ h}$			
1	< NG	< NG	
2	+179		
3	+125	+143	
4	+253	+469	
5*	-60	-49	-49
2. $E = 0,512 \text{ MBq h m}^{-3}$, $t = 38,5 \text{ h}$			
1	+10	+11	+11 +23
2	-9	-19	
3	+31	+32	+37 +51

Firma	Abweichung vom „Referenzwert“ [%]			
4	+158	+0,4	+35	+5
5*	-59	-55	-55	
3. $E = 6,92 \text{ MBq h m}^{-3}$, $t = 111 \text{ h}$				
1	-9			
2	+29	+17		
3	+23	+24	+26	+26
4	+9			
5*	+3	+9	+12	
4. $E = 12,23 \text{ MBq h m}^{-3}$, $t = 158,75 \text{ h}$				
1				
2	+20	+13		
3	> NG	> NG	> NG	> NG
4				
5*				
5. $E = 87,6 \text{ MBq h m}^{-3}$, $t = 428 \text{ h}$				
1	-39	-32	-27	-26
2	> NG			
3	> NG			
4	+8	-0,4	+2	+3
5*				
6. $E = 95,7 \text{ MBq h m}^{-3}$, $t = 550,5 \text{ h}$				
1	-20	-20	-17	-16
2				
3				
4	+7	+11	+16	+4
5*	-37	-36	-34	

Bei geringer Exposition (geringe Konzentration und geringe Messzeit) nahe der unteren Nachweisgrenze ist keines der Exposimeter in der Lage, die Exposition mit guter Genauigkeit zu bestimmen. Bei höherer Exposition mit längerer Messzeit arbeiten alle Exposimeter mit hinreichender Genauigkeit. Bei den Exposimetern der Firma 3 wurde ein Überschreiten der angegebenen oberen Nachweisgrenze immer erkannt. Exposimeter der Firmen 1, 2 und 4 wurden bei geringer Überschreitung der angegebenen oberen Nachweisgrenze regulär ausgewertet, bei Firma 2 wurde bei einer großen Überexposition ein Überschreiten der Nachweisgrenze mitgeteilt. Bei den Aktivkohleröhrchen der Firma 5 wurde kein Überschreiten der oberen Messgrenze mitgeteilt.

Exposimeter können auch verwendet werden, um die Radonkonzentration in Häusern zu bestimmen. Um dabei einen aussagekräftigen Messwert zu erhalten, empfiehlt sich die Messung über ein Jahr (8 760 Stunden). Mit den Exposimetern der Firmen 2 und 3 könnten somit Radonkonzentrationen von bis zu ca. 900 Bq m^{-3} gemessen werden. Eine Aussage, ob eine Konzentration von über $1\,000 \text{ Bq m}^{-3}$ vorliegt, oberhalb derer eine Sanierung gefordert werden sollte, kann hiermit jedoch nicht erfolgen. Mit den Exposimetern der Firmen 1 und 4 ist die Bestimmung bis etwa $9\,000 \text{ Bq m}^{-3}$ und damit eine Aussage über erhöhte Expositionen der Bewohner möglich.

13. Zusammenfassung

Das vorliegende Untersuchungsvorhaben „Strahlenexposition durch natürliche Radioisotope aus gewerblichen Betrieben in Bayern“ setzte das Untersuchungsvorhaben „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ [3] fort.

Allen bayerischen Wasserversorgungsunternehmen wurde Ende 2001 ein Schreiben mit der Aufforderung zugeschickt, die Radonexposition ihrer Mitarbeiter zu erheben. Wegen der geringen Resonanz wurden alle Wasserversorgungsunternehmen im Januar 2003 an ihre Pflicht erinnert, die Exposition ihrer Mitarbeiter zu erheben. Daraufhin gab es viele Anfragen zum Ablauf der Messungen. Sie wurden überwiegend telefonisch, in Bezug auf die konkrete Situation des Anrufers, beantwortet. Die telefonische Beratung war damit ein wichtiges Mittel zur Information der Beschäftigten der Wasserversorgungsunternehmen. Weitere Wege der Information waren Vorträge auf Schulungstagen, eine Informationsveranstaltung zum Thema „Radon in Wasserwerken“ und die Schaffung des Zugangs zu diesen Informationen per Internet auf der Homepage des LfU (www.bayern.de/lfu).

Es wurde die Radonexposition der Beschäftigten in bisher 2294 bayerischen Wasserversorgungsunternehmen erhoben, siehe Abb. 13.1. Bei 1,2 % dieser Wasserversorgungsunternehmen waren demnach die Beschäftigten einer Exposition über dem Grenzwert von 6 MBq h m^{-3} ausgesetzt. Bei weiteren 1,8 % lag die Exposition zwischen 2 und 6 MBq h m^{-3} . Es wurden von diesen Wasserversorgungsunternehmen Reduktionsmaßnahmen durchgeführt, so dass im Jahr 2004 nur noch Beschäftigte in 8 Wasserversorgungsunternehmen einer Exposition über dem Eingreifwert und in 2 Wasserversorgungsunternehmen über dem Grenzwert ausgesetzt

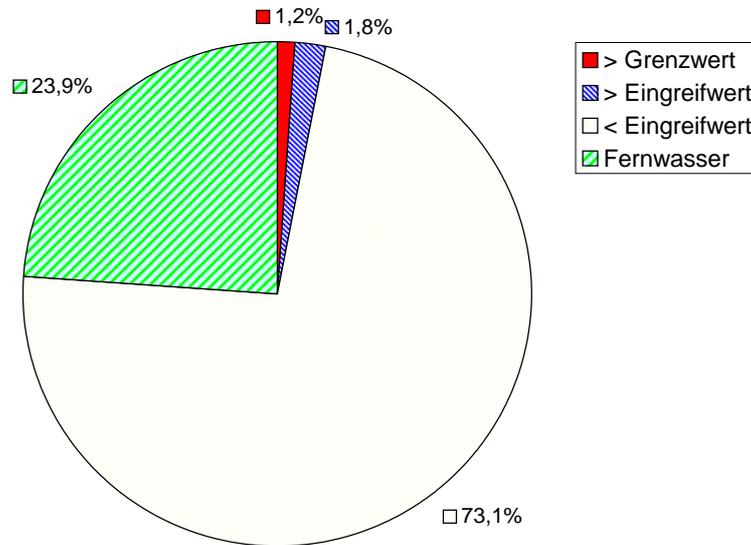


Abbildung 13.1.: Erhebung der Radonexposition in 2294 bayerischen Wasserversorgungsunternehmen, Angaben in %.

waren. In allen betroffenen Wasserversorgungsunternehmen wird die Exposition inzwischen nach dem dafür entwickelten Vorgehen kontinuierlich überwacht. Es wurde ein Konzept entwickelt, wie nach erfolgreichen Reduktionsmaßnahmen (organisatorische Maßnahmen, Belüftungsmaßnahmen oder Maßnahmen zum Abtrennen und Abdichten) der Erfolg auf Dauer gesichert werden und das Wasserversorgungsunternehmen aus der ständigen Überwachung „entlassen“ werden kann.

Zur Datenerfassung und -pflege wurde die Oracle-Datenbank „RADEX“ erstellt. Sie wurde im Lauf der Zeit den Bedürfnissen angepasst, wodurch sich für alle Mitarbeiter des Referats der Vollzug der Strahlenschutzverordnung vereinfachte.

In einigen ausgewählten Wasserversorgungsanlagen wurden eigene Messungen mit Kernspurdetektoren und zeitauflösenden Messgeräten durchgeführt. In einigen dieser Anlagen konnte die Exposition durch Reduktionsmaßnahmen oder durch verkürzte Aufenthaltszeiten des Wasserwerks in den Anlagen gesenkt werden. Messungen bei Behälterreinigungen zeigten den erfolgreichen Einsatz mobiler Belüftungsgeräte.

Das U.R.A.-Labor der Universität Regensburg untersuchte im Auftrag des LfU hochbelastete Wasserversorgungsanlagen aus dem ostbayerischen Raum, erarbeitete Reduktionsmaßnahmen und testete ihre Wirksamkeit. Dabei zeigte sich, dass für eine effektive Reduktion der Radonbelastung längerdauernde, zeitauflösende Messungen unumgänglich sind. In Gebäuden mit deterministischem Verlauf der Radonkonzentration wechseln sich oftmals lange Perioden niedriger Radonkonzentration mit kurzzeitigen Spitzen ab. Bei günstigen Betretungszeiten der entsprechenden Räume kann hier die Exposition des Wasserwerts auf einfache Weise gesenkt werden. In Räumen mit statistischem Verlauf der Radonkonzentration besteht keine Korrelation zwischen der Radonkonzentration und bestimmten Betriebsvorgängen oder -zuständen. Hier ist eine der wenigen effektiven Möglichkeiten eine fest installierte oder mobile Belüftung. Mit den erarbeiteten Reduktionsmaßnahmen sollte eine erfolgreiche Reduktion der Exposition der Mitarbeiter in allen betroffenen Wasserversorgungsunternehmen innerhalb weniger Jahre möglich sein.

Bei den Bergwerken und Höhlen reichen die Aufenthaltszeiten unter Tage von einigen bis zu 1 500 Stunden im Jahr. Die Radonkonzentrationen reichten von wenigen Bq m^{-3} bis zu mehreren $10\,000 \text{ Bq m}^{-3}$. Wegen der meist geringen Aufenthaltszeit der Beschäftigten wird der Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} selten überschritten. Lediglich in zwei von insgesamt 38 untertägigen Einrichtungen muss die Exposition der Beschäftigten kontinuierlich überwacht werden. Bei den beiden bayerischen Radonheilbädern erreichte dank guter Belüftung am Arbeitsplatz die Exposition der Beschäftigten nur einen Bruchteil des Eingreifwerts von 2 MBq h m^{-3} .

Weiterhin wurde die Exposition der Beschäftigten einer auf Behälterreinigungen spezialisierten Firma über ein Jahr kontinuierlich aufgezeichnet. In diesen Fällen besteht die Möglichkeit, dass durch die langen Aufenthaltszeiten und die durchaus hohen Radonkonzentrationen in den Hochbehältern die Exposition den Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} überschreitet. Jedoch erreichte auch hier die Exposition nur einen Bruchteil des Eingreifwerts.

Aus den verschiedenen Regionen Bayerns wurden mehrere Roh- und Reinwasserproben auf ihren Gehalt an natürlichen Radionukliden untersucht. In allen Proben unterschritt die be-

rechnete Dosis den Richtwert für die Bevölkerung von $0,1 \text{ mSv a}^{-1}$. Aus der Bestimmung des U-238-Gehalts im Rohwasser ist keine Aussage über den Gehalt der Tochternuklide Ra-226 und Pb-210 möglich. Desweiteren können auch bei Abwesenheit von U-238 hohe Radiumkonzentrationen auftreten. Thoriumisotope waren auf Grund ihrer schweren Löslichkeit nicht nachweisbar. Die Aufbereitung des Trinkwassers hat kaum Einfluss auf den Gehalt an Radioisotopen.

Literaturverzeichnis

- [1] Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 1996. Dok. XI-3539/96-DE.
- [2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung (StrlSchV) vom 20. Juli 2001. In Bundesgesetzblatt, Teil I, Seiten 1713–1848. 2001.
- [3] M. Trautmannsheimer. Abschlussbericht des Forschungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, vom 01.05.2002.
- [4] S. Körner. Zwischenbericht des Forschungsvorhabens „Strahlenexposition durch natürliche Radioisotope aus gewerblichen Betrieben in Bayern“. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, vom 01.06.2002.
- [5] S. Körner. Zwischenbericht des Forschungsvorhabens „Strahlenexposition durch natürliche Radioisotope aus gewerblichen Betrieben in Bayern“. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, vom 01.05.2003.
- [6] R. Schupfner. Abschlussbericht des Forschungsvorhabens „Beurteilung der radio-

- logischen Situation durch Rn-222 in ausgewählten Wasserwerken in Bayern“ vom 31.12.2004. Universität Regensburg, 2004.
- [7] Tätigkeitsbericht 2002. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2002.
- [8] S. Körner. Radon am Arbeitsplatz – Praktische Umsetzung der Strahlenschutzverordnung in Bayern. In Forschung zum Problemkreis “Radon“: Vortragsmanuskripte des 15. Statusgespräches. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Oktober 2002.
- [9] S. Körner. Überwachung der Exposition bei anzeigebedürftigen Arbeiten. In Forschung zum Problemkreis “Radon“: Vortragsmanuskripte des 16. Statusgespräches. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Oktober 2003.
- [10] S. Körner, M. Trautmannsheimer, und K. Hübel. Investigation and Reduction of Personnel Exposure Levels in Bavarian Drinking Water Supply Facilities. Intl. Congress Series, 1276, to be published 2005.
- [11] J.H. Lubin, J.D. Boice, C.H. Edling, R. Hornung, G. Howe, E. Kunz, und A. Kusiak. Radon and lung cancer risk: A joint analysis of 11 underground miners studies. US National Institutes of Health. NIH publication No. 94-3644, 1994.
- [12] J.H. Lubin, J.D. Boice, C.H. Edling, R.W. Hornung, G.R. Howe, E. Kunz, R.A. Kusiak, H.I. Morrison, E.P. Radford, und J.M. Samet et al. Lung cancer in radon-exposed miners and estimation of risk from indoor exposure. J Natl Cancer Inst, 87(11):817–827, 1995.
- [13] J. Muller, W.C. Wheeler, J.F. Gentleman, G. Suranyi, und R. Kusiak. Study of mortality of Ontario miners. Proceedings of the International Conference on Occupational Radiation Safety in Mining, Canadian Nuclear Association, Toronto, Canada, 1:335–343, 1984.
- [14] W. Jacobi, K. Heinrichs, und D. Barclay. Verursachungswahrscheinlichkeit von Lungenkrebs durch die berufliche Strahlenexposition von Uranbergarbeitern der WISMUT AG. GSF-Bericht S-14/92, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, 1993.

