



Abschlussbericht vom 01. Mai 2002

Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz



Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern

Abschlussbericht vom 1. Mai 2002

Dr. M. Trautmannsheimer
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums
für Landesentwicklung und Umweltfragen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Das Radonpotenzial der verschiedenen Regionen Bayerns	9
2.1	Einteilung Bayerns in zehn geologische Regionen	9
2.2	Geologische Formationen in Bayern	9
2.3	Grundwasserleiter	13
2.4	Radonkonzentration in der Bodenluft	13
2.5	Klassifikation der Regionen nach dem Radonpotenzial	13
3	Radonexposition der Beschäftigten	21
4	Datenerhebung von Arbeitsabläufen und Anlagenmerkmalen in den Wasserversorgungsunternehmen	23
4.1	Versand der Erhebungsbögen	23
4.2	Auswertung der Erhebungsbögen	24
5	Erhebungsmessungen	27
5.1	Durchführung der Messungen	27
5.2	Rohwasserproben	28
5.3	Radonkonzentrationen in den Wasserversorgungsanlagen	29
5.4	Jahresexpositionen der Beschäftigten	30
5.5	Korrelation zwischen Radonkonzentration im Wasser, in der Raumluft und der Radonexposition	32
6	Exposition des Personals bei Behälterreinigungen	37
7	Vollzug der Strahlenschutzverordnung in Wasserversorgungsunternehmen	39
7.1	Verfahren zur Erhebung der Jahresexpositionen	39
7.2	Vorgehensweise beim Vollzug der Strahlenschutzverordnung	40
8	Kontinuierliche Radon- und Zerfallsproduktmessungen in ausgewählten Anlagen	45
8.1	Die Messgeräte	45
8.2	Zusammenarbeit mit dem U.R.A.-Labor der Universität Regensburg	47

8.3	Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 3005	47
8.4	Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5055	49
8.5	Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5111	50
8.6	Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5122	52
8.7	Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5127	53
8.8	Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5306	54
8.9	Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5322	55
8.10	Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5425	56
8.11	Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 7017	57
8.11.1	Messungen im Hochbehälter	57
8.11.2	Messungen im Aufbereitungsgebäude	60
8.12	Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 7051	62
8.13	Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 7285	65
8.14	Diskussion der Ergebnisse	65
9	Reduktionsmaßnahmen	67
9.1	Fortschritt bei bisher durchgeführten Projekten	67
9.2	Reduktion der Radonkonzentration im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5122 .	69
9.3	Reduktion der Radonkonzentration im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5322 .	71
9.3.1	Reduktion der Konzentration im Aufbereitungsgebäude	71
9.3.2	Reduktion der Konzentration in den Quellschächten	72
9.4	Reduktion der Radonkonzentration im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5332 .	74
9.4.1	Reduktion der Konzentration im Aufbereitungsgebäude	74
9.4.2	Reduktion der Exposition bei der Behälterreinigung	77
9.5	Reduktion der Radonkonzentration im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5425 .	85
9.6	Reduktion der Radonkonzentration im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 8104 .	86
9.7	Reduktion der Expositionen zweier Wasserwarte der Wasserversorgungsunterneh- men Nr. 5053 und 5065	89
9.8	Zusammenfassende Bewertung der Effektivität der angewandten Reduktionsmaß- nahmen	89
10	Jahresmessungen der Exposition ausgewählter Wasserwarte	91
11	Messungen der Ortsdosisleistung	95

12 Kernspurdetektoren als personengebundene Systeme	97
12.1 Die Handhabung eines personengebundenen Kernspurexposimeters	97
12.2 Praxistest personengebundener Exposimeter unterschiedlicher Messstellen	101
12.3 Abschätzung der Exposition aus orts- und personengebundenen Messungen	103
12.4 Entwicklung eines Exposimeterlagerbehälters	104
12.5 Erfahrungen aus der Praxis	106
13 Radontransfer Wasser-Luft in Aufbereitungsanlagen	109
14 Voruntersuchungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 7001	111
15 Messungen von Schlämmen aus der Filterspülung	113
16 Radondichtheit von PET-Flaschen	117
17 Zusammenfassung	119
Literaturverzeichnis	121
Anhang	129
A Auswertung der Erhebungsbögen	131
A.1 Verteilung der Wasserversorgungsunternehmen und Beteiligung an der Fragebo- genaktion	132
A.2 Interesse an Radonmessungen	133
A.3 Statistik über die Beschäftigten der Wasserversorgungsunternehmen	134
A.4 Statistik über die Anzahl der Gebäude der Wasserversorgungsunternehmen	138
A.4.1 Brunnen	138
A.4.2 Hochbehälter	140
A.4.3 Sammelschächte	141
A.4.4 Aufbereitungsanlagen mit offenen Filtern	142
A.4.5 Aufbereitungsanlagen mit geschlossenen Filtern	143
A.5 Statistik über die Aufenthaltszeiten der Beschäftigten	144
A.6 Statistik über die bauliche Ausführung und Wartung der Gebäude	149
A.6.1 Hochbehälter	149
A.6.2 Aufbereitungsanlagen	153

B	Ergebnisse der Radonmessungen in tabellarischer Form	157
C	Begriffsdefinitionen und Abkürzungen	159
C.1	Begriffe aus der Wasserversorgung	159
C.2	Begriffe aus der Radonmesstechnik	162
D	Muster eines Erhebungsbogens	167
E	Musterschreiben an die Versorgungsunternehmen zur Mitteilung von Messwerten	173
F	Schreiben an alle Wasserversorgungsunternehmen zum Vollzug der Strahlenschutzverordnung	181

1 Einleitung

Seit den Veröffentlichungen der Ergebnisse zahlreicher epidemiologischer Studien an kanadischen, amerikanischen und tschechischen Bergarbeitern [1, 2, 3] und an Mitarbeitern der WISMUT AG [4, 5] steht zweifelsfrei fest, dass 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 in Bergwerken [6, 7], Besucherhöhlen [8, 9], Radonheilbädern [10, 11, 12] und auch in Wasserwerken [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] gemessen.

Schon 1996 wurde deshalb das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) beauftragt, die Situation in Bezug auf die Radonexposition der Beschäftigten in den etwa 2600 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 [21, 22].

Fast gleichzeitig mit Beginn des Screening-Projekts wurde im Mai 1996 eine „Richtlinie zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlung“ [23] des Rates der Europäischen Gemeinschaften verabschiedet, die von den Mitgliedstaaten 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 am Arbeitsplatz durch natürliche Radionuklide herausgegeben [24].

Im Anschluss an das Screening-Projekt wurde 1998 dann ein Untersuchungsvorhaben am LfU begonnen, um flächendeckende Messungen in den bayerischen Wasserversorgungsunternehmen durchzuführen. Ziel des Vorhabens war es u.a. möglichst viele Beschäftigte mit erhöhten Radonexpositionen aufzuspüren und dann Maßnahmen zur Reduktion ihrer Radonbelastung zu entwickeln und danach anzuwenden. Dazu wurde 1998 an alle Wasserversorgungsunternehmen Bayerns ein Erhebungsbogen zur Erfassung der Anlagen und der typischen Arbeitsvorgänge sowie der Arbeitszeiten der Beschäftigten versandt. Nach Durchsicht des Rücklaufs wurden etwa 450 Wasserversorgungsunternehmen für Radonmessungen ausgewählt. Zusätzlich wurden bei etwa 100 weiteren Versorgungsunternehmen Radonmessungen durchgeführt, nachdem das StMLU im Frühjahr 1999 in einem Rundschreiben an die Landratsämter und Wasserwirtschaftsämter erneut kostenlose Messungen angeboten hatte. Die Messungen sollten klären, bei wie vielen Wasserwarten in Bayern eine erhöhte Jahresexposition zu erwarten ist.

Seit Beginn des Jahres 2000 besteht zu diesem Zweck auch 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 können die

Mitarbeiter dieses Labors effektiv Messungen vor Ort durchführen und die Wirksamkeit von Reduktionsmaßnahmen überprüfen.

Im August 2001 wurde durch die Novelle der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [25] die oben genannte europäische Richtlinie in deutsches Recht umgesetzt. Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte durch Arbeiten ist im Teil 3, Kapitel 1 bis 3, der StrlSchV geregelt. Beschäftigte müssen nun in bestimmten Arbeitsfeldern, die in Anlage XI, Teil A, der StrlSchV aufgelistet sind, die jährliche Radonexposition abschätzen. Eine Übergangsfrist bis August 2003 wurde eingeräumt. Zu diesen Arbeitsfeldern gehören 1.) untertägige Bergwerke, Schächte und Höhlen, einschließlich Besucherbergwerke, 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. Maßnahmen zur Reduktion der Exposition müssen dann getroffen werden. Führen diese Maßnahmen nicht zum Erfolg, muss die Radonexposition des Beschäftigten kontinuierlich registriert und überwacht und die Messwerte der zuständigen Behörde gemeldet werden. Eine Aufnahme in die ständige Überwachung ist aber nur zulässig, wenn alle mit vertretbarem Aufwand durchführbaren Reduktionsmaßnahmen schon ausgeschöpft wurden. Grundsätzlich müssen auch bei nicht erhöhten Radonexpositionen einfache Maßnahmen zur Reduktion der Expositionen ergriffen werden. Eine Jahresexposition von über 20 mSv ist nicht zulässig. Nach StrlSchV kann davon ausgegangen werden, dass eine effektive Dosis von 6 mSv und 20 mSv nicht überschritten wird, wenn die Radonexposition einen Wert von 2 MBq h m^{-3} bzw. 6 MBq h m^{-3} nicht übersteigt¹. Konzepte zum Vollzug der neuen StrlSchV wurden im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens ausgearbeitet.

Die Exposition durch Radon in Wohnungen ist in der StrlSchV nicht geregelt. Aber die Grundnorm der europäischen Union 90/143/EURATOM [26] aus dem Jahre 1990 enthält bereits Empfehlungen, ab welcher Radonkonzentration in einer Wohnung Reduktionsmaßnahmen durchgeführt werden sollten. Auch die Strahlenschutzkommission (SSK) hat Richtwerte für die Radonkonzentration in Wohnungen angegeben [27, 28, 29, 30]. In einigen anderen europäischen Ländern wie z.B. der Schweiz gibt es sogar Grenzwerte für die maximal zulässige Radonkonzentration in Wohnungen [31]. Auch Wohnungen in einigen Regionen in anderen europäischen Ländern weisen stark erhöhte Radonkonzentrationen auf [32, 33, 34, 35]. Es ist deshalb damit zu rechnen, dass auch in einigen EU-Mitgliedstaaten bald verbindliche Grenz- und Richtwerte eingeführt werden. Sollte in der Bundesrepublik Deutschland ein Grenzwert für den Wohnbereich eingeführt werden, ist dann auch mit einer gesetzlichen Überwachung der Radonexposition an allen Arbeitsplätzen, auch an denen die nicht in Anlage XI, Teil A, der jetzt gültigen StrlSchV aufgelistet sind, zu rechnen.

Das Untersuchungsvorhaben wurde Ende 2001 abgeschlossen. Es wurden drei Zwischenberichte erstellt [36, 37, 38]. Der gesamte Inhalt dieser Zwischenberichte ist auch in diesem Abschlussbericht enthalten. Außerdem wurden vom U.R.A.-Labor der Universität Regensburg, das als Unterauftragnehmer im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens tätig war, zwei Berichte angefertigt [39, 40]. Die wichtigsten Ergebnisse dieser beiden Berichte sind auch in diesem Abschlussbericht eingearbeitet. Teilergebnisse dieses Untersuchungsvorhabens wurden auch noch an anderer Stelle,

¹Ein Wert der Jahresexposition von 2 MBq h m^{-3} und 6 MBq h m^{-3} wird im folgenden Eingreifwert bzw. Grenzwert genannt.

teilweise in Englisch, veröffentlicht [41, 42, 43, 44, 45, 46, 47].

Im gesamten Bericht ist unter Radon das Isotop Radon-222 zu verstehen. Zerfallsproduktkonzentrationen werden durch die sogenannte gleichgewichtsäquivalente Konzentration (EEC) ausgedrückt, kurz auch EEC-Konzentration genannt. Im Bericht wurde auf die Berechnung der effektiven Dosis (Einheit mSv) aus der Radonexposition verzichtet. Es werden im folgenden nur die Expositionen in der Einheit MBq h m^{-3} angegeben. Bei „normalen“ Bedingungen² kann als Faustformel jedoch gelten: 1 MBq h m^{-3} entspricht etwa 3 mSv. Diese Umrechnungsvorschrift ist im Einklang mit Abschätzungen der International Commission on Radiological Protection (ICRP) [48].

Im Anhang C 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, trägt aber auch zur besseren Lesbarkeit von Texten bei.

Aus Datenschutzgründen sind in diesem Bericht die Namen der Wasserversorgungsunternehmen (WVU) durch eine sogenannte WVU-Nr. verschlüsselt. Einzelne Wassergewinnungsanlagen eines Unternehmens werden durch zwei Buchstaben in Klammern nach der WVU-Nr. bezeichnet.

²Der Gleichgewichtsfaktor ist im Bereich von 0,4, und der sogenannte „unangelagerte Anteil“ der Zerfallsprodukte ist nicht stark erhöht.

2 Das Radonpotenzial der verschiedenen Regionen Bayerns

2.1 Einteilung Bayerns in zehn geologische Regionen

Um Bereiche mit ähnlicher geologischer Struktur und damit vergleichbarem „Radonpotenzial“¹ zusammenzufassen, wurde Bayern im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens in zehn geologische Regionen aufgeteilt. Diese Aufteilung erfolgte mit Beratung des Geologischen Instituts der Universität Bonn (Prof. Siehl). Bei der Einteilung wurden neben der geologischen Übersichtskarte die Struktur der Grundwasserleiter, die Radonkonzentrationen in der Bodenluft und die Urangehalte in den Bachsedimenten berücksichtigt (siehe Kapitel 2.2, 2.3 und 2.4). Vor den Messungen in den Wassergewinnungsanlagen wurde für jede Region auch eine Bewertung der Höhe des Radonpotenzials durchgeführt. Für Regionen mit erhöhtem Radonpotenzial wurde eine höhere Messpunktdichte gewählt (siehe Kapitel 2.5).

Die gesamte Auswertung der Erhebungsbögen und der Messergebnisse dieses Untersuchungsvorhabens wurde getrennt für jede geologische Region durchgeführt. Jedes Wasserversorgungsunternehmen wurde einer Region zugeordnet und wird mit einer sogenannten „WVU-Nr.“ identifiziert. Die erste Ziffer der vierstelligen WVU-Nr. repräsentiert die Nummer der geologischen Region mit der Ausnahme, dass 0 der Region 10 entspricht.

In Abbildung 2.1 und Tabelle 2.1 ist diese Einteilung dargestellt.

2.2 Geologische Formationen in Bayern

Bei der Beurteilung des Radonpotenzials einer bestimmten Region ist der geologische Untergrund von großer Bedeutung, da sich innerhalb einer geologischen Formation die Radiumgehalte nicht stark verändern und Porosität, Festigkeit und Klüftigkeit ähnlich sind. Radium ist innerhalb einer Formation in ähnlicher Weise im Boden gebunden, so dass auch mit nicht zu unterschiedlichem Emaniervermögen zu rechnen ist. Zur Einschätzung des Radonpotenzials stand verschiedenes Kartenmaterial mit den geologischen Strukturen, den Grundwasserleitern, der Verteilung von Uran und Barium in Bachsedimenten [49] und des Radongehaltes in der Bodenluft [50] zur Verfügung. Ebenso wurde die Karte des geogenen Radonpotenzials, die an der Universität Bonn entwickelt wurde, berücksichtigt [51, 52, 53, 54, 55].

Die „Geologische Übersichtskarte von Bayern“ (Abbildung 2.2 auf Seite 14) zeigt die verschiedenen Formationen in Bayern. Hohes Radonpotenzial ist in Gebieten mit Granit- oder Gneisvorkom-

¹Mit dem Radonpotenzial wird ein Gebiet hinsichtlich der Verfügbarkeit von Radon im Boden bewertet. Diese Verfügbarkeit hängt im Wesentlichen vom Radongehalt in den Bodenporen, von der Porosität und von der Durchlässigkeit (Permeabilität) des Bodens ab.

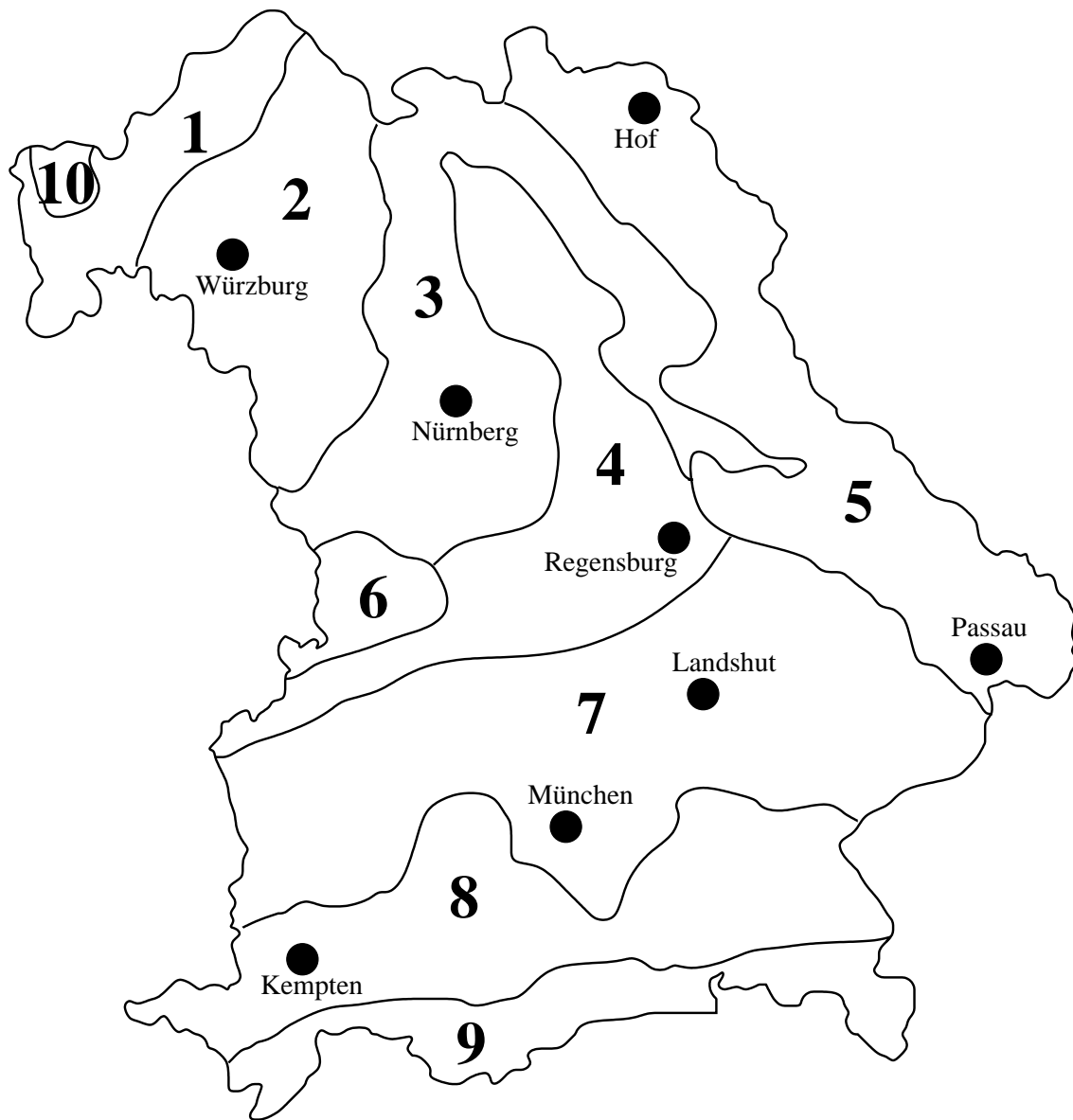


Abbildung 2.1: Die Grafik der zehn Regionen mit ähnlichem Radonpotenzial.

Tabelle 2.1: Einteilung Bayerns in zehn Regionen mit ähnlichem Radonpotenzial.

Region	Gebiete	Gesteinsart
1	<i>Spessart</i>	Buntsandstein
2	<i>Würzburger Main Gebiet</i> Gebiet fränkische Saale	Muschelkalk, unterer Keuper
3	<i>Steigerwald</i> Frankenhöhe Gebiet roter Main Coburger Land	Fränkischer Keuper
4	<i>Fränkische Alb</i>	Malm, Dogger, Oberkreide
5	<i>Bayerische Wälderregion</i> Frankenwald Fichtelgebirge Oberpfälzer Wald Bayerischer Wald	Granite, Gneise
6	<i>Nördlinger Ries</i>	Auswurfmassen des Ries-Meteoriten
7	<i>Bayerisches Sedimentgebiet</i> Schwaben Hallertau Gäuboden Münchner Schotterebene	Sedimentgesteine, Molassen
8	<i>Bayerisches Voralpenland</i>	Jungmoränen
9	<i>Nördlicher Alpenrand</i>	Trias, Altterziär, Jura
10	<i>Aschaffenburg</i>	Granite, Gneise

men im Untergrund zu erwarten, da diese Gesteine in der Regel einen besonders hohen Uran- und Radiumgehalt aufweisen.

U-238 zerfällt über U-234 und Th-230 zu Ra-226. Im Boden sind diese Isotope in der Regel im radioaktiven Gleichgewicht, d.h. die spezifischen Aktivitäten dieser Isotope sind gleich. Deshalb ist der Urangehalt auch ein Maß für Radium im Boden. Das in der Zerfallsreihe dem Radium folgende Radon ist ein Edelgas, das nach der Diffusion an die Oberfläche seines umgebenden Gesteins oder durch den Rückstoß beim radioaktiven Zerfall aus oberflächennahen Schichten in das Porenvolumen des Bodens übertreten kann. Mit der Bodenluft oder im Wasser gelöst kann es dann im Boden transportiert werden. Hohe Porosität und Klüftigkeit des Erdreichs erhöhen sowohl den Transport von Radon in der Bodenluft als auch mit dem Grundwasser, so dass Radon aus einem weiten Einzugsbereich mit dem Grundwasser in Berührung kommen kann. Dies kann auch bei niedrigeren Radiumgehalten im Boden zu höheren Radonkonzentrationen im Rohwasser der Wasserwerke führen.

Ist Uran im Grundwasser gelöst, kann man davon ausgehen, dass auch Radon im Wasser gelöst ist. Somit sollte der Urangehalt in Bachsedimenten, die jahrhundertlang das im Wasser gelöste Uran aufgesammelt haben, auch einen Hinweis für das gelöste Radon im Grundwasser sein. In Oberflächenwasser ist nur sehr wenig Radon enthalten, da dieses Edelgas in sehr kurzer Zeit nach Erreichen der Oberfläche ausgast und in die Außenluft übertritt.

In Abbildung 2.3 (Seite 15) sind die Urangehalte in den Bachsedimenten aufgetragen. Daten für Radium in Bachsedimenten sind leider nicht verfügbar. Wie erwartet, erkennt man deutlich erhöhte Werte in der Region 5.

Uran kann aber aufgrund seiner unterschiedlichen chemischen Eigenschaften in anderen chemischen und kristallinen Verbindungen als Radium gebunden und damit der Transfer in das Grundwasser verschieden sein. Barium liegt dagegen im Untergrund oft in sehr ähnlichen Verbindungen wie Radium vor und löst sich ähnlich gut im Wasser. Erhöhte Bariumgehalte in Bachsedimenten können deshalb auf einen erhöhten Gehalt an Radium und auch Radon im Grundwasser hinweisen, Radon kann in diesem Fall besonders leicht in das Grundwasser übertreten. Abbildung 2.4 (Seite 16) zeigt Region 3 als ein Gebiet mit besonders hohen Gehalten an Barium in Bachsedimenten.

2.3 Grundwasserleiter

In der geologischen Übersichtskarte ist die Beschaffenheit der obersten Schicht charakterisiert. Die tiefer liegende grundwasserführende Schicht kann jedoch in Bezug zur Oberfläche von unterschiedlicher Beschaffenheit sein. In verschiedenen Gebieten gibt es Grundwasserleiter mit überörtlicher Bedeutung sowohl in tiefen als auch in oberflächennäheren Schichten übereinander.

Diese Grundwasserleiter sind in der Karte „Die Grundwasserleiter in Bayern“ dargestellt (Abbildung 2.5 auf Seite 17). In den meisten Fällen wird das Trinkwasser aus den überörtlichen Grundwasserleitern gewonnen. Kleinere, lokale Brunnen können ihr Wasser auch aus anderen kleineren grundwasserführenden Schichten fördern. Die bayerischen Grundwasserleiter geben im Wesentlichen die Struktur der geologischen Formationen wieder.

2.4 Radonkonzentration in der Bodenluft

Auch die Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft können Hinweise auf die Radonkonzentration im Wasser geben. Die Bodenluft wird aber üblicherweise in 1 m Tiefe gemessen, so dass bei der Wasserförderung aus tiefen Schichten nicht immer von äquivalenten Bedingungen ausgegangen werden kann. Abbildung 2.6 (Seite 18) weist höhere Werte in Region 5 aus. Innerhalb dieser Region tritt das Fichtelgebirge mit Werten von 500 bis 2 Millionen Bq m^{-3} (dunkelrotes Gebiet) deutlich hervor.

2.5 Klassifikation der Regionen nach dem Radonpotenzial

Um die zehn ausgewiesenen Regionen bezüglich ihres Radonpotenzials einzuschätzen, wurden vor Beginn der Radonmessungen die Informationen aus dem Kartenmaterial dieses Kapitels ausgewertet und zusätzlich die Karte des geogenen Radonpotenzials bewertet.

Alle granitischen Gebiete müssen als hoch eingestuft werden. Dem fränkischen Keuper (Region 4) kann wegen seiner Porosität ein erhöhtes Radonpotenzial zugewiesen werden. In Gebieten mit Molassen, Sedimentgesteinen und Jungmoränen erwartet man nur geringe Vorkommen von Radium und somit niedrigeres Radonpotenzial. Alle anderen Gebiete wurden mit einem mittleren Radonpotenzial bewertet. Diese Bewertung entstand, wie bereits erwähnt, vor Durchführung der Radonmessungen in den Wasserversorgungsunternehmen und muss nach Auswertung der Messergebnisse an späterer Stelle nochmal diskutiert werden.

1998 wurde dann geplant, 500 Wasserwarte mit personengebundenen Exposimetern auszustatten. Dabei sollten aber dem unterschiedlichen Radonpotenzial und der unterschiedlichen Anzahl an Wasserversorgungsunternehmen in den zehn Regionen Rechnung getragen werden. Je höher das Radonpotenzial, um so höher sollte auch die Anzahl der mit personengebundenen Exposimetern ausgerüsteten Wasserwarte sein. Ein geringes, mittleres, erhöhtes und hohes Radonpotenzial wurde durch einen sogenannten Radonpotenzialfaktor (RPF) von 1, 4, 6 bzw. 10 berücksichtigt.

Jedes Wasserversorgungsunternehmen (WVU) besitzt in der Regel ein oder mehrere Wasserge-

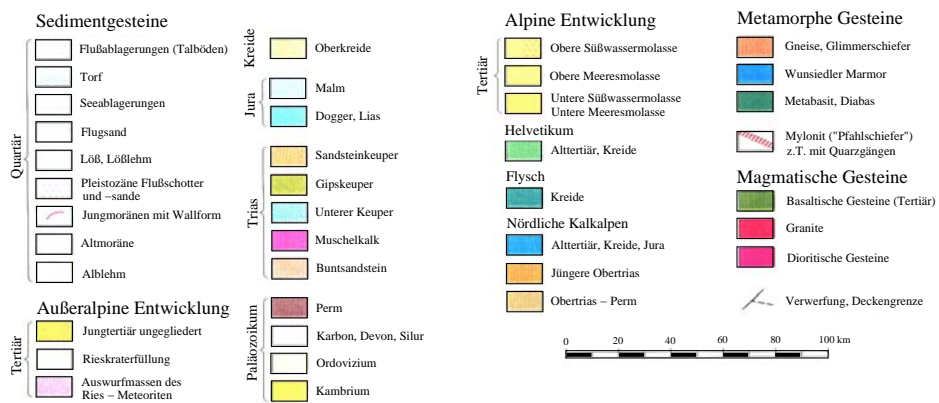
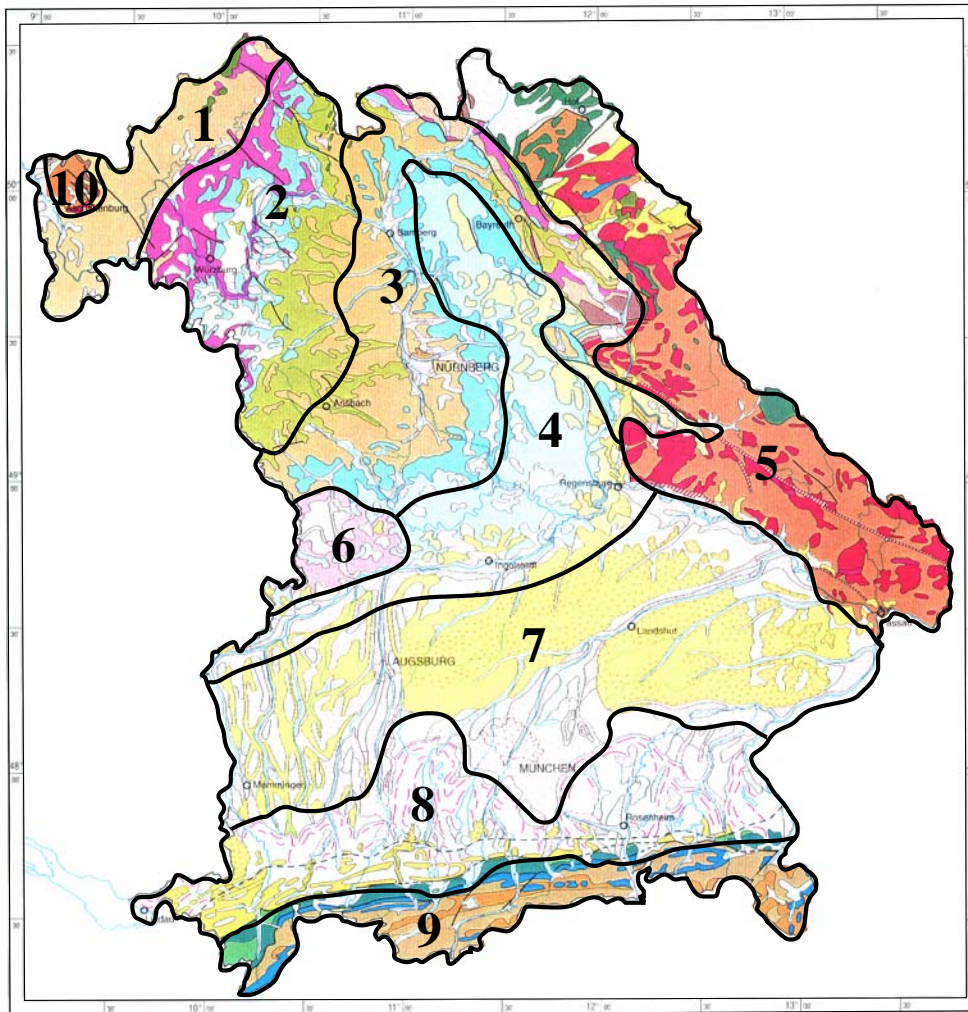


Abbildung 2.2: Geologische Übersichtskarte von Bayern.