- [15] G.J. Enderle und K. Friedrich. East German uranium miners (Wismut) – exposure conditions and health consequences. *Stem Cells*, 13 (Suppl. 1):78–89, 1995.
- [16] S.C. Darby, E. Whitley, G.R. Howe, S.J. Hutchings, R.A. Kusiak, J.H. Lubin, H.I. Morrison, M. Tirmarche, L. Tomasek, und E.P. Radford et al. Radon and cancers other than lung cancer in underground miners: a collaborative analysis of 11 studies. *J Natl Cancer Inst*, 87(5):378–384, 1995.
- [17] K.B. Mulloy, D.S. James, K. Mohs, und M. Kornfeld. Lung cancer in a non-smoking underground uranium miner. *Environ Health Perspect*, 109(3):305–309, 2001.
- [18] I. Kobal, M. Ancik, und M. Skofljanec. Variation of ^{222}Rn air concentration in Postojna cave. *Radiat Prot Dosim*, 25(3):207–211, 1988.
- [19] D.P. Loomis. Radon concentrations and exposure levels in Hungarian caves. *Health Phys*, 71(3):362–369, 1996.
- [20] I. Kobal und S. Fedina. Radiation doses at the Radenci health resort. *Radiat Prot Dosim*, 20(4):257–259, 1987.
- [21] I. Kobal und A. Renier. Radioactivity of the Atomic Spa at Podčetrtek, Slovenia, Yugoslavia. *Health Phys*, 53(3):307–310, 1987.
- [22] P. Szerbin, G. Koteles, und D. Stur. Radon concentrations in Rudas thermal bath, Budapest. *Radiat Prot Dosim*, 56(1-4):319–322, 1994.
- [23] D.P. Loomis. The relationship between water-system size and Rn-222 concentration in North Carolina public water supplies. *Health Phys*, 48(5):671–694, 1985.
- [24] A. Reichelt und K. Lehmann. Antropogene Stoffe und Produkte mit natürlichen Radionukliden, Teil 2: Untersuchungen zur Strahlenexposition beim beruflichen Umgang. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1993.

-
- [25] A. Reichelt und K. Lehmann. Antropogene Stoffe und Produkte mit natürlichen Radionukliden, Teil 2a: Untersuchungen zur Strahlenexposition beim beruflichen Umgang, Detail- und Langzeitmessungen in einer Trinkwasseraufbereitungsanlage. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1994.
- [26] H.M. Prichard und T.F. Gesell. Radon-222 in municipal water supplies in the central United States. *Health Phys*, 45(5):991–993, 1983.
- [27] D.L. Henshaw, J. Perryman, P.A. Jeitch, J.E. Allen, und G.C. Camplin. Radon in domestic water supplies in the UK. *Radiat Prot Dosim*, 46(4):285–290, 1993.
- [28] J. Schmitz und R. Nickels. Exposition durch Radon und Radonfolgeprodukte in Wasserwerken. *Z Wasser - Abwasser*, Seiten 754–762, 1999.
- [29] E.L. Fisher, L.J. Fuortes, und R.W. Field. Occupational exposure of water-plant operators to high concentrations of radon-222 gas. *J Occup Environ Med*, 38(8):759–764, Aug 1996.
- [30] A. Savidou, G. Sideris, und N. Zouridakis. Radon in public water supplies in Migdonia basin, central Macedonia, Northern Greece. *Health Phys*, 80:170–174, 2001.
- [31] T. Heinrich. Strahlenquellen mit natürlichen radioaktiven Stoffen: Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1997.
- [32] T. Heinrich. Radonexposition an Arbeitsplätzen in Bayerischen Wasserwerken. *Schr.-Reihe Verein WaBoLu*, 101:73–80, 1997.
- [33] Strahlenexposition an Arbeitsplätzen durch natürliche Radionuklide: Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission. *Berichte der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*, Band 10, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1997. ISBN 3-437-21336-9.

-
- [34] Th. Kloepzig und R. Schneider. Erhebungsmessungen der Radonfolgeproduktkonzentration in wasserwirtschaftlichen Anlagen des Freistaats Sachsen. Radon und Trinkwasser, Schr.-Reihe Verein WaBoLu, Seiten 95–111, 1997. ISBN 3-932816-7.
- [35] J.H. Weber. Diplomarbeit: Radonmessungen in hessischen Wasserwerken. Fachhochschule Gießen-Friedberg, 2001.
- [36] R. Hentzschel und H. Ziß. Radonmessungen in Rheinland-Pfälzischen Wasserwerken. In Forschung zum Problemkreis „Radon“: Vortragsmanuskripte des 14. Statusgespräches. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Oktober 2001.
- [37] R. Mallick. Abschlussbericht des Forschungsvorhabens „Ermittlung von Arbeitsfeldern mit erhöhten Expositionen durch natürliche Radioisotope und überwachungsbedürftigen Rückständen“. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, vom 31.12.2004.
- [38] Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Band 47, Urban und Fischer Verlag, München, 2002. ISBN 3-437-21478-0.
- [39] J. Schmitz und R.M. Nickels. Radonexposition am Arbeitsplatz: Radon- und Radonfolgeprodukt-Messungen in bayerischen Untertagebetrieben. Forschungszentrum Karlsruhe, 1998.
- [40] Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) vom 21. Mai 2001. In Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 24, Seite 959 ff. 2001.
- [41] Information Nr. 66: TrinkwV 2001 – Bedeutung der radioaktivitätsbezogenen Parameter. DVGW Regelwerk Wasser, April 2002.
- [42] Jahresbericht 2002. Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft, 2002.
- [43] Foliensammlung Wasserwirtschaft. Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft.

- [44] H. Rühle. Natürliche radioaktive Stoffe im Trinkwasser und Mineralwasser . Strahlenschutzpraxis, 1, 2001.
- [45] R. Gellermann und W. Stolz. Uran in Wässern. Z Umwelt – chem Ökotox, 9(2):87–92, 1997.
- [46] T. Bünger. Der Gehalt natürlicher Radionuklide (Uran, Radium, Thorium u.a.) im Trinkwasser. Schr.-Reihe Verein WaBoLu, 101:125–139, 1997.
- [47] Richtlinie 98/93/EURATOM des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 1998. ABI. EG Nr. L330/32.
- [48] DIN 4046, Wasserversorgung. Normenausschuss Wasserwesen im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., September 1983.

Anhang

A. Begriffsdefinitionen und Abkürzungen

In diesem Kapitel sind einige Begriffe aus der Wasserversorgung und der Radonmesstechnik aufgelistet und erklärt, die in diesem Bericht verwendet werden. Für manche dieser Begriffe werden im Folgenden Abkürzungen benutzt, die in der folgenden Liste in Klammern dem Begriff beigefügt sind.

A.1. Begriffe aus der Wasserversorgung

Die Definitionen der meisten Begriffe aus der Wasserversorgung wurden der DIN-Vorschrift DIN4046 (Wasserversorgung) [48] entnommen. Einige spezielle Begriffe, aus der DIN4046-Vorschrift werden in folgenden Erklärungen verwendet, sind aber nicht nochmals in diesem Kapitel erklärt. Diese Begriffe müssen gegebenenfalls der Originalliteratur entnommen werden. Der Begriff der „Wassergewinnungsanlage“ wurde im Rahmen der Umweltstatistik bundeseinheitlich von den statistischen Landesämtern definiert.

Aufbereitung

Behandlung des Wassers, um seine Beschaffenheit dem jeweiligen Verwendungszweck und bestimmten Anforderungen anzupassen.

Aufbereitungsgebäude

Gebäude, in dem eine Aufbereitungsanlage untergebracht ist.

Aufbereitungsraum

Raum, in dem eine Aufbereitungsanlage untergebracht ist.

Behälterreinigung

Tätigkeit, bei der eine oder mehrere Wasserkammern eines Hochbehälters gereinigt und gegebenenfalls mit einem neuen Farbanstrich versehen werden.

Entsäuerung

Zugabe von alkalisierenden Stoffen zum Wasser oder Entfernung von im Wasser gelöstem Kohlenstoffdioxid durch Gasaustausch (Anmerkung: Entsäuerung ist eine spezielle Art der Wasseraufbereitung).

Entsäuerungsbecken

Offene Becken, die mit Filtermaterial zur Entsäuerung gefüllt sind. Das Rohwasser läuft von oben in die Becken ein, durchdringt das Filtermaterial und wird als Reinwasser am Beckengrund entnommen.

Entsäuerungsraum

Raum, in dem eine Entsäuerungsanlage untergebracht ist.

Fernwasser

Wasser aus nicht-eigener Wassergewinnung.

Filter

Anlage zur technischen Durchführung der Filtration (Anmerkung: Filter sind Bestandteile einer Aufbereitungsanlage).

Geschlossene Filter

Filter, die von einem Tank umschlossen sind. Der Tank besitzt in der Regel ein Druckausgleichsrohr in die Raum- oder Außenluft.

Offene Filter

Beckenartige Filter mit einer Wasseroberfläche im direkten Kontakt mit der Raumluft.

Filtration

Entfernen von Stoffen aus dem Wasser bei der Passage durch körnige oder poröse Materialien.

Filterspülung, Rückspülung

Reinigung und Reaktivierung der Filter durch Spülen des Filtermaterials mit Wasser und/oder Pressluft und gegebenenfalls Ersetzen von verbrauchtem Filtermaterial.

(Filter)Kesselraum

Raum, in dem geschlossene Filter untergebracht sind.

Grundwasserleiter

Gesteinskörper, der geeignet ist, Grundwasser weiterzuleiten.

Hochbehälter

Künstlicher Wasserspeicher, dessen Wasserspiegel über dem des Wasserversorgungsgebiets liegt. Seine freie Wasserspiegelhöhe beeinflusst den Versorgungsdruck wesentlich. Er kann als Erdbehälter oder Wasserturm ausgeführt werden.

Reinwasser

Wasser nach der Aufbereitung.

Rohwasser

Wasser vor der Aufbereitung.

Sammelschacht

Wasserdichter Schacht zum Sammeln des aus einzelnen Wasserfassungen gewonnenen Wassers.

Wassergewinnungsanlage (WGA)

Die Brunnen und/oder Quellen eines Wasserwerks sind unabhängig von ihrer Anzahl und technischen Gestaltung eine Gewinnungsanlage, wenn sie Grundwasser mit gleicher Beschaffenheit aus einem zusammenhängenden Grundwasservorkommen gewinnen.

Wasserversorgungsanlage

Alle Anlagen, die einzeln oder in der Gesamtheit der Gewinnung, Aufbereitung, Förderung, Speicherung, dem Transport und der Verteilung von Wasser dienen.

Wasserversorgungsunternehmen (WVU)

Unternehmen, das öffentliche Wasserversorgung betreibt, unabhängig von Unternehmensform und Trägerschaft.

WVU-Nummer, REx-Nummer

Allen bayerischen Wasserversorgungsunternehmen wurde eine vierstellige Nummer zugeordnet, die sog. WVU-Nummer. Die erste Ziffer repräsentiert die Nummer der geologischen Region, in der das Wasserversorgungsunternehmen angesiedelt ist. Die Ziffer 0 entspricht hierbei Region 10. Die drei folgenden Ziffern bilden eine laufende Nummer. Da inzwischen auch andere Einrichtungen aus Anlage XI, Teil A der StrlSchV [2] erfasst sind, wurde für alle Wasserversorgungsunternehmen die Nummer beibehalten, für die anderen Einrichtungen wurde die Nummer auf 5 Stellen erweitert, hierbei repräsentieren analog die ersten beiden Ziffern die Nummer der geologischen Region, in der die Einrichtung angesiedelt ist. Da WVU-Nummer nun nicht mehr angebracht ist, wurde der Name geändert in REx-Nummer (für **R**adon**E**xponierte Arbeitsplätze).

Wasserwerk

Betriebseinheit, die aus Anlagen zur Gewinnung, Aufbereitung, Förderung und Speicherung von Wasser bestehen kann.

Wasserwerksnachbarschaft

In den 73 Wasserwerksnachbarschaften sind alle bayerischen Wasserversorgungsunternehmen organisiert. Die Nachbarschaften dienen zur Fortbildung des technischen Wasserwerkspersonals vor Ort, zur Vermittlung von Fachkenntnissen durch Vortrag, Austausch von Erfahrungen, Verteilen von Informationsmaterial und Üben von Fertigkeiten für grundlegende betriebliche Arbeiten sowie zur Anregung zur Nachbarschaftshilfe.

A.2. Begriffe aus der Radonmesstechnik

Nähere Erläuterungen zu den Begriffen und Messverfahren sind auch im Leitfaden „Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten“ [38] zu finden.

Eingreifwert

Der Eingreifwert bezeichnet eine Jahresexposition von 2 MBq h m^{-3} . Dies entspricht ungefähr einer effektiven Dosis von 6 mSv pro Jahr.

Ortsgebundenes Exposimeter

Kernspurexposimeter, das für eine gewisse Zeit an einem bestimmten Ort deponiert wird. Aus der registrierten Exposition und der Expositionszeit kann die Radonkonzentration an diesem Ort bestimmt werden.

Personengebundenes Exposimeter

Kernspurexposimeter, das auf der Kleidung einer Person am Oberkörper befestigt und während des Aufenthalts in den Anlagen getragen wird. In den „arbeitsfreien“ Zeiten, in denen das Exposimeter nicht getragen wird, muss es an einem Ort mit möglichst niedriger Radonkonzentration (Lagerort) neben dem Referenzexposimeter gelagert werden.

Referenzexposimeter

Kernspurexposimeter, das am Lagerort des personengebundenen Exposimeters während der ganzen Expositionszeit des personengebundenen Exposimeters deponiert wird. Aus der Exposition des Referenzexposimeters kann die Exposition, die das personengebundene Exposimeter während der Lagerung erhalten hat, abgeschätzt werden. Somit kann die Exposition, die das personengebundene Exposimeter während des Tragens erhalten hat, berechnet werden.

Gleichgewichtsfaktor (F)

Verhältnis der gleichgewichtsäquivalenten Radonkonzentration zur Radonkonzentration.

Grenzwert

Der Grenzwert bezeichnet eine Jahresexposition von 6 MBq h m^{-3} . Dies entspricht ungefähr einer effektiven Dosis von 20 mSv pro Jahr.

Jahresexposition

Radonexposition einer Person in einem Jahr.

Kernspurexposimeter, Kernspurdetektor

Passives, integrales Radonmessgerät zur Erfassung der Radonexposition. Folgendes Messprinzip wird verwendet: Radongas dringt in eine Messkammer ein. Das Eindringen von Zerfallsprodukten wird durch geeignete Filter oder Diffusionsbarrieren verhindert. In der Kammer bilden sich aus dem Radongas neue Zerfallsprodukte, die sich an den Kammeroberflächen und auf der Detektorfolie abscheiden. Beim radioaktiven Zerfall von Po-218 oder Po-214 wird ein hochenergetisches Alphapartikel erzeugt, das in die Detektorfolie (Kunststoff) eindringen kann und entlang seiner Spur in der Folie einen Schaden verursacht. Diese „unsichtbaren“ Löcher können durch einen chemischen Ätzzvorgang vergrößert werden, so dass sie dann unter einem Mikroskop sichtbar werden. Die Zahl der entstandenen Löcher (pro Fläche) ist proportional zur registrierten Exposition.

Radon

Mit Radon ist im ganzen Bericht das Isotop Radon-222 (Rn-222) mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen gemeint.