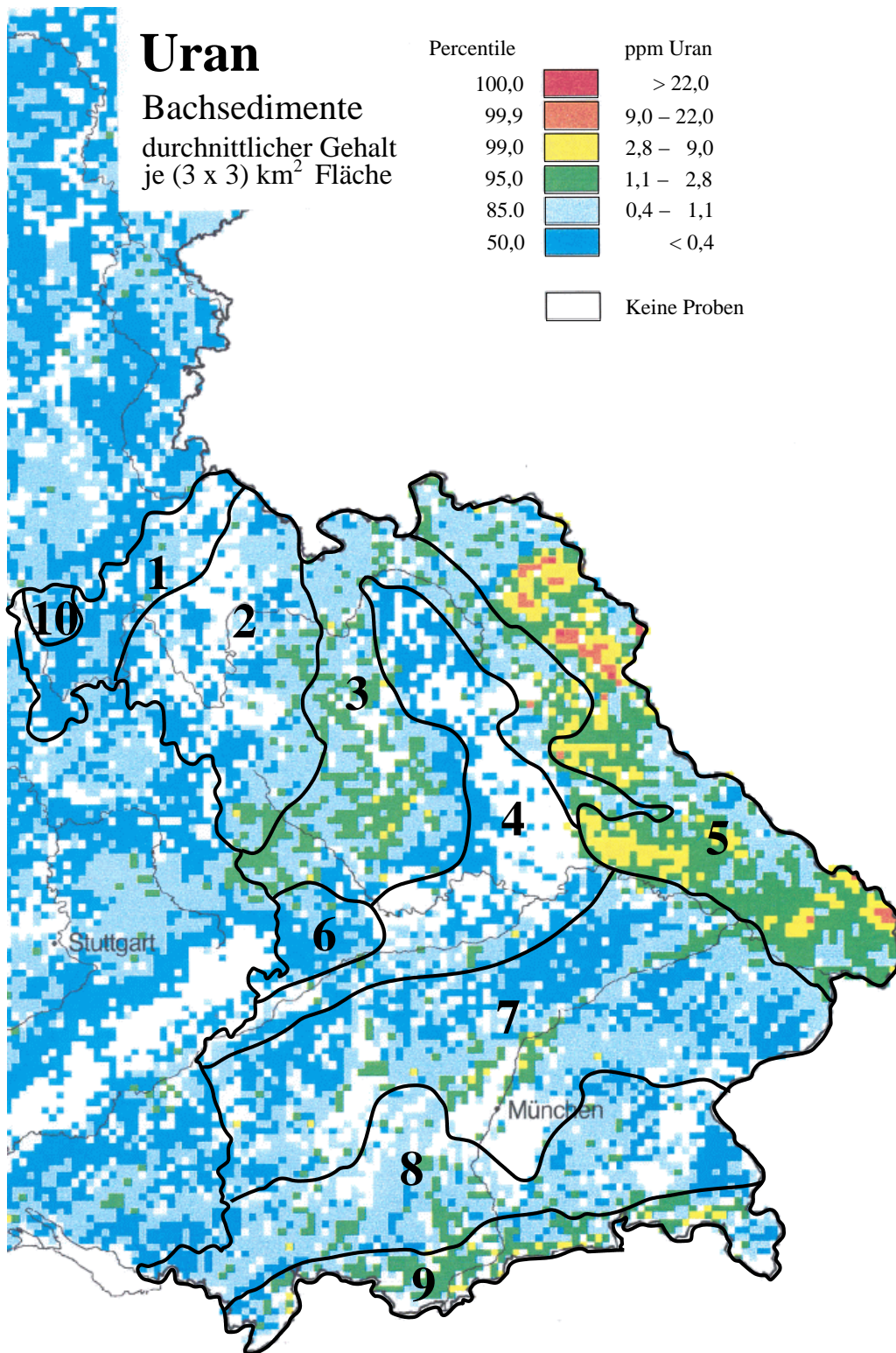


Abbildung 2.3: Die Urangelhalte in Bachsedimenten.

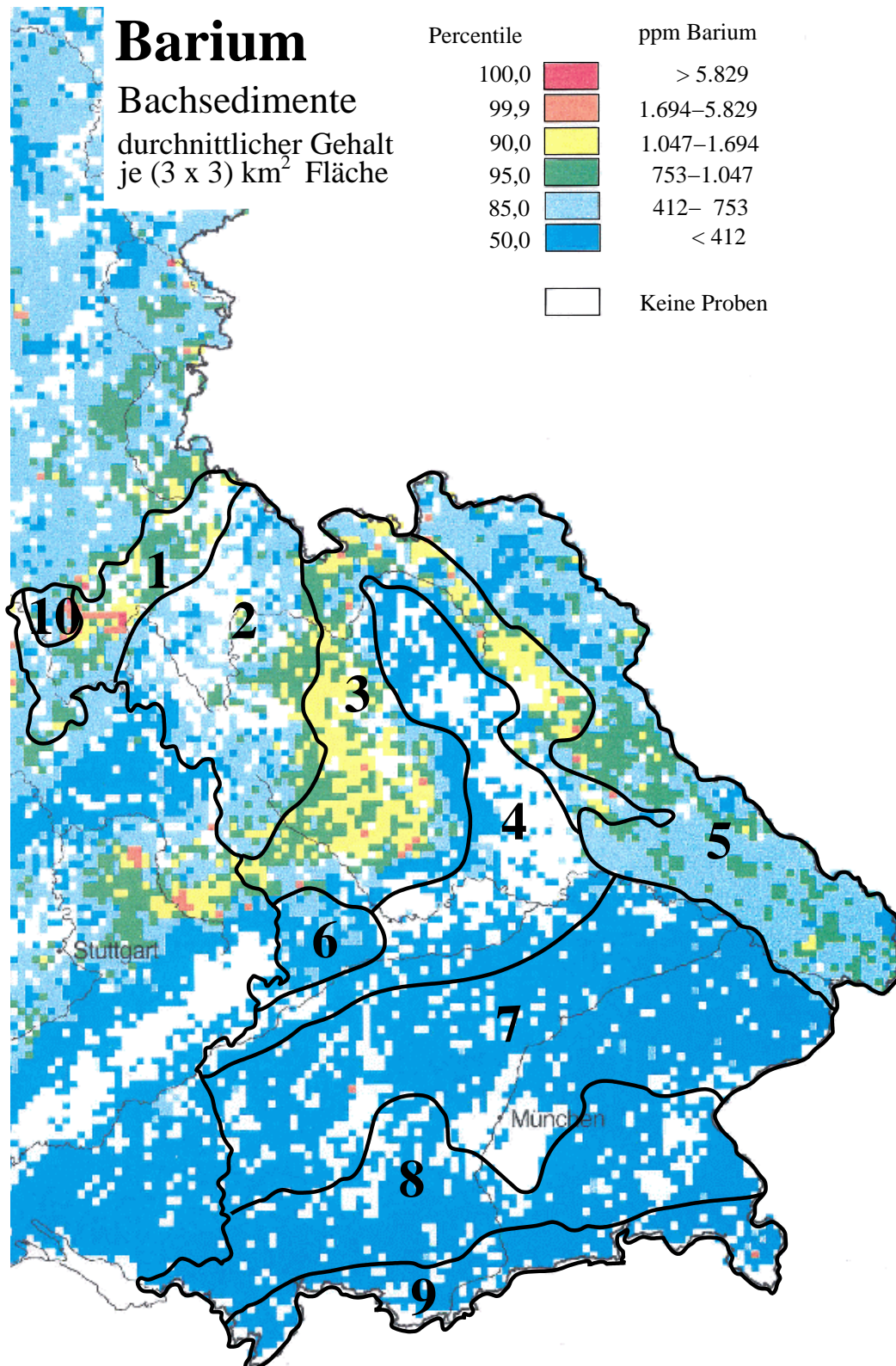
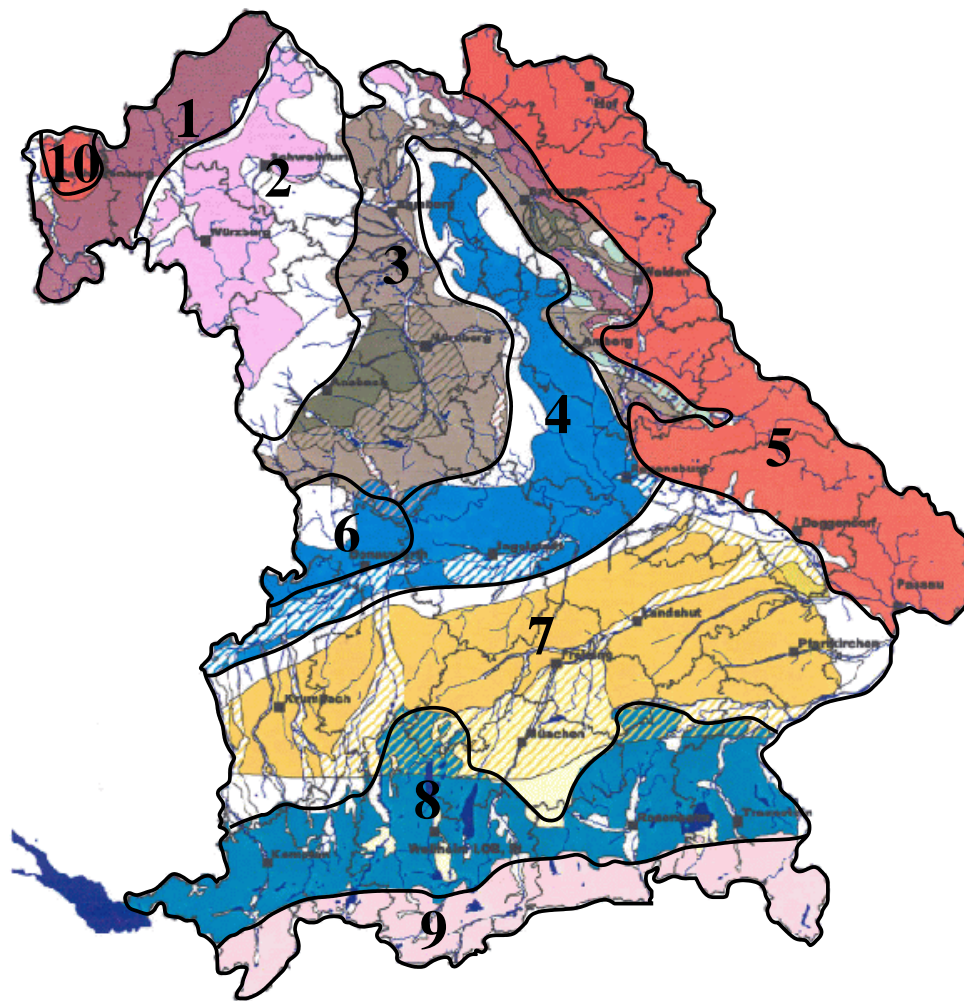
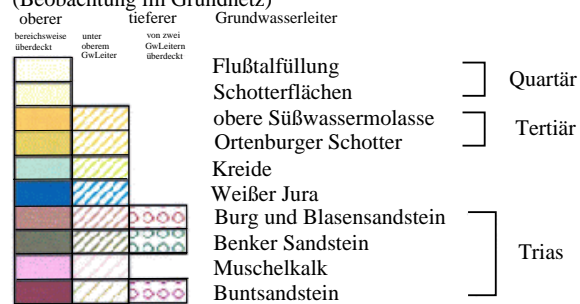


Abbildung 2.4: Die Bariumgehalte in Bachsedimenten.



Grundwasserleiter mit überörtlicher Bedeutung

(Beobachtung im Grundnetz)



Grundwasserleiter mit örtlicher Bedeutung

(keine Beobachtung im Grundnetz)

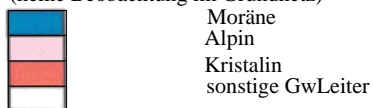


Abbildung 2.5: Die Grundwasserleiter in Bayern.

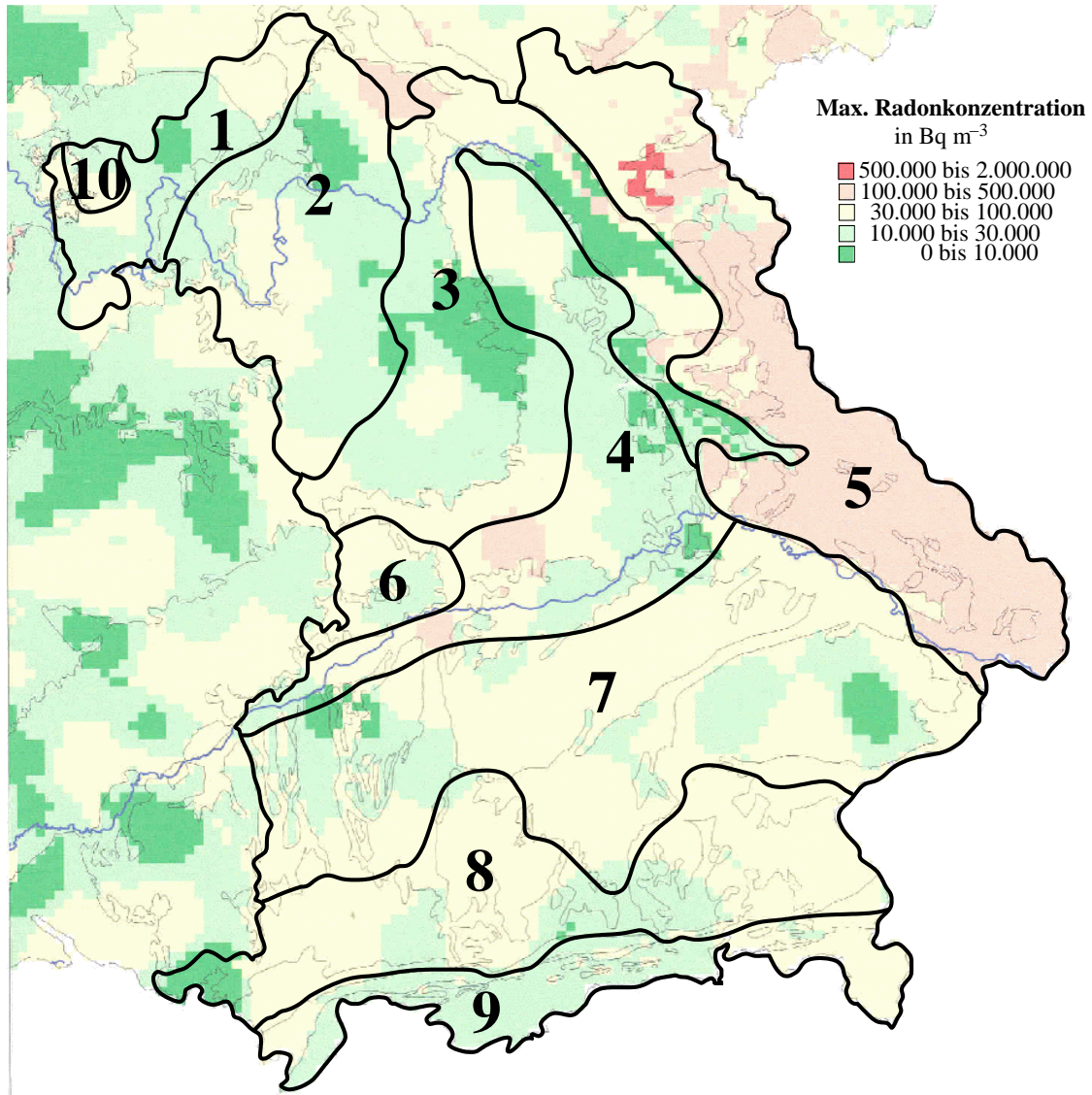


Abbildung 2.6: Die Radonkonzentration in der Bodenluft.

Tabelle 2.2: Charakteristische Daten der 10 Regionen.

Region	RPF	Fläche [km ²]	Anzahl WGA	Anzahl WVU	WGA pro 1.000 km ²	WVU pro 1.000 km ²	AWW [soll]	AWW [ist]
1	4	3.190	230	106	72	33	22	25
2	1	7.030	288	251	41	36	13	34
3	6	10.360	621	362	60	35	110	107
4	4	8.120	364	215	45	26	44	48
5	10	10.520	801	425	76	40	216	178
6	4	1.360	44	36	32	26	10	11
7	1	15.910	716	478	45	30	24	68
8	1	9.260	765	563	83	61	29	50
9	4	4.430	181	126	41	28	26	26
10	10	420	27	18	64	43	10	8
Summe		70.600	4.037	2.580			504	555

winnungsanlagen. In einer Wassergewinnungsanlage (WGA) sind Anlagen eines abgegrenzten Quellgebiets zusammengefasst (genaue Definition im Anhang C). Zu einer Wassergewinnungsanlage gehören neben Quellfassungen und Brunnen mindestens ein Hochbehälter und in vielen Fällen eine Aufbereitungsanlage. Die Anzahl der Wassergewinnungsanlagen pro Wasserversorgungsunternehmen ist somit auch ein Maß für die Anzahl der wasserwirtschaftlichen Gebäude des Wasserversorgungsunternehmens. In Tabelle 2.2 sind charakteristische Daten der zehn geologischen Regionen aufgetragen. Die letzten beiden Spalten der Tabelle enthalten die im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens gewünschte (soll) und die tatsächlich erreichte (ist) Anzahl der personengebundenen Messungen von bayerischen Wasserwarten (AWW).

Die Anzahl der für Radonmessungen ausgewählten Wasserwarte in den verschiedenen geologischen Regionen AWW_R wurde mit folgender Formel berechnet:

$$AWW_R = \frac{RPF_R \cdot AWVU_R}{\sum_{i=1}^{10} (RPF_i \cdot AWVU_i)} \cdot 500$$

R	Nummer der Region (1 bis 10)
AWW_R	Anzahl der ausgewählten Wasserwarte der Region R
RPF_R	Radonpotenzial-Faktor der Region R
$AWVU_R$	Anzahl der Wasserversorgungsunternehmen in der Region R
$\sum_{i=1}^{10} (RPF_i \cdot AWVU_i)$	= 9.826

Um nicht eine zu geringe Anzahl von Messpunkten zu erhalten, wurde bei einer Auswahl von weniger als 10 Wasserwarten pro Region die Auswahl auf 10 erhöht. In Region 5 konnten die gewünschten Vorgaben nicht ganz erreicht werden, weil nicht genügend Wasserversorgungsunternehmen bereit waren, an der freiwilligen und kostenlosen Studie teilzunehmen.

3 Radonexposition der Beschäftigten

Die Höhe der Exposition des Personals durch Radon und seine Zerfallsprodukte ist von mehreren Faktoren abhängig. Neben der Radonkonzentration in der Raumluft der Anlagen müssen auch die unterschiedlichen Arbeitsabläufe der Beschäftigten berücksichtigt werden. Die Wasserwarte halten sich im Allgemeinen am längsten in den Anlagen auf. Wassermeister, Techniker und Reinigungspersonal betreten die Anlagen der Wassergewinnung meistens weniger oft und mit kürzeren Aufenthaltsdauern.

Über das Grundwasser gelangt das Radon in die Anlagen und tritt durch große Wasseroberflächen wie z.B. bei Hochbehältern und Filterkiesbecken der Aufbereitungsanlagen in die Raumluft über. Verwirbelungen in Folge des freien Falls vom Wassereinlass in die Wasserbecken und Spülungen der Aufbereitungsanlagen verstärken den Transfer. Die Schüttung (Wasserdurchfluss), die Größe des Raumes und vor allem die Lüftung beeinflussen die Radonkonzentration in den Räumen.

Unmittelbaren Einfluss auf die zu erwartende Exposition hat auch die Aufenthaltsdauer des Wasserwarts in den Räumen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass bei Anlagen mit Aufbereitungsanlage durch die regelmäßige Spülung der Filterkiesbecken im Vergleich zu anderen Anlagen mit längeren Aufenthaltszeiten zu rechnen ist. Auch bei sogenannten „geschlossenen Aufbereitungsanlagen“ mit Filtern in geschlossenen Stahltanks kann es durch den Aufbereitungsvorgang und durch die Spülung der Filter zu einer Erhöhung der Radonkonzentration im Aufbereitungsgebäude kommen. In vielen Fällen führen Entlüftungsrohre von den Filtertanks direkt in den Innenraum, so dass bei Betrieb und Spülung der Filter Radon aus dem Wasser in die Raumluft gelangen kann.

In der Regel ist der Aufenthalt in Räumen mit offenen Wasserflächen aber nur kurz, das heißt im Bereich von wenigen Minuten bis zu etwa zwei Stunden pro Woche. Dennoch kommt es in einigen Fällen durch die extrem hohen Radonkonzentrationen in diesen Räumen trotz der kurzen Begehungszeiten zu hohen Expositionswerten für den Wasserwart. In einigen Anlagen werden auch angrenzende Räume als Werkstatt, Aufenthaltsraum, Schaltraum usw. benutzt, in denen sich das Personal auch länger aufhält. Undichte Zwischentüren oder Fenster und kleine Lüftungsschlitze als Verbindung zu Räumen mit offenem Wasser können problematische Konzentrationen erzeugen. Auch durch den Aufenthalt an diesen Orten kann damit eine Belastung durch Radon für das Personal entstehen.

Besonders hohe Radonkonzentrationen können in den Hochbehältern auftreten. In der Regel führt der Aufenthalt in den Hochbehältern nur zu einem geringen Beitrag zur Gesamtexposition des Wasserwarts, da die Aufenthaltszeiten dort sehr kurz sind. Nur sehr sporadisch muss der Raum mit den Wasserkammern zu Kontrollgängen betreten werden. Sichtfenster machen oft ein Betreten völlig überflüssig. Bei der meist jährlich durchzuführenden Behälterreinigung können jedoch erhebliche Expositionen beim Reinigungspersonal auftreten (siehe Kapitel 6).

Für eine genaue Berechnung der Exposition des Wasserwarts durch Radon und seine Zerfallsprodukte ist die Kenntnis des Gleichgewichtsfaktors und des sogenannten „unangelagerten Anteils“ notwendig. In mehreren, in verschiedenen Wassergewinnungsanlagen durchgeführten Untersuchungen, wurden mittlere Gleichgewichtsfaktoren von etwa 0,5 ermittelt [56, 14]. Der Gleichgewichtsfaktor ist aber großen zeitlichen Schwankungen unterworfen und kann von Raum zu Raum

variieren [15]. Über das Verhalten des unangelagerten Anteils in Wassergewinnungsanlagen gibt es bisher nur sehr wenige Informationen.

4 Datenerhebung von Arbeitsabläufen und Anlagenmerkmalen in den Wasserversorgungsunternehmen

4.1 Versand der Erhebungsbögen

Im September 1998 wurde allen 2.579 Wasserversorgungsunternehmen ein vierseitiger Erhebungsbogen zugesandt (der gesamte Erhebungsbogen ist in Anhang D einzusehen). Im Fragebogen wurden die Wasserwerke gebeten, Auskünfte über ihre Aufenthaltszeiten in den verschiedenen Anlagenteilen zu geben. Außerdem sollten sie technische Daten der Hochbehälter und Aufbereitungsanlagen angeben. Hochbehälter und Aufbereitungsgebäude beinhalten in der Regel großräumige Wasserkammern bzw. -becken und sind somit Hauptquellen für die Emission von Radon.

Ebenfalls sollten Fragen bezüglich der regelmäßigen Reinigungen der Trinkwasserbehälter und Filterbecken beantwortet werden. Bei diesen Reinigungsarbeiten sind erhöhte Expositionswerte für das Reinigungspersonal nicht auszuschließen (siehe Kapitel 6). Die Informationen aus den Erhebungsbögen wurden in eine PC-Datenbank eingegeben.

Nach Erhalt der ausgefüllten Erhebungsbögen wurden etwa 500 Wasserwerke ausgewählt, die Radonmessungen in ihren Anlagen durchführen sollten. Die Auswahl wurde wie in Kapitel 2.5 beschrieben durchgeführt. Große Wasserversorgungsunternehmen und Wasserwerke, die offene Filter betreiben, wurden bevorzugt berücksichtigt. Abbildung 4.1 zeigt die Größenverteilung und die prozentuale Trinkwasserabgabe der Versorgungsunternehmen in Bayern.

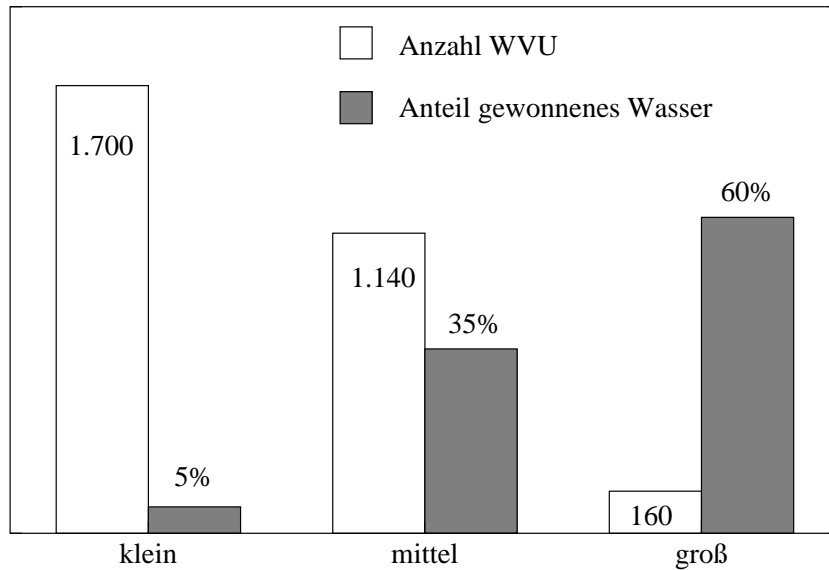


Abbildung 4.1: Die Größenverteilung der Wasserversorgungsunternehmen. Anlagen mit einer jährlichen Trinkwasserabgabe bis 100.000 m³ sind unter „klein“, von 100.000 bis 1 Million m³ unter „mittel“ und über 1 Million m³ unter „groß“ zusammengefasst [57].

4.2 Auswertung der Erhebungsbögen

Ende 1999 wurde die Datenerhebung abgeschlossen. Etwa 50% der Versorgungsunternehmen haben geantwortet.

Durch die Erhebungsbögen wurden 3.288 Brunnen, 3.008 Hochbehälter, 1.863 Sammelschächte, 372 Aufbereitungsanlagen mit offenen Filtern und 492 mit geschlossenen Filtern erfasst. Die Anzahl der erfassten Beschäftigten beträgt 1.917. Die Erhebungsdaten sind in einer Datenbank gespeichert und können getrennt nach Größe des Versorgungsunternehmens und geologischer Region ausgewertet werden. Anhang A enthält eine detaillierte Auswertung der Erhebungsbögen. Die wichtigsten Ergebnisse der Auswertung sind in diesem Kapitel zusammengefasst.

In Tabelle 4.1 ist die mittlere Anzahl der Anlagen und Beschäftigten pro Wasserversorgungsunternehmen, je nach Größe des Wasserversorgungsunternehmens, dargestellt. Anlagen mit einer jährlichen Trinkwasserabgabe bis 100.000 m³ sind unter „klein“, von 100.000 bis 1 Million m³ unter „mittel“ und über 1 Million m³ unter „groß“ zusammengefasst. Es wurden jedoch nur Beschäftigte erfasst, die sich in den technischen Anlagen der Versorgungsunternehmen aufhalten. Verwaltungspersonal wurde nicht miteinbezogen.

Unter Berücksichtigung von 30 Compartments (3 Wasserversorgungsunternehmen-Größenklassen und 10 geologische Regionen) wurde eine Hochrechnung in Bezug auf die Anlagen und die Beschäftigten in der Wasserwirtschaft durchgeführt. Bei einer Teilnahme von etwa 50% der Wasserversorgungsunternehmen an der Erhebung sollte diese Hochrechnung relativ zuverlässig und repräsentativ sein. Die Ergebnisse aus der Hochrechnung zeigt Tabelle 4.2. Die Anzahl der Beschäftigten in Region 5 errechnet sich zu etwa 900. Ein großer Anteil, etwa 60%, der Aufberei-

Tabelle 4.1: Die mittlere Anzahl der Anlagen und Beschäftigten pro Wasserversorgungsunternehmen (MW bedeutet Mittelwert über alle Größenkategorien von Wasserversorgungsunternehmen).

	klein	mittel	groß	MW
Beschäftigte	1,4	1,9	3,4	1,9
Brunnen	1,5	3,0	8,6	3,3
Hochbehälter	1,8	3,0	5,1	3,0
Sammelschächte	0,9	2,1	2,7	1,9
Offene Filter	0,3	0,4	0,4	0,4
Geschl. Filter	0,2	0,5	0,9	0,5

Tabelle 4.2: Hochrechnung der Anlagen und Beschäftigten in der Wasserwirtschaft in Bayern.

	klein	mittel	groß	total
Beschäftigte	1.600	2.300	600	4.500
Brunnen	1.700	3.600	1.500	6.800
Hochbehälter	2.000	3.800	1.000	6.800
Sammelschächte	1.000	2.600	500	4.100
Offene Filter	310	450	70	840
Geschl. Filter	200	620	180	1.000

tungsanlagen mit offenen Filtern liegt in dieser Region.

Ebenso wurden Daten über die mittleren Aufenthaltszeiten des Personals in den Anlagen erhoben. Es konnten die Daten von 1.763 Wasserwarten ausgewertet werden. Sie sind in Tabelle 4.3 dargestellt. Bei der Berechnung des Mittelwerts der Aufenthaltszeit je Anlagentyp wurden nur die Zeiten von Wasserwarten berücksichtigt, die eine solche Anlage auch betreuen.

Im Mittel halten sich die Beschäftigten etwa 230 Stunden im Jahr in den Anlagen auf. Der Median der Verteilung der jährlichen Aufenthaltszeiten in allen Anlagen liegt bei etwa 100 Stunden, das Maximum der Verteilung bei etwa 30 Stunden. Der überwiegende Anteil der Beschäftigten hält sich während der Arbeitszeit meist außerhalb der Wassergewinnungsanlagen auf. Viele Wasserwarte arbeiten noch zusätzlich im Bauhof oder nehmen andere Aufgaben in der Gemeinde wahr.

Auch Fragen zur Behälterreinigung waren im Erhebungsbogen enthalten. Die Auswertung ergab, dass im Mittel etwa 2 Personen in 15 Stunden die Reinigung eines Hochbehälters durchführen. Die Reinigung wird im Mittel etwa alle 15 Monate wiederholt. 15% der Behälter werden von einer eigens dafür abgestellten Reinigungsmannschaft gesäubert. Bei 6% der Hochbehälter wird Personal einer Fremdfirma eingesetzt.

Tabelle 4.3: Aufenthaltszeiten der Wasserwarte in den Wassergewinnungsanlagen in Bayern (MW bedeutet Mittelwert über alle Größenkategorien von Wasserversorgungsunternehmen).

	klein [h a ⁻¹]	mittel [h a ⁻¹]	groß [h a ⁻¹]	MW [h a ⁻¹]
Hochbehälter	90	170	210	170
Aufbereitungsraum	80	200	570	270
Sammelschächte	20	30	50	30
Alle Anlagen	110	220	360	230

5 Erhebungsmessungen

5.1 Durchführung der Messungen

Seit Ende 1998 wurden an etwa 540 Wasserversorgungsunternehmen Pakete mit einer PET-Flasche und mehreren Kernspurexposimetern zur Erhebung der Radonkonzentrationen im Rohwasser, in der Raumluft der Anlagen und der Radonexposition der Beschäftigten versandt. Die Daten von 498 Wasserversorgungsunternehmen liegen vor. Dazu wurden 595 Wasserproben, 1.247 ortsgebundene, 750 personengebundene und 750 Referenzexposimeter ausgewertet. Über 300 Kernspurexposimeter sind nicht zurückgesandt worden und etwa 200 konnten, wegen offensichtlich falscher Handhabung, nicht ausgewertet werden.

Die Durchführung des Projektes kann insgesamt als erfolgreich beurteilt werden. Die Zusammenarbeit mit den Wasserversorgungsunternehmen war in der Regel sehr gut. Einige Wasserversorgungsunternehmen haben sich aber trotz anfänglicher Bereitschaft zur Teilnahme an dem Messprogramm als unzuverlässig erwiesen. Eine korrekte Durchführung der Messungen war trotz mehrmaligen telefonischen Kontakts nicht möglich.

Die Wasserversorgungsunternehmen wurden über ihre Messwerte schriftlich informiert. Eine Beurteilung bezüglich der Erfordernis von Maßnahmen zur Senkung der Radonexposition der Beschäftigten wurde dem Schreiben beigefügt. Wasserversorgungsunternehmen, die noch keine Messungen während ihrer Behälterreinigungen durchgeführt hatten, wurden gebeten, kurz vor Beginn der Reinigungsarbeiten weitere, kostenlose Kernspurexposimeter anzufordern. Die 62 Wasserwerke, die den Eingreifwert der Jahresexposition von 2 MBq h m^{-3} überschritten hatten, wurden in diesem Schreiben aufgefordert, an weiteren Messungen teilzunehmen und Reduktionsmaßnahmen durchzuführen. Eine Beratung durch das LfU wurde angeboten. Anhang E enthält ein Musterschreiben.

Die Resultate der Messwerte sind in den folgenden 3 Unterkapiteln (Kapitel 5.2, 5.3 und 5.4) und nochmals in tabellarischer Form im Anhang B zusammengefasst.

In Baden-Württemberg wurde ein ähnliches Forschungsvorhaben durchgeführt [18]. Dort werden die Wasserwerke von einem Team des Forschungszentrums Karlsruhe für die Dauer eines Tages besucht und mit aktiven Radonmessgeräten ausgemessen. Zusätzlich wird das Personal ausführlich über Aufenthalt und Tätigkeit in den verschiedenen Anlagenteilen befragt. Nach Auswertung der Ergebnisse wird eine maximale Aufenthaltsdauer für jede Anlage festgelegt. Das Messteam steht auch bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen beratend zur Verfügung. Auch in Sachsen wurden schon Erhebungsmessungen in Wasserversorgungsanlagen durchgeführt [58]. In Wasserwerken in Hessen und Rheinland-Pfalz wurden ebenfalls schon Radonmessungen durchgeführt [59, 60].

Der Radongehalt im Trinkwasser des Endverbrauchers ist in mehreren Studien [35, 56] untersucht worden und ist nicht Gegenstand dieses Berichts.

5.2 Rohwasserproben

Der Wasserwart sollte für jede von ihm betreute Wassergewinnungsanlage eine Rohwasserprobe nehmen. Eine Mischprobe aus möglichst allen Quellen und Brunnen sollte dazu hergestellt werden. Für diesen Zweck wurde eine spezielle, radondichte, für den Postversand geeignete 1-Liter-PET-Flasche verwendet. Es wurde empfohlen, die Flasche über einen Einfüllschlauch langsam zu befüllen. Die Wasserprobe sollte unmittelbar danach zurückgesandt werden. Die meisten Wasserproben konnten innerhalb einer Woche nach dem Befüllen im Labor für Umweltradioaktivität des LfU gammaspektrometrisch ausgemessen werden. Der Rn-222 Gehalt im Wasser wird über die Auswertung der Zerfallsprodukte Pb-214 und Bi-214 ermittelt. Die Nachweisgrenze beträgt bei 3 Stunden Messzeit etwa 5 Bq l^{-1} . Das durch den Zerfall von Radium in der Wasserprobe erzeugte Radon kann vernachlässigt werden, da der Radiumgehalt in bayerischem Trinkwasser im Bereich von $0,001$ bis $0,05 \text{ Bq l}^{-1}$ [61, 62] liegt.

Die ausreichende Dichtheit bezüglich der Diffusion von Radon durch die Flaschenwand und den Verschluss wurde vorab in einem Testexperiment nachgewiesen (siehe Kapitel 16).

Abbildung 5.1 enthält die Ergebnisse aus den Messungen von 600 Rohwasserproben, dargestellt als sogenannten „Box-and-Whisker-Plot“¹ und aufgeschlüsselt nach den 10 geologischen Regionen. Deutlich erhöhte Werte sind in Region 5 zu beobachten. Der Median ist in allen 10 Fällen niedriger als der Mittelwert, da die Rohwassermesswerte nicht symmetrisch verteilt sind. Sie besitzen etwa eine Lognormal-Verteilung. Der Mittelwert, zu dem vor allem die Messwerte mit sehr hohen Konzentrationen stark beitragen, ist dadurch zu höheren Werten der Verteilung hin verschoben. Zum Vergleich der Daten sollte deshalb besser der Medianwert herangezogen werden. Besonders erhöhte Werte sind, wie erwartet, in Region 5 zu beobachten. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Radonkonzentrationen im Grundwasser zeitlich schwanken können [63] und sich beim Rohwasser zusätzlich durch Zu- und Abschalten verschieden stark radonbelasteter Quellen oder Brunnen Konzentrationsschwankungen ergeben.

Zur Umsetzung der EU-Richtlinie 98/93/EURATOM [64] in nationales Recht wurde im Jahre 2001 die Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung [65] veröffentlicht, die am 1.1.2003 in Kraft tritt. Laut dieser Verordnung soll ab 1.12.2003 ein Gesamttrichtwert für die jährliche effektive Dosis von $0,1 \text{ mSv}$ für die Bevölkerung durch den Trinkwasserverbrauch eingehalten werden. Explizit ausgenommen sind aber Tritium², Kalium-40, Radon und seine Zerfallsprodukte. Grenzwerte für Radon im Trinkwasser sind deshalb in nächster Zukunft nicht zu erwarten.

Richtwerte für den Radongehalt im Trinkwasser werden aber bereits diskutiert [66, 67]. Insbeson-

¹Ein „Box-and-Whisker-Plot“ stellt eine Verteilung von (Mess-)Werten sehr gut und einfach dar. Die Extremwerte (Maximum und Minimum) der Verteilung werden durch das Ende der Whisker (aus dem Engl.: Schnurrhaare) dargestellt. Reicht der Maximalwert über die Darstellung hinaus, ist am oberen Rand der Zahlenwert angegeben. Die obere Grenze der Box gibt das 75%-Perzentil, die untere das 25%-Perzentil an. Das 25%- und das 75%-Perzentil ist der Wert unter dem 25%- bzw. 75% der Messwerte der Verteilung liegen. Die Box umfasst damit den Bereich der mittleren 50% der Werte einer Verteilung. Die Breite der Box hat keine Bedeutung. Zusätzlich ist der Median (50%-Perzentil) und das arithmetische Mittel in die Darstellung eingetragen.

²Für Tritium gilt gesondert ab 1.12.2003 ein Grenzwert von 100 Bq l^{-1} .

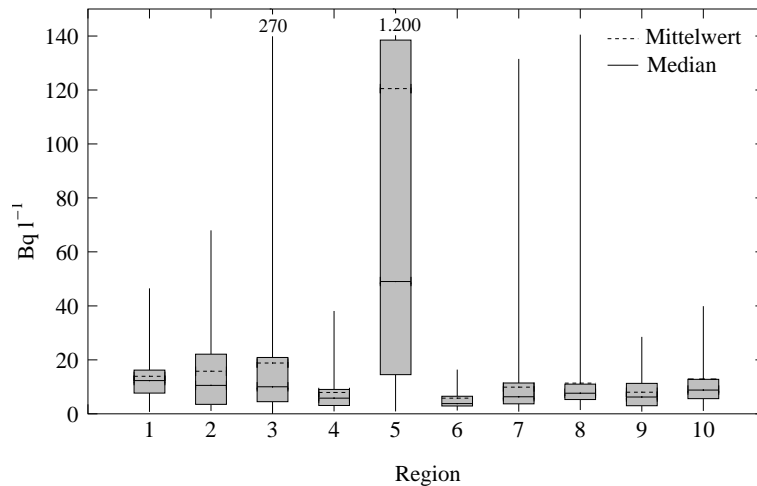


Abbildung 5.1: „Box-and-Whisker-Plot“ der Radonkonzentration im Rohwasser der 10 geologischen Regionen in Bayern.

ders wird in einer neuen EU-Richtlinie [68] vom Jahr 2001 empfohlen, bei Radonkonzentrationen von über 100 Bq l^{-1} Maßnahmen zur Reduktion der Konzentration zu erwägen. Bei Konzentrationen von über 1000 Bq l^{-1} sollten in jedem Fall Reduktionsmaßnahmen angewandt werden. Die mittlere Konzentration (Median) im Trinkwasser des Verbrauchers liegt in Deutschland bei etwa 6 Bq l^{-1} [69]. Die mittlere Rohwasserkonzentration dürfte jedoch deutlich über diesem Wert liegen, da bei Aufbereitungsprozessen und auf dem oft langen Transportweg zum Verbraucher Radon entweicht.

Auch in vielen anderen Ländern wurde der Radon- und auch der Radiumgehalt im Trinkwasser bestimmt [70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78].

5.3 Radonkonzentrationen in den Wasserversorgungsanlagen

Zur Ermittlung der Radonkonzentration in der Raumluft wurden Messungen in Räumen, vorwiegend mit offenen Wasseroberflächen (z.B. Hochbehälterkammern, offene Filter), durchgeführt. Für diese Messungen wurden Kernspurexposimeter des GSF-Forschungszentrums verwendet. Für die ortsgebundenen und die personengebundenen Messungen werden die gleichen Exposimeter verwendet. Beide Messmethoden unterscheiden sich nur in der Handhabung der Exposimeter. Die Eigenschaften und die Handhabung der Exposimeter sind in Kapitel 12.1 genauer beschrieben.

Im Allgemeinen wurden pro Wasserwart zwei ortsgebundene Exposimeter ausgegeben. Aufgrund der oberen Grenze der Exposition von 80 MBq h m^{-3} , die das Exposimeter noch sicher nachweisen kann, wurde die Messzeit auf zwei Wochen beschränkt. Damit können Konzentrationen bis zu $200.000 \text{ Bq m}^{-3}$ gemessen werden. Im seltenen Fall von noch höherer Konzentration musste die Messung mit kürzerer Messzeit wiederholt werden.

Die Ergebnisse aus 1.247 ortsgebundenen Messungen sind in Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3

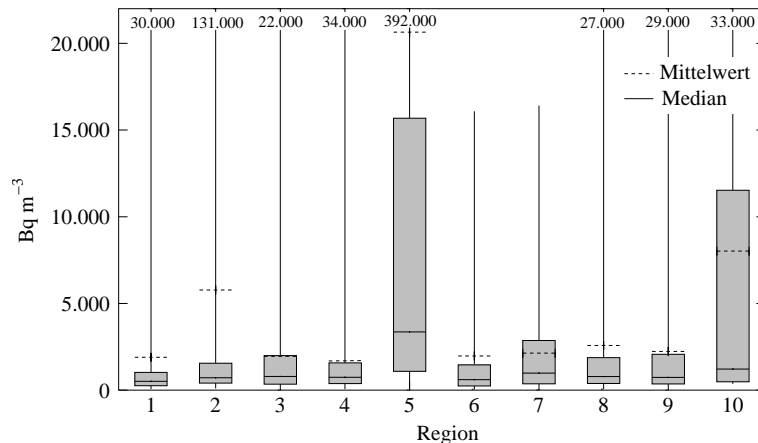


Abbildung 5.2: „Box-and-Whisker-Plot“ (siehe Fußnote Seite 28) der Ergebnisse von allen Messungen mit ortsgebundenen Expositormetern, aufgeschlüsselt in die 10 geologischen Regionen Bayerns.

aufgetragen. Die Messwerte sind etwa lognormal verteilt. Region 5 weist die höchsten Werte und die größten Anteile von Messwerten mit erhöhten Radonkonzentrationen auf. In über 50 Prozent der Räume dieser Region liegen Radonkonzentrationen von über 3.000 Bq m^{-3} vor. Bei einer solch hohen Radonkonzentration kann der Grenzwert von 6 MBq h m^{-3} theoretisch überschritten werden³. In allen Regionen gibt es einen nicht unerheblichen Anteil von hohen Werten über 10.000 Bq m^{-3} .

5.4 Jahresexpositionen der Beschäftigten

Zur Ermittlung der Exposition des Personals während der routinemäßigen Arbeiten in den Anlagen (ohne Behälterreinigung) wurden personengebundene Expositormeter eingesetzt. Die Eigenschaften und die genaue Handhabung der Expositormeter sind in Kapitel 12.1 beschrieben. Sowohl Wasserwarte und Wassermeister wie auch Monteure wurden mit Expositormetern ausgestattet. Die Expositormeter mussten sichtbar am Oberkörper getragen werden. Während der arbeitsfreien Zeit wurde das personengebundene Expositormeter an einem Ort mit möglichst niedriger Radonkonzentration neben einem Referenzexpositormeter offen gelagert. Als Lagerort für die Expositormeter eignet sich ein gut gelüfteter Ort (Balkon, Garage, Räume mit offenen Fenstern, usw.) oder auch der Innenraum eines Kraftfahrzeugs. Die Radonkonzentrationen am Lagerort sollte weniger als 200 Bq m^{-3} betragen. Zum Auffinden eines geeigneten Platzes für die Lagerung wurde eine detaillierte Anleitung beigelegt.

Die Expositionszeit (Messzeitraum) betrug normalerweise zwei Monate. Wurde während des Messzeitraums eine Behälterreinigung durchgeführt, war der Träger des personengebundenen Expositormeters

³Bei einem Aufenthalt von 2.000 Stunden pro Jahr in den Anlagen (normale Jahresarbeitszeit).

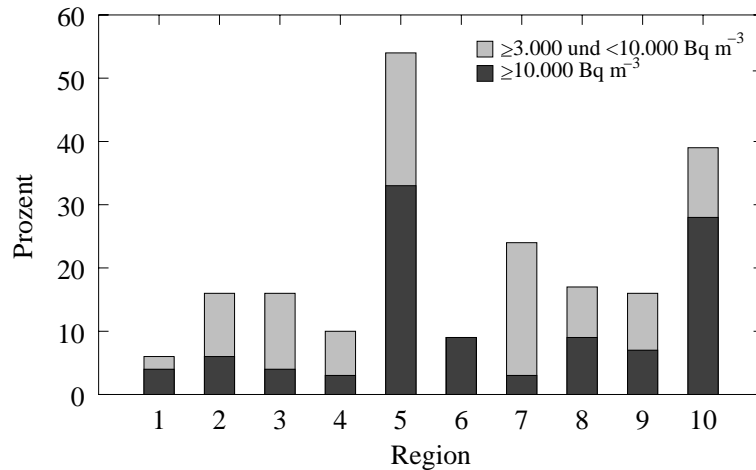


Abbildung 5.3: Prozentualer Anteil der Messwerte der Radonkonzentrationen in den Wasserversorgungsanlagen von über 3.000 Bq m⁻³ (aufgeteilt in die beiden Bereiche von 3.000 bis 10.000 Bq m⁻³ und über 10.000 Bq m⁻³).

measures aufgefördert, speziell für diese Tätigkeit ein weiteres Exposimeter anzufordern.

Die Tragezeiten der Exposimeter sollten vom Wasserwart genau protokolliert werden. Die während der Lagerung erfolgte Exposition kann somit berücksichtigt werden und geht in die Berechnung der Exposition des Wasserwarts mit ein. Folgende Formel wird dafür benutzt:

$$E_{WW} = E_{Pers} - (1 - T/T_E) \cdot E_{Ref} \quad (5.1)$$

- E_{WW} Radonexposition des Wasserwarts
- E_{Pers} Exposition des personengebundenen Exposimeters
- E_{Ref} Exposition des Referenzexposimeters
- T Summe der Tragezeiten des personengebundenen Exposimeters
- T_E Expositionszeit (Messzeitraum)
- $(1 - T/T_E)$ Anteil der Zeit, in der das personengebundene Exposimeter nicht benutzt wurde

Von der ermittelten Exposition wurde unter Benutzung folgender Gleichung auf die Jahresexposition E_{Jahr} linear hoch gerechnet:

$$E_{Jahr} = E_{WW} \cdot 8766 \text{ h}/T_E$$

Die Ergebnisse von 555 Zweimonats-Messungen sind in Abbildung 5.4 und Abbildung 5.5 dargestellt. Die herausragende Position von Region 5, die in Abbildungen mit den Ergebnissen aus den Radonmessungen im Rohwasser und in der Raumluft noch deutlich erkennbar ist, ist in Abbildung 5.4 und Abbildung 5.5 nicht mehr so auffällig. Die Exposition des Wasserwarts wird eben nicht nur durch den Radongehalt im Grundwasser, sondern zusätzlich durch Bauweise, Lüftungsverhältnisse, Arbeitsabläufe und vor allem durch die Aufenthaltsdauer des Wasserwarts in den Anlagen beeinflusst. Diese zusätzlichen Einflüsse auf die Exposition können örtlich sehr stark

schwanken und sind nicht durch den geologischen Untergrund bedingt. Der Median und Anteil der Wasserwarte mit erhöhten Jahresexpositionen von Region 5 ist damit fast vergleichbar mit den anderen Regionen. Der stark erhöhte Mittelwert der Exposition in Region 5 wird durch die extrem hohen Expositionen einiger weniger Personen und den relativ hohen Anteil von Personen mit mehr als 6 MBq h m^{-3} verursacht.

Bei insgesamt 62 Wasserwarten wurde eine Jahresexposition über dem Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} ermittelt. 26 dieser Wasserwarte sind einer Exposition über dem Grenzwert von 6 MBq h m^{-3} ausgesetzt. Mit diesen Messergebnissen und den Resultaten aus der Fragebogenaktion von 1999 lässt sich eine ungefähre Hochrechnung für die Verteilung der Exposition in Bayern durchführen. Es ist zu erwarten, dass 450 Wasserwarte (10%) eine Jahresexposition über 2 MBq h m^{-3} und davon etwa 150 Wasserwarte (3%) über 6 MBq h m^{-3} erhalten. In dieser Hochrechnung ist jedoch nicht berücksichtigt, dass etwa 25% der Wasserwarte „Stellvertreter“ mit geringeren Aufenthaltszeiten in den Anlagen sind. Der Anteil der Stellvertreter bei den Messungen war aber sehr gering. Dies kann zu einer Überschätzung der Werte bei der Hochrechnung bis zu maximal 20% bis 30% führen.

5.5 Korrelation zwischen Radonkonzentration im Wasser, in der Raumluft und der Radonexposition

Von großem Interesse ist, wie stark die Korrelation zwischen Radonkonzentration im Wasser, in der Raumluft und der Radonexposition der Beschäftigten in den Wasserversorgungsanlagen ist. Es gilt zu klären, ob von einer Messgröße, wie z.B. dem Radongehalt im Rohwasser, eine zuverlässige Abschätzung für eine andere Messgröße, wie die Raumluftkonzentration, gewonnen werden kann. Dazu wurde für jeden Wasserwart, der eine personengebundene Messung durchgeführt hat, die mittlere Raumluftkonzentration und der mittlere Rohwassergehalt der von ihm betreuten Anlagen ermittelt. In den meisten Fällen standen pro Wasserwart ein Wert der Rohwasserkonzentration sowie zwei Werte von Raumluftkonzentrationen zur Verfügung. Damit konnte das Verhältnis von Raumluft- und Rohwasserkonzentration gebildet werden. In Abbildung 5.6 ist die Verteilung dieser Verhältnisse in logarithmischer Darstellung⁴ abgebildet. Die Verteilung ist annähernd lognormal. Der Median der Verteilung liegt bei 0,14, d.h. dass im Mittel die Konzentration im Rohwasser etwa 7 mal höher ist als in der Raumluft. Bei einem total abgeschlossenen System würde man ein Verhältnis von etwa 3 erwarten⁵. Aber selbst bei sehr schlechter Lüftung ist die Radonkonzentration im Wasser immer höher als in der Raumluft, da das Radongas in die Außenluft diffundiert. Die Standardabweichung der Verteilung ist relativ groß. Etwa 68% der Werte (1 Sigma Vertrauensbereich) liegen im Bereich von 0,04 bis 0,55. Das bedeutet, dass man bei einer Abschätzung der Raumluftkonzentration einer Anlage anhand der Radonkonzentration des Rohwassers und des Me-

⁴Alle Verhältnisse von Raumluft- zu Rohwasserkonzentration (beide Konzentrationen in Einheiten von Bq m^{-3}) sind durch ihren Logarithmus zur Basis 10 dargestellt.

⁵In einem geschlossenen Behälter mit Radongas, das im Wasser gelöst ist, stellt sich bei einer Temperatur von 10° Celsius und bei stationären Bedingungen ein Verhältnis zwischen Radonkonzentration in der Luft über der Wasseroberfläche und im Wasser von 3 ein.

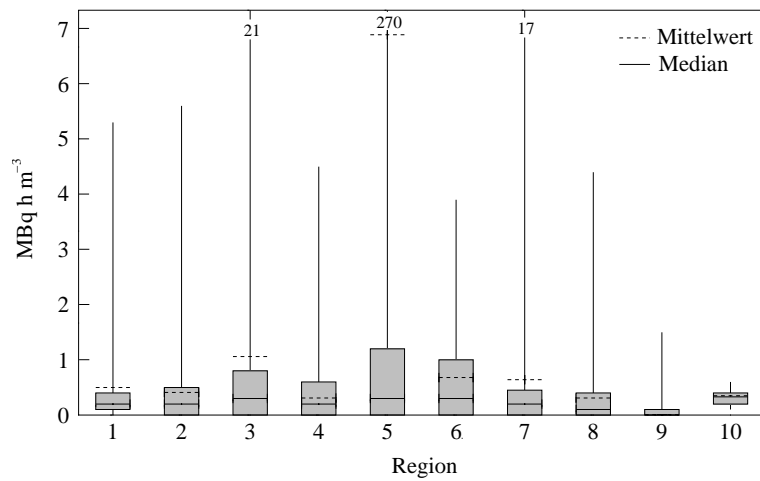


Abbildung 5.4: „Box-and-Whisker-Plot“ (siehe Fußnote Seite 28) der Ergebnisse von allen Messungen mit personengebundenen Exposimetern, aufgeschlüsselt in die 10 geologischen Regionen Bayerns.

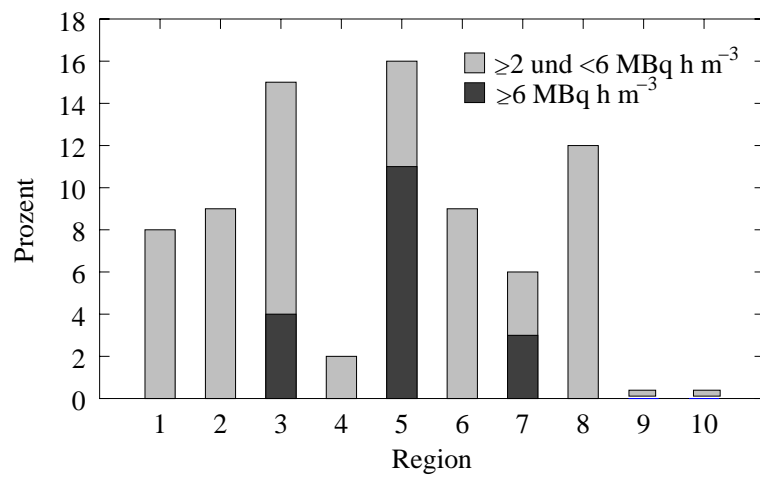


Abbildung 5.5: Prozentualer Anteil der hochgerechneten Jahresexpositionen der Wasserwarte von über 2 MBq h m⁻³ (aufgeteilt in die beiden Bereiche von 2 bis 6 MBq h m⁻³ und über 6 MBq h m⁻³).

dians dieser Verteilung sehr leicht Abweichungen von über 500% vom wahren Wert erhalten kann. Diese breite Verteilung wird durch die sehr unterschiedlichen Lüftungsverhältnisse, Transferraten vom Wasser in die Raumlufte und Raumvolumen in den verschiedenen Wasserversorgungsanlagen verursacht.

Auch Abbildung 5.7 zeigt, dass die Korrelation zwischen der Radonkonzentration im Wasser und in der Raumlufte sehr schwach ist. Die Messpunkte sind über einen weiten Bereich verteilt und liegen nicht annähernd auf einer Gerade. Aus dieser Darstellung ist kein Zusammenhang zwischen den beiden Konzentrationen zu erkennen.

Andererseits wurde auch der Zusammenhang zwischen der Radonexposition der Beschäftigten und der Raumluftekonzentration geprüft. Der Wert der Radonexposition geteilt durch die Summe der Tragezeiten des Expositometers in den Anlagen $E_{WW} \cdot T^{-1}$ kann als mittlere Radonkonzentration an den Arbeitsplätzen des Beschäftigten interpretiert werden. Dieser Wert wurde dann durch die mittlere Raumluftekonzentration geteilt. Somit ergab sich ein Faktor, der den Zusammenhang von Raumluftekonzentration und Exposition des Beschäftigten beschreibt. Die Verteilung der gemessenen Faktoren ist in Abbildung 5.8 dargestellt⁶. Auch diese Verteilung ist annähernd lognormal. Der Median der Verteilung liegt bei 1,6. Theoretisch würde man aber einen Wert von 1 erwarten. Wahrscheinlich misst man einen etwas höheren Wert, da der Wasserwart sich auch in Quellschächten mit sehr hohen Raumluftekonzentrationen aufhalten kann, die aber in der Regel nicht durch Messungen erfasst wurden. Meistens wurden nur im Aufbereitungsraum und im Hochbehältergebäude Messungen durchgeführt. Außerdem ist die Radonkonzentration während der Spülungen der Filterkiesbecken durch die Wasserverwirbelungen und dem damit stark erhöhten Transfer von Radon in die Raumlufte deutlich höher als in der übrigen Zeit. Das bedeutet, dass der von den ortsgebundenen Expositometern registrierte Mittelwert der Radonkonzentration niedriger sein kann als die mittlere Konzentration während der Filterspülungen, die die Exposition des Wasserwarts bestimmt.

Die Standardabweichung der Verteilung ist relativ groß. Etwa 68% der Werte (1 Sigma Vertrauensbereich) liegen im Bereich von 0,2 bis 11. Bei einer Abschätzung der Radonexposition des Beschäftigten anhand der Radonkonzentration in der Raumlufte und des Medians dieser Verteilung können somit sehr leicht Abweichungen von über 800% vom wahren Wert auftreten. Diese grossen Unsicherheiten treten auf, weil 1.) im Allgemeinen nur zwei von bis zu über 30 Räumen, die ein Wasserwart betritt, mit ortsgebundenen Expositometern ausgemessen wurden, 2.) die exakten Aufenthaltszeiten in den Gebäuden und Räumen nicht ermittelt wurden und nur die Summe der Aufenthaltszeiten in allen Anlagen notiert wurde, 3.) in vielen Räumen eine starke zeitliche Schwankungen der Radonkonzentration auftritt, und somit der Mittelwert über zwei Wochen nicht unbedingt mit dem über die genauen Aufenthaltszeiten des Wasserwarts in der Anlage gemittelten Wert übereinstimmt.

Auch Abbildung 5.9 zeigt, dass die Korrelation zwischen der gemessenen Radonexposition des Beschäftigten und den Raumluftekonzentrationen sehr schwach ist. Die Messpunkte liegen nicht annähernd auf einer Gerade. Auch aus dieser Darstellung ist kein Zusammenhang zwischen Radonexposition und Raumluftekonzentrationen zu erkennen.

⁶Alle Werte sind durch ihren Logarithmus zur Basis 10 dargestellt.

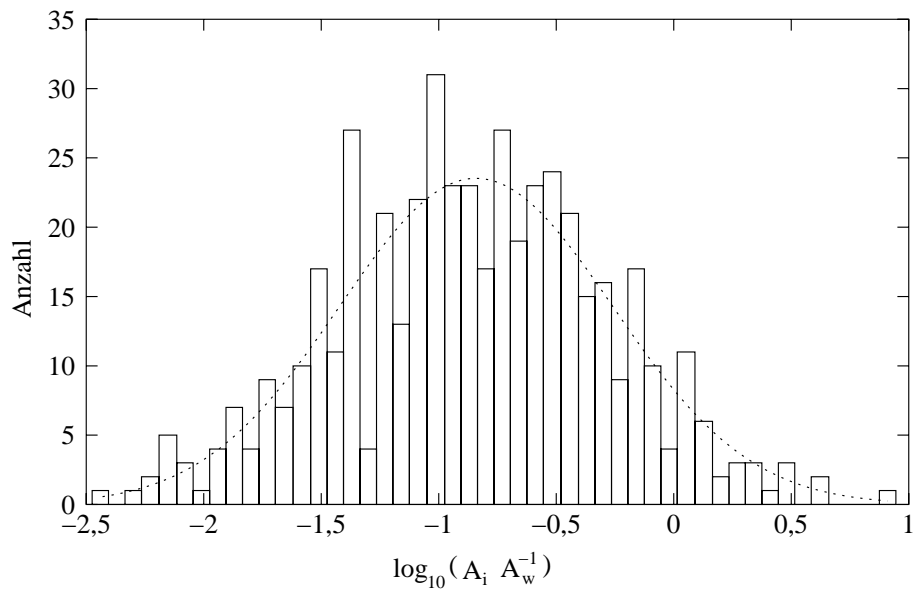


Abbildung 5.6: Verteilung der gemessenen Verhältnisse von Raumluft- zu Wasserkonzentration ($A_i A_w^{-1}$) in logarithmischer Darstellung. Die gestrichelte Gausskurve wurde mit Hilfe eines Regressionsalgorithmus berechnet. Es wurde ein Median von $0,14 = 10^{-0,85}$ und eine Standardabweichung von $0,58$ ermittelt.