Radonexposition, Exposition

Produkt von mittlerer Radonkonzentration und Aufenthaltszeit einer Person an einem bestimmten Ort. Hält sich die Person an verschiedenen Orten auf, müssen die Einzelexpositionen zu einer Gesamtexposition addiert werden. Die Einheit der Exposition ist MBq h m⁻³ (Anmerkung: Radonmessgeräte können messtechnisch nur die Exposition messen. Die Konzentration wird durch Teilen der Exposition durch die Messzeit ermittelt.).

Radonkonzentration (Rn-Konz.)

In der Regel wird damit die Aktivitätskonzentration von Rn-222 in der Luft bezeichnet. Die Einheit der Radonkonzentration ist Bq m⁻³. Ist die Radonkonzentration in anderen Medien, wie z.B. in Wasser, gemeint, wird das Medium explizit genannt.

Gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentration (Rn-EEC)

Im Fall eines nicht im radioaktiven Gleichgewicht befindlichen Radon/Radonzerfallsproduktgemisches bezeichnet man als gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentration, mit Abkürzung Rn-EEC (EEC: equilibrium equivalent concentration), die Radonkonzentration unter Gleichgewichtsbedingungen, die die gleiche potentielle Alphaenergiekonzentration (PAEK) ergibt wie die Zerfallsprodukte im vorliegenden Fall. Die Einheit der Rn-EEC ist Bq m^{-3} . (Anmerkung: Die Rn-EEC ist das Resultat einer speziellen Mittelung über die Aktivitätskonzentrationen der vier kurzlebigen Radonzerfallsprodukte. Die Mittelung wird unter der Berücksichtigung der unterschiedlichen Fähigkeit der einzelnen Zerfallsprodukte Energie zu deponieren durchgeführt. Die Höhe der deponierten Energie in einem Gewebe ist ein Maß für dessen Schädigung.)

Kontinuierliche Radon- bzw. Zerfallsproduktmessung

Es sind Messungen mit aktiven Radon- bzw. Zerfallsproduktmessgeräten, die kontinuierlich Messwerte aufzeichnen, gemeint. Es wird immer nach einem bestimmten Zeitintervall, z.B. nach jeder abgelaufenen Stunde, ein Mittelwert des letzten Zeitintervalls gebildet und gespeichert.

Unangelagerter Anteil (F_p)

Anteil der kurzlebigen Zerfallsprodukte (Mittelung äquivalent wie bei der Rn-EEC), die nicht an Aerosole angelagert sind, im Vergleich zur gleichgewichtsäquivalenten Radonkonzentration aller Zerfallsprodukte in der Luft.

Zerfallsprodukte

Unter den sog. kurzlebigen Radonzerfallsprodukten, oft auch nur Zerfallsprodukte genannt, sind die Isotope Po-218, Bi-214, Pb-214 und Po-214 zu verstehen.

B. Begleittext zum Vortrag

Auf den folgenden Seiten ist der Begleittext zum Vortrag „Neue Pflichten für die Wasserversorgungsunternehmen: Strahlenschutz jetzt auch für das Wasserwerkspersonal“ abgedruckt, s. auch Kap. 4.1. Die Folien sind jeweils in kleinem Format enthalten. Die Originale sind in Farbe.

Der Begleittext richtet sich v.a. an interessierte „Laien“, wie z.B. Nachbarschaftsleiter, die selbst zum Thema „Radon“ vortragen wollen.

Begleittext zum Vortrag:

**Neue Pflichten für die Wasserversorgungsunternehmen:
Strahlenschutz jetzt auch für das Wasserwerkspersonal**

Dr. Simone Körner
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
86177 Augsburg

Einleitung

Sehr geehrte Damen und Herren, mit den vorliegenden Folien und dem Begleittext möchten wir Ihnen Informationsmaterial an die Hand geben, um z.B. auf einem Nachbarschaftstag Mitarbeitern von Wasserversorgungsunternehmen das Thema „Radon am Arbeitsplatz“ in geeigneter Weise näher zu bringen.

Die Informationen können wahlweise als Folien gedruckt (Radon_Folien.ppt) oder als PowerPoint-Präsentation (Radon_Praesentation.ppt) auf einem Computer mit Beamer vorgeführt werden.

Der Begleittext dient zur weiteren Information des Vortragenden. Er soll sich dadurch ausführlicher mit dem Thema „Radon“ vertraut machen können und in der Lage sein, einfache Fragen zu beantworten.

Mit freundlichem Gruß,

Dr. Simone Körner
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Folie 1:

Radon am Arbeitsplatz

**Neue Pflichten für die
Wasserversorgungsunternehmen:**

Strahlenschutz jetzt auch für das
Wasserwerkspersonal

**Bayerisches Landesamt für Umweltschutz,
Augsburg**

© LUU /Akt4 /Dr. SimoneKörner / 2002

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz



Das Ziel des Vortrages ist es, Beschäftigte in Wasserversorgungsunternehmen über das Thema „Radon“ zu informieren.

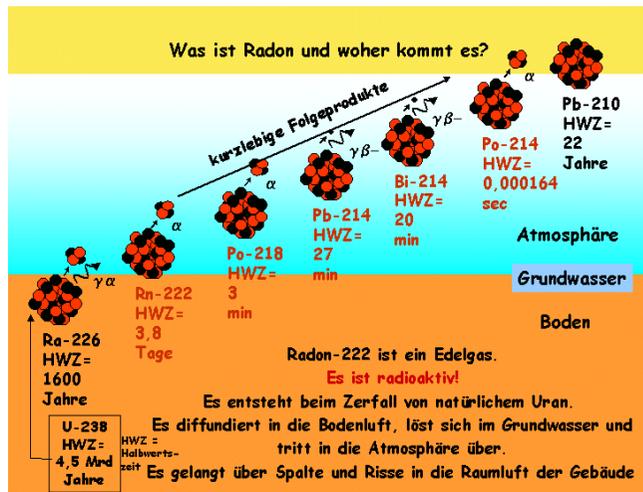
Im August 2001 wurde die Europäische „Richtlinie zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen Gefahren durch ionisierende Strahlung“ in deutsches Recht durch Novellierung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) umgesetzt.

Neben der künstlichen unterliegt somit erstmals auch die natürliche Strahlung einer gesetzesmäßigen Überwachung (geregelt in Teil 3 der StrlSchV). Grenzwerte für die Radonexposition an bestimmten Arbeitsplätzen wurden damit wirksam.

Die Bestimmung der Personenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte beschränkt sich auf definierte Bereiche mit erhöhten Aktivitätskonzentrationen in der Atemluft, die in Anlage XI, Teil A der StrlSchV festgelegt sind. Darunter fallen Untertagebauanlagen wie Bergwerke und Schauhöhlen, Schächte und Stollen, Radonheilbäder und Trinkwassergewinnungsanlagen. Andere Arbeitsplätze sind nicht berücksichtigt.

Bei Beschäftigten, die berufsbedingt einer erhöhten natürlichen Strahlung ausgesetzt sind, muss somit die Radonexposition ermittelt werden. Beschäftigte, die eine Jahresexposition von mehr als 2 MBq/h/m³ erhalten, müssen sich im weiteren einer dauerhaften Kontrolle unterziehen. Generell ist auch, wie beim Umgang mit künstlicher Radioaktivität, ein Grenzwert von 6 MBq/h/m³ für die maximal aufgenommene Jahresexposition festgelegt.

Folie 2:

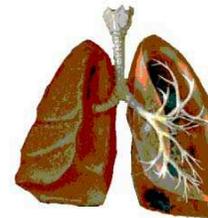


Noch vor der Entstehung der Erde vor 5 Milliarden Jahren bildeten sich die schweren Elemente wie z.B. Uran. Auf Grund seiner langen Halbwertszeit (nach dieser Zeit ist die Hälfte der Atome zerfallen) ist das radioaktive Uran-238 heute noch vorhanden. Es ist überall, in mehr oder weniger hoher Konzentration, in der Erdkruste verteilt. Alle Uran-238-Zerfallsprodukte außer Radon-222 sind Schwermetalle, die in der Regel in den tieferen Bodenschichten verbleiben. Radon hingegen ist ein radioaktives Edelgas und sehr mobil. Es ist farblos, geruch- und geschmacklos. Es diffundiert in die umgebende Bodenluft und löst

sich im Grundwasser. Mit der Bodenluft und durch die grundwasserführenden Bodenschichten verbreitet sich Radon weiträumig im Untergrund. Über Erdspalten und Bodenporen tritt es dann in die Atmosphäre über oder gast aus Quell- und Oberflächenwässern in die umgebende Luft aus. Die ersten vier Zerfallsprodukte des Radon-222 (Polonium-218, Blei-214, Wismut-214 und Polonium-214) mit Halbwertszeiten bis zu 27 Minuten sind sehr kurzlebig. Diese kurzlebigen Zerfallsprodukte werden beim Zerfall des Radons in der Luft gebildet und lagern sich zum Teil an Aerosolen (z.B. Staub) an, die im Gegensatz zum Radongas an Oberflächen haften können.

Folie 3:

Wie gelangt Radon in den menschlichen Körper? Warum muss ich mich davor schützen?



Radon wird mit der Luft eingeatmet und größtenteils wieder ausgeatmet

Radon zerfällt in der Luft in kurzlebige Folgeprodukte

Die Folgeprodukte binden sich an Aerosole (z. B. Staub)

Die beladenen Aerosole werden in der Lunge abgelagert

Durch den radioaktiven Zerfall in den Bronchien wird das Lungengewebe geschädigt → es kann Lungenkrebs auftreten

Die Aufnahme durch Trinkwasser und Nahrung kann in der Regel vernachlässigt werden

Radongas wird mit der Luft eingeatmet und größtenteils, wegen seiner Edelgaseigenschaften, wieder ausgeatmet. Radon zerfällt jedoch in der Luft in kurzlebige Folgeprodukte (alle Schwermetalle), die sich an Aerosole (z.B. Staub) binden. Mit der Atemluft erreichen diese beladenen Aerosole die tieferen Lungenregionen und werden dort abgelagert. Hier finden

weitere radioaktive Zerfälle statt. Dadurch kommt es zu Schäden im Lungengewebe. Im ungünstigsten Fall kann Lungenkrebs auftreten. Deshalb muss man die Strahlenbelastung durch Radon so gering wie möglich halten.

Die Aufnahme von Radon durch Nahrung und Trinkwasser ist so gering, dass sie gegenüber der Aufnahme durch die Atmung vernachlässigt werden kann.

Folie 4:

Wovon hängt die Exposition ab?

● Radonkonzentration im Rohwasser
→ Hydrogeologie

● Anlagen

● Tätigkeiten der Wasserwarte

© LfU / Alt4 / Dr. Simone Kömer / 2002 Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Die Radonexposition (= Strahlenbelastung durch Radon) hängt von vielen Faktoren ab. Die wichtigsten sind:

- Die Radonkonzentration im Rohwasser. Sie hängt wiederum von der Hydrogeologie ab, d.h. den geologischen Gegebenheiten in Verbindung mit den Grundwasserleitern. In dieser Beziehung kann Bayern in 10 Regionen eingeteilt werden, die (vereinfacht) als Karte auf der Folie wiedergegeben sind.

- Die Anlagen. Welche Anlagen liegen im konkreten Fall vor und wie sind sie gestaltet. Davon hängt maßgeblich ab, wie viel Radon aus dem Wasser in die Raumluft ausgast.
- Die Tätigkeiten der Wasserwarte. Vor allem von der Aufenthaltsdauer in den einzelnen Anlagenteilen hängt die Exposition in entscheidendem Maße ab.
- Besonders in Region 5 mit granitischem Untergrund und naturgemäß hohem Uran- und Radiumgehalt ist mit hohen Expositionen beim Personal zu rechnen.

Folie 5:

Wann und wo ist mit hohen Expositionen zu rechnen?

In Gebäuden:

Hochbehältern, Aufbereitungsanlagen, Sammelschächten, Brunnen

Bei bestimmten Betriebsvorgängen:

Rückschöpfen, sprudelndes Befüllen des Hochbehälters, Behälterreinigungen

Bei hohen Konzentrationen des Rohwassers:

Grundwasser, besonders bei granitischem Untergrund (Talsperrenwasser, Uferfiltrat und Oberflächenwasser enthalten in der Regel sehr wenig Radon!)

Beim Verbraucher ist in der Regel nicht mit erhöhten Expositionen zu rechnen, da der private Wasserverbrauch im Verhältnis zum Wasserwerk klein ist.

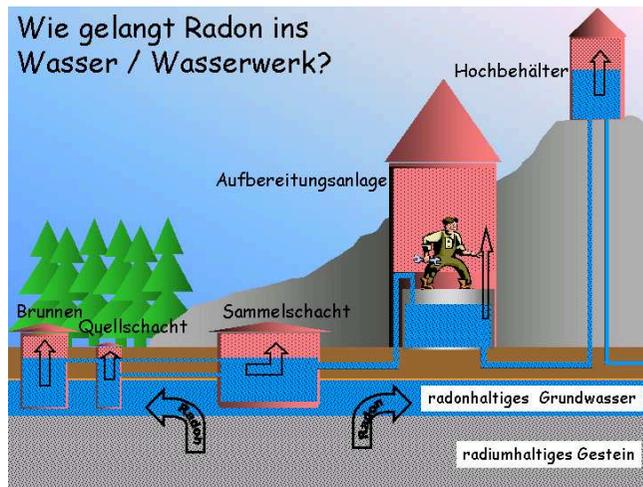
Es gibt Situationen, in denen von vorne herein mit einer erhöhten Exposition gerechnet werden muss:

- In allen Gebäuden der Anlage (dazu zählen auch Brunnen und Schächte sowie unterirdische Hochbehälter) sammelt sich das Radon und führt zu einer erhöhten Exposition. Wie das Radon über das Grundwasser in diese Gebäude gelangt, ist auf

Folie 6 dargestellt. Es empfiehlt sich an dieser Stelle, Folie 6 aufzulegen und dann zu Folie 5 zurückzukehren.

- Bei bestimmten Betriebsvorgängen wird in erhöhtem Maße Radon freigesetzt. Dies geschieht immer dann, wenn das Wasser stark verwirbelt wird. Als Vergleich kann eine Mineralwasserflasche, die stark geschüttelt und dann geöffnet wird, herangezogen werden. Auch bei der Behälterreinigung ist der Reinigungstrupp Radon ausgesetzt. Dies wird auf Folie 7 erklärt. Es empfiehlt sich an dieser Stelle, Folie 7 aufzulegen und dann zu Folie 5 zurückzukehren.
- Bei hohen Radonkonzentrationen des Rohwassers gast auch mehr Radon in die Umgebungsluft aus. Hohe Radonkonzentrationen im Rohwasser findet man v.a. bei granitischem Untergrund. Oberflächenwasser enthält in der Regel wenig Radon, da es durch die große Oberfläche bereits in die Umgebung ausgegast ist.