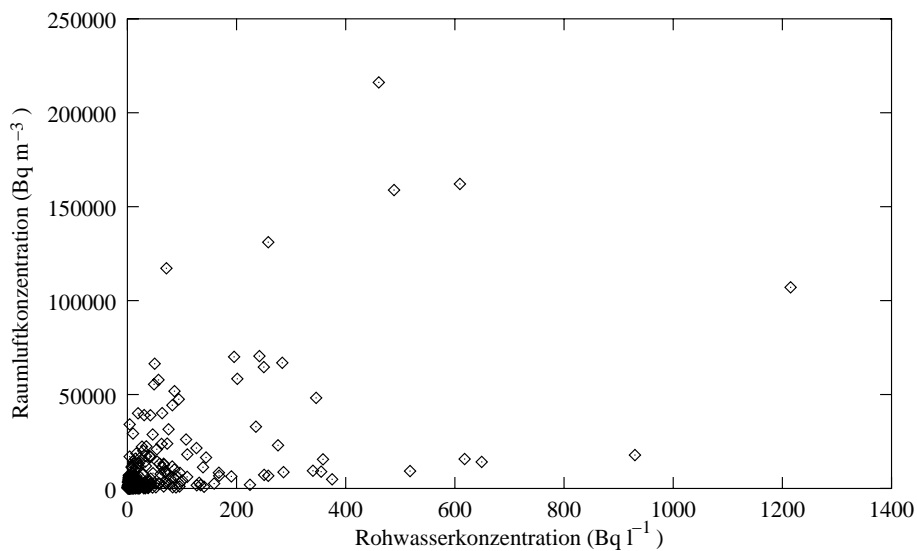


Abbildung 5.7: Messwerte der Radonkonzentration in der Raumluft in Abhängigkeit von der Konzentration im Rohwasser.

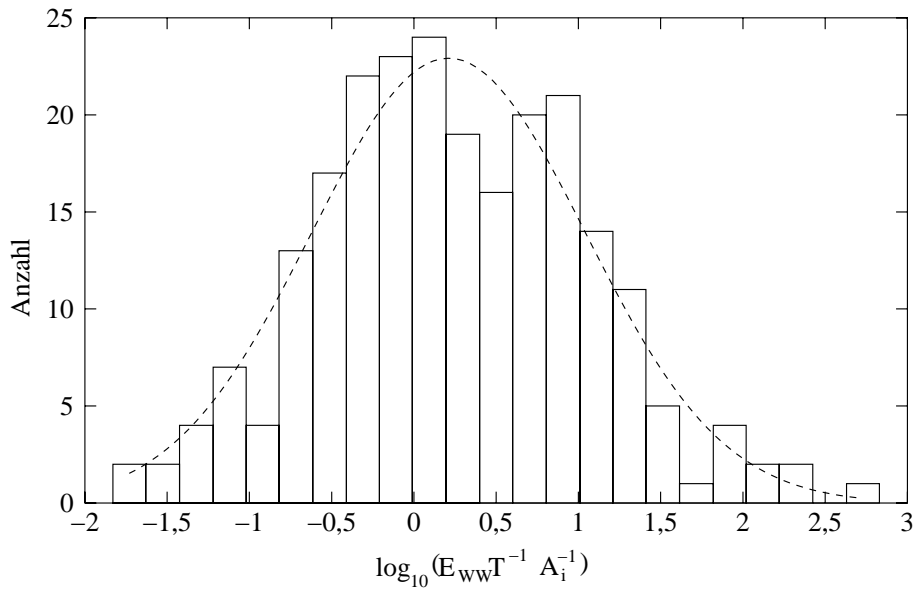


Abbildung 5.8: Verteilung der gemessenen Verhältnisse Raumlufkonzentration A_i zu mittlerer Radonkonzentration, die das personengebundene Exosimeter ermittelt hat ($E_{ww} T^{-1}$) in logarithmischer Darstellung. Die gestrichelte Gausskurve wurde mit Hilfe eines Regressionsalgorithmus berechnet. Es wurde ein Median von $1,6 = 10^{0,21}$ und eine Standardabweichung von 0,83 berechnet.

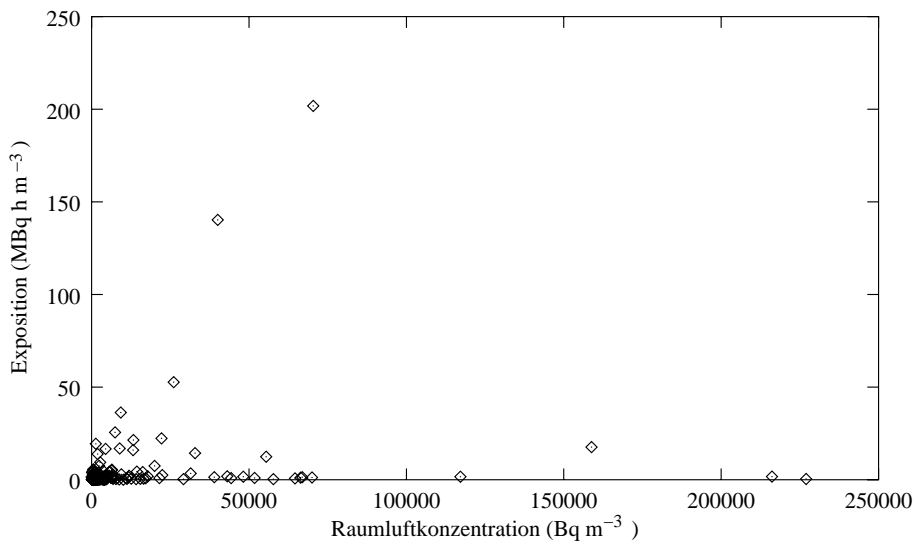


Abbildung 5.9: Messwerte der jährlichen Radonexposition eines Beschäftigten in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in der Raumluf.

6 Exposition des Personals bei Behälterreinigungen

In den Hochbehältern und Aufbereitungsanlagen müssen in regelmäßigen Abständen von ein bis etwa fünf Jahren eine Reinigung der Filterbecken und Wasserkammern sowie gegebenenfalls Malerarbeiten durchgeführt werden. Dabei wird zwar das Wasser der Becken oder Kammern abgelassen, aber es existiert in der Regel zur Aufrechterhaltung der Versorgung ein weiteres angrenzendes, im Betrieb befindliches Becken. Dadurch sind die Radonkonzentrationen nicht sehr viel niedriger als im vollen Betrieb. Der Radontransfer von Wasser zur Reinigung (Dampfstrahler) in die Raumluft ist aufgrund der geringen Wasserverbrauchsmengen im Vergleich zum Wasserdurchfluss durch die andere Trinkwasserkammer vernachlässigbar.

Die Reinigungsarbeiten dauern pro Kammer oder Becken etwa mehrere Stunden bis Tage und werden von mehreren Personen durchgeführt. Größere Versorgungsunternehmen können eigene Reinigungs- und Reparaturtrupps beschäftigen, die alle Hochbehälter des Unternehmens reinigen und somit einen großen Teil ihrer Arbeitszeit in den Wasserversorgungsanlagen verbringen. Angesichts der oft sehr hohen Radonkonzentrationen in den Anlagen kann dies zu erheblichen Belastungen des Personals führen.

Es wurden 48 Personen von 19 verschiedenen Wasserversorgungsunternehmen während der Behälterreinigung mit personengebundenen Kernspurexposimetern ausgerüstet. Beschäftigte, die in der Zeit der Routinemessungen eine Behälterreinigung durchführen mussten, wurden angehalten, zu dieser Tätigkeit ein weiteres personengebundenes Exposimeter, zur ausschließlichen Erfassung der Exposition während der Reinigung, anzufordern. Erhöhte Expositionen wurden nur in zwei Versorgungsunternehmen gemessen. Bei allen anderen Messungen lag die Radonexposition für alle Personen des Reinigungspersonals unter der Nachweisgrenze von etwa $0,2 \text{ MBq h m}^{-3}$.

In einem Wasserversorgungsunternehmen im Fichtelgebirge (WVU-Nr. 5332) wurden für das Reinigungspersonal Radonexpositionen von über 2 MBq h m^{-3} allein durch den Aufenthalt im Hochbehälter zur jährlichen Behälterreinigung gemessen. Reduktionsmaßnahmen wurden aber inzwischen erfolgreich durchgeführt (siehe Kapitel 9.4.2). Ebenso wurde in einem Unternehmen im Bayerischen Wald (WVU-Nr. 5039) bei den zwei Personen, welche die Behälterreinigung im Jahre 2001 durchführten, Expositionen von $1,8 \text{ MBq h m}^{-3}$ bzw. $2,0 \text{ MBq h m}^{-3}$ registriert. In diesem Fall ist die Behälterreinigung der Hauptbeitrag zur Jahresexposition dieser Beschäftigten.

Trotz des schriftlichen Aufrufs an alle Wasserversorgungsunternehmen, die an Radonmessungen schon teilgenommen haben, begleitend zu den Behälterreinigungen kostenlose Messungen durchzuführen, wurde dieses Angebot nur spärlich wahrgenommen. Die in der Regel jährlich durchgeführten Reinigungsarbeiten finden zwar jeweils zur gleichen Jahreszeit statt, werden aber oft kurzfristig zwischen andere Arbeitsprozesse eingeschoben. An weitere Radonmessungen wurde dann meistens nicht mehr gedacht, da der Eingang des Schreibens mit der Aufforderung zu Messungen dann schon mehrere Monate zurücklag.

7 Vollzug der Strahlenschutzverordnung in Wasserversorgungsunternehmen

7.1 Verfahren zur Erhebung der Jahresexpositionen

Nach Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) im August 2001 sind nun alle Wasserversorgungsunternehmen verpflichtet, die Radonexposition ihrer Beschäftigten zu erheben. Deshalb wurden alle etwa 2.600 Wasserversorgungsunternehmen im Dezember 2001 vom LfU, das vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) als zuständige Behörde benannt wurde, angeschrieben, um sie über ihre neuen Pflichten zu informieren. Anhang F enthält einen Abdruck des Schreibens. In dem Schreiben wurde unter anderem festgelegt, wie die Messungen durchgeführt werden müssen: als Erstes müssen alle Beschäftigten im Sinne der Anlage XI, Teil A, der StrlSchV ermittelt werden. Diese Beschäftigten müssen ihre jährliche Radonexposition ermitteln. Relevant ist die Exposition durch den Aufenthalt in Gebäuden mit Trinkwasserbehältern, Brunnen, Aufbereitungsanlagen und in Quellschächten. Der Aufenthalt im Büro muss nur dann berücksichtigt werden, wenn sich das Büro in einem der genannten Gebäude befindet.

Diese Personen müssen während ihres Aufenthalts in den Wasserversorgungsanlagen über einem Zeitraum von drei Monaten ein personengebundenes Exposimeter tragen. Aus den Resultaten der dreimonatigen Messungen wird von der Messstelle auf eine Jahresexposition linear hochgerechnet. Eine Liste mit Messstellen, von denen die Exposimeter bezogen werden können, lag dem Schreiben bei. In den Zeiten, in denen das Exposimeter nicht getragen wird, muss es neben einem Referenzexposimeter in möglichst „radonarmer“ Umgebung gelagert werden. Falls es Personen gibt, die ähnliche Aufgaben in den gleichen Anlagen verrichten, muss nur die Person mit der voraussichtlich längsten Aufenthaltszeit das Exposimeter tragen. Wird für diese Person eine Jahresexposition unter dem Eingreifwert ermittelt, kann davon ausgegangen werden, dass auch die anderen Personen den Eingreifwert nicht überschreiten.

Zu dieser Routineexposition müssen noch die Expositionen von seltenen und nicht im Messzeitraum durchgeführten Arbeiten, z.B. Behälterreinigungen, addiert werden. Zur Ermittlung der Exposition während der Behälterreinigung sollte ein ortsgelundenes Exposimeter über zwei Wochen im Raum der Behälterkammern exponiert werden. Es ist nicht notwendig, die Messung während der Behälterreinigung durchzuführen, da man so eine obere Abschätzung für die Radonkonzentration während der Reinigungsarbeiten erhält. Bei Betrieb der einen und Reinigung der anderen Kammer herrscht oft eine sehr ähnliche Radonkonzentration wie beim Betrieb von zwei Kammern (siehe Kapitel 6). Durch Multiplikation der ermittelten Radonkonzentration mit der Summe der Aufenthaltszeiten während der Reinigungsarbeiten im Gebäude kann diese Exposition abgeschätzt werden.

Ist die Jahresexposition über dem Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} , müssen Maßnahmen zur Reduktion der Exposition der Beschäftigten durchgeführt werden. Danach sind erneute Messungen

notwendig.

Alle Ergebnisse, auch bei Expositionen unter dem Eingreifwert, sollen spätestens bis August 2003 dem LfU mitgeteilt werden. Dies ist auch die in der StrlSchV festgelegte Übergangsfrist.

Beschäftigte, die bei den Erhebungsmessungen des LfU schon teilgenommen haben, können diese Ergebnisse verwenden. Im Rahmen dieser Messungen wurden nur über einen Zeitraum von zwei und nicht drei Monaten personengebundene Messungen durchgeführt. Die Sicherheit, mit der eine Exposition unter dem Eingreifwert erkannt wurde, war aber mindestens so groß wie bei dem von den Messstellen jetzt angewandten Bewertungsverfahren. Bei der Bewertung der Exposition aus den früheren Erhebungsmessungen wurde erst dann mitgeteilt, dass die Jahresexposition sicher unter dem Eingreifwert liegt, wenn Messwert plus statistische Messunsicherheit (2 Sigma Vertrauensbereich) unter 2 MBq h m^{-3} lagen. Die Messstellen lassen die Messunsicherheit, falls sie nicht unakzeptabel hoch ist¹, unberücksichtigt.

In dem Schreiben wurde weiterhin darauf aufmerksam gemacht, dass auch Fremdfirmen auf mögliche Radonexpositionen ihrer Mitarbeiter bei den Arbeiten in den Wasserversorgungsanlagen hingewiesen werden müssen.

Im dem Schreiben wurde darauf hingewiesen, dass auch der Dachverband des Gas- und Wasserfaches (DVGW) [79] und die Berufsgenossenschaft [80, 81] Informationsbroschüren über Radonmessungen in Wasserwerken zur Verfügung stellen.

7.2 Vorgehensweise beim Vollzug der Strahlenschutzverordnung

Für den Vollzug der Strahlenschutzverordnung von behördlicher Seite wurde ein Konzept erarbeitet, das im folgenden Ablaufdiagramm dargestellt ist. Außerdem enthält dieses Kapitel Erläuterungen zu einigen Entscheidungsboxen des Ablaufdiagramms.

Box 1 (START):

Grundsätzlich sollte diese Erhebung für jeden Beschäftigten in Betriebsstätten, die in der StrlSchV Anlage XI, Teil A, aufgelistet sind, durchgeführt werden. Wird bei einem Beschäftigten aber eine Jahresexposition über dem Eingreifwert abgeschätzt, muss auch für seinen Vertreter die Exposition erhoben werden. Die Radonexposition von Mitarbeitern von Fremdfirmen, die in diesen Betriebsstätten arbeiten, wird nicht nach dieser Vorschrift ermittelt.

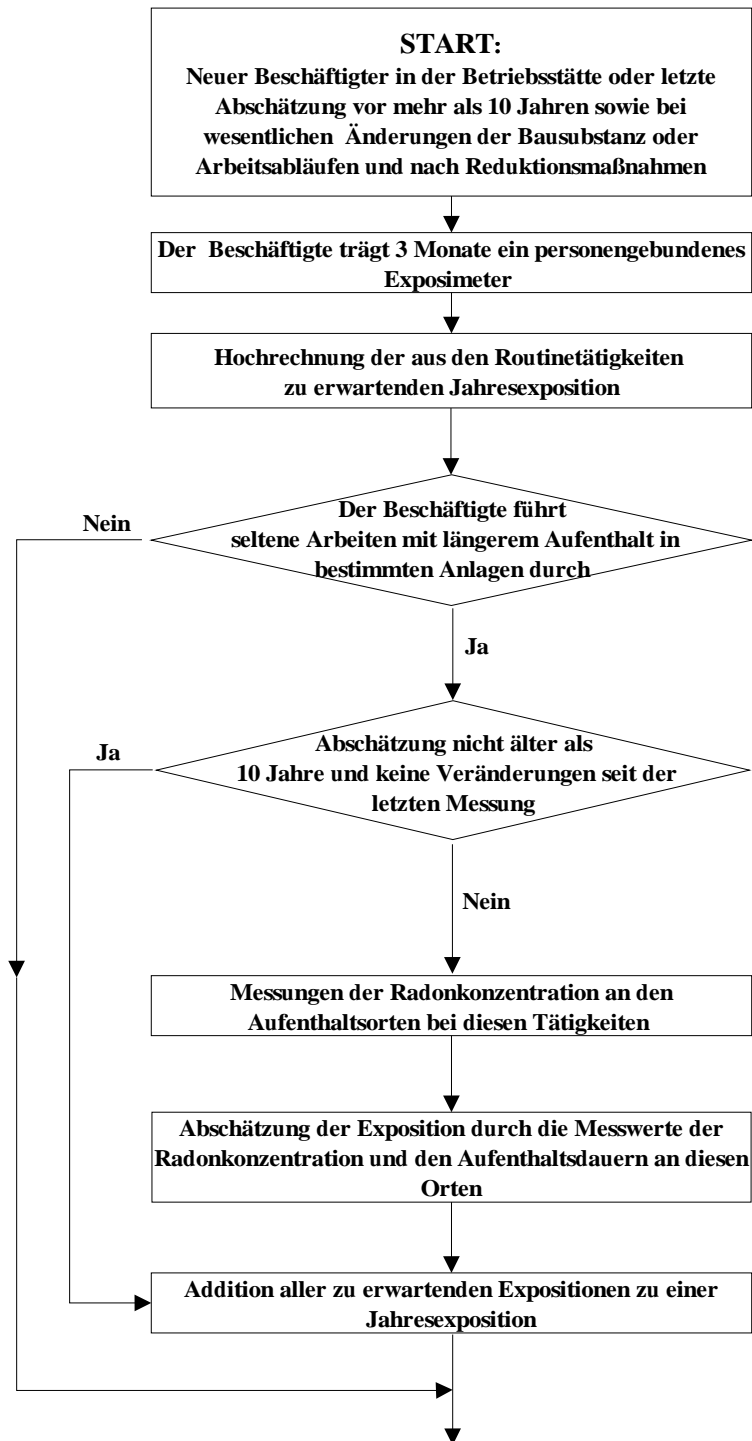
Box 2:

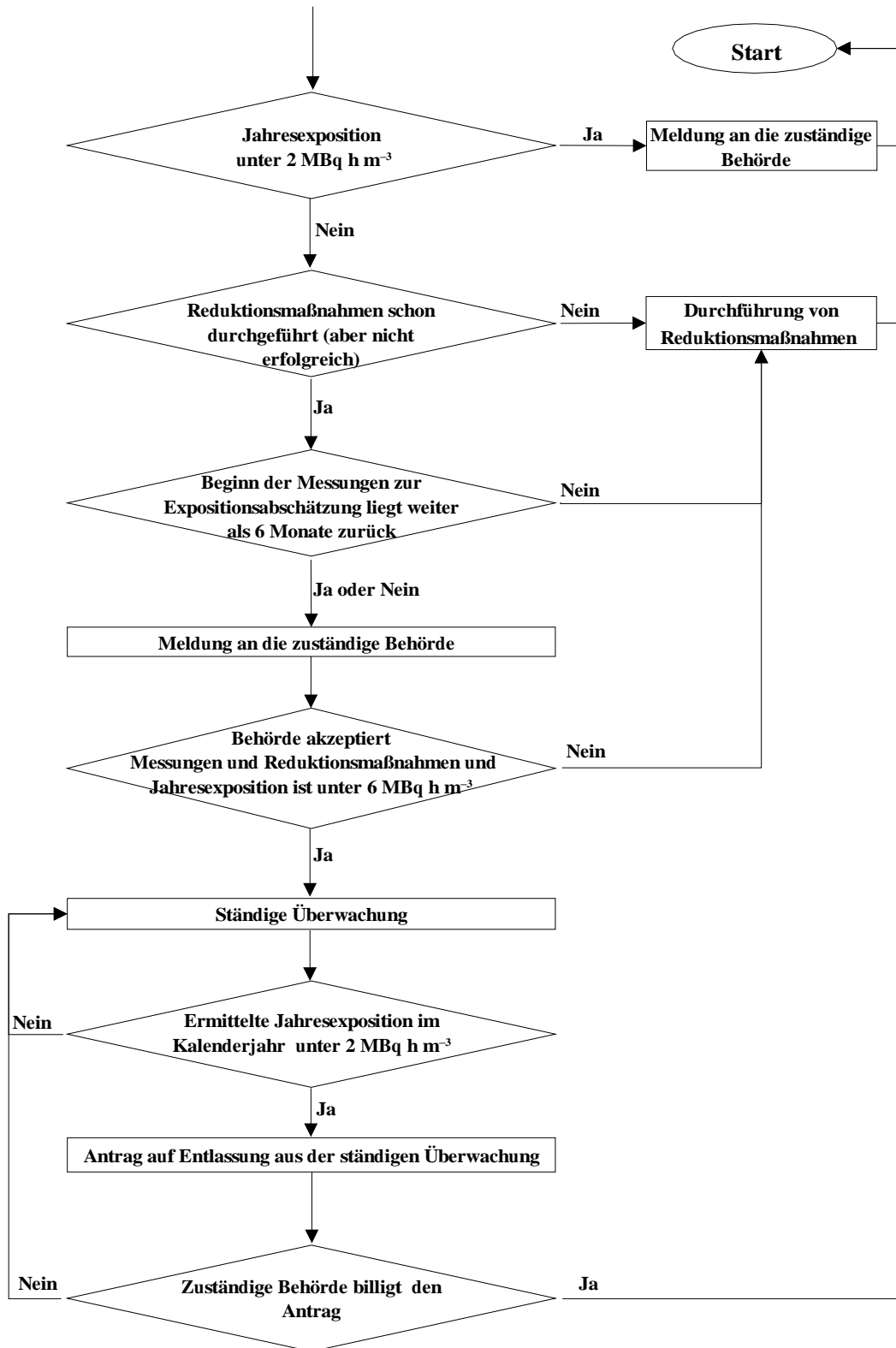
Zulässig sind Kernspurdetektoren von Messstellen oder auch elektronische Geräte. Messstellen und Geräte müssen von der zuständigen Behörde akzeptiert worden sein.

Box 3 (Hochrechnung):

Die Jahresexposition wird linear von der Messzeit auf das ganze Jahr hochgerechnet.

¹Die mittlere Radonkonzentration am Ort des Referenzexposimeters darf nicht größer als 125 Bq m^{-3} sein





Box 4 (seltene Arbeiten):

Bei seltenen Arbeiten sind z.B. jährliche Trinkwasserbehälterreinigungen gemeint, die nicht in jedem Monat anfallen und einen merklichen Anteil zur Jahresaufenthaltsdauer in den Betriebsstätten beitragen.

Box 6 (Messung der Radonkonzentration):

Die Messungen können mit aktiven oder passiven Radonmessgeräten durchgeführt werden. Eine Messzeit von mindestens 2 Wochen ist notwendig. In speziellen Fällen kann durch die zuständige Behörde verlangt werden, dass die Messungen während bestimmter Jahreszeiten oder Betriebsabläufe durchgeführt werden müssen.

Box 7 (Abschätzung der Exposition):

Die Exposition wird ermittelt aus dem Produkt der maximalen Aufenthaltszeiten und der Radonkonzentration an den Arbeitsplätzen eines Beschäftigten. Ist es nicht möglich, die Aufenthaltszeiten mit hoher Sicherheit abzuschätzen, muss die Exposition, verursacht durch diese speziellen Arbeiten, ebenfalls mit einem personengebundenen Exposimeter erfasst werden.

Box 8 (Addition der Exposition):

Die Expositionen aus den speziellen Arbeiten müssen zu der hochgerechneten Jahresexposition aus den Routinearbeiten zu einer Gesamtjahresexposition addiert werden.

Box 9 (Jahresexposition unter dem Eingreifwert):

Liegt die Abschätzung der Jahresexposition unter dem Eingreifwert, sollen die Betreiber veranlasst werden, die Ergebnisse und die Messmethode der zuständigen Behörde mitzuteilen, auch wenn dies nicht explizit in der StrlSchV gefordert ist.

Box 12 (Meldung an die zuständige Behörde):

Erfolgreiche Reduktionsmaßnahmen dürfen nicht beliebig lang ohne Meldung der ermittelten Jahresexposition an die zuständige Behörde durchgeführt werden. Liegt die erste Erhebung der Jahresexposition noch nicht länger als 6 Monate zurück, steht es dem Betreiber frei, weitere Reduktionsmaßnahmen durchzuführen oder die zuständige Behörde davon zu überzeugen, dass weitere Maßnahmen zur Reduktion der Jahresexposition des Beschäftigten nicht mit vertretbarem Aufwand durchgeführt werden können.

Box 13 (Behörde akzeptiert Messungen):

Die zuständige Behörde hat zu prüfen, ob alle vertretbaren Möglichkeiten zur Reduktion der Exposition des Beschäftigten ausgeschöpft wurden. Ist dies der Fall, kann der Beschäftigte in die ständige Überwachung der Exposition aufgenommen werden. Bei einer Überschreitung des Grenzwertes müssen in jedem Fall sofort weitere Reduktionsmaßnahmen durchgeführt werden. Zusätzlich zu weiteren Reduktionsmaßnahmen muss die Exposition des Beschäftigten bis zur Klärung des Erfolgs der Maßnahmen kontinuierlich mit personengebundenen Exposimetern überwacht werden.

Box 14 (Ständige Überwachung):

Bei der ständigen Überwachung müssen alle Regelungen, die in diesem Fall von der StrlSchV vorgesehen sind, eingehalten werden. Die zuständige Behörde hat dies zu überprüfen. Der Beschäftigte hat in den Betriebsstätten immer ein personengebundenes Exposimeter zu tragen. Das Exposimeter wird alle zwei Monate ausgetauscht und ausgewertet. Ist abzusehen, dass die Exposition des Beschäftigten vor Ende des Kalenderjahres den Grenzwert erreicht, muss die zuständige Behörde sofortige Maßnahmen zur Reduktion oder sogar Zugangsbeschränkungen anordnen.

Während der ständigen Überwachung hat die zuständige Behörde den Betreiber regelmäßig aufzufordern zu prüfen, ob es weitere Möglichkeiten für Reduktionsmaßnahmen gibt.

Box 16 (Antrag auf Entlassung):

Wird für einen Beschäftigten eine Jahresexposition unter dem Eingreifwert abgeschätzt, kann ein Antrag auf Entlassung aus der ständigen Überwachung gestellt werden. Die zuständige Behörde kann diesem Antrag nur stattgeben, wenn sichergestellt ist, dass in den folgenden Jahren der Eingreifwert nicht erreicht werden kann. Dies ist z.B. der Fall, wenn Reduktionsmaßnahmen durchgeführt wurden und die Jahresexposition des Beschäftigten in den letzten Jahren immer unter dem Eingreifwert geblieben ist.

8 Kontinuierliche Radon- und Zerfallsproduktmessungen in ausgewählten Anlagen

8.1 Die Messgeräte

Für die zeitaufgelösten Messungen stehen verschiedene prozessorgesteuerte Messgeräte zur Verfügung.

Das Gerät ATMOS¹ (ATM) der Firma Gammadata Mätteknik, Schweden, ist ein schon älteres Gerät, mit dem der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration aufgezeichnet werden kann. Integrationszeiten von einer Minute bis zu 24 Stunden sind einstellbar. Die Radonkonzentration wird mit Hilfe einer Ionisationskammer mit einem aktiven Volumen von 0,6 Liter gemessen. Der Luftstrom durch die Kammer beträgt etwa 1 Liter pro Minute. Konzentrationen bis zu 100.000 Bq m⁻³ können gemessen werden.

Das Gerät AlphaGUARD (ALG) der Firma Genitron, Frankfurt (Main), misst ebenfalls die Radonkonzentration. Zusätzlich werden die Temperatur, der Luftdruck und die Luftfeuchte aufgezeichnet. Es können Integrationszeiten von 10 Minuten oder einer Stunde eingestellt werden. Das Gerät besitzt eine Ionisationskammer mit einem aktiven Volumen von 0,56 Liter. Die Kammer wird entweder durch Diffusion oder mit Hilfe einer externen Pumpe kontinuierlich befüllt. Es können Radonkonzentrationen von 2 Bq m⁻³ bis 2 Millionen Bq m⁻³ gemessen werden.

Das Gerät EQF der Firma SARAD, Dresden, kann Radonkonzentration und gleichgewichtsäquivalente Konzentration (EEC) aufnehmen. Die Radonkonzentration wird über die elektrostatische Abscheidung des Zerfallsprodukts Po-218 an einem Halbleiterdetektor in der Messkammer ermittelt. Die Kammer wird mit Hilfe einer internen Pumpe befüllt.

Die außerhalb der Kammer entstandenen Zerfallsprodukte werden durch einen Filter abgeschirmt. Vor dem Filter ist ein Drahtgitter angebracht, an dem sich der sogenannte „unangelagerte“ Anteil der Zerfallsprodukte abscheidet. Gitter und Filter werden nach dem 6-minütigen Pumpvorgang getrennt ausgemessen. Der „angelagerte“ wie auch der „unangelagerte“ Anteil kann dadurch bestimmt werden. Der Gleichgewichtsfaktor wird berechnet und ausgegeben. Die Temperatur, der Luftdruck und die Luftfeuchte werden ebenfalls gemessen. Das Gerät liefert alle zwei Stunden einen Satz von Messwerten. Es können Radonkonzentrationen bis zu 10 Millionen Bq m⁻³ gemessen werden.

Alle bisher genannten Geräte können eine größere Anzahl von Messwerten speichern und mit einem Laptop oder PC ausgelesen werden. Die Geräte AlphaGUARD und EQF besitzen Akkumulatoren und können auch für eine gewisse Zeit ohne Netzspannung betrieben werden.

¹Die in diesem Kapitel verwendeten Abkürzungen für die verschiedenen Messgeräte sind im folgenden Textabschnitt in Klammern angegeben.

Zur Zerfallsproduktmessung stehen außerdem noch 6 sogenannte „Working-Level-Month“- Monitore (WLM) zur Verfügung. Mit Hilfe einer Pumpe (Saugleistung etwa 100 Liter pro Stunde) werden Zerfallsprodukte auf einem Filter abgeschieden. Ein Halbleiterdetektor misst kontinuierlich die Alphastrahlung auf dem Filter. Die Daten werden im Gerät auf einer Diskette abgespeichert. Filter und Diskette müssen jede Woche gewechselt werden. Mit den vom GSF-Forschungszentrum entwickelten Geräten können Radon-Zerfallsproduktkonzentrationen bis zu etwa 10.000 Bq m^{-3} (EEC) zuverlässig bestimmt werden. Aus den ebenfalls abgespeicherten Alpha-Spektren kann auch die gleichgewichtsäquivalente Konzentration der Thoronzerfallsprodukte ermittelt werden.

Zur Messung von höheren Zerfallsproduktkonzentrationen wurde auch noch ein Messgerät vom Typ ARDM-Plus der Firma Tracerlab beschafft. Dies Gerät arbeitet nach einem ähnlichen Prinzip wie die vorher beschriebenen „Working-Level-Month“- Monitore und kann Konzentrationen bis über $100.000 \text{ Bq m}^{-3}$ (EEC) messen. Die Sammel- und Messzeit ist individuell einstellbar. Aus dem Verhältnis der gemessenen Po-214 zu Po-218 Zerfällen wird außerdem ein Gleichgewichtsfaktor und eine Rn-222 Konzentration abgeschätzt. Auch dieses Gerät kann netzunabhängig mit einem Akku betrieben werden.

Ein sehr hoher Anteil von Thoron in der Raumluft kann die Radonmesswerte aller genannten Messgeräte, außer den WLM-Monitoren, verfälschen. In dieser Hinsicht problematische Thoronkonzentrationen sind bisher aber nicht aufgetreten. Die Thoronkonzentrationen (Rn-220) wurden mit einem Gerät vom Typ RTM 2010 der Firma Sarad bestimmt, das gleichzeitig auch die Radon-222-Konzentration messen kann. Die Nachweisgrenze des Geräts für Thoron ist jedoch nicht besonders niedrig², so dass oft lange Messzeiten in Kauf genommen werden müssen. Aufgrund von andauernden technischen Problemen existieren bisher aber keine Thoronmesswerte über längere Zeiträume. Zuverlässige Mittelwerte der Thoronkonzentration konnten deshalb nicht ermittelt werden.

Testweise wurde auch noch ein sogenanntes DOSEman der Firma Sarad eingesetzt. Dieses handliche Gerät registriert die Radonkonzentration und kann längere Zeit ohne Netzversorgung betrieben werden. Bei dem kontinuierlich arbeitenden Gerät kann die Messintervallzeit individuell eingestellt werden. Aufgrund der geringen Nachweisempfindlichkeit sind Messintervalle kleiner als eine Stunde in der Regel nicht sinnvoll. Die Messdaten können intern gespeichert werden und mit einem Laptop ausgelesen werden. Das Auslesen der Daten über eine Infrarotschnittstelle ist aber oftmals mit technischen Problemen verbunden. Dieses etwa 10 cm lange Gerät wäre im Prinzip für einen Einsatz als personengebundenes Exposimeter geeignet. Der große Vorteil gegenüber einem Kernspurexposimeter ist, dass das Gerät während der arbeitsfreien Zeit ausgeschaltet werden kann und fehlerträchtige Korrekturen der Exposition entfallen. Um den zeitlichen Verlauf der Radonkonzentration zu beobachten sind bei gegebener Nachweisempfindlichkeit die Konzentrationen aber meist zu niedrig. Durch den relativ hohen Anschaffungspreis wird normalerweise Kernspurexposimetern der Vorzug gegeben. Möglicherweise kann sich das Gerät im ständigen Einsatz, z.B. bei einer angeordneten kontinuierlichen Überwachung des Personals, bewähren.

²Laut Hersteller ist die Nachweisgrenze für Thoron (Rn-220) 20 Bq m^{-3} bei einer Messzeit von etwa einem Tag.

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

Seit Beginn des Jahres 2000 besteht eine Kooperation zwischen dem U.R.A.-Labor (Umwelt-Radioaktivitäts-Labor) der Universität Regensburg (Leiter: Dr. Schupfner) und dem LfU. Aufgrund der räumlichen Nähe von Regensburg zu den Gebieten mit erhöhtem Radonpotenzial im ostbayerischen Raum wurde das U.R.A.-Labor vom LfU beauftragt, in ausgewählten Wasserversorgungsunternehmen Messungen durchzuführen. Zweck dieser Messungen ist es, den Einfluss von Arbeitsabläufen, Lüftungsbedingungen und der Bausubstanz auf die Exposition des Wasserwerts zu ermitteln. Gleichzeitig sollen Maßnahmen zur Reduktion der Expositionen empfohlen und nach der Ausführung die Effektivität dieser Maßnahmen überprüft werden. Zusätzlich sollen weitere Werte von Gleichgewichtsfaktoren und unangelagertem Anteil der Zerfallsprodukte in Wasserversorgungsanlagen gesammelt werden. In den folgenden Tabellen dieses Kapitels sind die über den Messzeitraum gemittelten Werte der Radonkonzentration, der gleichgewichtsäquivalenten Konzentration (EEC), des Gleichgewichtsfaktors F und des unangelagerten Anteils F_p zusammengestellt. Außerdem soll der Zusammenhang zwischen Ortsdosisleistung (ODL) und Radonkonzentration ermittelt werden. Ein Forschungsprojekt mit dem Titel „Beurteilung der radiologischen Situation durch Rn-222 in ausgewählten Wasserwerken in Bayern“ wurde deshalb initiiert.

Acht Wasserversorgungsunternehmen (WVU-Nr. 3005, 5055, 5111, 5122, 5127, 5306, 5322, 5425) wurden in Abstimmung mit dem LfU für Messungen ausgewählt. Für die Messungen wurden sowohl aktive Radon- und Zerfallsproduktmessgeräte als auch Kernspurdetektoren verwendet. Die Messdauer für Messungen mit ortsgelassenen Exposimetern betrug etwa 2 Wochen. Die personalgebundenen Kernspurdetektoren wurden während des Aufenthalts in den Anlagen über zwei Monate vom Wasserwart am Körper getragen. Nach Auswertung der Messdaten wurden die Betreiber beraten, wie sie die Radonexpositionen ihrer Wasserwerke senken können. In drei Wasserversorgungsunternehmen (WVU-Nr. 5122, 5332, 5425) wurden schon Reduktionsmaßnahmen durchgeführt (siehe Kapitel 9). In den anderen in diesem Kapitel aufgeführten Wasserversorgungsunternehmen hat das LfU die Radonmessungen betreut.

Die Ergebnisse des U.R.A.-Labors sind in zwei Zwischenberichten [39, 40] festgehalten. Die wichtigsten Resultate dieser Berichte sind jedoch auch in diesem Bericht, vor allem in Kapitel 8 und 9, eingearbeitet.

8.3 Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 3005

Das Wasserversorgungsunternehmen Nr. 3005 umfasst neben einem Aufbereitungsgebäude, in dem Rohwasserbecken, Kaskadenbelüfter, Filterraum und Büros untergebracht sind, drei Hochbehälter und 12 Brunnen. Der Radongehalt im Rohwasser liegt im Mittel bei etwa 30 Bq l^{-1} . Das Aufbereitungsgebäude ist sehr komplex aufgebaut. Dieses Gebäude erstreckt sich über 4 Etagen, die teilweise durch (meist offen stehende) Türen voneinander abgetrennt sind. Die Messgeräte wurden an den Hauptaufenthaltsorten der Wasserwerke aufgestellt. Der Radonkonzentrationsverlauf im Filterraum zeigt eine sehr deutliche Regelmäßigkeit, was mit dem zeitlich genau festgelegten Ablauf der täglichen Pumpzeiten der Brunnen in diesem Raum zusammenhängt (siehe Abbildung 8.1). Der Pumpvorgang beginnt täglich um genau 18.00 Uhr und führt zum Anstieg der

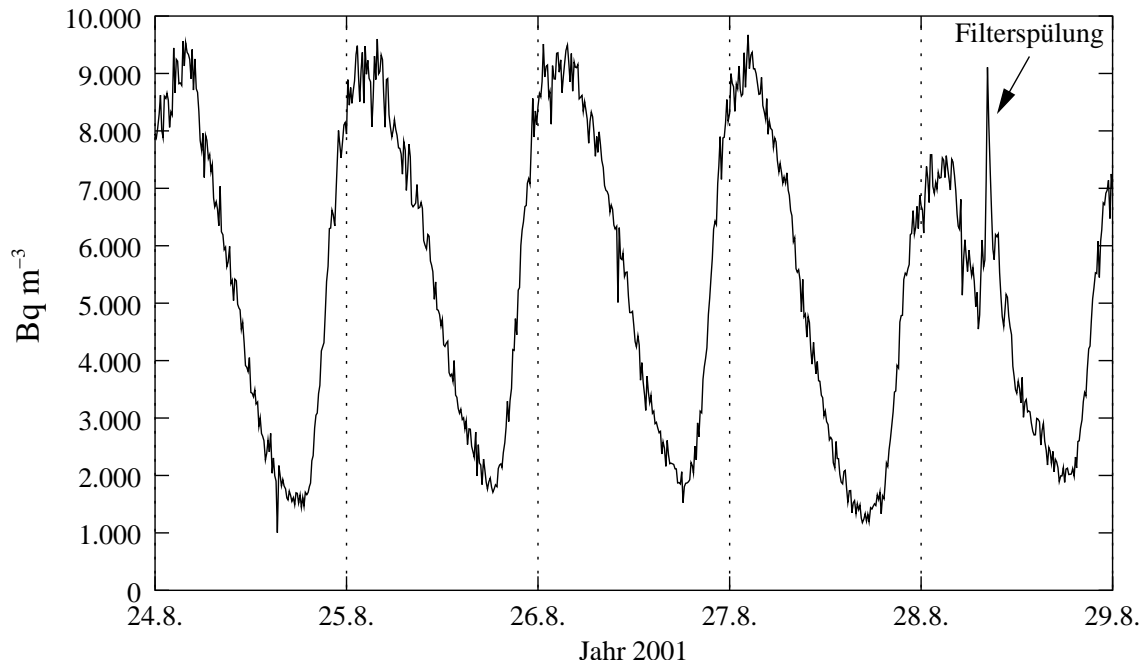


Abbildung 8.1: Mit den Pumpzeiten korrelierter, regelmäßiger Verlauf der Radonkonzentration in einem Filterraum des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 3005. Während der Filterspülung tritt ein plötzlicher starker Anstieg der Konzentration auf. Die gepunkteten senkrechten Linien bezeichnen 0.00 Uhr des angegebenen Tages.

Radonkonzentration ab ca. 18.30 Uhr.

Nur durch eine Tür vom Filterraum getrennt ist der Elektronikraum, in welchem die Regelmäßigkeit der Radonkonzentration ähnlich wie im Filterraum ist. Die Maxima und Minima des Konzentrationsverlaufs treten allerdings ca. 3 Stunden später auf. Die Werte der mittleren Radonkonzentration liegen um ca. 20% niedriger als im Filterraum. Im Büro, das sich ein Stockwerk höher befindet und durch drei Türen und ein Treppenhaus vom Filterraum getrennt ist, sind die absoluten Werte für einen Büroraum ziemlich hoch, was wahrscheinlich an den meist geöffneten drei Türen liegt. Eine mittlere Radonkonzentration von 2.600 Bq m^{-3} wurde bei einer zweiwöchigen Messung mit einem Kernspurexposimeter ermittelt. Aber auch ein niedrigerer Wert wurde in einem anderen Messzeitraum im Büro gemessen. Tabelle 8.1 zeigt die Mittelwerte der Radonkonzentration in den verschiedenen Räumen des Aufbereitungsgebäudes, die mit aktiven Messgeräten ermittelt wurden. Die Wasserwarte erhalten wegen der relativ langen Aufenthaltszeiten im Büro eine stark erhöhte Jahresexpositionen von etwa 10 MBq h m^{-3} . Aber auch der Aufenthalt in den 12 Brunnenstuben mit relativ hohen Konzentrationen im Bereich von 4.000 Bq m^{-3} bis 11.000 Bq m^{-3} kann merklich zu diesen Expositionen beitragen.

Änderungen der Lüftungsverhältnisse im Elektronikbüro haben großen Einfluss auf die Radonkonzentration. Bei geschlossenen Bürotüren konnte durch Kippen eines Fensters die Konzentration von 5000 Bq m^{-3} auf etwa 80 Bq m^{-3} gesenkt werden. Der Einfluss von Tür- und Fensterbewegungen auf die Radonkonzentration im Büro der Wasserwarte ist nicht sehr groß. An einem Wochen-

Tabelle 8.1: Mittelwerte aus den Messungen mit aktiven Messgeräten im Gebäude der Aufbereitungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 3005.

Raum	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Rn-EEC [Bq m ⁻³]	F	F_p
Filterraum	5.090	1.500	0,3	-
Elektronikbüro	2.300	-	-	-
Büro	1.030	-	-	-

ende mit Dauerlüftung sinkt die Radonkonzentration nicht unter 500 Bq m⁻³, was eine wesentlich höhere Konzentration darstellt als im gelüfteten Elektronikbüro im Erdgeschoss.

Den Wasserversorgungsunternehmen wurde empfohlen, möglichst bald Maßnahmen zur Reduktion der Radonexposition ihrer Beschäftigten durchzuführen. Welche Maßnahmen geeignet sind muss aber noch ermittelt werden.

8.4 Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5055

Das Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5055 umfasst zwei Wassergewinnungsanlagen mit Entsäuerungsanlagen und Hochbehältern. In der zweiten Anlage sind der Hochbehälter und die Aufbereitungsanlage in getrennten Gebäuden untergebracht. Der Wasserzulauf erfolgt aus den insgesamt 13 Quellen und kann nicht geregelt werden.

Die oberirdische Anlage (DB) besteht aus einem räumlich abgetrennten Hochbehälter, einem Zwischengang und einem Rohrkeller sowie zwei großen abgetrennten Räumen, welche je ein gleichgroßes Entsäuerungsbecken beinhalten und keine Lüftungsmöglichkeit haben. Das Rohwasser fließt aus 11 Quellen in die Entsäuerungsbecken, die einen mittleren Radongehalt im Rohwasser von 240 Bq l⁻¹ aufweisen. Dies führt zu Raumlufkonzentrationen von bis zu 100.000 Bq m⁻³. Noch höhere Konzentrationen werden in der unterirdischen Anlage (LH) mit zwei langen, großen Entsäuerungsbecken, in die aus zwei Quellen Rohwasser zufließt, beobachtet.

Täglich ist ein abruptes Ansteigen der Radonkonzentration in beiden Anlagen zwischen etwa 6.00 und 7.00 Uhr zu beobachten. Möglicherweise hängt dies mit dem um diese Uhrzeit erhöhten Wasserbedarf im Ortsnetz zusammen. Die Resultate der Mittelwerte dieser Messungen sind in Tabelle 8.2 zusammengefasst.

Dazu kommen noch extrem hohe Raumlufkonzentrationen in den Quellschächten von bis zu 160.000 Bq m⁻³.

Dies führt zu einer sehr hohen Jahresexposition des Wasserwirts. Zwar konnte durch Minimierung der Aufenthaltszeiten in den Anlagen die jährliche Exposition des Wasserwirts von 200 auf 7 MBq h m⁻³ reduziert werden, weitere Maßnahmen zur Reduktion dieser immer noch sehr hohen Exposition müssen aber folgen.

Tabelle 8.2: Mittelwerte aus den Messungen im Gebäude der Aufbereitungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5055.

Raum	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Rn-EEC [Bq m ⁻³]	<i>F</i>	<i>F_p</i>
Oberirdische Anlage (DB), Entsäuerungsraum	13.000	4.000	0,3	0,10
Unterirdische Anlage (LH), Entsäuerungsraum	14.700	4.600	0,3	-

8.5 Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5111

Das Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5111 umfasst vier Wassergewinnungsanlagen mit jeweils einer Entsäuerungsanlage und einem Hochbehälter. In keiner Anlage ist der Wasserzulauf aus den Quellen zeitlich gesteuert und wird auch nicht über den Einsatz von Schwimmern oder anderen Einrichtungen zeitlich aufgezeichnet. Die Radonkonzentration zeigt in keiner Anlage einen regelmäßigen zeitlichen Verlauf.

Die erste Anlage (GD), neuerer Bauart, hat einen separaten Schaltraum, von dem aus Behälterbefüllungen und Filterspülungen maschinell gesteuert und überwacht werden. Hochbehälter und Entsäuerungsraum sind durch abgedichtete Glaswände und einen Gang vom Steuerungsraum getrennt. Gemessen wurden die Werte der Radonkonzentration nur in diesem Steuerungsraum, da der Wasserwart und Stellvertreter praktisch nur in diesem Raum arbeiten. Das zufließende Rohwasser mit einem Radongehalt von 37 Bq l⁻¹ hat einen ähnlichen Gehalt wie das der anderen Anlagen, aber insgesamt liegen die Werte der Raumluftkonzentration relativ niedrig, was vermutlich auf die gute Abtrennung der Räume zurückzuführen ist (siehe Tabelle 8.3). Durch Öffnen der Türe kann die Radonkonzentration in diesem Raum um ca. 90% gesenkt werden. In Abbildung 8.2 ist deutlich erkennbar, dass nach etwa einer Stunde relativ niedrige Radonkonzentrationen in dem Gebäude erreicht werden. In Anbetracht der nicht sehr hohen Konzentrationswerte in diesem Gebäude sollte intensives Lüften zu akzeptablen Radonkonzentrationen bzw. tolerierbaren Expositionen für das Personal führen.

Die zweite Anlage (LD) befindet sich unterirdisch und ist nur über einen Metalldeckel zu begehen. Es handelt sich ausschließlich um ein großes Entsäuerungsbecken. Der Wasserzulauf erfolgt unregelmäßig. Der Radongehalt im Rohwasser beträgt 61 Bq l⁻¹. Die Radonkonzentration ist relativ hoch. Bei einer einstündigen Öffnung des Deckels, sinkt die Radonkonzentration auf ungefähr die Hälfte (siehe Abbildung 8.3). Konzentrationsschwankungen, verursacht durch Änderungen im Wasserzufluss oder unterschiedliche Wetterlagen liegen in ähnlicher Größenordnung. Eine zufriedenstellende Reduktion der Radonkonzentration durch bloßes Öffnen der Einstiegs Luke kann nicht erreicht werden.

Die dritte Anlage (SH) besteht aus einem oberirdischen Gebäude mit Hochbehälter und einem nicht vom Hochbehälter räumlich abgetrennten Entsäuerungsbecken sowie einem Rohrkeller. Die Messwerte liegen im Mittel bei 11.000 Bq m⁻³, während sie im Juli im Mittel bei 2.000 Bq m⁻³ lie-

Tabelle 8.3: Mittelwerte aus den Messungen im Gebäude der Aufbereitungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5111.

Raum	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Rn-EEC [Bq m ⁻³]	<i>F</i>	<i>F_p</i>
Anlage 1 (GD), Schaltraum	1.600	400	0,3	0,20
Anlage 2 (LD), Entsäuerungsraum	9.100	-	-	-
Anlage 3 (SH), Entsäuerungsraum	11.000	-	-	-
Anlage 4 (SW), Entsäuerungsraum	2.600	640	0,3	0,08

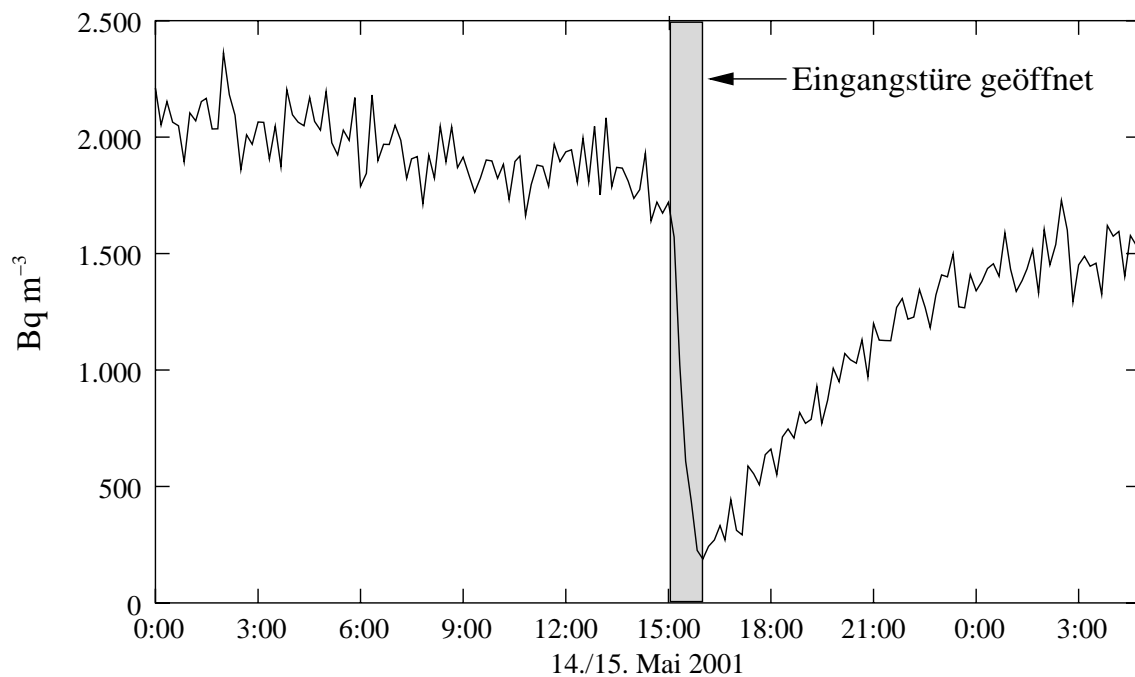


Abbildung 8.2: Verlauf der Radonkonzentration im Steuerungsraum eines oberirdischen Aufbereitungsgebäudes mit Entsäuerungsbecken des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5111. Nach Öffnen der Eingangstüre ist ein starker Abfall der Radonkonzentration zu beobachten. Nach dem Schließen der Türe steigt die Radonkonzentration wieder langsam an.

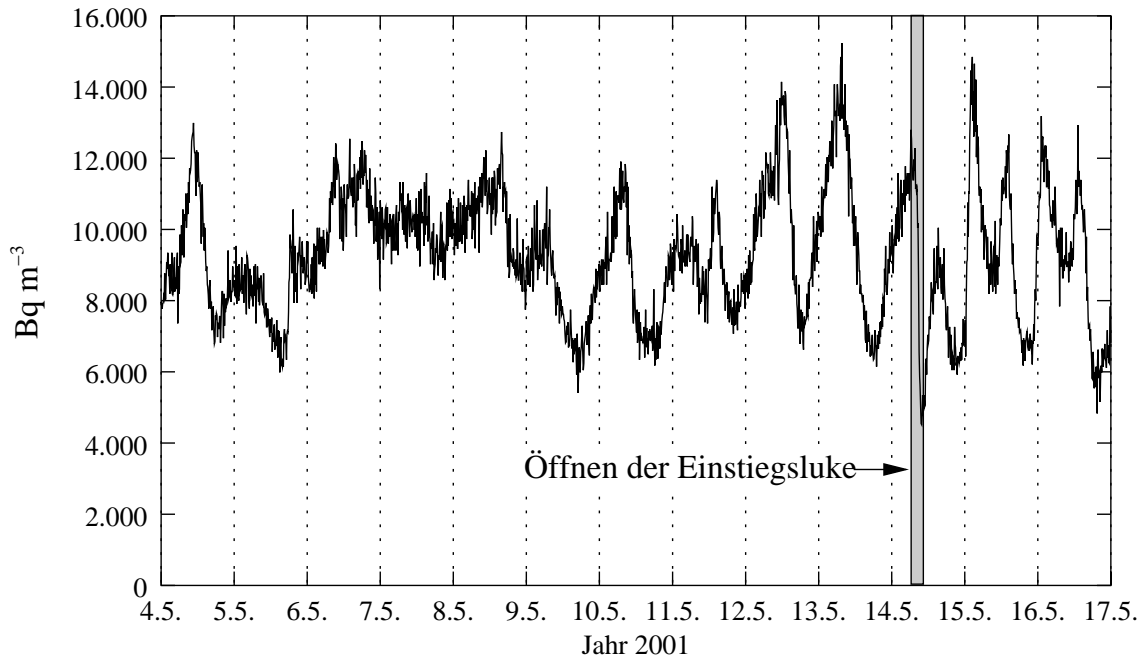


Abbildung 8.3: Verlauf der Radonkonzentration in einem unterirdischen Raum mit Aufbereitungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5111. Nach Öffnen der Einstiegs Luke ist ein deutlicher Abfall der Radonkonzentration zu beobachten.

gen. Dieser niedrige Wert im Juli ist wahrscheinlich auf eine bessere Belüftung des Gebäudes im Sommer zurückzuführen. Zur Reduktion des Transfers von Radon aus dem Wasser in die Raumluft wurde versuchsweise der Zulauf des Rohwassers von oben in einen Zulauf von unterhalb der Wasseroberfläche umgestellt. Der nicht-sprudelnde Zufluss wirkt sich jedoch sehr nachteilig auf den pH-Wert des Wassers aus und kann daher nicht zur Reduzierung der Radonkonzentration eingesetzt werden. Eine einstündige Öffnung der Eingangstüre bewirkt ein Absinken der Radonkonzentration um nur 30% und ist ebenfalls keine sehr effektive Methode, die Radonkonzentration zu senken.

Die vierte Anlage (SW) ist spiegelbildlich baugleich mit der dritten Anlage. Eine einstündige Öffnung der Eingangstüre bewirkt ebenfalls ein Absinken der Radonkonzentration um nur 30%.

Eine weitere Ursache für die erhöhten Jahresexpositionen der Wasserwarte von 19 bzw. 6,4 MBq h m⁻³ liegt aber in den sehr hohen Konzentrationen der Quellschächte von bis zu 130.000 Bq m⁻³. Der Einsatz eines mobilen Lüftersystems ist empfohlen worden.

8.6 Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5122

Im Gebäude der Aufbereitungsanlage (Entsäuerungsanlage mit offenen Filtern) in einem Wasserversorgungsunternehmen im Bayerischen Wald (WVU-Nr. 5122) wurden vom 22.09. bis 26.10.2000 Messungen mit aktiven Radon- und Zerfallsproduktmessgeräten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messungen zeigt Tabelle 8.4. Die Aufbereitungsanlage liegt komplett unterirdisch und weist

Tabelle 8.4: Mittelwerte aus den Messungen im Gebäude der Aufbereitungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5122.

Raum	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Rn-EEC [Bq m ⁻³]	<i>F</i>	<i>F_p</i>
Entsäuerungsraum	50.600	32.800	0,6	0,06

eine hohe Luftfeuchtigkeit sowie eine geringe Luftwechselrate auf. Beim Öffnen der Einstiegs Luke fällt die Radonkonzentration stark ab. Während der Filterspülung, die nicht automatisiert ist und etwa 2 Stunden dauert, wird ein Anstieg der Radonkonzentration registriert.

Zwei Wasserwarte betreuen die Wassergewinnungsanlagen, in denen sehr unterschiedliche Radonkonzentrationen gemessen wurden³. In dem Entsäuerungsraum wurden 2-Wochen-Mittelwerte bis zu 74.000 Bq m⁻³, in den drei Hochbehältern 120, 1.200 und 9.600 Bq m⁻³ gemessen. Schon 1999 wurde ein Radongehalt im Rohwasser von 27 Bq l⁻¹ festgestellt. Durch die personengebundenen Exosimeter wurde eine Jahresexposition von etwa 20 MBq h m⁻³ pro Wasserwart abgeschätzt. Einer der beiden Wasserwarte nimmt auch an den Jahresmessungen teil (siehe Kapitel 10). Maßnahmen zur Senkung der Radonexposition der beiden Wasserwarte wurden bereits durchgeführt (siehe Kapitel 9.2).

8.7 Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5127

In zwei Räumen mit Entsäuerungsanlagen mit offenen Filtern in einem kleineren Wasserversorgungsunternehmen im Bayerischen Wald (WVU-Nr. 5127) wurden vom 26.10. bis 08.11.2000 Messungen mit aktiven Radon- und Zerfallsproduktmessgeräten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle 8.5 zusammengefasst. Die Entsäuerungsanlagen sind in zwei kleinen Gebäuden untergebracht, in denen sich jeweils auch ein Hochbehälter mit einem Volumen von 500 m³ bzw. 300 m³ befindet.

³d.h. jeder Wasserwart betreut alle Wassergewinnungsanlagen. Die Betreuung der Wassergewinnungsanlagen wurde nicht gebietsmäßig auf die Wasserwarte aufgeteilt.

Tabelle 8.5: Mittelwerte aus den Messungen in den beiden Gebäuden mit Entsäuerungsanlagen des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5127.

Raum	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Rn-EEC [Bq m ⁻³]	<i>F</i>	<i>F_p</i>
Entsäuerungsraum 1 (GH)	21.600	7.300	0,4	0,15
Entsäuerungsraum 2 (RB)	9.300	3.440	0,3	0,09

Versuche haben gezeigt, dass durch Öffnen der Eingangstüre des Gebäudes, die direkt in den Entsäuerungsraum 1 (GH) führt, innerhalb von 45 Minuten die Radonkonzentration um etwa 40% gesenkt werden kann.

Es wurden bisher 18 Messungen der Radonkonzentrationen an verschiedenen Orten innerhalb der Gebäude der Wassergewinnungsanlagen in diesem Wasserversorgungsunternehmen durchgeführt. In den Räumen der Gebäude mit den Entsäuerungsanlagen wurden 2-Wochen-Mittelwerte der Radonkonzentration von 3.000 bis zu 16.000 Bq m⁻³, in den drei Hochbehälterkammerräumen und in den Sammelschächten bis zu 30.000 Bq m⁻³ gemessen. Der Radongehalt im Rohwasser beträgt 66 Bq l⁻¹. Für den Wasserwart wurde aus dem Messwert des personengebundenen Expositometers eine Jahresexposition von etwa 16 MBq h m⁻³ abgeschätzt. Bei einer zweiten Messung führte die Hochrechnung der Jahresexposition, wahrscheinlich durch Lüften während des Aufenthalts im Gebäude und Minimierung der Aufenthaltszeiten, zu einem stark reduzierten Wert von 4 MBq h m⁻³. Weitere Messungen zur Bestimmung der Exposition dieses Wasserwarts werden folgen (siehe Jahresmessungen in Kapitel 10).

8.8 Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5306

Das Wasserversorgungsunternehmen WVU-Nr. 5306 umfasst einen oberirdischen gelegenen Hochbehälter und eine ebenfalls oberirdisch gelegene Entsäuerungsanlage, die jeweils aus nur einem Raum bestehen.

Das Gebäude mit der Entsäuerungsanlage besteht aus einem ebenerdig gelegenen Raum mit zwei kleinen Entsäuerungsbecken und einer etwa 3 m hohen, in Edelstahl abgeschlossenen, Kaskadenanlage sowie einem Rohrkeller. Im Messzeitraum lief täglich Wasser von 8.00 Uhr bis 15.00 Uhr aus dem Tiefenbrunnen zu. Sowohl das Wasser aus den Quellen als auch dasjenige aus dem Tiefenbrunnen wird etwa 30 cm über dem Wasserspiegel zugeführt. Die Anlage weist sehr hohe Radonkonzentrationswerte von bis zu 77.000 Bq m⁻³ auf. Für den Wasserwart wurde im Jahre 1999 eine jährliche Radonexposition von 140 MBq h m⁻³ abgeschätzt. Nachmessungen der Radonexposition ergaben im Jahre 2000 einen deutlich niedrigeren Wert von 20 MBq h m⁻³, wahrscheinlich weil der Wasserwart nach Information über die Radonsituation in seiner Anlage Aufenthaltszeiten minimiert und die Lüftung optimiert hatte.