Folie 6:



7

Das beim Zerfall von Radium entstandene Radon diffundiert in die umgebende Bodenluft und löst sich im Grundwasser. Durch die grundwasserführenden Bodenschichten verbreitet sich Radon weiträumig im Untergrund. Mit dem geförderten Grundwasser wird das im Wasser gelöste Radon dann in die Anlagen transportiert. Das Grundwasser wird aus Brunnen direkt der Wasseraufbereitungsanlage zugeführt oder in Quellschächten aufgefangen und Sammelschächten zugeleitet, bevor es in die Aufbereitungsanlage gelangt. Bereits in den Gebäuden der Quell- und Sammelschächte können durch ausgasendes Radon sehr hohe Raumluftkonzentrationen entstehen. Je nach Qualität muss das Rohwasser verschiedene Aufbereitungsstadien durchlaufen, um als Trinkwasser an den Verbraucher weitergeleitet werden zu können. Die hydrogeologischen Verhältnisse in den Förderregionen entscheiden darüber, welche Aufbereitungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen. Bei kiesarmen Grundwasserleitern, wie sie zum Beispiel im ostbayerischen Raum vorherrschend sind, wird eine Aufhärtung des Rohwassers mit kalzium- und magnesiumhaltigen Filterkieseln vorgenommen, um den pH-Wert zu heben. Die Filterkieselanlagen werden oft im offenen Durchlauf betrieben. Die verfahrenstechnisch bedingten großen Wasseroberflächen in den Kiesbetten und der hohe Wasserdurchsatz begünstigen den Radontransfer in die Raumluft. Auch bestimmte Betriebsabläufe, z.B. Befüllen eines Behälters oder Spülung der Aufbereitungsanlagen, können den Radontransfer in die Raumluft enorm erhöhen. Zudem sind die Gebäude, in denen sich die Anlagen befinden, meist schlecht belüftet, um den Eintrag von Stäuben und Mikroorganismen zu unterbinden. Somit kann sich Radon im Gebäude aufkonzentrieren.

Aber auch geschlossene Aufbereitungsanlagen, wie z.B. Kessel zur Eisen- und Manganausfällung, können für eine hohe Radonkonzentration in der Raumluft verantwortlich sein. Der für die Oxidation notwendige Sauerstoff wird hierbei als Frischluft in die Kessel gepresst, die radonbelastete Abluft gelangt aber meistens über Rohre in die Raumluft.

8

Folie 7:



Neben den Aufbereitungen sind Anlagenteile, die der Wasserratshaltung dienen, z.B. Hochbehälter, Orte mit höherer Radonkonzentration. Deshalb können die meist jährlich durchgeführten Behälterreinigungen, bei denen sich das Reinigungspersonal im Vergleich zu den routinemäßigen Kontrollgängen relativ lange im Trinkwasserbehälter aufhält, zu merklichen Expositionen führen. Die Radonkonzentration im Behältergebäude ist während der Reinigungsarbeiten oft kaum niedriger als im Routinebetrieb. In der Regel sind zwei Wasserkammern in einem Raum untergebracht. Eine Kammer hält die Versorgung aufrecht, die zweite wird gereinigt. Das Radon, das von der ersten Kammer in die Raumluft übertritt, kann sich ungehindert in der leeren Kammer verteilen. Dadurch ist die Exposition nicht geringer als im Normalbetrieb.

Besteht der Hochbehälter jedoch nur aus einer Kammer, die nicht mit anderen Wasserflächen in Luftaustausch steht, kann nach Ablassen des Wassers und guter (evtl. externer) Belüftung die Radonkonzentration als gering angenommen werden.

Folie 8:

Seit Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) im August 2001 unterliegen auch Expositionen durch sogenannte natürliche radioaktive Stoffe gesetzlichen Regelungen. Unter anderem muss die Radonexposition an bestimmten Arbeitsplätzen, wie in (Schau-)Bergwerken, Schauhöhlen, Radonheilbädern und Wassergewinnungsanlagen (Anlage XI, Teil A), erfasst werden. Jahresexpositionen von über $6 \text{ MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ sind nicht mehr zulässig. Bei einer Jahresexposition von mehr als $2 \text{ MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ unterliegt der Beschäftigte bestimmten behördlichen Auflagen, wie der Pflicht zur kontinuierlichen Registrierung der Radonexposition und zu regelmäßigen ärztlichen Untersuchungen.

Die relevanten Paragraphen zur Überwachung der Strahlung natürlichen Ursprungs sind im Teil 3 der StrlSchV zusammengefasst. Der Teil 3 mit dem Titel „Schutz von Mensch und Umwelt vor natürlichen Strahlungsquellen bei Arbeiten“ ist in 5 Kapitel gegliedert:

1. Grundpflichten
2. Anforderungen bei terrestrischer Strahlung an Arbeitsplätzen
3. Schutz der Bevölkerung vor natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen
4. Kosmische Strahlung
5. Betriebsorganisation

Die Inhalte der wichtigsten Paragraphen der StrlSchV, die die Radonexposition am Arbeitsplatz betreffen, sind auf den Folien 8 – 10 zusammengefasst.

Abdruck von Anlage XI:

(zu §§ 93, 95, 96)

Arbeitsfelder, bei denen erheblich erhöhte Expositionen durch natürliche terrestrische Strahlungsquellen auftreten können

Teil A: Arbeitsfelder mit erhöhten Radon-222-Expositionen

Arbeiten in:

1. untertägigen Bergwerken, Schächten und Höhlen, einschließlich Besucherbergwerken
2. Radon-Heilbäder und -Heilstollen
3. Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung

Gesetzliche Grundlage

Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)

Teil 3: Schutz vor natürlichen Strahlungsquellen bei Arbeiten

§ 93 Dosisbegrenzung → Dosisgrenzwert darf nicht überschritten werden

§ 94 Dosisreduzierung → Strahlenexposition muss so gering wie möglich sein

§ 95 Natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen →
Begrenzung der Radonexposition der Beschäftigten in Arbeitsgebieten
aus Anlage XI:

➤ Eingreifwert	2 MBq·h/m ³ pro Jahr
➤ Grenzwert	6 MBq·h/m ³ pro Jahr

© LfU / Abt.4 / Dr. Simone Kömer / 2002

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz



§ 93 Dosisbegrenzung (Dosis und Exposition sind in etwa gleichwertige Begriffe)

Wer Arbeiten im Sinne Anlage XI, StrlSchV ausübt oder ausüben lässt (Verpflichtete), muss dafür sorgen, dass die Grenzwerte eingehalten werden.

§ 94 Dosisreduzierung

Die Exposition muss so gering wie möglich gehalten werden!

§ 95 Natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen

Begrenzung der Radonexposition der Beschäftigten in Arbeitsgebieten aus Anlage XI:

Es gilt für Erwachsene ein Grenzwert für die Exposition von 6 MBq·h/m³ pro Jahr. Es besteht eine Überwachungspflicht bei Expositionen über 2 MBq·h/m³ pro Jahr (Eingreifwert), d.h. kontinuierliche Messung der Exposition und regelmäßige ärztliche Untersuchungen. Unter 2 MBq·h/m³ pro Jahr können übliche Maßnahmen des Arbeitsschutzes ausreichen um § 94 zu erfüllen.

Folie 9:

Gesetzliche Grundlage

§ 96 Dokumentation →

anzeigebedürftige Arbeiten (Jahresexposition > 2 MBq·h/m³):

- Ergebnisse aufzeichnen
- Ergebnisse aufbewahren
- Ergebnisse auf Verlangen vorlegen
- Überschreitungen des Grenzwertes dem LfU unverzüglich mitteilen
- Ergebnisse zur Weiterleitung an das Strahlenschutzregister übermitteln

§ 117 Übergangsvorschriften →

Übergangsfrist: alle erhobene Daten sind bis 01. August 2003 der zuständigen Stelle (LfU) mitzuteilen

© LfU / Abt.4 / Dr. Simone Kömer / 2002

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz



§ 96 Dokumentation

Im Falle von anzeigebedürftigen Arbeiten, d.h. der Eingreifwert von 2 MBq·h/m³ ist überschritten, kommen einige Aufgaben auf den Betreiber (Verantwortlicher) zu. Er muss die Ergebnisse der Überwachung in geeigneter Weise aufzeichnen, muss sie eine bestimmte Zeit aufbewahren und auf Verlangen sowohl der überwachten Person als auch der zuständigen Behörde (LfU) vorlegen. Überschreitungen des Grenzwertes müssen dem LfU unverzüglich mitgeteilt werden. Des Weiteren müssen die Ergebnisse zur Weiterleitung an das Strahlenschutzregister übermittelt werden.

§ 117 Übergangsvorschriften

Es gibt eine Übergangsfrist, die am 1. August 2003 endet. Bis zu diesem Zeitpunkt müssen alle Wasserversorgungsunternehmen die Messung durchgeführt und die Ergebnisse an die zuständige Stelle (LfU) übermittelt haben.

Folie 10:

Wie ist die Lage bei Fremdfirmen?

Das Wasserversorgungsunternehmen muss eine **Fremdfirma** auf eine **Gefährdung** des externen Personals ggf. schon vor dem Vertragsabschluss aufmerksam machen.

Die Fremdfirma muss eine Abschätzung oder Messung der **Exposition**, die das Personal bei den Arbeiten in den Wassergewinnungsanlagen erhält, durchführen. Die **WVU** sollten **Messdaten**, soweit vorhanden, zur Verfügung stellen.

Die Fremdfirma muss eine **Liste** mit den Expositionen führen. **Überschreitet** die Exposition im Kalenderjahr **2 MBq·h/m³**, muss dies dem LfU gemeldet und ein **Strahlenpass** angefordert werden.

© LfU / Abt 4 / Dr. Simone Kömer / 2002

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz



Einen weiteren Problempunkt in Sachen Radon bilden Fremdfirmen, die u.U. in Ihren Anlagen arbeiten. Da eine Firma oft in mehreren Anlagen arbeitet, z.B. zur Hochbehälterreinigung, kann es zu einer Exposition oberhalb des Eingreif- oder sogar des Grenzwertes kommen. Auch hierfür gibt es eine Regelung in der StrlSchV. Auf Folie 10 ist das Wichtigste, was das Wasserversorgungsunternehmen in Bezug auf eine Fremdfirma beachten muss, zusammengestellt. Punkt 3 bezieht sich hierbei nur auf die Fremdfirma.

Folie 11:

Wie wird Radon gemessen?

Es gibt viele Möglichkeiten, Radon und dessen Zerfallsprodukte zu messen. Radongas kann mit sog. Kernspurdetektoren, auch Exposimeter genannt, gemessen werden.

Funktionsweise eines Exposimeters:

Radongas gelangt in ein Kunststoffgehäuse und scheidet sich dort auf einer kleinen Folie ab.

Beim radioaktiven Zerfall dringt ein α -Teilchen in die Folie ein und erzeugt eine sehr kleine, unsichtbare Spur.

Durch Ätzen der Folie können diese Spuren von der Messstelle sichtbar gemacht und unter einem Mikroskop ausgezählt werden.

Die Anzahl der Spuren pro Flächeneinheit ist ein Maß für die Höhe der Radonexposition.

© LfU / Abt 4 / Dr. Simone Kömer / 2002

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz



Folie 12:



Hier ein Exemplar der Firma GSF bei München (siehe Liste der Messstellen in unserem Schreiben vom November 2001). Die Exposimeter der anderen Messstellen sehen ähnlich aus.

Die Kosten für ein Exposimeter variieren je nach Messstelle von ca. € 16 bis ca. € 25. Nach Rücksendung der Exposimeter beträgt die Zeit bis zur Mitteilung der Ergebnisse ca. 4 Wochen.

Die Exposimeter werden in radondichten Tüten verpackt geliefert, die Sie am besten mit der Schere aufschneiden. Zur Rücksendung wieder in die Tüte packen und mit Klebeband verschließen!

Bitte beachten Sie: das Exposimetergehäuse darf nur von der Messstelle geöffnet werden!

Folie 13:

Was muss bei der Messung beachtet werden?

Exposimeter kann nicht abgeschaltet werden → Korrektur durch Referenzexposimeter nötig!

<p>Personenexposimeter (immer dieselbe Person)</p> <p>während der Arbeit in den Anlagen am Oberkörper auf der Kleidung tragen, Tragezeit protokollieren</p> <p>ausserhalb der Arbeit neben dem Referenzexposimeter</p>	<p>Referenzexposimeter</p> <p>an Ort mit niedriger Radonkonzentration lagern</p> <p>gut gelüfteter Ort, z.B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Briefkasten an der Außenwand • Räume mit ständig offenen Fenstern • Auto • Garage
---	---

© LfU / Abt.4 / Dr. Simone Köner / 2002 Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Orts- und Personenexposimeter sind im Grunde gleich. Beide Arten können nicht abgeschaltet werden.

Für das Ortsexposimeter spielt das keine Rolle. Nach dem Öffnen der Verpackung stellen Sie das Ortsexposimeter an dem gewünschten Platz in der Anlage auf. Nach 2 Wochen packen Sie es wieder ein und schicken es, zusammen mit der Angabe des Messzeitraums, zur Auswertung an die Messstelle zurück.

Bei Benutzung als Personenexposimeter müssen allerdings einige Punkte beachtet werden. Da das Personenexposimeter nicht abgeschaltet werden kann, registriert es auch außerhalb der Tragezeiten in den Anlagen die Radonbelastung der umgebenden Luft. Um diesen unerwünschten Effekt zu eliminieren, wird ein weiteres, sog. Referenzexposimeter benötigt. Es wird im gesamten Messzeitraum an ein und demselben radonarmen Ort gelagert, z.B. an gut gelüfteten Orten wie Briefkästen an der Außenwand, Räumen mit ständig offenen Fenstern, gut gelüfteten Garagen oder im Kofferraum eines Autos, das am besten immer im Freien, nicht jedoch in einer Tiefgarage oder einer schlecht gelüfteten Garage steht. Während

der Arbeiten in den Anlagen trägt der Wasserwart das Personenexposimeter sichtbar am Oberkörper auf der Kleidung. Wird es nicht getragen, muss es immer neben dem Referenzexposimeter gelagert werden. Nach Beendigung der Messzeit werden beide Exposimeter, zusammen mit Angabe des Messzeitraums und der gesamten Tragezeit, zur Auswertung an die Messstelle zurückgeschickt. Diese korrigiert den Messwert des Personenexposimeters mit dem des Referenzexposimeters und rechnet daraus die Jahresexposition aus.