Versuchsweise wurde an 8 Tagen für jeweils eine Stunde die Türe ins Freie geöffnet, wobei meist

Tabelle 8.6: Mittelwerte aus den Messungen im Gebäude der Aufbereitungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5306.

Raum	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Rn-EEC [Bq m ⁻³]	<i>F</i>	<i>F_p</i>
Entsäuerungsraum	18.700	8.400	0,4	0,07
Hochbehälter	400	-	-	-

ein relativ schneller Abfall der Radonkonzentration festzustellen ist. Bei Ausgangswerten von etwa 30.000 Bq m⁻³ ergeben sich Endwerte von 10.000 bis 25.000 Bq m⁻³. Die Ergebnisse der Messungen mit aktiven Messgeräten sind in Tabelle 8.6 zusammengefasst.

Der Hochbehälter ist in einem oberirdischen Gebäude untergebracht. Das Behälterbecken ist durch eine Stahltür vom Schaltraum getrennt. Ein sprunghafter Anstieg ist immer dann zu beobachten, wenn Wasser aus der Fernwasserversorgung, das vom Wasserversorgungsunternehmen WVU-Nr. 5232 zugekauft wird, zuläuft. Die Radonkonzentration steigt dann von 400 Bq m⁻³ auf über 2.000 Bq m⁻³ an. Das Fernwasser läuft über der Wasseroberfläche in das Behälterbecken, während das Eigenwasser durch ein Rohr von unten in das Becken eingelassen wird. Obwohl das Eigenwasser mit 64 Bq l⁻¹ einen höheren Radongehalt aufweist als das Fremdwasser (13 Bq l⁻¹), erhöht das Füllen des Behälters mit Fremdwasser die Radonkonzentration in der Raumluft drastisch, da durch das schnelle und sprudelnde Befüllen der Transfer von Radon in die Luft stark erhöht wird. Mit Kernspurexposimetern wurden in anderen Messzeiträumen, in denen offensichtlich permanent Fremdwasser bezogen wurde, Radonkonzentrationen von 2.800 Bq m⁻³ und 2.500 Bq m⁻³ ermittelt.

8.9 Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5322

In einem Gebäude, das eine Aufbereitungsanlage (Entsäuerungsanlage mit offenen Filtern) und einen Hochbehälter enthält und in den Sammelschächten in einem Wasserversorgungsunternehmen im Oberpfälzer Wald (WVU-Nr. 5322) wurden vom 29.06. bis 03.08.2000 Messungen mit aktiven Radon- und Zerfallsproduktmessgeräten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messungen zeigt Tabelle 8.7. Das Gebäude besitzt nur eine Eingangstüre und kein Fenster. Der Kellerbereich ist über einen Rost und einen offenen Treppenabgang mit dem Entsäuerungsraum verbunden. Bei Öffnen der Eingangstüre nimmt die Radonkonzentration nur langsam ab. Erst nach zwei Stunden ist die Radonkonzentration auf die Hälfte des ursprünglichen Wertes abgefallen.

Tabelle 8.7: Mittelwerte aus den Messungen in einem Gebäude mit Hochbehälter und Entsäuerungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5322.

Raum	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Rn-EEC [Bq m ⁻³]	<i>F</i>	<i>F_p</i>
Entsäuerungsraum	20.000	10.100	0,6	0,14

In dem Gebäude wurden 2-Wochen-Mittelwerte der Radonkonzentration von bis zu 70.000 Bq m⁻³ gemessen. Bedingt durch einen Radongehalt im Rohwasser von 490 Bq l⁻¹ erreicht die Radonkonzentration extrem hohe Werte von bis zu 400.000 Bq m⁻³ in den Sammelschächten. Diese hohen Radonkonzentrationen verursachen eine Jahresexposition des Wasserwerts von 18 MBq h m⁻³. Nachhaltige Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition des Wasserwerts wurden durchgeführt (siehe Kapitel 9.3). Der Erfolg von Maßnahmen zur Reduktion dieser hohen Radonkonzentration wurden im Rahmen der Jahresmessungen (siehe Kapitel 10) überprüft.

8.10 Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5425

Dieses Wasserversorgungsunternehmen im Fichtelgebirge betreibt 5 Hochbehälter und in zwei Gebäuden jeweils eine Entsäuerungsanlage mit offenen Filtern. Vom 03.05. bis 29.06.2000 wurden Messungen mit aktiven Radon- und Zerfallsproduktmessgeräten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle 8.8 dargestellt.

In den beiden Gebäuden mit Entsäuerungsanlagen führt das gleichzeitige Öffnen der Eingangstüre und des Fensters zu einer raschen Reduktion der Radonkonzentration im Entsäuerungsraum. Nach etwa 40 Minuten hat die Radonkonzentration um etwa 90% abgenommen.

Tabelle 8.8: Mittelwerte aus den Messungen in den beiden Entsäuerungsräumen des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5425.

Raum	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Rn-EEC [Bq m ⁻³]	<i>F</i>	<i>F_p</i>
Entsäuerungsraum 1 (SB)	21.200	4.300	0,3	0,12
Entsäuerungsraum 2 (LB)	11.700	4.860	0,4	0,15

Bei sehr unterschiedlichen Werten des Radongehalts im Rohwasser aus drei verschiedenen Quellgebieten von <6 und 33 sowie 140 Bq l⁻¹ wurden in 10 Räumen der Wasserversorgungsanlagen

Tabelle 8.9: Mit Kernspurexposimeter gemessene Radonkonzentrationen in den Anlagen des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5425.

Anlage	Rn-Konzentration [Bq m ⁻³]
Hochbehälter (LD)	6.000
Aufbereitungsraum (LD)	4.100
Hochbehälter (SB)	400
Aufbereitungsraum (SB)	52.000
Hochbehälter (KH)	6.100
Hochbehälter (AB)	1.300
Hochbehälter (KB)	2.800
Quellschacht I	2.300
Quellschacht III	270.000
Brunnenhaus	150

dieses Wasserversorgungsunternehmens Radonkonzentrationen von 150 bis zu 270.000 Bq m⁻³ gemessen. Tabelle 8.9 zeigt die Ergebnisse von zweiwöchigen Messungen mit Kernspurexposimetern.

Ebenso wurden für die drei Wasserwerke aus den Messwerten der personengebundenen Exposimeter Jahresexpositionen von 0,2, 1 und 8 MBq h m⁻³ abgeschätzt. Jeder der drei Wasserwerke betreut andere Wassergewinnungsanlagen innerhalb dieses Wasserversorgungsunternehmens und hat bei Inspektionen und Reparaturen der Sammelschächte die unterschiedlichsten Arbeiten durchzuführen, was zu den deutlichen Abweichungen bei den Jahresexpositionen führt. Maßnahmen zur Reduktion der Exposition der Wasserwerke wurden bereits durchgeführt (siehe Kapitel 9.5).

8.11 Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 7017

Vom 22.04.99 bis 04.06.99 wurden im Hochbehälter und im Aufbereitungsraum mit geschlossenen Filtern des WVU Nr. 7017 Messungen mit verschiedenen Radonmessgeräten durchgeführt. Das nach der Förderleistung als „groß“ eingestufte Wasserversorgungsunternehmen liegt in der Region 7 und entnimmt, vor allem nachts, tertiäres Grundwasser aus mehreren Brunnen. Im Rohwasser wurde ein Radongehalt von etwa 17 Bq l⁻¹ gemessen. Die Aufbereitungsanlage und der Hochbehälter liegen etwa 3 km auseinander.

8.11.1 Messungen im Hochbehälter

Der Hochbehälter fasst in zwei getrennten Kammern insgesamt 10.000 m³ und ist mit zwei Lüftungsschächten ausgestattet. Im Behältergebäude ist auch ein Aufenthaltsraum für die Angestellten untergebracht. Dort wurde ein WLM-Monitor aufgestellt (siehe Abbildung 8.4). Im Wasserkam-

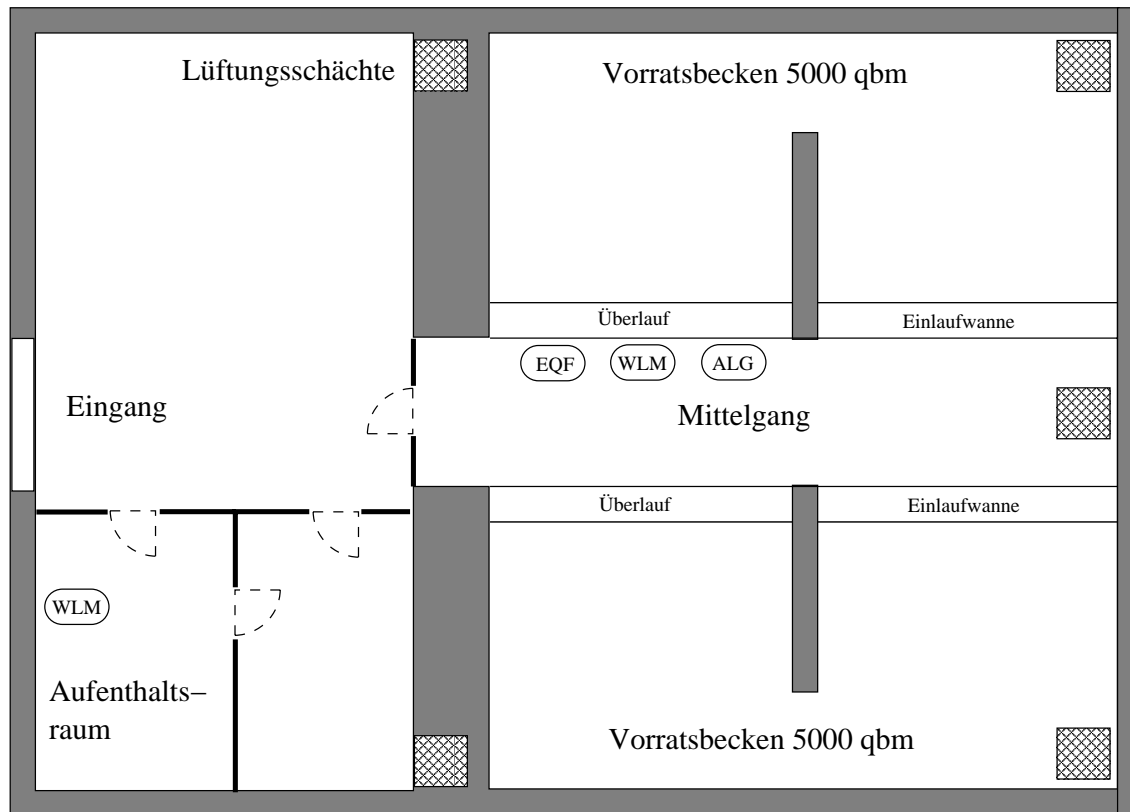


Abbildung 8.4: Skizze des Hochbehälters mit Standorten der verschiedenen Messgeräte im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 7017.

merraum, der durch eine Glastüre vom Vorraum des Gebäudes abgetrennt ist, wurden ein AlphaGUARD, ein EQF und ein WLM-Monitor betrieben. Mit dem AlphaGUARD wurde die Radonkonzentration, mit dem WLM-Monitor die Zerfallsproduktkonzentration zeitaufgelöst gemessen. Das EQF maß beides. Beim Vergleich der Messwerte der drei Geräte sind keine signifikanten Abweichungen aufgetreten. Ein verlässlicher Betrieb mit diesen Geräten scheint auch bei Luftfeuchten von über 90% gewährleistet zu sein.

Üblicherweise werden die Vorratsbehälter am Abend nachgefüllt. Beim Befüllen stürzt das Wasser auf einer Breite von etwa 4 m einige Meter tief in die Kammern. Dieser Vorgang dauert in der Regel mehrere Stunden. Die Raumtemperatur sinkt in dieser Zeit um etwa 0,5 bis 1 °C und die Luftfeuchte erhöht sich um bis zu 15%. Dazu ist ein starkes Anwachsen der Radon- und Zerfallsproduktkonzentration um das annähernd 100-fache zu beobachten (siehe Abbildung 8.5). Es werden Radonkonzentrationen bis zu 12.000 Bq m⁻³ erreicht. Nach dem Füllvorgang klingt die Konzentration innerhalb 12 Stunden auf den ursprünglichen Wert ab.

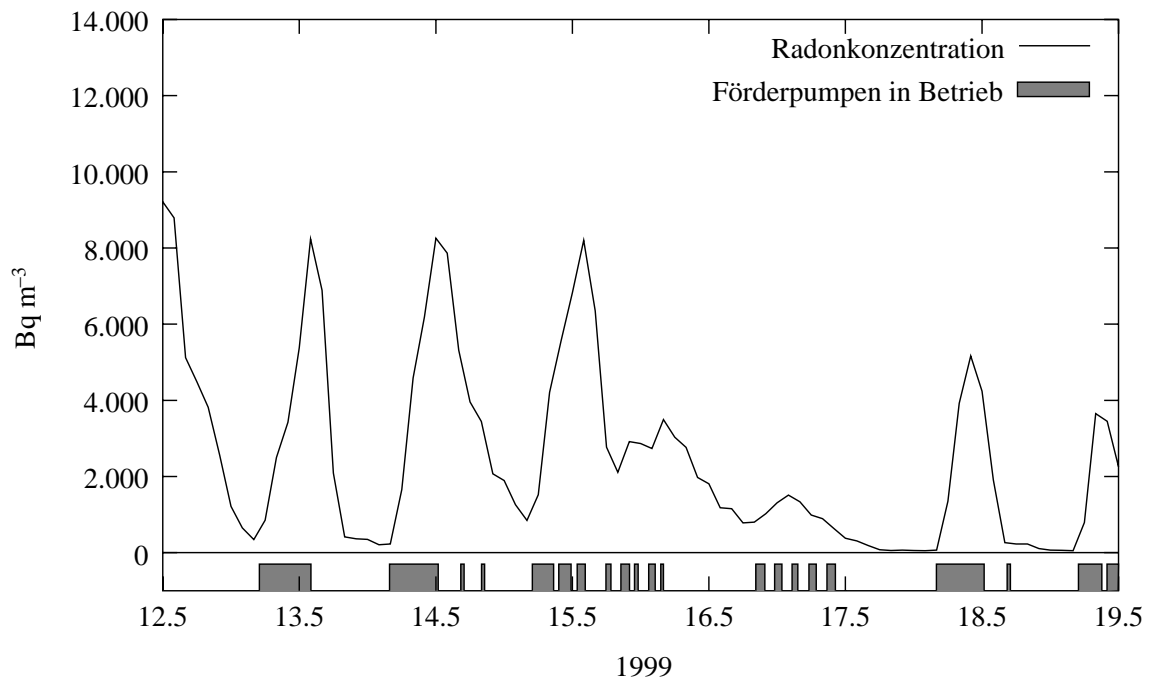


Abbildung 8.5: Typischer Verlauf der Radonkonzentration im Kammerraum des Hochbehälters des Wasserversorgungsunternehmens Nr.7017. Im unteren Teil der Grafik sind die Füllzeiten des Behälters aufgetragen.

Eine Beeinflussung des Gleichgewichtsfaktors F oder des unangelagerten Anteils F_p durch den Füllvorgang ist nicht erkennbar. Eine Korrelation zwischen dem Gleichgewichtsfaktor und dem unangelagerten Anteil ist ebenfalls nicht feststellbar. Die Verteilung der über zwei Stunden gemittelten Gleichgewichtsfaktoren und die Verteilung der Zweistundenwerte des unangelagerten Anteils entsprechen in etwa einer Gaussverteilung mit einer Standardabweichung von 0,15 bzw. 0,02. Die Maxima der Verteilungen liegen bei 0,7 bzw. 0,05.

Die Ergebnisse der mittleren Konzentrationen in der Raumluft des Hochbehältergebäudes sind in Tabelle 8.10 dargestellt.

Tabelle 8.10: Mittelwerte aus den Messungen im Hochbehälter des Wasserversorgungsunternehmens Nr.7017.

Ort	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Rn-EEC [Bq m ⁻³]	F	F_p	Thoron-EEC [Bq m ⁻³]
HB Kammer	3.180	2.530	0,8	0,05	12,4
HB Aufenthaltsraum	-	418	-	-	2,6

Die mittlere Zerfallsproduktkonzentration ist im Aufenthaltsraum des Hochbehälters auf etwa 60% des Mittelwerts des Kammerraums reduziert. Das Maximum der Konzentration wird im Aufenthaltsraum bis zu 3 Stunden später als im Kammerraum erreicht.

Der große Unterschied zwischen der Thoron-EEC des Kammerraums und des Aufbereitungsraums lässt vermuten, dass Thoron im Wasser gelöst ist und im Kammerraum aus dem Wasser in die Raumluft übertritt. Ein Transport von Thorongas vom Kammerraum in den Aufenthaltsraum ist aufgrund der kurzen Halbwertszeit von Rn-220 im Vergleich zu mehrstündigen Transportzeiten vernachlässigbar. Nur das Zerfallsprodukt Pb-212 kann aufgrund seiner Halbwertszeit von 10,6 Stunden den Aufenthaltsraum in nachweisbaren Mengen erreichen. Der Anteil zur effektiven Gesamtdosis durch die Thoronzerfallsprodukte beträgt im Kammerraum etwa 7% und im Aufenthaltsraum etwa 2%.

8.11.2 Messungen im Aufbereitungsgebäude

Die Aufbereitung des Rohwassers zur Reduktion des Eisen- und Mangangehalts wird in einem Oxidationstank und in 4 Filterkiestanks mit einem Rauminhalt von je 100 m³ durchgeführt. Obwohl die Anlage als geschlossen bezeichnet wird, findet ein Luftaustausch zwischen Aufbereitungstank und Raumluft statt. Während des Vorganges der Wasseraufbereitung wird das in den Tanks einströmende Wasser mit Sauerstoff versetzt. Radonhaltige Luft entweicht über Entlüftungsröhre aus den Tanks in den Innenraum der Aufbereitungshalle. Die Aufbereitungshalle besitzt nur einige kleine Lüftungsöffnungen und Fenster. Bei der Filterspülung fließt das Spülwasser in kleine offene Auffangbecken der Aufbereitungshalle und wird von dort in einen Abwasserkanal geführt.

Zur Bestimmung der Radon- und Zerfallsproduktkonzentration wurden ein ATMOS Messgerät und ein WLM-Monitor am Steuerpult in der Aufbereitungshalle aufgestellt. Ein weiterer WLM-Monitor befand sich im Aufenthaltsraum, der durch mehrere Räume und Türen von der Aufbereitungshalle getrennt ist (siehe Abbildung 8.6).

Abbildung 8.7 zeigt den Verlauf der Radonkonzentration über den Zeitraum einer Woche. Während der Aufbereitung des Rohwassers steigt die Radonkonzentration in der Aufbereitungshalle stark an. Einen weiteren Konzentrationsanstieg verursacht die Filterspülung. Die Radonkonzentration steigt dabei auf etwa 1.400 Bq m⁻³ an. Die tägliche Aufbereitung des Rohwassers und das langsame Abklingen der Radonkonzentration aufgrund des eingeschränkten Luftaustausches der Raumluft mit der Außenluft verhindern, dass die Werte dauerhaft unter 200 Bq m⁻³ sinken.

Tabelle 8.11 enthält die Ergebnisse der mittleren Konzentrationen in der Raumluft des Aufbereitungsgebäudes.

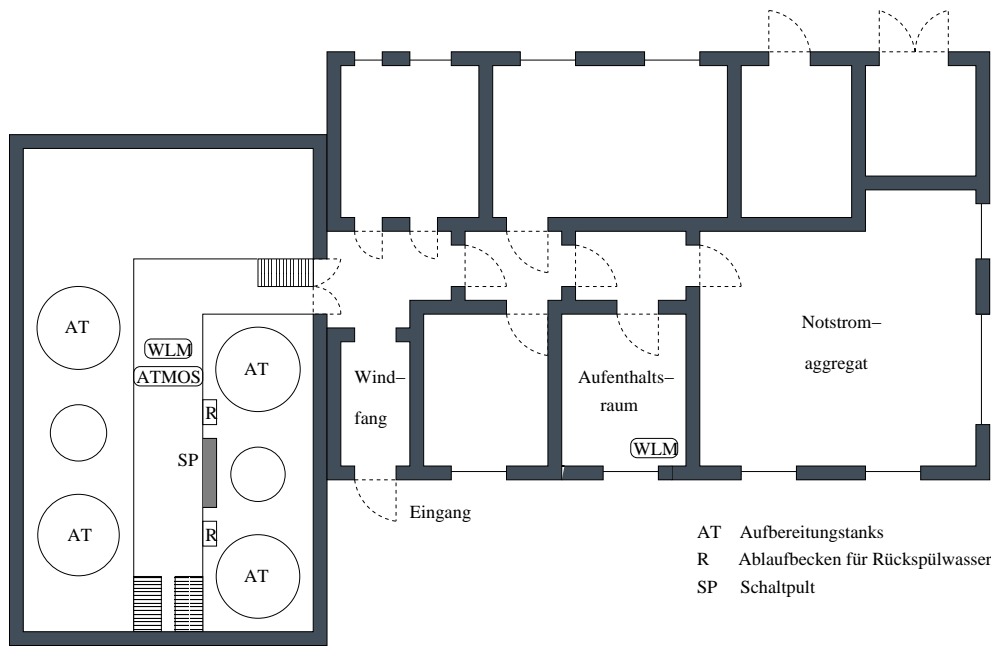


Abbildung 8.6: Skizze des Aufbereitungsgebäudes mit Standorten der verschiedenen Messgeräte im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 7017.

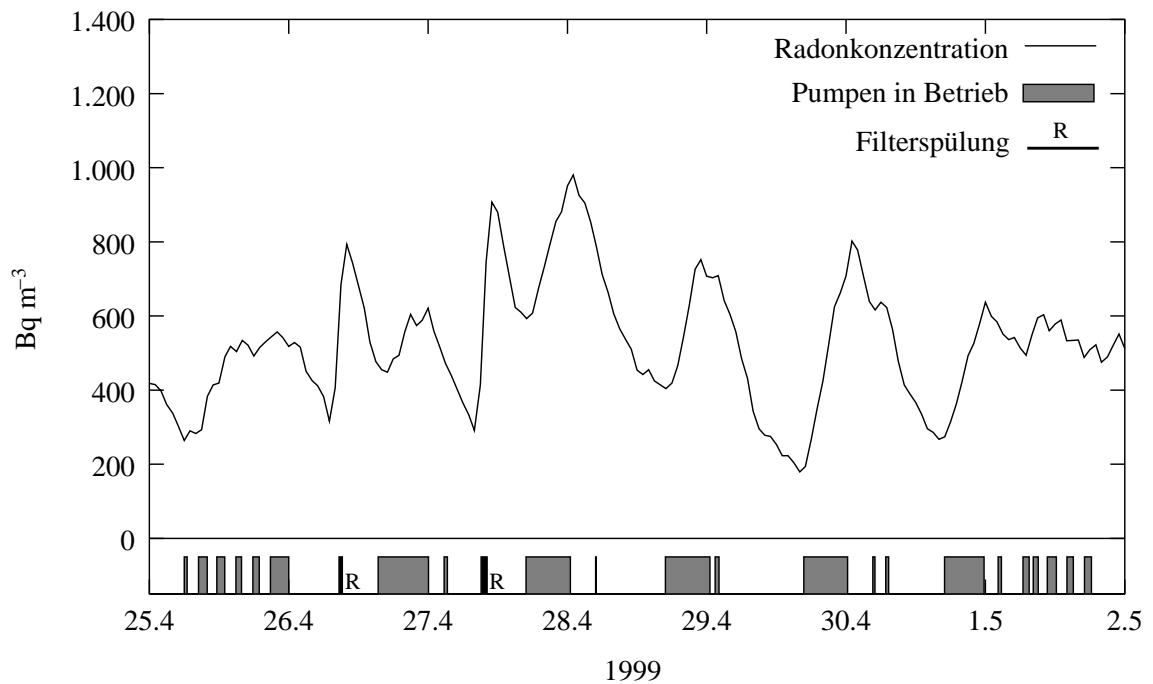


Abbildung 8.7: Typischer Verlauf der Radonkonzentration in der Aufbereitungshalle des Wasserversorgungsunternehmens Nr.7017. Im unteren Teil der Grafik sind die Zeiten der Wasseraufbereitung und der Filterspülung aufgetragen.

Tabelle 8.11: Mittelwerte aus den Messungen in der Aufbereitungshalle des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 7017.

Ort	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Rn-EEC [Bq m ⁻³]	<i>F</i>	<i>F_p</i>	Thoron-EEC [Bq m ⁻³]
AB Steuerpult	559	372	0,7	-	0,93
AB Aufenthaltsraum	-	140	-	-	0,76

Die Verteilung der über zwei Stunden gemittelten Gleichgewichtsfaktoren entspricht annähernd einer Gaussverteilung mit einer Standardabweichung von 0,09 und besitzt ein Maximum bei 0,72.

Im Aufenthaltsraum wurden nur etwa 40% des Wertes der mittleren Zerfallsproduktkonzentration der Aufbereitungshalle gemessen. Das Maximum der Konzentration im Aufenthaltsraum ist zu dem Maximum der Konzentration in der Aufbereitungshalle bis zu 12 Stunden verschoben. Die unterschiedlichen zeitlichen Abstände der Maxima resultieren wahrscheinlich aus der Stellung der Türen zwischen den Räumen. Bei geschlossenen Türen treten durch den langsamen Transport des Radongases durch die Türspalte große zeitliche Abstände zwischen den Konzentrationsmaxima auf.

Die Thoron-Zerfallsproduktkonzentrationen sind an beiden Messorten etwa gleich. Das lässt vermuten, dass der Beitrag durch ausgasendes Thoron bei dem Aufbereitungsprozess und bei der Filterspülung zum Thorongehalt der Raumluft nur klein ist. Die Emanierung von Thoron aus den Wänden und aus Ritzen in der Bodenplatte des Gebäudes liefert den Hauptbeitrag.

Der Anteil zur effektiven Gesamtdosis durch die Thoronerfallsprodukte beträgt in der Aufbereitungshalle etwa 3% und im Aufenthaltsraum etwa 7%.

8.12 Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 7051

Im Hochbehältergebäude dieses Wasserversorgungsunternehmens wurden vom 28.07. bis 19.08.1999 mehrere zeitaufgelöste, kontinuierliche Radonmessungen durchgeführt. Das genannte Wasserversorgungsunternehmen liegt östlich von München in der Region 7 und fördert aus zwei Brunnen Grundwasser. Die Größe des Wasserversorgungsunternehmens ist als „klein“ bis „mittel“ einzustufen. Die Radonkonzentration des Rohwassers liegt bei 6 Bq l⁻¹.

Der Hochbehälter besitzt zwei Wasserkammern mit einem Fassungsvermögen von insgesamt 175 m³ und gibt im Jahr etwa 60.000 m³ Trinkwasser ab. Der Hochbehälter ist durch Entlüftungsschlitze belüftet. Eine Aufbereitungsanlage mit geschlossenen Filtern ist ebenfalls im Gebäude untergebracht. Abbildung 8.8 zeigt eine Skizze des Hochbehältergebäudes. Messungen wurden im Kammerraum, im Gang neben dem Rückspülablauf, im Aufenthaltsraum und im Pumpenkeller durchgeführt.

Der Hochbehälter wird in der Regel zweimal am Tag aufgefüllt. Während der Füllvorgänge steigt

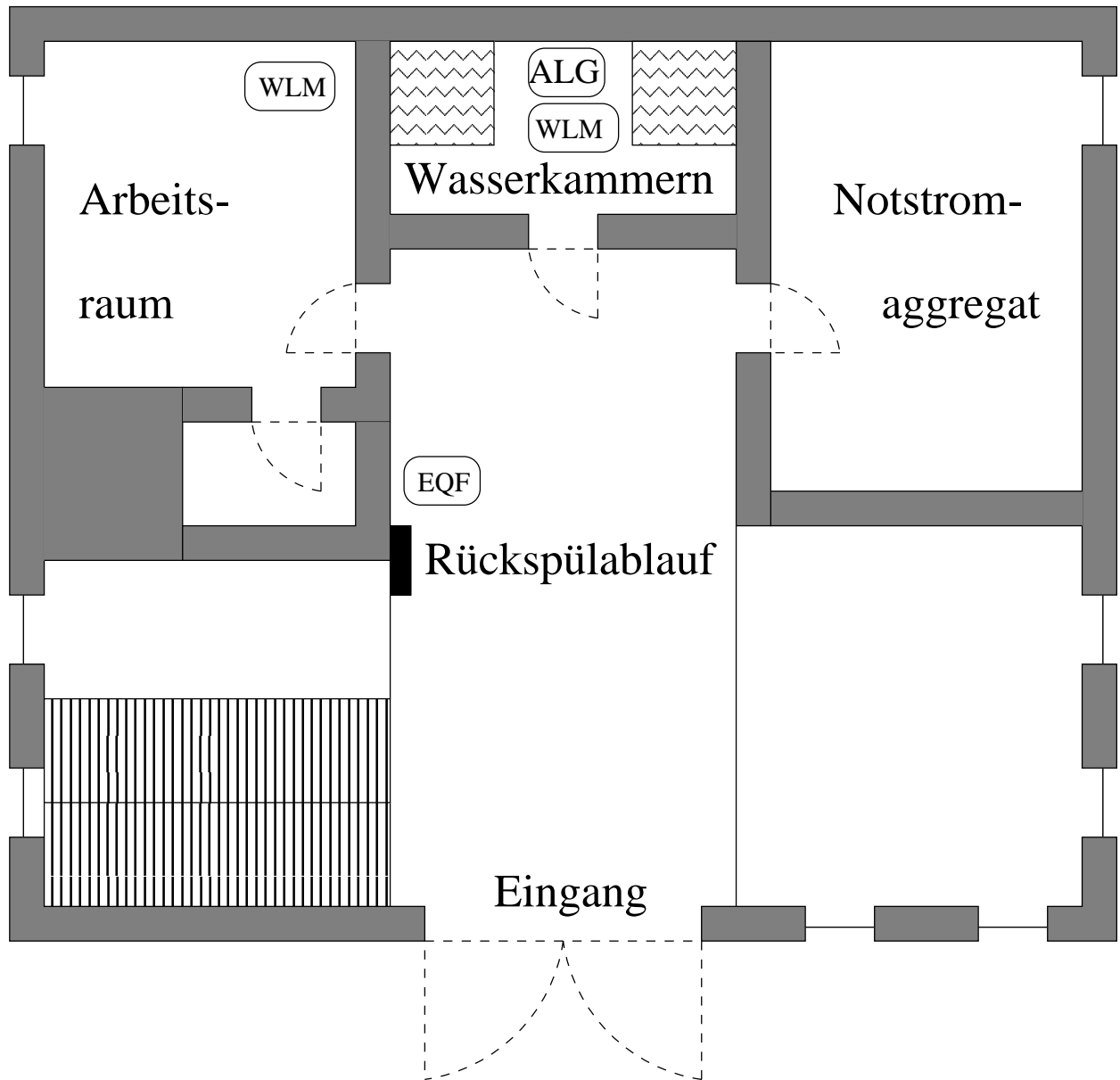


Abbildung 8.8: Skizze des Hochbehälters mit Standorten der verschiedenen Messgeräte im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 7051.