Folie 14:

Wie läuft die Messung ab? (Vorgehensweise vom LfU festgelegt)

1. Tragen von personengebundenen Exposimetern über drei Monate und Hochrechnung auf ein Jahr (Routineexposition).

➔ **alternativ bei kleinen Anlagen: Messung der Radonkonzentration in allen Räumen und Gebäuden der Wassergewinnungsanlagen. Falls alle Werte unter 1000 Bq/m³ sind, sind keine weiteren Maßnahmen nötig.**

2. Abschätzung der Radonexposition durch außergewöhnliche Arbeiten (z. B. Behälterreinigung) durch Messung der Radonkonzentration an diesem Ort (2 Wochen). Die Exposition durch diese Arbeiten ergibt sich aus der Multiplikation der Konzentration mit der Aufenthaltszeit. Diese Exposition muss zu 1. hinzugezählt werden.

© LfU / A14 / Dr. Simone Körner / 2002

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz



Auf den Folien 14 – 16 ist die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Radonexposition sowie des Eintrags der Ergebnisse in den Erhebungsbogen erläutert.

Auf Grund § 95 StrlSchV sind alle Wasserversorgungsunternehmen in Deutschland verpflichtet, die Radonexposition zu erheben. In Bayern hat das LfU nun folgende Vorgehensweise festgelegt:

1. Ermittlung der Routineexposition durch dreimonatiges Tragen eines Personenexposimeters durch die Beschäftigten. Alternativ kann bei kleinen Anlagen in **allen** Räumen und Gebäuden der Anlage die Radonkonzentration durch Ortsexposimeter ermittelt werden. Eine Anlage gilt als „klein“, wenn sie nur wenige Räume und Gebäude hat und sich der Wasserwart nur unregelmäßig (1 – 2 mal pro Monat) sowie weniger als 20 Stunden im Jahr in der Anlage aufhält. Sind alle Messwerte unter 1000 Bq/m³, sind keine weiteren Messungen nötig. Im anderen Fall wird das weitere Vorgehen mit dem LfU abgestimmt.
2. Ermittlung der Exposition, die durch außergewöhnliche Arbeiten entsteht. Dazu gehört z.B. die Behälterreinigung. Um die Exposition zu ermitteln, muss in jeder dieser Anlagen die Radonkonzentration mit einem Ortsexposimeter gemessen werden. Die Exposition E in MBq·h/m³ ergibt sich dann aus der Multiplikation von Konzentration c in Bq/m³ mit der für den jeweiligen Vorgang benötigten Zeit t in Stunden (hochgerechnet auf ein Jahr). Danach muss dieses Ergebnis durch eine Million geteilt werden, also $E = c \cdot t / 1000000$.

Folie 15:

3. Die Ergebnisse werden in den Erhebungsbogen eingetragen, der dann an das LfU zurückgeschickt wird.

Dies ist hier am Beispiel des (erfundenen) Wasserversorgungsunternehmens „Musterstadt“ dargestellt.

Auf dem Bogen „Erhebung der Radonexposition“ werden zunächst die Angaben zum Wasserversorgungsunternehmen eingetragen. Bitte ziehen Sie hier auch das Original, das unserem Schreiben vom November 2001 beiliegt, dazu. Die Folie ist aus didaktischen Gründen gegenüber dem Original leicht verändert.

Wie läuft die Messung ab?
(Vorgehensweise vom LfU festgelegt)

Erhebung der Radonexposition

Name des Unternehmens:	Wasserversorgung Musterstadt
Adresse:	Wasserweg 1, 00000 Musterstadt
Verantwortlicher Leiter:	Martin Mustermann
☎ Leiter:	0821 / 00 00 00
Ansprechpartner:	Willi Wassermann
☎ Ansprechpartner:	0821 / 00 00 01
Anzahl der Beschäftigten:	3

Name Messstelle:
65F Neuherberg

Name durchführende Firma:

Aufenthaltszeiten minimiert? ja / nein

Sanierungsmaßnahmen? ja / nein

Aufnahme in die ständige Überwachung? ja / nein

Liste der Beschäftigten

Name des Beschäftigten	Jahresexposition	< 2 MBq/h/m ³
Willi Wassermann	2.5 MBq/h/m ³	<input checked="" type="checkbox"/> ja / <input type="checkbox"/> nein
Max Wässrig	0.5 MBq/h/m ³	<input type="checkbox"/> ja / <input checked="" type="checkbox"/> nein
Karl Huber	< 0.5 MBq/h/m ³	<input type="checkbox"/> ja / <input checked="" type="checkbox"/> nein
		<input type="checkbox"/> ja / <input type="checkbox"/> nein

© LfU / Abt.4 / Dr. Simone Köner / 2002

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Unter „Beschäftigte im Sinne der Anlage XI, Teil A der StrlSchV“ sind alle Beschäftigten zu verstehen, die in den Anlagen arbeiten, also auch z.B. Stellvertreter und Beschäftigte, die lediglich ihr Büro in einem der Gebäude haben.

In die „Liste der Beschäftigten“ tragen Sie alle oben angeführten Personen namentlich ein. Hat ein Wasserwart eine Exposition von weniger als 2 MBq/h/m³, so kann bei seinem Stellvertreter, sofern er dieselben oder weniger Aufgaben übernimmt, auf das Tragen eines Personenexposimeters verzichtet werden. Als Jahresexposition wird dann der Wert des zu Vertretenden eingetragen und mit einem „<“-Zeichen ergänzt, s. hierzu Karl Huber, Stellvertreter von Max Wässrig. Unter „Jahresexposition“ wird der Wert eingetragen, der unter „3.“ auf dem Messprotokoll des jeweiligen Beschäftigten ermittelt wurde, s. Folie 16.

Tragen Sie noch den Namen der Messstelle (eine Liste der Messstellen liegt unserem Schreiben vom November 2001 bei) ein und geben Sie an, ob Sie die Messung z.B. von einem Ingenieurbüro durchführen haben lassen. Die Messung ist jedoch so konzipiert, dass sie ohne Schwierigkeiten vom Wasserwart selbst durchgeführt werden kann.

Machen Sie dann noch kenntlich, ob und ggf. welche Maßnahmen zur Minimierung der Aufenthaltszeiten bzw. der Sanierung durchgeführt wurden.
Liegt die Jahresexposition eines Beschäftigten trotz Reduktionsmaßnahmen über 2 MBq-h/m³, so beantragen Sie die Aufnahme in die ständige Überwachung (mehr hierzu bei Folie 17).

Folie 16:

Wie läuft die Messung ab?
(Vorgehensweise vom LfU festgelegt)

Messprotokoll des Beschäftigten

Name des Beschäftigten	☎	Name des Unternehmens
Willi Wassermann	0821/000001	Wasserversorgung Musterstadt

1. Messung der Radonexposition des Beschäftigten mit personengebundenen Exposimetern

	Exposition	Referenzexposition	Zeitraum	Zeit	Jahresexposition
1. Messung	0.6 MBq/h/m ³	0.05 MBq/h/m ³	1.1. - 31.3.02	50 h	2.4 MBq-h/m ³
2. Messung					

2. Messungen der Radonkonzentration und ggf. Berechnung der daraus resultierenden Exposition des Beschäftigten

	Konzentration	Zeitraum	Ort / Tätigkeit	Zeit	Exposition
1. Ort	5000 Bq/m ³	1.1. - 15.1.02	HB / Reinigung	20 h	0.1 MBq-h/m ³
2. Ort					

3. Abgeschätzte Gesamtjahresexposition in MBq-h/m³:

2.5

© LfU / Abt.4 / Dr. Simone Köner / 2002

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Füllen Sie für jeden Beschäftigten ein „Messprotokoll des Beschäftigten“ aus. Angaben, die in der Folie in grün erscheinen, erhalten Sie von der Messstelle.

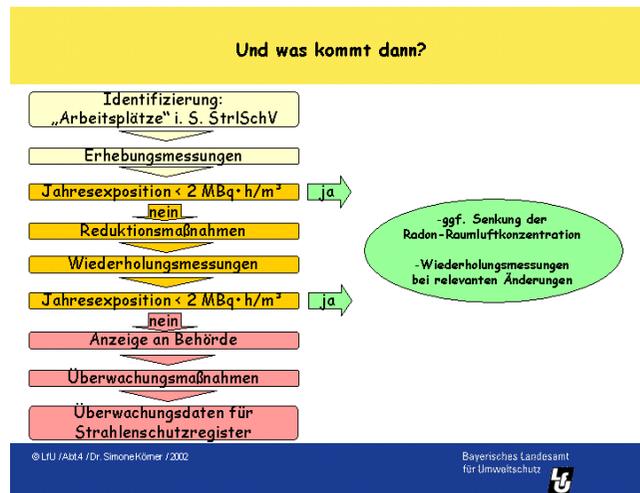
Tragen Sie unter 1. die Exposition des Personen- sowie des Referenzexposimeters, den Mess- (= Expositions)zeitraum, die gesamte Tragezeit sowie die hochgerechnete Jahresexposition ein. Sollten Sie die Messung wiederholt haben oder nach Reduktionsmaßnahmen erneut gemessen haben, tragen Sie die Ergebnisse unter „2.Messung (WDH)“ ein.

Bei 2. tragen Sie die Werte der Ortsexposimeter (= Radonkonzentration) mit Bezeichnung des Ortes, der dort durchgeführten Tätigkeit (z.B. Behälterreinigung), der dafür pro Jahr benötigten Zeit und der daraus ermittelten Exposition (siehe Folie 14) ein.

Unter 3. wird die Summe der Jahresexposition aus 1. und aller Expositionen aus 2. eingetragen. Dieser Wert ist identisch mit dem in der „Liste der Beschäftigten“.

Folie 17:

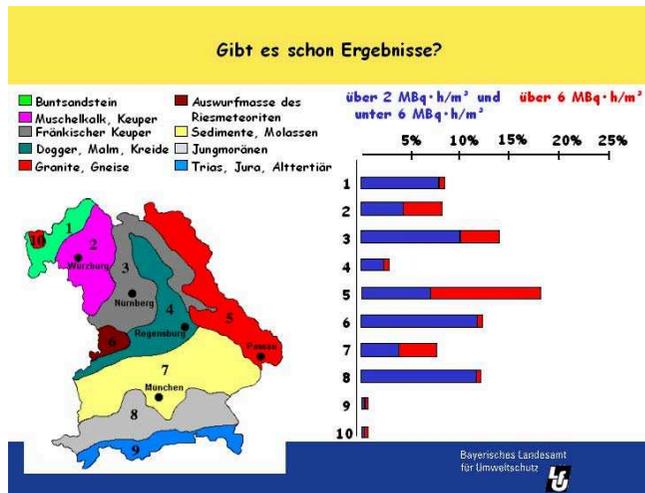
Hier stellen wir Ihnen das gesamte Ablaufschema zum Thema „Radon“ vor:



1. Arbeitsplätze von Wasserwarten sind Arbeitsplätze im Sinne der StrlSchV, Anlage XI, Teil A.
2. Erhebungsmessung durchführen wie bei Folie 14 beschrieben.

3. Liegt die Jahresexposition bei allen Mitarbeitern unter dem Eingreifwert von 2 MBq·h/m³?
4. JA → In Ihrer Anlage gibt es kein Problem durch Radon. Trotzdem muss (nach § 94 StrlSchV) die Exposition so gering wie möglich gehalten werden. Setzen Sie dies durch einfache Maßnahmen, z.B. vermehrtes Lüften, um. Bei relevanten Änderungen oder nach 10 Jahren muss die Messung wiederholt werden. Unter „relevanten Änderungen“ sind u.a. Um- und Neubauten bei den Anlagen, aber auch Änderungen im Betriebsablauf zu verstehen.
5. NEIN → Es müssen Reduktionsmaßnahmen ergriffen werden. Darunter fallen bauliche Maßnahmen, aber auch Optimierung von Aufenthaltszeiten und Lüftungsgewohnheiten.
6. Zur Kontrolle des Erfolgs muss die Messung wiederholt werden.
7. siehe 3.
8. siehe 4.
9. NEIN → eventuell weitere Sanierungsmaßnahmen, dann zurück zu 6.
NEIN → alle Sanierungsmaßnahmen ausgeschöpft und die Exposition jedes Mitarbeiters unter dem Grenzwert von 6 MBq·h/m³, dann
10. Antrag auf Aufnahme in die ständige Überwachung an das LfU
11. „ständige Überwachung“ bedeutet u.a. ständige Kontrolle der Radonexposition (während des Aufenthalts in den Anlagen), jährliche ärztliche Untersuchung und Dokumentation nach § 96
12. Die Daten müssen an das Strahlenschutzregister weitergeleitet werden.

Folie 18:



Sie werden sich inzwischen sicher schon gefragt haben, ob es bereits Messungen in bayerischen Wasserversorgungsunternehmen gibt und bei wie vielen mit Problemen gerechnet werden muss.

In den Jahren 1999 – 2001 wurden bereits 500 Wasserversorgungsunternehmen repräsentativ für ganz Bayern untersucht. Auf der Folie sehen Sie links noch einmal die Einteilung Bayerns in die 10 Regionen (s. auch Folie 4). Rechts sind die Ergebnisse der Studie den verschiedenen Regionen zugeordnet.

In blau sind prozentual die Wasserversorgungsunternehmen (WVU) aufgetragen, in denen die Exposition zwischen Eingreif- und Grenzwert liegt. Es ist deutlich sichtbar, dass in jedem Gebiet Problemfälle auftreten, in manchen Gebieten (6, 8) sogar bei mehr als 10 % der WVU! In fast allen Gebieten haben nur wenige Prozent der WVU den Grenzwert überschritten (rot), im Gebiet 5 (ostbayerischer Raum) mit seinem granitischen Untergrund sind es jedoch ca. 10 %, d.h. in jedem 10. WVU wird hier der Grenzwert überschritten!

Die Studie zeigt also deutlich, dass in keinem Gebiet in Bayern auf Messungen der Radonexposition verzichtet werden kann.

Folie 19:

Wie kann ich die Exposition senken?

- keine unnötigen Aufenthalte in den Anlagen
- für gute Belüftung sorgen
- Räume mit offenen Wasserbecken von anderen Gebäudeteilen abschotten
- „sprudelndes“ Befüllen von Behältern und Kammern vermeiden
- zusätzliche Belüftung (mobile Geräte) bei der Behälterreinigung oder beim Begehen von besonders schlecht belüfteten Schächten einsetzen

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Es gibt einige Maßnahmen, um die Radonexposition zu senken:

Die Einfachste ist, sich nicht unnötig in den Anlagen aufzuhalten.

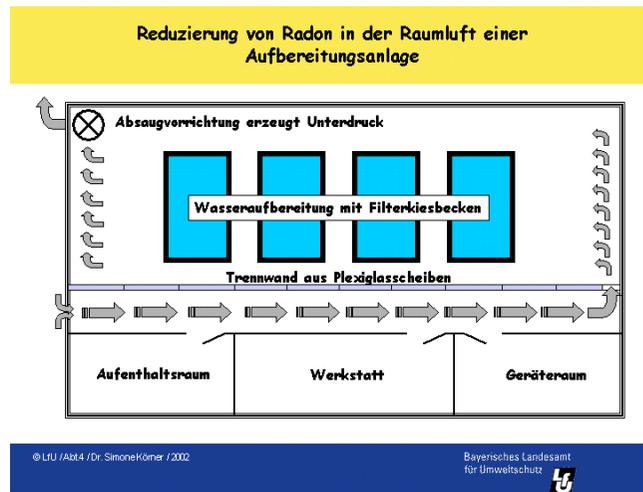
Weiterhin sollte so gut wie möglich gelüftet werden. Dabei sollte einige Zeit vor dem Beginn der Arbeiten damit begonnen werden, damit das Radon nach draußen gelangen kann. Reicht eine Belüftung durch Fenster und Türen nicht aus, sollte der Einbau einer künstlichen Belüftung in Erwägung gezogen werden.

Weiterhin kann es hilfreich sein, Räume mit offenen Wasserflächen von anderen Gebäudeteilen abzuschotten. Dies gilt besonders dann, wenn sich in diesem Gebäude z.B. Büros oder Aufenthaltsräume befinden. Eine Illustration an einem praktischen Beispiel ist auf Folie 20 zu sehen, die an dieser Stelle aufgelegt werden sollte.

Eine weitere Möglichkeit, Radon in der Raumluft zu reduzieren ist, sprudelndes Befüllen von Behältern und Kammern zu vermeiden. Bei diesem Vorgang gelangt besonders viel Radon in die Umgebungsluft. Der Zufluss von Wasser sollte deshalb unter der Oberfläche erfolgen.

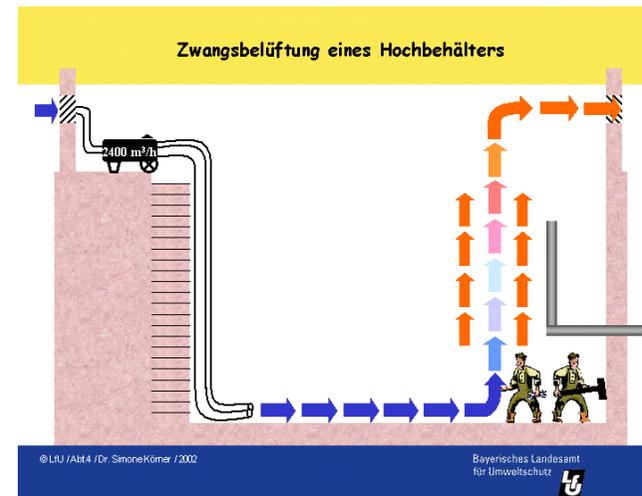
Bei der Behälterreinigung und beim Begehen besonders schlecht belüfteter Schächte können (mobile) Belüftungsaggregate benutzt werden. Legen Sie an dieser Stelle bitte Folie 21 auf.

Folie 20:



Hier sehen Sie das Abschotten von Wasserflächen an einem Beispiel aus der Praxis. In dieser Anlage wurden die Filterkiesbecken durch eine Plexiglaswand, an deren einem Ende sich eine Öffnung befindet, vom Rest des Gebäudes abgeschottet. Eine Absaugvorrichtung bei den Filterkiesbecken erzeugt einen Unterdruck im Gebäude. Die zuströmende Luft kommt von außen und ist damit radonarm. Sie streicht an den Räumen vorbei, bevor sie durch die Öffnung in der Plexiglaswand in den Aufbereitungsraum gelangt und abgesaugt wird.

Folie 21:



Bei belasteten Hochbehältern sollte bei der Reinigung ein (mobiles) Belüftungsaggregat eingesetzt werden. Von diesem wird von außen radonarme Frischluft durch Schläuche direkt an den Arbeitsplatz im Behälter geleitet. Beim Aufsteigen nimmt diese Luft dann die radonhaltige Behälterluft mit nach oben und außen, so dass der Arbeitsplatz nun wesentlich geringer belastet ist.

Folie 22:

Welche Fragen habe ich noch?

? ? ? ? ? ?

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an:

? Dr. Simone Körner
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
86177 Augsburg
Tel: 0821 / 90 71 - 53 34
e-mail: simone.koerner@lfu.bayern.de ?

? ? ?

© LfU / Abt4 / Dr. Simone Körner / 2002

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz 

Falls es jetzt noch Fragen gibt, rufen Sie uns an, wir helfen Ihnen gerne weiter.

C. „Erinnerungsschreiben“

Dieses Kapitel enthält einen Abdruck der zwei Seiten des Schreibens, das an alle bayerischen Wasserversorgungsunternehmen im Januar 2003 versandt wurde. In diesem Schreiben werden die Wasserversorgungsunternehmen auf ihre Pflicht, nach §§ 93 – 96 der novellierten Strahlenschutzverordnung [2] die Erhebung der Jahresexposition ihrer Beschäftigten durchzuführen, hingewiesen. Das Schreiben vom 30. November 2001 (AZ: 4/3-633-10), auf das verwiesen wird, ist in Ref. [3] in Anhang F und im Internet (www.bayern.de/lfu) abgedruckt.

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz



LfU Bayerisches Landesamt für Umweltschutz · 86177 Augsburg

«rex_name»

«strasse»

«plz» «ort_____»

Datum 21.01.03

Aktenzeichen 4/1-633-5-REx «rex_nummer»

Ihr Schreiben vom

Ihr Zeichen

Bearbeitung

Dr. Körner

Telefon 08 21 / 90 71 – 53 34, Fax – 55 54

simone.koerner@lfu.bayern.de

Erhebung der Radonexposition von Beschäftigten gemäß § 95 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Übergangsfrist zur Mitteilung der Ergebnisse der Erhebung der Radonexposition von Beschäftigten der Wasserversorgung gemäß § 95 StrlSchV an das LfU endet am 1. August 2003.

Die Erhebung der Radonexposition ist gesetzlich vorgeschrieben und muss von allen Wasserversorgungsunternehmen durchgeführt werden.

Eine detaillierte Anweisung zur Durchführung der Messungen ist schon mit unserem Schreiben vom 30. November 2001 (AZ: 4/3-633-10) an Sie versandt worden. Spätestens zum 1. August 2003 muss eine Mitteilung der Resultate aus der Ermittlung der Exposition der Beschäftigten und gegebenenfalls über die Durchführung von Maßnahmen zur Reduktion der Exposition an das LfU erfolgen. Dafür sollen die dem oben genannten Schreiben beiliegenden Formblätternvordrucke verwendet werden. Ist mit dem ermittelten Wert der Jahresexposition der Eingreifwert von 2 MBq·h/m³ nicht sicher unterschritten, muss ein Antrag zur Aufnahme in eine ständige Überwachung gestellt werden.

Da vom Zeitpunkt der Exposimeterbestellung bis zum Erhalt der Ergebnisse mit einem Zeitraum von mindestens **5 Monaten** zu rechnen ist, sollten Sie mit den Messungen schnellstmöglich beginnen. Falls Sie uns Ihre vollständigen Messergebnisse auf den Formblätternvordrucken schon zugesandt haben, so ist dieses Schreiben für Sie gegenstandslos.

www.bayern.de/lfu
poststelle@lfu.bayern.de

Dienstgebäude Augsburg
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg

Telefon 08 21/90 71-0
Telefax 08 21/90 71-55 56

Außenstelle Nordbayern
Schloss Steinenhausen
95326 Kulmbach

Telefon 0 92 21/604-0
Telefax 0 92 21/604-59 00

**Vogelschutzwarte
Garmisch-Partenkirchen**
Gsteigstraße 43
82467 Garmisch-Partenkirchen
Telefon 0 88 21/23 30
Telefax 0 88 21/23 92

Josef-Vogl-Technikum
Am Mittleren Moos 46
86167 Augsburg

Telefon 08 21/70 00-290
Telefax 08 21/70 00-299

Datum 21.01.03
Betreff Erhebung der Radonexposition von Beschäftigten gemäß § 95 der
Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)
Seite 2

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz



Unser Schreiben vom 30. November 2001 mit seinen Anlagen und weitere Informationen finden Sie auch im Internet auf unserer Homepage <http://www.bayern.de/lfu>.

Sollten in Ihrem Betrieb bereits äquivalente Radonmessungen durchgeführt worden sein, wie z.B. im Rahmen des Forschungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“, können die Ergebnisse dieser Messungen ebenfalls für eine Abschätzung der Jahresexposition der Beschäftigten herangezogen werden. Die Messungen sind gegebenenfalls zu vervollständigen.

Personal von Fremdfirmen muss auf eine mögliche Radonexposition bei Arbeiten in den Anlagen hingewiesen werden. Außerdem müssen nach § 95, Abs. 1 vorliegende Abschätzungen für die Expositionen an diesen Arbeitsplätzen den Fremdfirmen zur Verfügung gestellt werden.

Mitteilungen an die zuständige Behörde müssen richtig, vollständig und **rechtzeitig** erfolgen. Bei Nichteinhaltung liegt nach § 116 StrlSchV eine **Ordnungswidrigkeit** vor, die mit einem **Bußgeld** belegt werden kann.

Mit freundlichen Grüßen

I.A.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'H' followed by a series of loops and a final upward stroke.

Hübel
Ltd. Regierungsdirektor

D. „Ständige Überwachung“

Dieses Kapitel enthält einen Abdruck des Schreibens, das an 32 bayerische Wasserversorgungsunternehmen, deren Beschäftigte Jahresexpositionen zwischen 2 MBq h m^{-3} und 6 MBq h m^{-3} ausgesetzt sind, versandt wurde. In diesem Schreiben werden die betreffenden Wasserversorgungsunternehmen aufgefordert, die Radonexposition ihrer Beschäftigten kontinuierlich zu überwachen. Des Weiteren sind der Ablaufplan der ständigen Überwachung sowie ein Informationsblatt zur Radonreduktion abgedruckt.

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz



LfU Bayerisches Landesamt für Umweltschutz · 86177 Augsburg

«REX_NAME»

«REX_STR»

«REX_PLZ» «REX_ORT»

Datum 07.05.2003

Aktenzeichen 4/1-633-42, Rex-Nr. «REX_NUMMER»

Ihr Schreiben vom

Ihr Zeichen

Bearbeitung

Dr. Litzke

Telefon 0821/9071-5333, Fax -5554

joachim.litzke@lfu.bayern.de

Vollzug des § 95 der Strahlenschutzverordnung bei erhöhter Radonexposition

Anlage: Liste der Messstellen; Liste der von den Behörden ermächtigten Ärzte; Ablaufplan der ständigen Überwachung; Liste von Firmen zur Sanierungsplanung; Informationsblatt zur Radonreduktion; Auszug aus der Strahlenschutzverordnung

Sehr geehrte Damen und Herren,

am 1. August 2001 ist die novellierte Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 38, Bonn, 26. Juli 2001] in Kraft getreten. Danach sind alle Betriebe der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung, in denen Beschäftigte eine erhöhte Radonexposition von mehr als 2 MBq*h/m³ im Jahr (Eingriffswert) erhalten, verpflichtet, die Jahresexposition ihrer Mitarbeiter kontinuierlich zu überwachen.

Bei der Erhebung der Radonexposition nach § 95 wurde nun in ihrem Wasserversorgungsunternehmen eine erhöhte Radonexposition festgestellt (eigene Messung oder Messung im Rahmen eines Forschungsvorhaben des LfU in den Jahren 1999 - 2001). Deshalb muss die Exposition aller Mitarbeiter, die in Ihren Anlagen der Wasserversorgung arbeiten, kontinuierlich bis zu deren Ausscheiden aus dem Wasserversorgungsunternehmen gemessen werden. Dies geschieht durch Tragen eines eigenen Personenexposimeters durch jeden betroffenen Mitarbeiter beim Aufenthalt in allen Anlagen der Wassergewinnung in jeweils Drei-Monats-Zeiträumen. Diese Zeiträume sind: 1. Januar bis 31. März, 1. April bis 30. Juni, 1. Juli bis 30. September und 1. Oktober bis 31. Dezember. Beginnen Sie daher mit den Messungen zum 1. Juli 2003. Vor Ablauf der drei Monate sind bei der Messstelle neue Exposimeter zu bestellen, damit eine kontinuierliche Überwachung gewährleistet ist. Die Kosten trägt das Wasserversorgungsunternehmen. Die Messergebnisse müssen nach Erhalt binnen Monatsfrist dem Bayerischen Landesamt für Umweltschutz (LfU) übermittelt werden.

www.bayern.de/lfu
poststelle@lfu.bayern.de

Dienstgebäude Augsburg

Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg

Telefon 08 21/90 71-0
Telefax 08 21/90 71-55 56

Außenstelle Nordbayern

Schloss Steinenhausen
95326 Kulmbach

Telefon 0 92 21/604-0
Telefax 0 92 21/604-59 00

Vogelschutzwarte

Garmisch-Partenkirchen
Gsteigstraße 43
82467 Garmisch-Partenkirchen
Telefon 0 88 21/23 30
Telefax 0 88 21/23 92

Josef-Vogl-Technikum

Am Mittleren Moos 46
86167 Augsburg

Telefon 08 21/70 00-290
Telefax 08 21/70 00-299

Datum 07.05.2003
Betreff Vollzug des § 95 der Strahlenschutzverordnung bei erhöhter Radonexposition
Seite 2

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz



Des weiteren müssen die betroffenen Mitarbeiter innerhalb des jeweiligen Kalenderjahres von einem Arzt, der die für die arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz aufweist, untersucht werden. Die Erstuntersuchung muß bis zum Jahresende 2003 erfolgt sein. Der Arzt erstellt dann eine Bescheinigung, aus der hervorgeht, dass einer weiteren Beschäftigung des Mitarbeiters im Wasserversorgungsunternehmen keine gesundheitlichen Bedenken entgegenstehen. Eine Liste mit den von der zuständigen Behörde ermächtigten Ärzten zur Durchführung arbeitsmedizinischer Vorsorgemaßnahmen liegt bei.

Die ständige Überwachung der Beschäftigten enthebt das Wasserversorgungsunternehmen als Arbeitgeber aber nicht von der Pflicht, gemäß § 94 der StrlSchV geeignete Maßnahmen zu treffen, um unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten, d.h. Reduktionsmaßnahmen in die Wege zu leiten, um ein ständiges Unterschreiten des Eingreifwertes von $2 \text{ MBq}^* \text{h/m}^3$ zu erreichen. Teilen Sie uns deshalb bitte mit, welche Reduktionsmaßnahmen Sie geplant oder bereits durchgeführt haben. Sollten Sie Reduktionsmaßnahmen weder geplant noch durchgeführt haben, so teilen Sie uns bitte den Grund hierfür mit.

Ist aus dem Erfolg der Reduktionsmaßnahmen ersichtlich, dass für alle Mitarbeiter der Eingreifwert dauerhaft unterschritten wird, so kann vom LfU im Einzelfall auf Antrag über eine Entlassung aus der ständigen Überwachung entschieden werden. Mit der kontinuierlichen Erfassung der Exposition muss aber in jedem Fall am 1. Juli 2003 begonnen werden.