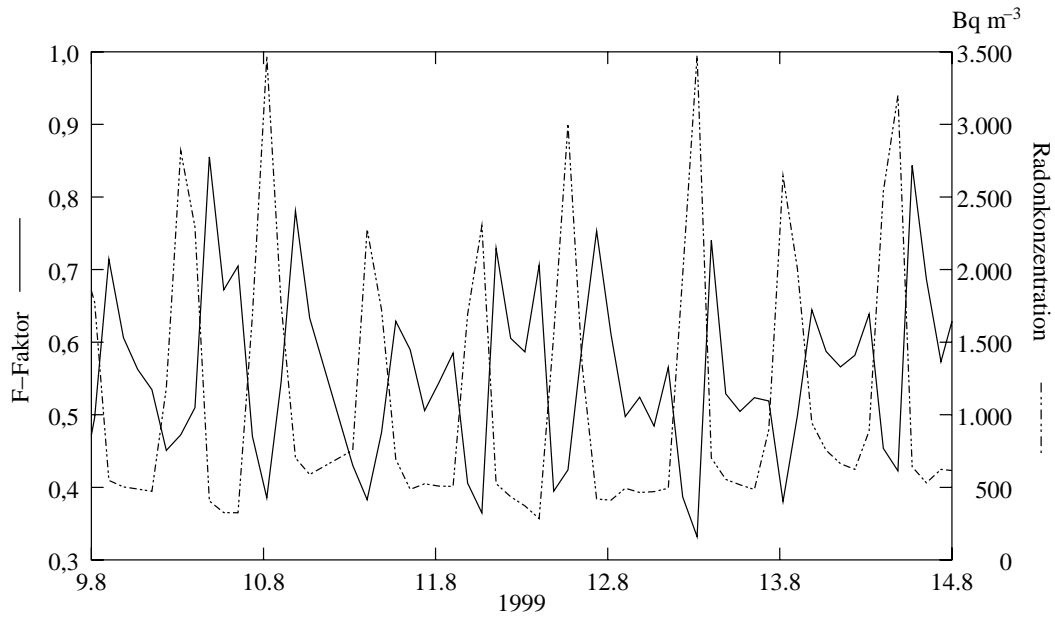


Abbildung 8.9: Typischer Verlauf der Radonkonzentration und des Gleichgewichtsfaktors F im Kammerraum des Hochbehälters.

die Radonkonzentration deutlich und regelmäßig auf über 3.000 Bq m^{-3} an (siehe Abbildung 8.9). Auch die Luftfeuchte steigt um etwa 10% auf etwa 65% an. Die Raumtemperatur fällt um etwa $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Zwei Stunden nach Ende des Füllvorgangs ist der Wert der Radonkonzentration wieder auf sein ursprüngliches Niveau von etwa 500 Bq m^{-3} gefallen. Der Gleichgewichtsfaktor F nimmt während des Füllvorgangs ab, da in dieser Zeit sehr viel Radongas in die Raumluft abgegeben wird und die Zerfallsprodukte sich erst verzögert durch die verschiedenen Halbwertszeiten der Zerfallsreihe aufbauen.

Die mittleren Konzentrationen der Raumluft an den verschiedenen Messorten im Gebäude sind in Tabelle 8.12 zusammengestellt.

Tabelle 8.12: Mittelwerte aus den Messungen im Hochbehältergebäude des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 7051.

Ort	Rn-Konz. [Bq m^{-3}]	Rn-EEC [Bq m^{-3}]	F	F_p	Thoron-EEC [Bq m^{-3}]
Kammerraum	1.130	560	0,5	-	1,3
Gang	450	310	0,7	0,13	-
Aufenthaltsraum	560	290	0,5	-	1,5
Pumpenkeller	660	310	0,5	-	1,3

Der zeitliche Verlauf des unangelagerten Anteils F_p ist mit keiner anderen Messgröße signifikant korreliert. Die Konzentrationsmaxima der Radonkonzentration im Aufenthaltsraum und im Pumpenkeller treten im Vergleich zum Kammerraum etwa 2 bis 3 Stunden später auf.

Der Ursprung des Thorons ist aufgrund der niedrigen und in allen Räumen etwa gleichen Werte nicht dem Transport im Rohwasser zuzuschreiben, sondern der Emanierung aus den Baumaterialien oder dem direkten Eintrag aus der Bodenluft ins Gebäude. Der Beitrag von Thoron zur effektiven Dosis durch Radon und seinen Zerfallsprodukten ist im Kammerraum etwa 3% und in den anderen Räumen etwa 6%. Für den Wasserwart der Anlage wurde durch die zweimonatigen, personengebundenen Messungen eine Jahresexposition von unter 1 MBq h m^{-3} ermittelt.

8.13 Messungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 7285

Im Hochbehältergebäude des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 7285 (LB) wurden vom 14. bis 22.12.1999 und 16. bis 22.01.2001 mehrere zeitaufgelöste, kontinuierliche Radonmessungen durchgeführt. Das genannte Wasserversorgungsunternehmen liegt westlich von München und fördert aus über 50 Brunnen Grundwasser. Die Radonkonzentration des Rohwassers liegt bei etwa 10 Bq l^{-1} .

Der Trinkwasserbehälter besitzt eine Wasserkammer mit einem Fassungsvermögen von 8000 m^3 und gibt im Jahr etwa 6 Millionen m^3 Trinkwasser ab. Der Hochbehälter ist durch Entlüftungsschlitze belüftet. Die Messungen wurden im Kammerraum durchgeführt. Die Messwerte sind in Tabelle 8.13 zusammengestellt.

Tabelle 8.13: Mittelwerte aus den Messungen im Trinkwasserbehälterkammerraum des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 7285 (LB).

Ort	Rn-Konz. [Bq m^{-3}]	Rn-EEC [Bq m^{-3}]	F	F_p	Thoron-EEC [Bq m^{-3}]
Kammerraum	1.550	890	0,6	0,17	1,3

Für den Wasserwart, der auch noch andere Anlagen betreut, wurde durch die zweimonatigen, personengebundenen Messungen eine Radonjahresexposition von unter $0,5 \text{ MBq h m}^{-3}$ ermittelt.

8.14 Diskussion der Ergebnisse

Die Messungen in den elf Wasserversorgungsunternehmen haben bestätigt, dass die Situation bezüglich der Radonbelastungen in Wasserversorgungsanlagen sehr komplex sein kann. Selbst innerhalb eines Wasserversorgungsunternehmens können die Verhältnisse stark voneinander abweichen. Unterschiede in den Radongehalten des Rohwasser von verschiedenen Quellgebieten, in

der Belüftung und der Gebäudearchitektur führen zu unterschiedlichen Werten von Radonkonzentrationen in den Wasserversorgungsanlagen. Ein Bereich über zwei Größenordnungen ist möglich. Besonders hohe Radonkonzentrationen treten oft in Quelfassungen und Sammelschächten auf.

Um zu einer zuverlässigen Abschätzung der Jahresexposition, ermittelt aus Raumluftkonzentrationen und Aufenthaltsdauer, zu kommen, müssten die Aufenthaltszeiten der Beschäftigten an den verschiedenen Aufenthaltsorten sehr gut bekannt sein. In der Praxis ist dies aber meist nicht der Fall. Hinzu kommt, dass die Radonkonzentrationen durch das Wetter, durch Betriebsvorgänge oder durch den Aufenthalt des Wasserwarts, der in der Regel eine Störung der Lüftungsverhältnisse verursacht, beeinflusst wird. Dies ist auch der Grund dafür, dass bei solchen Abschätzungen meist ein zu hoher Wert gegenüber den Messungen mit personengebundenen Systemen ermittelt wird. Bei in der Regel kurzen Aufenthaltszeiten in den Wasserversorgungsanlagen neigen die befragten Wasserwarte zu einer Überschätzung ihrer Aufenthaltszeiten. Zu lange Zeiten werden oft auch angegeben, um ein größeres Arbeitspensum zu demonstrieren. Auch wenn durch Filterspülungen die Radonkonzentrationen erhöht werden können, ist die Radonkonzentration während des Aufenthalts des Wasserwarts, z.B. in den Aufbereitungsräumen, geringer als im zeitlichen Mittel, da normalerweise dabei bessere Lüftungsverhältnisse (Öffnen von Türen und Fenstern) hergestellt werden.

Wie die Versuche zur Optimierung der Belüftung in den Gebäuden gezeigt haben, kann es im Einzelfall sehr lange dauern, bis nach dem Öffnen von Türen und Fenstern eine zufriedenstellende Reduktion der Radonkonzentrationen erreicht ist. In der Praxis ist eine zeitlich begrenzte, passive Belüftung zur Senkung der Exposition deshalb problematisch. Aus hygienischen Gründen ist der Einbau von Klimaanlage oder Ventilatoren, versehen mit Mikrofiltern, zu bevorzugen. Spezielle Reduktionsmaßnahmen sind in den Wasserversorgungsunternehmen mit den Nr. 5122, 5322 und 5425 schon durchgeführt worden. Kapitel 9 enthält die Messresultate zur Beurteilung der Effektivität der angewandten Maßnahmen in Bezug auf die Reduktion der Radonkonzentration in den Anlagen bzw. der Radonexposition der Beschäftigten.

Der Bereich der gemessenen Gleichgewichtsfaktoren reicht von 0,3 bis 0,8. In den meisten Fällen konnte nicht zweifelsfrei geklärt werden, welche speziellen Bedingungen zu dem Messwert eines bestimmten Gleichgewichtsfaktors geführt haben. Sehr hohe Gleichgewichtsfaktoren findet man meistens in Hochbehältern. Der über alle Anlagen und Aufenthaltszeiten gemittelte Gleichgewichtsfaktor der Exposition eines Beschäftigten liegt aber in der Regel nicht sehr weit weg von dem in der StrlSchV vorgeschlagenen Wert von 0,4.

Die Messungen zeigen, dass der Anteil der effektiven Dosis durch Thoron und seinen Zerfallsprodukten nicht über 10% der durch Radon mit Zerfallsprodukten verursachten Dosis beträgt. Der unangelagerte Anteil der Radonzerfallsprodukte liegt im Normalbereich für geschlossene Räume von 0,05 bis 0,15 [82].

9 Reduktionsmaßnahmen

9.1 Fortschritt bei bisher durchgeführten Projekten

Der derzeitige Stand bei der Durchführung von Maßnahmen zur Reduktion der Radonkonzentration und -exposition in ausgewählten Wasserversorgungsunternehmen ist in Tabelle 9.1 zusammengefasst. Die Messungen, das Durchführen von Tests zur Ermittlung von optimalen Reduktionsmaßnahmen und die anschließende Erfolgskontrolle wurden zum Teil in Zusammenarbeit mit dem U.R.A.-Labor der Universität Regensburg durchgeführt. Das Labor wird die nicht abgeschlossenen Projekte unter der Federführung eines neuen Untersuchungsvorhabens mit dem Titel „Strahlenexposition durch natürliche Radioisotope aus gewerblichen Betrieben in Bayern“, das seit Anfang 2002 am LfU angesiedelt ist, weiterführen.

Zur Planung und Durchführung von Reduktionsmaßnahmen wurde in der Regel vom U.R.A.-Labor folgender Ablauf gewählt:

Zuerst wurden mehrere aktive Messgeräte (siehe Kapitel 8) in verschiedenen Räumen der Anlagen aufgestellt. Vor allem wurden Gebäude mit Hochbehälterkammern und Aufbereitungsanlagen untersucht. Gegebenenfalls wurde aber auch der Verlauf der Radonkonzentration in Quellschächten oder Brunnen aufgezeichnet. Nach Auswertung der Messergebnisse wurde dann getestet, ob durch Öffnen von Türen oder Fenstern die Radonkonzentration effizient gesenkt werden kann. Unter Berücksichtigung aller Erkenntnisse über die betreffenden Anlagen wurden dann Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration diskutiert, festgelegt und dem Betreiber der Wasserversorgung empfohlen. Nach dem Umsetzen der Maßnahmen wurden erneut aktive Messgeräte eingesetzt, um den Erfolg der Maßnahmen zu bestätigen. Zusätzlich trug der Wasserwart nochmals ein personengebundenes Expositometer, um auch die erwartete Reduktion der Radonexposition des Wasserwarts gegebenenfalls dokumentieren zu können.

Gleichzeitig wurde versucht, die Exposition des Reinigungspersonals der Behälterreinigung zu erfassen. Gegebenenfalls wurden auch dort Reduktionsmaßnahmen durchgeführt.

In den Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5053 und 5065 wurden im Rahmen eines Praxistests von Kernspurexpositometern (siehe Kapitel 12.2) stark erhöhte Radonexpositionen der Wasserwarte festgestellt. Einfache Reduktionsmaßnahmen wurden empfohlen und Nachmessungen mit Kernspurexpositometern durchgeführt (siehe Kapitel 9.7). Diese beiden Wasserversorgungsunternehmen sind nicht in Tabelle 9.1 aufgenommen. Nachhaltige Reduktionsmaßnahmen, die durch Messungen mit aktiven Messgeräten üblicherweise begleitet werden, müssen erst noch durchgeführt werden.

Die Radonmessungen und die Empfehlung sowie die Durchführungen von Reduktionsmaßnahmen in den Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5332 und 8104 wurden vom LfU durchgeführt.

Tabelle 9.1: Zusammenfassung des Stands bei der Durchführung von Reduktionsmaßnahmen in einigen Wasserversorgungsunternehmen. (s) bedeutet Aufnahme in die ständige Überwachung ist notwendig. Ein (t) in einem Feld steht für „teilweise“.

Status	Wasserversorgungsunternehmen											
	3005	5055	5111	5122	5127	5306	5322	5332	5425	7017	7051	8104
Aktive Messungen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lüftungstests	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-
Maßnahmen erstellt			x	x			x	x	x	-	-	x
Maßnahmen empfohlen			x	x			x	x	x	-	-	x
Maßnahmen durchgeführt			t	x			x	x	x	-	-	x
Erfolgskontrolle			t	x			x	x	x	-	-	x
Maßnahmen erfolgreich			t	x			x	x	x	-	-	x
Exposition ermittelt				x			x	x	x	x	x	
Exposition akzeptabel				s			s	x	x	x	x	
Behälterreinigung												
Exposition ermittelt			x				x	x		x	x	
Reduktionsmaßnahmen			-				-	x		x	x	
Exposition akzeptabel			x				x	s		-	-	
Projekt abgeschlossen							x	x		x	x	

9.2 Reduktion der Radonkonzentration im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5122

Die Entsäuerungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5122 befindet sich in einem komplett unterirdisch gebauten Raum ohne Stromversorgung. Im unterirdischen Gebäude der Aufbereitungsanlage, in der sich die beiden Wasserwarte hauptsächlich aufhalten, wurden sehr hohe Radonkonzentrationen gemessen (siehe Kapitel 8.6). Aus den Messungen mit den personengebundenen Exposimetern wurden Jahresexpositionen von etwa 20 MBq h m^{-3} abgeschätzt. Den Wasserversorgungsunternehmen wurde deshalb empfohlen, ein mobiles Belüftungssystem einzusetzen.

Das angeschaffte mobile Belüftungssystem (siehe Abbildung 9.1 und 9.2) besteht aus einem Stromgenerator, einem Ventilator mit Filter und einem flexiblen Schlauch, über den die Frischluft in den Raum eingeblasen wird. Es muss darauf geachtet werden, dass die radonarme Frischluft genügend weit von der Öffnung des Quellschachts entfernt angesaugt wird, um ein unerwünschtes Ansaugen der ausgeblasenen radonhaltigen Luft aus dem Innenraum zu verhindern. Deshalb wurde die Frischluft über einen Schlauch etwa 5 Meter von der Einstiegsöffnung angesaugt. Der Wert der Radonkonzentration vor der Inbetriebnahme des Belüftungssystems lag im Mittel bei 51.000 Bq m^{-3} . Nach 10 Minuten Belüften ist ein Wert von etwa 250 Bq m^{-3} erreicht (siehe Abbildung 9.3).

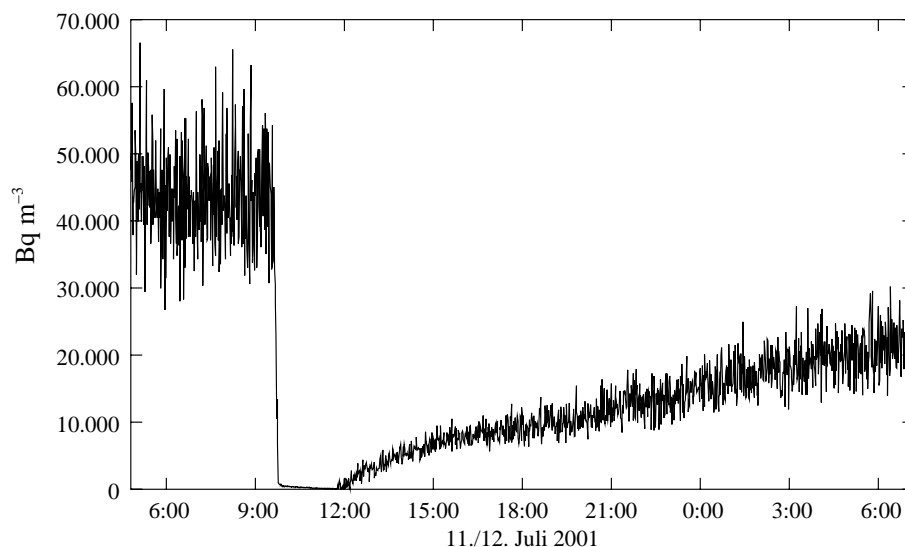


Abbildung 9.3: Effektive Reduktion der Radonkonzentration durch ein mobiles Belüftungssystem im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5122.

Durch erneute Messungen mit personengebundenen Exposimetern nach Inbetriebnahme des Belüftungssystems konnte die Effektivität dieser Maßnahme nachgewiesen werden. Die jährliche Exposition der beiden Wasserwarte sank von etwa 20 MBq h m^{-3} auf unter 2 MBq h m^{-3} .



Abbildung 9.1: Mobiles Belüftungssystem im Einsatz in einer unterirdischen Aufbereitungsanlage ohne Anschluss an das öffentliche Stromnetz (Außenansicht) im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5122.



Abbildung 9.2: Mobiles Belüftungssystem im Einsatz in einer unterirdischen Aufbereitungsanlage (Innenansicht) im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5122.

9.3 Reduktion der Radonkonzentration im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5322

9.3.1 Reduktion der Konzentration im Aufbereitungsgebäude

In einem Gebäude, in dem die Aufbereitungsanlage und ein Hochbehälter untergebracht sind, wurden besonders hohe Radonkonzentrationen von bis zu 70.000 Bq m^{-3} gemessen (siehe auch Kapitel 8.9). Im Entsäuerungsraum im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5322 wurden deshalb im Erdgeschoss zwei Ventilatoren mit jeweils einer Maximalleistung von $500 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ fest installiert. Die Leistung dieser Ventilatoren ist stufenlos regulierbar. Durch diese Ventilatoren wird im Raum ein Unterdruck erzeugt und somit über mehrere Lüftungsschächte im Keller sowie im Erdgeschoss Frischluft zugeführt. Die Ventilatoren wurden über eine Zeitschaltuhr zu Testzwecken in verschiedenen Intervallen geschaltet. Vom 16.03.2001 bis 05.04.2001 wurden dann verschiedene Lüftungsexperimente durchgeführt, die mit aktiven Messungen begleitet wurden. In Abbildung 9.4 ist der Konzentrationsverlauf während der fünf verschiedenen Testphasen gezeigt. Im Bereich 1 sind die Ventilatoren noch ausgeschaltet. Im Bereich 2 laufen die Lüfter nur zu bestimmten Zeiten und mit 50% Leistung. Die Zeiten sind den Aufenthaltszeiten des Wasserwarts im Gebäude angepasst. Eingeschaltet sind die Ventilatoren von 6.30 Uhr bis 7.00 Uhr und in der Zeit zwischen 7.00 Uhr und 18.00 Uhr 15 Minuten pro Stunde. Im Bereich 3 wurde die Lüfterleistung auf 100% erhöht und zu den Betriebszeiten im Bereich 2 noch zusätzlich in den Nachtstunden von 18.00 Uhr bis 6.00 Uhr alle 3 Stunden 15 Minuten aktiv belüftet. Im Bereich 4 wurden die Belüftungszeiten bzw. -frequenzen nochmals erweitert. Von 6.00 Uhr bis 7.00 Uhr wurde im Dauerbetrieb, von 7.00 Uhr bis 18.00 Uhr 30 Minuten pro Stunde und von 18.00 Uhr bis 6.00 Uhr 30 Minuten pro 3 Stunden belüftet. Im Bereich 5 wurde dann auf 24 Stunden Dauerbetrieb geschaltet.

In Abbildung 9.4 ist deutlich zu erkennen, dass die Radonkonzentration im Mittel vor der Inbetriebnahme (Bereich 1) der Ventilatoren deutlich höher war als nachher (Bereich 2 bis 5). Die einzelnen Betriebszeiten der Lüfter sind aber nur im Bereich 4 gut durch eine deutliche Abnahme und ein Ansteigen der Radonkonzentration nach dem Abschalten der Ventilatoren zu erkennen. In den Bereichen 2 und 3 sind aufgrund der kürzeren Lüftungsintervalle die einzelnen Zu- bzw. Abnahmen der Konzentration nicht derart zu erkennen. Die Leistung der Ventilatoren von 50% auf 100% zu erhöhen bringt keine weitere Reduzierung der Radonkonzentration. Dies ist vermutlich auf die zu geringen Querschnitte für die Luftzufuhr über die Lüftungsschächte zurückzuführen. Die täglichen Schwankungen der Konzentration in den Bereichen 1 bis 4 sind vermutlich auf unterschiedliche betriebsbedingte Zustände, z.B. Wasserverbrauch, zurückzuführen und damit unabhängig von den Einstellungen am Belüftungssystem. Erst der permanente Betrieb der Ventilatoren (Bereich 5) gewährleistet eine zufriedenstellende Reduktion der Radonkonzentration auf Werte bis unter 5.000 Bq m^{-3} . Somit konnte durch die Reduktionsmaßnahmen (mit den Maßnahmen in den Quellschächten) die jährliche Radonexposition des Wasserwarts von 18 auf etwa $2,5 \text{ MBq h m}^{-3}$ gesenkt werden.

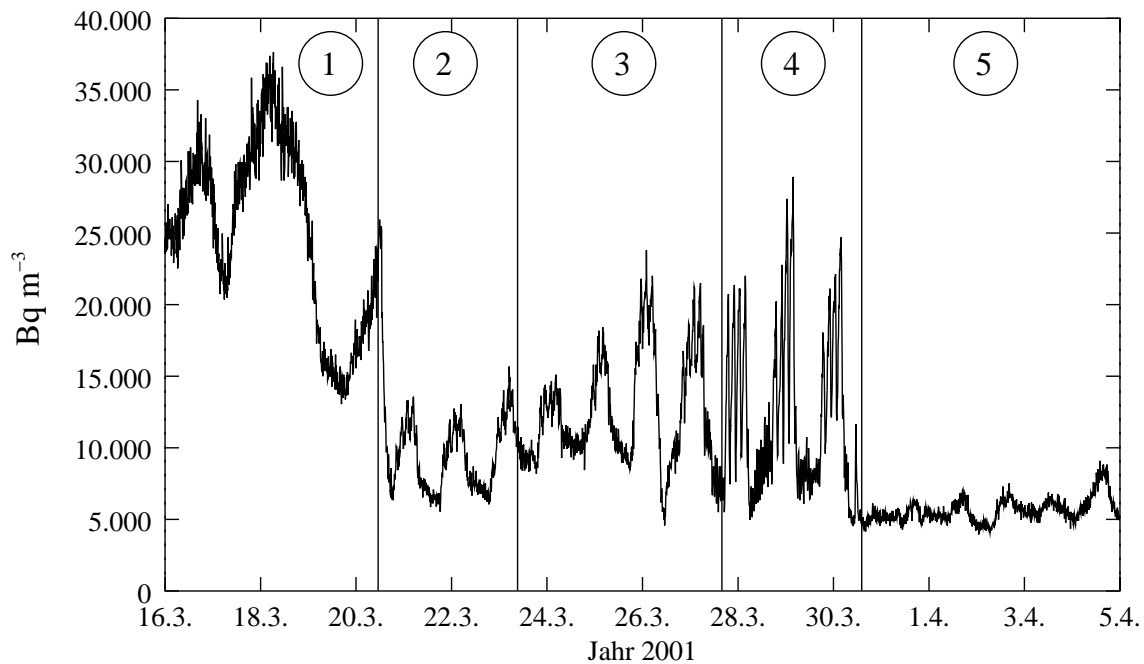


Abbildung 9.4: Verlauf der Radonkonzentration bei fünf unterschiedlichen Betriebsarten von zwei Ventilatoren in einem Aufbereitungsgebäude des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5322.

9.3.2 Reduktion der Konzentration in den Quellschächten

Die Quellschächte des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5322 liegen, wie auch bei den meisten anderen Anlagen, an abgelegenen Orten im Wald und sind in der Regel ohne Stromversorgung. Die bisherigen Messungen mittels Kernspurdetektoren ergaben zum Teil enorm erhöhte Radonkonzentrationen in den Quellschächten. In drei Quellschächten wurden im Frühjahr 2000 einwöchige Messungen mit Kernspurexposimetern durchgeführt. Konzentrationen von 130.000, 140.000 und 390.000 Bq m⁻³ wurden ermittelt. Aus dem Arbeitszeitprofil der Beschäftigten und der hohen Konzentration kann man in den Quellschächten einen Ort der Hauptexposition ermitteln. Da die Wasserwarte zwecks Messungen (Schüttungsmessung, usw.) und Kontrollen in die Schächte einsteigen müssen, wurde ein mobiles Belüftungssystem getestet, welches radonarme Frischluft in die Quellschächte einbläst.

Das mobile Belüftungssystem besteht aus einem Stromgenerator, einem Ventilator mit Filter und einem flexiblen Schlauch, über den die Frischluft in den Quellschacht eingeblasen wird (siehe Abbildung 9.5). Es wurde darauf geachtet, dass die radonarme Frischluft genügend weit von der Öffnung des Quellschachts entfernt angesaugt wird, damit die Abluft aus dem Quellschacht nicht mitangesaugt werden kann. Ein Ansaugschlauch mit 5 Meter Länge wurde verwendet.

Im Juli 2001 wurde das mobile Belüftungssystem getestet und der Einsatz durch aktive Radonmessungen begleitet. Der Verlauf der Konzentration ist in Abbildung 9.6 dargestellt.

Vor dem Belüftungsvorgang war die Radonkonzentration im Mittel bei etwa 130.000 Bq m⁻³. In diesem Quellschacht befinden sich zwei kleine Hochbehälterkammern mit insgesamt etwa 20 m³



Abbildung 9.5: Mobiles Belüftungssystem mit Dieselstromaggregat für einen Quellschacht des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5322.

Volumen. Die Schwankungen der Konzentration sind unter anderem abhängig vom Wasserdurchsatz und dem Füllstand der Hochbehälter.

Bei Beginn des Lüftungsvorgangs (1) betrug der Wert der Radonkonzentration 65.000 Bq m^{-3} . Nach Inbetriebnahme des Belüftungssystems sank die Radonkonzentration innerhalb von 10 Minuten auf 650 Bq m^{-3} . Nach Beendigung der aktiven Belüftung und nach Schließen des Einstiegs in den Quellschacht (2) steigt die Radonkonzentration langsam wieder an. Nach einiger Zeit ist ein erneuter Abfall der Konzentration zu beobachten. Zu diesem Zeitpunkt wurde der Zulauf verschlossen, um die beiden Hochbehälter vorübergehend zu entleeren, was zu einer Reduzierung der Radonkonzentration in der Raumluft führte. Der Wasserzulauf aus den Quellen liegt in dieser Anlage in der Regel unter dem Wasserspiegel der Hochbehälter. Bei einem teilweise oder ganz entleerten Wasserbecken liegt der Wassereinfluss jedoch über der Wasseroberfläche, was durch die vom herabstürzenden Wasser verursachten starken Turbulenzen zu einem erhöhten Transfer von Radon in die Raumluft führt. Beim wieder Befüllen des Behälters (3) lässt sich deshalb ein sehr steiler Anstieg der Radonkonzentration in der Raumluft beobachten. Nachdem der Wasserzulauf durch den Anstieg des Wasserpegels wieder unter die Wasseroberfläche des Hochbehälters gesunken war (4), nahm die Steilheit des Anstiegs der Konzentration wieder ab.

Insgesamt konnte mit diesem Test die Effektivität des mobilen Belüftungssystems, das in allen drei Quellschächten des Versorgungsunternehmens eingesetzt werden kann, eindrucksvoll gezeigt werden.

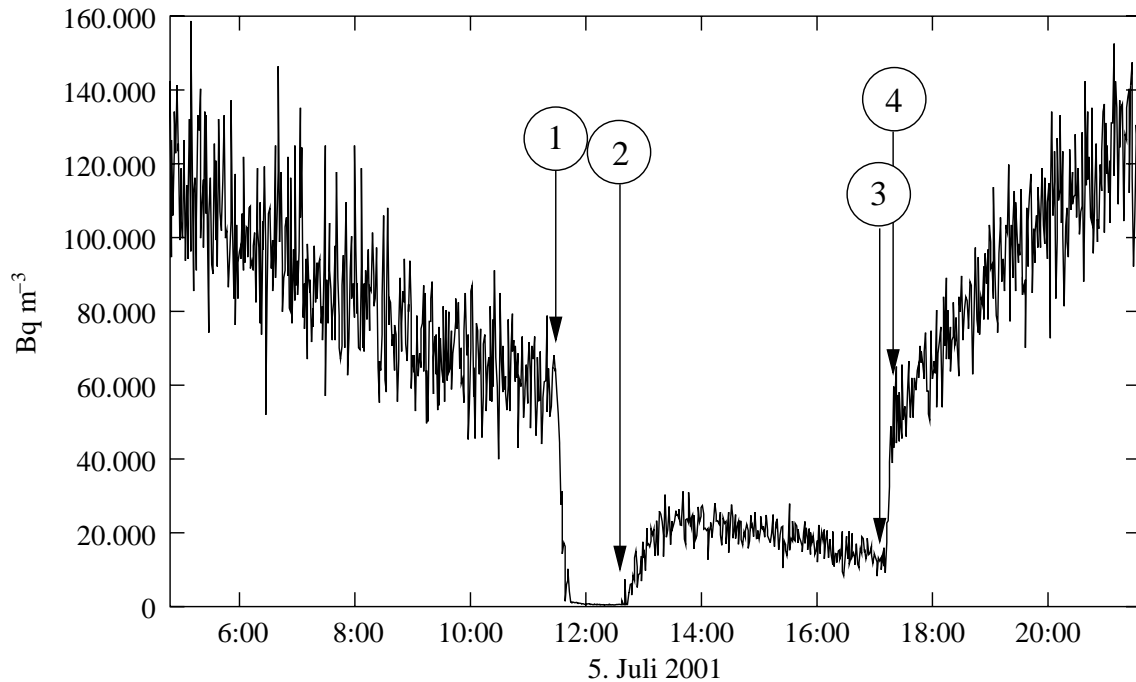


Abbildung 9.6: Verlauf der Radonkonzentration in einem Quellschacht bei Einsatz eines mobilen Belüftungssystems im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5322. Die vier Punkte, an denen Änderungen im Betriebsablauf erfolgten, sind im Text erklärt.