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an das LfU (Dr. Simone Körner, Tel. 0821/9071-5334 oder Dr. Joachim Litzke, Tel. 0821/9071-5333).

Weitere Informationen finden Sie auch auf der Homepage der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfachs (DVGW) unter der Adresse <http://www.dvgw.de/downloads.html> (Wasser:: Rechtsvorschriften:: Nationales Recht).

Information des DVGW/BMU-Arbeitskreises „Strahlenschutz“
„Neue Pflichten für alle Wasserversorgungsunternehmen: Strahlenschutz für Mitarbeiter“
August 2001

„Neue Pflichten für alle Wasserversorgungsunternehmen: Strahlenschutz für Mitarbeiter“
2. Information des DVGW/BMU-Arbeitskreises „Strahlenschutz“
Dezember 2001

3. Information des DVGW/BMU-Projektkreises „Strahlenschutz“
Stand Dezember 2002

Mit freundlichen Grüßen
I.A.

Hübner
Ltd. Regierungsdirektor

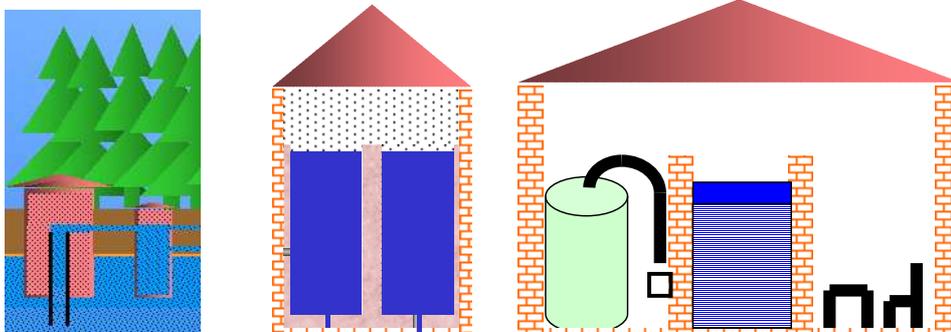
Ablaufplan zur ständigen Überwachung von Beschäftigten in Wasserversorgungsunternehmen

- Ermittlung der Beschäftigten, die in Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung arbeiten.
- Bestellung von Personenexposimetern bei einer Messstelle. Zu jedem personengebundenen Exposimeter muß ein sogenanntes Referenzexposimeter angefordert werden.
- Nach Erhalt der Exposimeter sofort Durchführung der Messungen (Dauer: jeweils 3 Monate). Beginn: 1.1., 1.4., 1.7. und 1.10. des jeweiligen Jahres. Alles Wissenswerte zur Durchführung der Messungen wird auf einem Informationsblatt mit den bestellten Exposimetern mitgeliefert.
- Vor Ablauf der 3-Monate-Tragezeit: Neue Exposimeter bei der Messstelle bestellen, damit eine kontinuierliche Überwachung gewährleistet ist.
- Nach Ablauf der 3-Monate-Tragezeit: Die gebrauchten Exposimeter sofort an die Messstelle zurücksenden und nach Erhalt der Messergebnisse diese binnen Monatsfrist dem LfU mitteilen
- Fortführung der Messungen mit den neuen Exposimetern (Dauer: jeweils 3 Monate) Beginn: 1.1., 1.4., 1.7. und 1.10. des jeweiligen Jahres.
- Dieses Schema ab Punkt 3 wiederholen.
- Jährliche Untersuchung der Beschäftigten bei einem Arzt, der die für die arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz aufweist.



Maßnahmen zur Reduktion der Radon-Belastung in Wasserwerken

Wo können erhöhte Radon-Konzentrationen auftreten?



Quellschächte Brunnenstuben	Hochbehälter	Aufbereitung	Büro Werkstatt
--------------------------------	--------------	--------------	-------------------

Die Radonbelastung berechnet sich aus der Radon-Raumluftkonzentration multipliziert mit der Aufenthaltszeit an einem Arbeitsplatz

→ geringe Radon-Raumluftkonzentration an Arbeitsplätzen mit hohen Aufenthaltszeiten!

Seite 2 von 2

Was kann man dagegen tun?

Information der Beschäftigten, wo erhöhte Radon-Gehalte auftreten

Anlagenort	Reduktionsmaßnahme
Büro, Werkstatt, Nebenräume	<ul style="list-style-type: none"> ◆ für gute Belüftung sorgen ◆ Aufbereitungsräume abgrenzen (z.B. Türen geschlossen halten und abdichten) ◆ langfristig diese Räume nicht im gleichen Gebäude wie die Aufbereitung/Hochbehälterkammer
Aufbereitungsraum	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aufenthaltszeit auf das Nötigste beschränken ◆ aktive Belüftung (z.B. Einbau fester Ventilatoren, mobile Lüftungssysteme) ◆ Abluft aus geschlossener Aufbereitung ins Freie führen ◆ Einbau radon-dichter Trennwände, um offene Filterkiesbecken abzutrennen
Hochbehälterkammerraum	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aufenthaltszeit auf das Nötigste beschränken ◆ radon-dichte Abtrennung des Schaltraumes von den Behälterkammern ◆ aktive Belüftung während der Behälterreinigung (z.B. mobile Lüftungssysteme) ◆ radon-dichte Abtrennung der zu reinigenden Wasserkammer von der befüllten Kammer ◆ sprudelfreies Befüllen der Behälter vermeiden
Brunnenstuben, Quell-/Sammelschächte	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aufenthaltszeit auf das Nötigste beschränken (Analysen der Wasserproben im Freien) ◆ vor Begehung für gute Belüftung sorgen (mobile Lüftungsgeräte)

In der tabellarischen Übersicht sind mögliche Reduktionsmaßnahmen zusammengestellt. Ein- und Umbaumaßnahmen sollten in Zusammenarbeit mit einem erfahrenen Ingenieurbüro durchgeführt werden. Die DVGW hat in einer Liste, die als Anhang beigefügt ist, einige Ingenieurbüros zusammengestellt. Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

E. Stand der Reduktionsmaßnahmen

Tabelle E.1.: *Stand der Reduktionsmaßnahmen. k.A. – vom Wasserversorgungsunternehmen wurden keine Angaben zu Reduktionsmaßnahmen gemacht, AB – Aufbereitung, ABG – Aufbereitungsgebäude. Aus den vorliegenden Messergebnissen wurde die Exposition auf das Jahr 2004 hochgerechnet.*

REx	Erhebung [MBq h m ⁻³]	Maßnahmen	2004 [MBq h m ⁻³]
1077	2,1	keine	2,0
2003	5,6	keine	Jan 05
2076	3,7	wollen ein Ingenieurbüro beauftragen	Jan 05
2079	2,1	in Planung: Becken in Filterhalle abdecken, Luft absaugen	1,4
2124	3,1	keine	< 0,3
2208	18	Verringerung der Aufenthaltszeiten; Spülkästen abgedichtet; Abluft ins Freie geführt	Jan 05
3005	17	Einbau von Belüftern in Brunnen; 10/04 Belüf- tung des Wasserwerks fertiggestellt	1
3008	2,9	Anweisung, Aufenthaltszeiten zu beschränken	0,9

REx	Erhebung [MBq h m ⁻³]	Maßnahmen	2004 [MBq h m ⁻³]
3022	21	Errichtung eines neuen Sozialgebäudes mit Büro und Labor → Verringerung der Aufenthaltszeiten im ABG	3,4
3024	14	geplant: Sanierung der Wasserwerke und HB bis Juni 2005.	April 05
3038	6,9	Abluft in ABG nach außen geführt; Spülkasten abgedeckt; Luke des Pufferbeckens mit Dichtung und Federklammern befestigt	0,7
3081	5,0	im Sept. 04 wurde eine Firma mit Sanierung beauftragt	Jan 05
3109	2,5	keine	Jan 05
3168	2,6	Schächte: Belüften mit Laubsauger; Orts-einsicht durch LfU 8/04: Belüftungsdauer Schächte war nicht ausreichend	4
3187	4,7	Zwangsbelüftung im Arbeitszimmer, das neben der AB liegt	0,9
3262	22	k.A.	Jan 05
3281	4	im ABG wurde die Entlüftungsleitung ins Freie verlegt	Jan 05
3326	4	Arbeitsanweisung erstellt; Büro verlegt; im ABG Abluftrohre ins Freie verlegt	0,6
3329	9,8	AB läuft nur noch nachts; Spülkasten abgedichtet	1,3
4200	2,9	k.A.	< 0,3

REx	Erhebung [MBq h m ⁻³]	Maßnahmen	2004 [MBq h m ⁻³]
5039	11	Aufenthaltszeiten reduziert; auf ausreichende Belüftung wird geachtet	0,8
5051	2,1	k.A.	
5053	2,4	Aufenthaltszeiten im ABG reduziert; Schächte werden vor Betreten 5 Min. gelüftet	1,2
5055	7	keine	4,8
5065	130	Betretungszeiten geändert; Pumpintervalle geändert, z.T. Stilllegungen; keine Messungen mehr im Quellschacht; Lüfter in ABG	2,6
5074	2,5	k.A.	0,5
5077	3,9	Beschränkung der Aufenthaltszeiten; stationärer Lüfter in HB eingebaut, demnächst im 2. HB	0,7
5100	4,3	neu seit Dezember 2004; k.A.	April 05
5111	19	Be- und Entlüfter eingebaut	Jan 05
5121	3,6	Aufenthaltszeiten reduziert	2,5
5122	3,5	mobiler Lüfter im ABG	0,3
5127	16	Änderung der Betretungszeiten; Einsatz von Belüftungssystemen; mobiler Lüfter im Quellschacht	< 1,0
5131	26	Betretung nur zu bestimmten Zeiten; mobiler Lüfter	< 0,3
5133	3,3	k.A.	
5143	5,8	k.A.	April 05
5187	4,3	k.A.	Jan 05

REx	Erhebung [MBq h m ⁻³]	Maßnahmen	2004 [MBq h m ⁻³]
5220	2,7	k.A.	< 0,3
5224	5,9	k.A.	Jan 05
5227	6,8	derzeit laufen Sanierungsplanungen zusammen mit einem Ingenieurbüro. 8/04 Auflistung der geplanten Maßnahmen	Jan 05
5231	12	k.A.	Jan 05
5232	7,5	k.A.	Jan 05
5243	5,4	Entlüftung ins Freie; Deckel der Wasserbehälter abgedichtet; Überlaufrohre verschlossen	Jan 05
5276	4,5	k.A.	April 05
5305	3,9	k.A.	1,4
5306	20	Betretung nur zu bestimmten Zeiten; stationärer Lüfter empfohlen	Jan 05
5310	6	k.A.	Jan 05
5322	17	stationäre Lüfter eingebaut in HB + ABG; mobile Lüfter in Quellschächten	1,4
5323	2,2	neu seit Dezember 2004; k.A.	April 05
5330	4,3	neu seit Dezember 2004; k.A.	April 05
5332	9	ABG: Entlüftung, Trennwand zu Becken; HB: mobiler Entlüfter; Einbau Trennwand geplant	15
5340	7,4	k.A.	1,5
5348	2,8	geplant, Auffangbehälter mit Plexiglas abzudecken	2,0
5367	14	Betretung nur zu bestimmten Zeiten; stationärer Lüfter empfohlen; passive Lüftung	1,1

REx	Erhebung [MBq h m ⁻³]	Maßnahmen	2004 [MBq h m ⁻³]
5374	5,9	Ausschreibung für Belüftung	1,3
5408	5,3	Lüfter während der HB-Reinigung	0,6
5410	3,9	Ortseinsicht LfU 6/04: nur vage Äußerung, dass in den nächsten 2 Jahren neuer und bestehender HB saniert werden soll; Belüftung Schächte schwierig wegen fehlendem Stromanschluss	3,3
5411	5,5	k.A.	Jan 05
5413	14	Betretung nur zu bestimmten Zeiten; stationärer Lüfter empfohlen	0,7
5416	9,8	k.A.	
5421	6,2	Neubau eines HB; z.T. Abdeckungen	3,1
5425	11	Lüfteraggregat in ABG	7,3
6030	3,9	personengebundenes Exposimeter wurde von allen Wasserwarten zusammen getragen	0,3
7008	4,0	Verringerung der Aufenthaltszeiten, vermehrtes Lüften; kein Erfolg, daher geplant, eine Fachfirma mit der Sanierung zu beauftragen	3,5
7041	8,8	keine	< 0,3
7068	9,4	Büro verlegt	0,4
7396	4,0	Aufenthaltszeiten verringert	0,9
8104	11	neuer HB, alter HB stillgelegt	0,3
8159	4,4	neuer HB seit 2002; Aufenthaltszeiten verringert	< 0,3
8244	2,4	keine	April 05

F. Arbeitsanweisung

Arbeitsanweisung zum Thema „Radon“: Vorschlag des LfU.

Arbeitsanweisung zum Schutz vor erhöhter Radonbelastung

1. Ziel und Zweck

Diese Anweisung

- dient dem Schutz der Mitarbeiter vor Radonbelastungen bei Arbeiten in Anlagen der Wasserversorgung
- enthält Auflagen und Maßnahmen zur Reduzierung der Radonbelastung in Anlagen mit hohen Messwerten

2. Geltungsbereich und gesetzliche Grundlagen

Die Betriebsanweisung gilt in folgenden/allen Wasserversorgungsanlagen der Gemeinde.....

- ✓
- ✓
- ✓

Gesetzliche Grundlagen sind die §§ 94 – 96 und § 116 der Strahlenschutzverordnung

3. Verantwortlichkeiten

Ansprechpartner und zuständig für die Einhaltung der Betriebsanweisung ist:

Name, Vorname
Anschritt
Telefon

4. Unterweisung der Beschäftigten

- Die Betriebsanweisung zum Radonschutz ist jedem Beschäftigten (Eigenpersonal und Fremdpersonal), der in den Anlagen der Wasserversorgung tätig ist, gegen Unterschrift zur Kenntnis zu geben.
- Fremdpersonal ist darauf hinzuweisen, dass sie in eigener Verantwortung ihre Radonexposition ermitteln müssen.
- Mindestens einmal jährlich müssen die in den Wasserversorgungsanlagen tätigen Personen im Radonschutz unterwiesen werden.
- Folgende Punkte sind bei der jährlichen Unterweisung mindestens anzusprechen:
 - Gefahren der Radonexposition,
 - Verhaltensweisen zu deren Vermeidung und Minimierung,
 - Inhalte der Radon-Betriebsanweisung

MUSTER –ARBEITSANWEISUNG RADONSCHUTZ

5. Schutz vor erhöhter Radonbelastung

5.1. Allgemeine Maßnahmen

Unnötige Aufenthalte in den Anlagen sind zu vermeiden.

5.2. Spezielle Maßnahmen

Für Bereiche mit erhöhter Radonkonzentration gelten spezielle Anweisungen, die eingehalten werden müssen, um die Radonbelastung so gering wie möglich zu halten.

Anlage	Rn-222-Konz. [Bq/m³]	Anweisung
Hochbehälter *)	<ul style="list-style-type: none"> • z.B. während der Reinigung mobilen Lüfter verwenden; ...min vor Betreten einschalten • bei Routine Aufenthaltszeit auf Minimum beschränken
Aufbereitung*)	<ul style="list-style-type: none"> • Rückspülung nur von ... bis ... Uhr laufen lassen • Betreten nur zwischen ... und ... Uhr • Stationären Lüfter ...Stunden vor Betreten einschalten/ ständig in Betrieb und Funktionstüchtigkeit kontrollieren
Maschinenhaus	
Labor	
Büro	
Werkstatt	
Brunnen	
Schächte	Vor Betreten mobilen Lüfter ...min vorher einschalten

*) namentlich aufstigen

Beispiele für mögliche Maßnahmen:

Verhaltensregeln	Passive Maßnahmen	Aktive Lüftungs-möglichkeiten
Verbot der Betretung zu bestimmten Zeiten	Abdichten von Türen und Fenstern	Stationärer Lüfter: Dauerbetrieb, Intervallbetrieb
Verbot der Betretung zu bestimmten Betriebszuständen	Einbau von Trennwänden, Türen	Mobiles Lüfteraggregat
Einzuhaltende Betretungszeiten	Fenster kippen	
Einschalten der ortsfesten Belüftung	Türen offen/geschlossen lassen	
Verwendung von mobilen Lüftern		
Zu berücksichtigende Wartezeiten		
Öffnen oder Schließen von Türen		

23.02.05

MUSTER –ARBEITSANWEISUNG RADONSCHUTZ

6. Überwachung der Radonexposition

6.1. Art und Durchführung der Überwachung

- kontinuierliche personengebundene Radonmessung mittels Kernspurdosimetern
- in 3-Monats-Zeiträumen (1.1. bis 31.3., 1.4.bis.30.06., 1.7. bis 30.9. und 1.10. bis 31.12.)
- Dokumentation der Tragezeiten des personengebundenen Exposimeters durch die überwachte Person
- Hinweise zum Lagerort des Referenzexposimeters

6.2. Bestellung der Exposimeter

siehe Liste im Anhang

6.3. Dokumentation und Berichterstattung (§ 96 Abs. 2)

- Die Exposition muss aufgezeichnet und bis zum 75. Lebensjahr des Beschäftigten, mind. 30 Jahre, aufbewahrt werden.
- Der überwachten Person und der Behörde müssen die Aufzeichnungen auf Verlangen vorgelegt werden.
- Bei Beschäftigungswechsel müssen Aufzeichnungen auf Verlangen vorgelegt werden.
- Überschreitungen der Grenzwerte müssen unverzüglich der Behörde gemeldet werden.

6.4. Dauer der Überwachung

WVU kann die Entlassung aus der ständigen Überwachung bei der zuständigen Behörde (= LfU) beantragen, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Radonexposition 2 Jahre lang < Eingreifwert (2 MBq*h/m³)
- Dokumentation der durchgeführten Minimierungsmaßnahmen
- Erstellen und Einhaltung einer Betriebsanweisung zum Schutz vor erhöhter Radonbelastung

7. Ärztliche Untersuchung

Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausführen (der ständigen Überwachung unterliegen) dürfen nur beschäftigt oder weiterbeschäftigt werden, wenn sie innerhalb des jeweiligen Kalenderjahres von einem Arzt untersucht worden sind, der die für die arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz nachweist.

8. Behördliche Auflagen

- Meldung der personengebundenen Quartalsmessergebnisse an die zuständige Behörde (=LfU) binnen Monatsfrist
- Sofortige Meldung bei Grenzwertüberschreitung
- Jährliche schriftliche Meldung über durchgeführte Reduktionsmaßnahmen mit neuen ortsgelunden Messungen, besondere Vorkommnisse

Ort, Datum

.....

Anlage: Auszug aus der Strahlenschutzverordnung; Liste der Messstellen

23.02.05

G. Formblatt für Fremdfirmen zur Ermittlung der Radonexposition

Formblatt zur Berechnung der Exposition durch Radon

1. Zweck des Formblatts

Das beigelegte Formblatt dient dem Verpflichteten einer externen Firma zur Berechnung der Exposition seines Mitarbeiters durch Radon.

2. Benutzung des Formblatts

Für jeden Beschäftigten ist ein eigenes Formblatt zu benutzen. Der Beschäftigte trägt den (die) in jedem Unternehmen nach Anlage XI Teil A der StrlSchV erhaltenen Konzentrationswert(e) und die dazugehörige Aufenthaltszeit(en) in die Tabelle ein, berechnet nach unten stehender Formel die Exposition und addiert sie zur Summe der bereits vorhandenen Expositionen. Damit erhält er die Exposition zum aktuellen Zeitpunkt.

3. Weitere Maßnahmen

- Immer: Vorababschätzung (mit der zu erwartenden Aufenthaltszeit), ob $6 \text{ MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ überschritten werden. Ist dies der Fall, muss ein Betreten der Anlagen abgelehnt werden.
- Wenn abzusehen ist, dass der Beschäftigte eine Jahresexposition von $2 \text{ MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ überschreiten wird: Tragen eines personengebundenen Exposimeters (alle 3 Monate wechseln).
- Der Grenzwert von $6 \text{ MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ darf nicht überschritten werden.

4. Unternehmen nach Anlage XI Teil A der StrlSchV

Untertägige Bergwerke, Schächte und Höhlen einschließlich Besucherbergwerken; Radon-Heilbäder und -Heilstollen; Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung.

H. Detailergebnisse der Messungen von Uran und Radium im Trinkwasser

Tabelle H.1.: Zusammenstellung der Messergebnisse, aufgeschlüsselt für die einzelnen Wasserversorgungsunternehmen. Art: RW – Rohwasser, ReW – Reinwasser, MW – Mischwasser aus verschiedenen Brunnen, Q – Quellen, B – Brunnen, TB – Tiefbrunnen, FB – Flachbrunnen, ^a – 40 % BR und 60 % BH. ^b – bestimmt mit ICP, ^c – berechnet aus U-235.

Nr.	Art	U-238 ^b	U-238 ^b	Th-232 ^b	U-238 ^c	Th-234	Th-228	Ra-226	Ra-228	Pb-210	Rn-222	Ges.-α	Ges.-β
		[μg l ⁻¹]	[Bq l ⁻¹]	[μg l ⁻¹]	[Bq l ⁻¹]								
2	RW Q	1,1	0,013	< 0,005	< 0,017	0,008	< 0,0003	< 0,004	0,0018	0,0064	24	0,04	0,08
2	RW B	2,3	0,029	< 0,005	< 0,063	0,035	< 0,0012	< 0,015	0,004	0,03	14	0,14	0,31
2a	RMW	8,2	0,102	< 0,005	0,094	0,08	0,0005	0,014	0,0097	0,013	29	0,14	0,22
2a	ReMW	8,4	0,105	< 0,005	0,1008	0,073	0,00047	< 0,005	0,0072	0,0061	10	0,12	0,38
31	RW B3	9,32	0,116	< 0,005	0,12	0,083	0,0002	0,012	0,0097	0,009	19	0,20	0,31
31	RW B3	6,18	0,077	< 0,005	0,086	0,075	< 0,0013	< 0,017	0,007	0,029	26,4	0,17	0,47
32	RW B1	7,49	0,093	< 0,005	0,11	0,09	0,001	0,012	0,022	0,007	17	0,19	0,40
32	RW B3	4,92	0,061	< 0,005	0,067	0,07	0,003	0,022	0,039	0,007	9,5	0,21	0,35
32	ReW B(1+3)	16,5	0,206	< 0,005	0,22	0,2	0,001	< 0,022	0,019	0,023	< 6	0,27	0,60
33	RW BIV	2,68	0,033	< 0,005	0,036	0,034	0,001	0,012	0,018	0,003	10	0,10	0,39
4	RW B6	28,7	0,359	< 0,005	0,357	0,26	0,0023	0,33	0,054	0,029	97	0,97	0,64
4	ReW B6	30,1	0,376	< 0,005	0,399	0,27	0,0023	0,32	0,057	0,02	6	0,81	0,93
51	RW B2	0,9	0,011	< 0,005	< 0,02	0,008	0,0027	0,062	0,049	0,011	31	0,29	0,31
51	Re B2	2	0,025	0,01	< 0,036	0,017	0,0019	0,045	0,046	0,01	< 2	0,16	0,37
52	RW BR	0,2	0,002	< 0,005	< 0,1	< 0,01	0,0044	0,13	0,108	0,032	36	0,16	0,22
52	ReW ^a	0,5	0,006	< 0,005	< 0,038	0,011	0,0018	0,052	0,047	0,017	< 2	0,15	0,39
53	RW B3	0,9	0,011	< 0,005	< 0,015	0,0065	< 0,0003	< 0,0034	0,0012	0,009	12	0,028	0,044
53	ReW B 3	0,8	0,01	< 0,005	< 0,013	0,0048	< 0,0002	< 0,0044	0,0011	0,0087	12	0,04	0,07
7	RW TB	0,8	0,01	< 0,005	0,021	0,019	0,0005	0,016	0,013	0,004	k.A.	0,10	0,18
7	RW FB	4,4	0,055	< 0,005	0,046	0,026	< 0,0003	< 0,003	0,007	0,003	k.A.	0,09	0,11
8	RW B1	13,7	0,171	< 0,005	0,17	0,14	0,0007	< 0,01	0,012	0,021	4,5	0,22	0,24
8	RW B3	0,12	0,001	< 0,005	< 0,015	0,005	0,0004	< 0,007	0,0058	0,006	3,7	0,025	0,07
9	RMW	1,3	0,016	< 0,005	0,017	0,009	< 0,0003	0,0027	0,0012	0,0041	10,5	0,023	0,004

Tabelle H.2.: Vergleich der Gesamt- α -Aktivitätskonzentration mit der berechneten Summe der α -Strahler. * – ICP.

Nr.	Aktivitätskonzentration [Bq l ⁻¹]					Gesamt- α
	U-238*	U-234	5×Th-228	3×Ra-226	Summe	
2	0,013	0,013	< 0,0003	< 0,004	0,026	0,04
2	0,029	0,029	< 0,0012	< 0,015	0,058	0,14
2a	0,102	0,102	0,0025	0,042	0,2485	0,14
2a	0,105	0,105	0,0023	< 0,005	0,2123	0,12
31	0,116	0,116	0,001	0,036	0,269	0,2
31	0,077	0,077	< 0,0013	< 0,017	0,154	0,17
32	0,093	0,093	0,005	0,036	0,227	0,19
32	0,061	0,061	0,015	0,066	0,203	0,21
32	0,206	0,206	0,008	< 0,022	0,42	0,27
33	0,033	0,033	0,008	0,036	0,11	0,1
4	0,359	0,359	0,0115	0,99	1,7195	0,97
4	0,376	0,376	0,0115	0,96	1,7235	0,81
51	0,011	0,011	0,0135	0,186	0,2215	0,29
51	0,025	0,025	0,0095	0,135	0,1945	0,16
52	0,002	0,002	0,022	0,48	0,506	0,16
52	0,006	0,006	0,009	0,156	0,177	0,15
53	0,011	0,011	< 0,0003	< 0,0034	0,022	0,028
53	0,01	0,01	< 0,0002	< 0,0044	0,02	0,04
7	0,01	0,01	0,0025	0,048	0,0705	0,10
7	0,055	0,055	< 0,0003	< 0,003	0,11	0,09
8	0,171	0,171	0,0035	< 0,01	0,3455	0,22
8	0,001	0,001	0,002	< 0,0007	0,004	0,025
9	0,016	0,016	< 0,0003	< 0,0027	0,032	0,023

Tabelle H.3.: Vergleich der Gesamt- β -Aktivitätskonzentration mit der berechneten Summe der β -Strahler.

Nr.	Aktivitätskonzentration [Bq l ⁻¹]							Summe	Gesamt- β
	Ra-228	Ac-228	2×Pb-212	2×Pb-210	2×Th-234	Bi-214+Pb-214	0,8933×K-40		
2	0,0018	0,0018	< 0,0003	0,0008	0,016	0,0027	0,049	0,0721	0,08
2	0,0041	0,0041	< 0,0012	0,06	0,07	0,0054	0,076	0,2196	0,31
2a	0,0097	0,0097	0,001	0,0262	0,16	0,015	0,1	0,3216	0,22
2a	0,0072	0,0072	0,00094	0,012	0,146	0,013	0,105	0,29134	0,38
31	0,0097	0,0097	0,0004	0,018	0,166	0,0212	0,182	0,407	0,31
31	0,007	0,007	< 0,0026	0,058	0,15	0,012	0,119	0,353	0,47
32	0,022	0,022	0,002	0,014	0,18	0,0186	0,158	0,4166	0,4
32	0,039	0,039	0,006	0,014	0,14	0,0336	0,221	0,4926	0,35
32	0,019	0,019	0,0032	0,046	0,4	0,0162	0,175	0,6784	0,6
33	0,018	0,018	0,003	0,006	0,068	0,191	0,261	0,565	0,39
4	0,054	0,054	0,0046	0,058	0,52	0,565	0,185	1,4406	0,64
4	0,057	0,057	0,0046	0,04	0,54	0,561	0,182	1,4416	0,93
51	0,049	0,049	0,0054	0,022	0,016	0,109	0,224	0,4744	0,31
51	0,046	0,046	0,0038	0,02	0,034	0,092	0,1617	0,4035	0,37
52	0,108	0,108	0,0088	0,064	< 0,01	0,244	0,111	0,6438	0,22
52	0,047	0,047	0,0036	0,034	0,022	0,085	0,11	0,3486	0,39
53	0,0012	0,0012	< 0,0006	0,018	0,013	< 0,0007	0,036	0,0694	0,044
53	0,0011	0,0011	< 0,0004	0,0174	0,0096	0,0019	0,036	0,0671	0,07
7	0,013	0,013	0,001	0,008	0,038	0,015	0,128	0,216	0,18
7	0,007	0,007	< 0,0003	0,006	0,052	0,0059	0,067	0,1449	0,11
8	0,0123	0,0123	0,0014	0,0042	0,28	0,0058	0,069	0,385	0,24
8	0,0058	0,0058	0,00074	0,012	0,0094	0,0083	0,043	0,08504	0,07
9	0,0012	0,0012	< 0,0006	0,0082	0,018	0,0025	0,022	0,0531	0,044