9.4 Reduktion der Radonkonzentration im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5332

9.4.1 Reduktion der Konzentration im Aufbereitungsgebäude

Schon 1993 wurden vom TÜV Bayern Radonmessungen in Wasserversorgungsanlagen durchgeführt [14]. Besonders in einer Anlage des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5332 (WS) im Fichtelgebirge wurden extrem hohe Konzentrationen aufgespürt. Die Radonkonzentration im Wasser kann dort bis zu 900 Bq l^{-1} erreichen. Eine maximale Raumluftkonzentration von 50.000 Bq m^{-3} wurde gemessen. Da in dem Aufbereitungsgebäude auch die Werkstatt, das Labor und ein Aufenthaltsraum untergebracht sind, ist die Aufenthaltszeit des Wasserwarts in diesem Gebäude relativ hoch. Zudem befindet sich die Wohnung des Wasserwarts im gleichen Gebäude. Sie ist aber über einen überdachten, nach einer Seite hin offenen Durchgang vom Gebäudeteil mit der Aufbereitungsanlage abgetrennt. Radonmessungen in der Wohnung im Jahre 1998 ergaben eine relativ niedrige, unproblematische Konzentration von nur 70 Bq m^{-3} .

Mit einer hohen, beruflichen Radonexposition musste aber gerechnet werden. Deshalb wurden im Zeitraum von Juli 1996 bis Juli 1998 Messungen der Radonkonzentration an 5 verschiedenen Orten in der Anlage durchgeführt und die Radonexposition des hauptamtlichen Wasserwarts gemessen. Die verwendeten Exposimeter wurden monatlich ausgewertet. Aufgrund der sehr hohen Radonex-

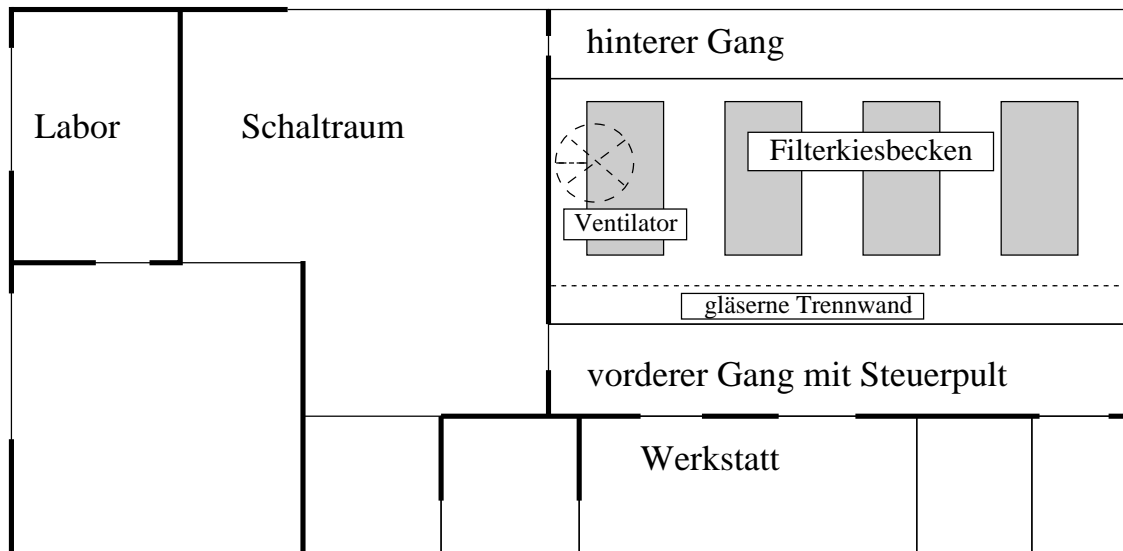


Abbildung 9.7: Skizze des Gebäudes der Aufbereitungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5332. Eine Trennwand und ein Ventilator wurden eingebaut.

positionen des Wasserwarts von etwa 33 MBq h m^{-3} pro Jahr wurde beschlossen, Maßnahmen zur Reduktion der Exposition des Wasserwarts durchzuführen. Am 23. Juli 1997 wurde begonnen, eine gläserne Trennwand zwischen dem Steuerpult und den Filterkiesbecken des Aufbereitungsraums einzuziehen. Zusätzlich wurde ein Ventilator zur Entlüftung des Aufbereitungsraums installiert (siehe Abbildung 9.7). Ein Entlüftungsrohr führt nun die radonhaltige Raumluft über den Speicher ins Freie. Die Zuluft gelangt über eine verschließbare Öffnung zum vorderen Gang in den Raum. Der Ventilator läuft im Dauerbetrieb auf mittlerer Leistung. Dem Wasserwart wurde empfohlen, 15 Minuten vor dem Betreten des Aufbereitungsraums den Ventilator mit maximaler Leistung zu betreiben. Die Umbaumaßnahmen waren am 4. August 1997 abgeschlossen.

Der Erfolg der Reduktionsmaßnahmen ist in den Abbildungen 9.8 bis 9.10 deutlich zu sehen. Nach den Umbaumaßnahmen wurde im April 1998 die etwa alle fünf Jahre notwendige Reinigung der Filterkiesbecken durchgeführt. Der Filterkies wurde dabei ausgetauscht und Malerarbeiten ausgeführt. Ein Becken wurde gereinigt, während die anderen drei Becken den Betrieb aufrecht erhielten. Ein deutlicher Anstieg bei der monatlichen Exposition des Wasserwarts war zu beobachten. Allein für diese Arbeiten wurde eine Exposition von etwa 5 MBq h m^{-3} ermittelt.

Lässt man diese nicht jedes Jahr zu erwartende Exposition außer Acht, kann nun davon ausgegangen werden, dass eine jährlichen Radonexposition des Wasserwarts von unter 2 MBq h m^{-3} zu erreichen ist. Eine Reduktion der jährlichen Exposition des Wasserwarts um einen Faktor 17 wurde damit erreicht. Der Wasserwart nimmt nicht an Behälterreinigungen teil.

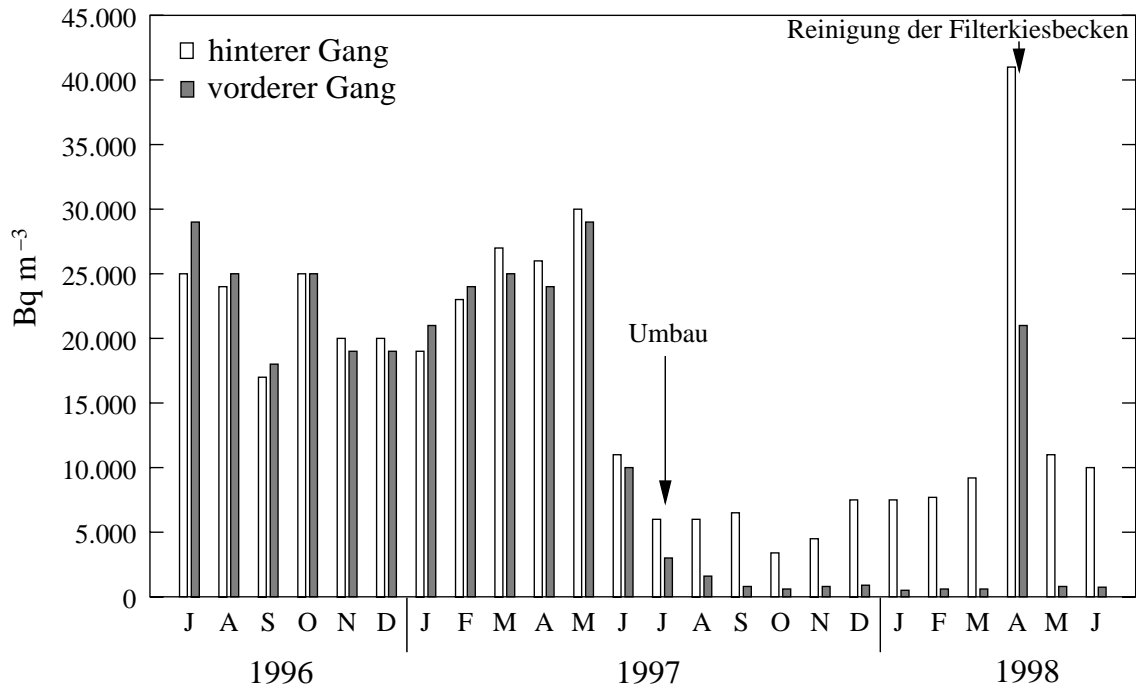


Abbildung 9.8: Verlauf der Radonkonzentration im hinteren und vorderen Gang im Aufbereitungsgebäude des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5332 (WS).

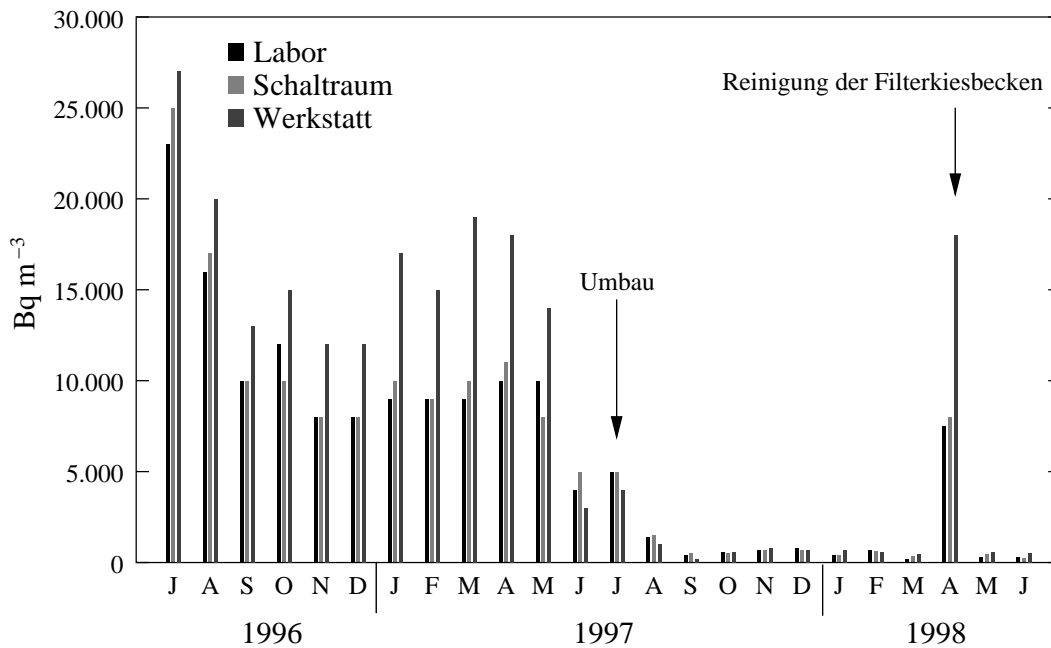


Abbildung 9.9: Verlauf der Radonkonzentration im Labor, Schaltraum und in der Werkstatt im Aufbereitungsgebäude des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5332 (WS).

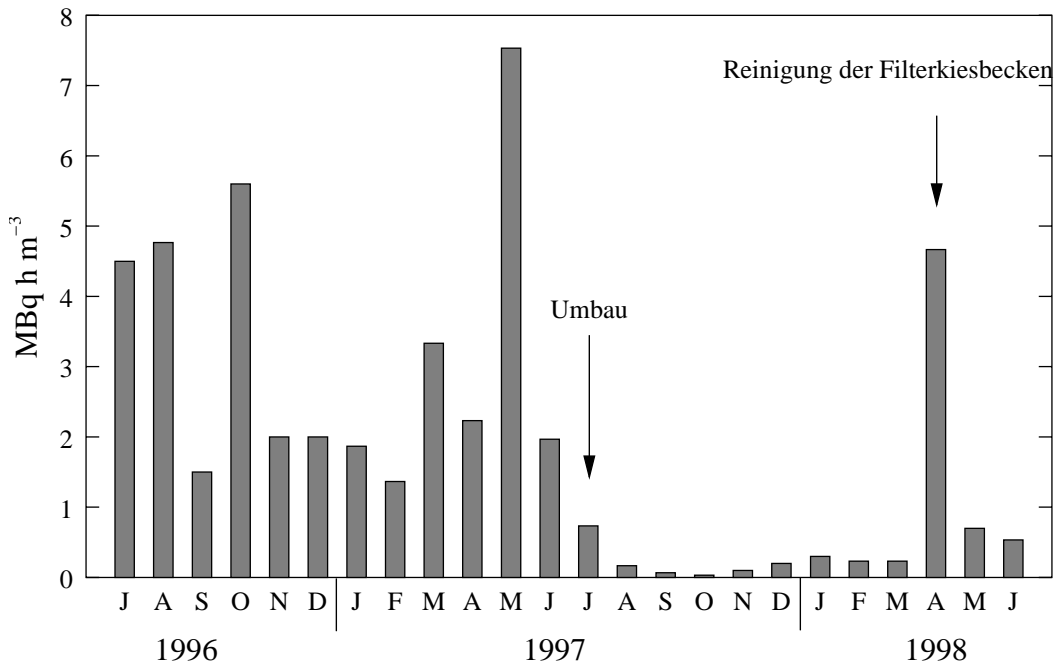


Abbildung 9.10: Verlauf der monatlichen Exposition des Wasserwarts des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5332 (WS).

9.4.2 Reduktion der Exposition bei der Behälterreinigung

Im März 1998 wurden im Hochbehälter des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5332 (WS) die jährlichen Reinigungs- und Malerarbeiten durchgeführt. Der Hochbehälter ist mit zwei nebeneinander liegenden Becken mit einem Fassungsvermögen von je 1.000 m³ ausgestattet. Während der Reinigung des einen Beckens ist das angrenzende Becken in Betrieb. Der Wasserdurchsatz beträgt etwa 50 l s⁻¹.

Die fünf Personen des Wartungstrupps wurden mit personengebundenen Exposimetern ausgestattet. Die Exposimeter wurden während der Reinigungsarbeiten, die sich über etwa zwei Wochen erstreckten, getragen. Bei anderen Arbeiten, größeren Pausen und nach Arbeitsschluss wurden sie neben einem Referenzexposimeter gelagert. Da bei Messungen während der Behälterreinigung im Vorjahr Werte der Radonkonzentration von bis zu 400.000 Bq m⁻³ gemessen wurden, wurde bei der Behälterreinigung 1998 ein mobiles Entlüftungssystem zur Reduktion der Radonkonzentration eingesetzt.

Tabelle 9.2 zeigt die ermittelten Expositionen der 5 Arbeiter des Reinigungspersonals. Betrachtet man die Spalte der Tabelle mit der mittleren Radonkonzentration, so fallen die verhältnismäßig niedrigen Werte von Person 2 und Person 5 auf. Die mittlere Radonkonzentration wurde durch Division der mit den personengebundenen Exposimetern ermittelte Exposition durch die Tragezeit ermittelt. Da unsere Messungen mit aktiven Messgeräten vor Ort gezeigt haben, dass die Konzentrationen räumlich im Behälter nicht sehr schwanken, ist anzunehmen, dass beide obengenannte Personen häufig außerhalb der Behälterkammer gearbeitet haben.

Tabelle 9.2: Exposition der Arbeiter bei der Behälterreinigung, ermittelt durch das Tragen von personengebundenen Exposimetern.

	Totale Tragezeit [h]	Exposition [MBq h m ⁻³]	Mittlere Konzentration [Bq m ⁻³]
Person 1	30	6	190.000
Person 2	21	0,8	40.000
Person 3	16	3,5	230.000
Person 4	12	1,3	100.000
Person 5	3	0,1	40.000

Die Radonkonzentration im Behälter wurde über etwa 20 Stunden mit aktiven Messmethoden gemessen. Die Konzentrationen bewegten sich im Bereich von 200.000 bis 300.000 Bq m⁻³, je nachdem, ob das Entlüftungssystem an- oder ausgeschaltet war. Eine Abhängigkeit der Radonkonzentration vom Wasserstand des sich im Betrieb befindlichen angrenzenden Behälters konnte aufgrund der kurzen Messzeit nicht zweifelsfrei festgestellt werden. Nur das Einschalten des Lüftungssystems, wie zum Beispiel um etwa 7.00 Uhr, bewirkte eine Reduktion der Radonkonzentration. Von etwa 18.00 Uhr bis 7.00 Uhr morgens war die Lüftung ausgeschaltet (siehe Abbildung 9.11).

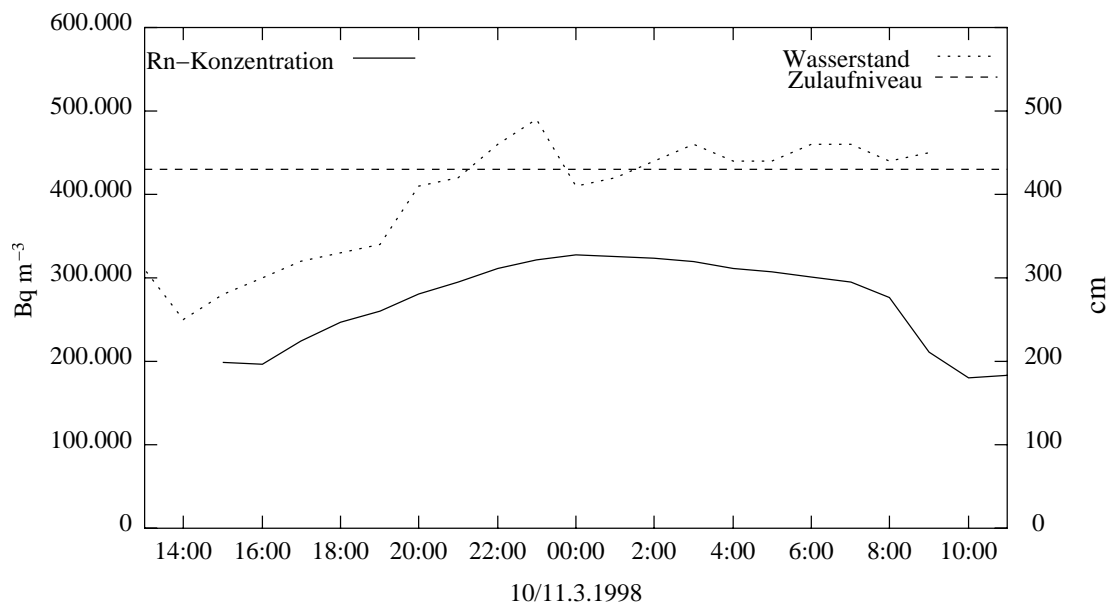


Abbildung 9.11: Verlauf der Radonkonzentration und des Wasserstands des angrenzenden, sich im Betrieb befindlichen Behälters. Das Zulaufniveau des Behälters ist 430 cm über dem Behälterboden.

Dennoch ist diese Art der Lüftung nicht effektiv genug. Trotz einer Lüftungsrate von $2.400 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ wurde nur eine geringe Reduktion der Radonkonzentration erreicht. Das Gebläse war am Beckenrand zwischen den Behältern aufgestellt und saugte Luft aus dem Behälterraum an, die über mehrere Schläuche nach außen transportiert wurde. Da aber die Eingangstüre zum Behälter nur wenige Meter von der Ansaugöffnung des Gebläses entfernt war, wurde ein Großteil der Luft dem geringsten Widerstand folgend, direkt über die Türe vom Vorraum angesaugt. Die Tiefe des Behälters war deshalb von der Luftzirkulation unbeeinflusst und es konnten sich so die relativ hohen Konzentrationen aufbauen.

Es ergab sich bei der Behälterreinigung für die 5 beteiligten Personen zusammen eine Exposition von $11,7 \text{ MBq h m}^{-3}$ bei insgesamt 82 Arbeitsstunden. Dies bedeutet, dass das Personal während der Reinigungsarbeiten einer mittleren Radonkonzentration von $140.000 \text{ Bq m}^{-3}$ ausgesetzt war.

Auch in Anbetracht der immer noch nicht unerheblichen Radonexposition des Personals von bis zu 6 MBq h m^{-3} erschien es notwendig, die eingesetzte mobile Lüftungsanlage weiter zu optimieren.

Im Zeitraum vom 23.02. bis zum 08.04.1999 wurde die Behälterreinigung für das Jahr 1999 durchgeführt. Wie im Vorjahr wurde zur Reduzierung der Radonkonzentration wieder ein mobiles Lüftungssystem mit einer Durchflussrate von etwa 2.000 m^3 pro Stunde eingesetzt. Um ein Ansaugen von radonhaltiger Abluft zu vermeiden wurde dieses Mal radonarme Außenluft angesaugt und über einen flexiblen Schlauch zirka 1 m über dem Kammerboden eingeblasen (siehe Abbildung 9.12 und Abbildung 9.13). Das mobile Belüftungssystem war während der gesamten Arbeitszeit des Reinigungspersonals in Betrieb. Es wurde stets etwa eine Stunde vor Arbeitsbeginn eingeschaltet.

Bis zum 25.02.1999 war das mobile Belüftungssystem noch nicht einsatzfähig. Die Messwerte der Exposimeter, die in dieser Zeit getragen wurden, und die aus den Messwerten berechneten mittleren Konzentrationen am Arbeitsort der Exposimeterträger sind in Tabelle 9.3 zusammengefasst.

Tabelle 9.3: Radonexposition bei einer Behälterreinigung ohne Einsatz eines mobilen Lüftungssystems (mit personengebundenen Exposimetern ermittelt).

Name	Tragezeit [h]	Exposition [MBq h m^{-3}]	Mittlere Konzentration [Bq m^{-3}]
Person 1	5,8	0,6	100.000
Person 2	2,5	0,4	150.000
Person 3	5,8	0,6	100.000

Vom 25.02.1999 an war das mobile Belüftungssystem im Einsatz. Ab diesem Zeitpunkt wurden neue Exposimeter verwendet. Die Ergebnisse aus der Auswertung dieser Exposimeter zeigt Tabelle 9.4.

1999 erhielten 3 Personen eine Gesamtexposition von $1,6 \text{ MBq h m}^{-3}$ ohne Einsatz des Belüftungssystems und 4 Personen $5,9 \text{ MBq h m}^{-3}$ bei laufendem System. In der Zeit, in der das Belüftungssystem im Einsatz war, wurden 144 Arbeitsstunden geleistet. Damit ergibt sich eine mittlere Konzentration an den Arbeitsplätzen der Beschäftigten nach Inbetriebnahme des Belüftersystems von



Abbildung 9.12: Mobiles Belüftungssystem im Einsatz bei einer Behälterreinigung im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5332 (WS).



Abbildung 9.13: Flexible Ansaugrohre eines mobilen Belüftungssystems im Einsatz bei einer Behälterreinigung im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5332 (WS).

Tabelle 9.4: Radonexposition bei einer Behälterreinigung mit Einsatz eines mobilen Belüftungssystems (mit personengebundenen Expositometern ermittelt).

Name	Tragezeit [h]	Exposition [MBq h m ⁻³]	Mittlere Konzentration [Bq m ⁻³]
Person 1	60,5	2,7	45.000
Person 2	52,0	2,6	48.000
Person 3	15,3	0,3	18.000
Person 4	15,5	0,3	16.000

40.000 Bq m⁻³. Vergleicht man diesen Wert mit dem Vorjahreswert, so wird deutlich, dass durch die Verbesserung am Lüftungssystem eine Reduktion der Radonkonzentration an den Arbeitsplätzen des Reinigungspersonals von etwa 70% erreicht wurde.

Ab dem 25.02.1999 wurde zusätzlich ein aktives Radonmessgerät vom Typ „AlphaGUARD“ im Behälter aufgestellt. Zu Beginn der Reinigung wurde die Effektivität des Lüftungssystems überprüft. Messungen an verschiedenen Orten in der leeren Behälterkammer zeigten, dass die Radonkonzentration auch bei lokal einwirkender Belüftung räumlich relativ konstant war. Das Messgerät wurde deshalb feststehend in einer Höhe von etwa einem Meter über dem Kammerboden auf einem Mauervorsprung aufgestellt.

Den Verlauf der Radonkonzentration während der Reinigung der rechten und linken Behälterkammer zeigt Abbildung 9.14. Zusätzlich ist der Wasserstand der sich in Betrieb befindlichen, zweiten Behälterkammer aufgetragen. Bei Überschreitung eines Wasserstands von 4,3 m wird das Einlassrohr vom ansteigenden Wasserspiegel überspült. Wie in den Abbildungen zu erkennen ist, reduziert sich die Radonkonzentration in der leeren Kammer nach dem Überspülen des Einlaufrohres merklich. Der Transfer von Radon aus dem Wasser in die Raumluft ist nun durch sprudelfreies Befüllen des Behälters reduziert.

Betrachtet man längere zeitliche Abschnitte mit Füllständen unter 4,3 m, zeigt sich die Wirksamkeit des Belüftungssystems. Bei Messungen mit eingeschaltetem Lüftungssystem lässt sich eine Reduktion der Radonkonzentration von 10.000 Bq m⁻³ pro Stunde ablesen. Der Anstieg der Konzentration nach Ausschalten der Lüftung erfolgt mit etwa gleicher Rate.

Bei Anfangskonzentrationen von über 100.000 Bq m⁻³ ist eine Vorlaufzeit des Belüftungssystems von einer Stunde vor Arbeitsbeginn zu gering, um bei Arbeitsbeginn eine tolerierbare Radonkonzentration zu erreichen. Notwendig schien ein Einschalten des Belüftungssystems 24 Stunden vor Beginn der Reinigungsarbeiten. Dies würde bedeuten, dass der Lüfter während der gesamten Reinigungszeit, auch nach Arbeitsschluss, nicht ausgeschaltet werden darf.

Durch das genaue Führen der Arbeitszeitprotokolle des Reinigungspersonals kann auch aufgrund der Messwerte des „AlphaGUARD“ eine Expositionsabschätzung für die Zeit nach dem 25.02.1999 durchgeführt werden. Tabelle 9.5 zeigt die Ergebnisse der Abschätzung.

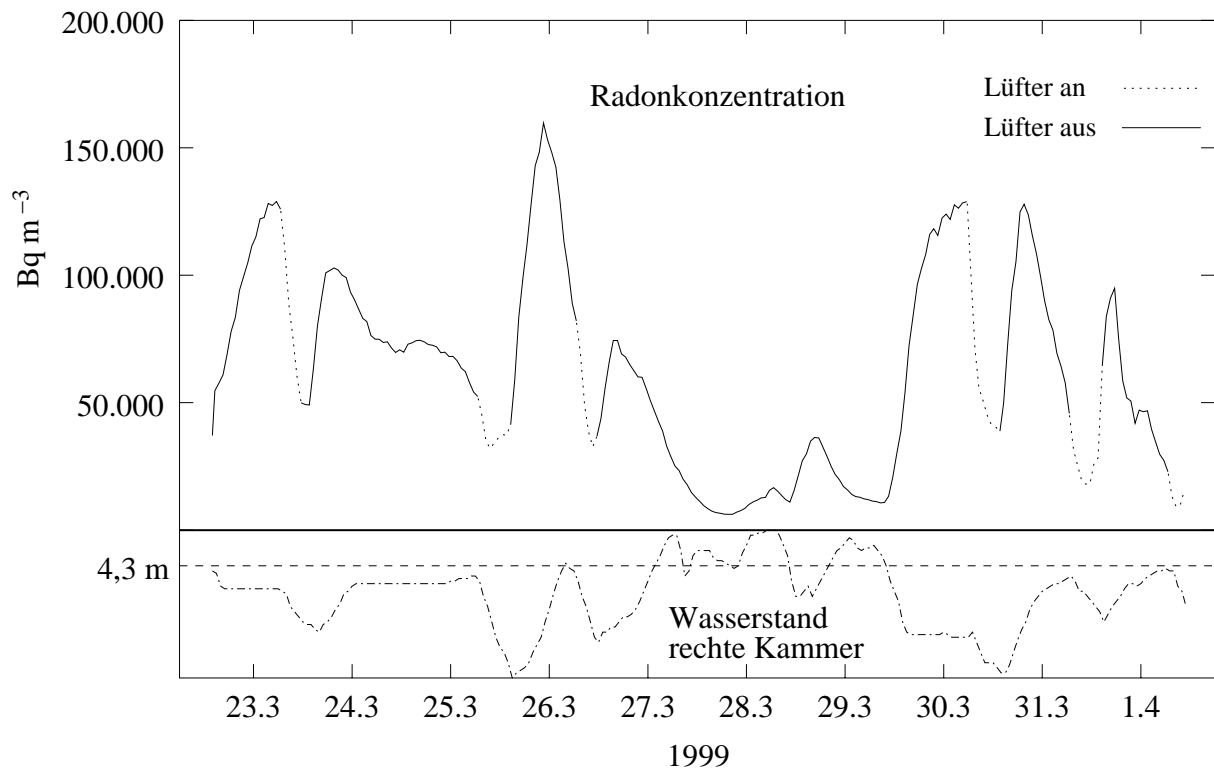


Abbildung 9.14: Verlauf der Radonkonzentration im Kammerraum eines Hochbehälters in dem Zeitraum der Behälterreinigung. Ein mobiles Belüftungssystem zur Reduktion der Radonkonzentration war während der Arbeitszeit im Einsatz. Im unteren Teil der Grafik ist der Verlauf des Wasserstandes der gegenüberliegenden Kammer aufgetragen. Bei über 4,3 m Wasserstand liegt das Einfüllrohr unter der Wasseroberfläche.

Tabelle 9.5: Exposition bei der Behälterreinigung, abgeschätzt aus der Radonkonzentration in der Raumluft, die mit einem Gerät des Typs „AlphaGUARD“ aufgezeichnet wurden.

Name	Tragezeit [h]	Exposition [MBq h m ⁻³]	Mittlere Konzentration [Bq m ⁻³]
Person 1	60,5	3,0	50.000
Person 2	52,0	2,8	53.000
Person 3	15,3	0,6	36.000
Person 4	15,5	0,5	35.000

Die berechneten Werte von Person 1 und Person 2 sind in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen der personengebundenen Exposimeter aus Tabelle 9.4. Bei Person 3 und Person 4 wird die Dosis überschätzt, da sich die beiden Mitarbeiter offensichtlich länger außerhalb des Behältergebäudes aufgehalten haben, ohne ihre Exposimeter abzunehmen.

Im Zeitraum vom 15.03. bis zum 16.04.2000 wurde die jährliche Behälterreinigung für das Jahr 2000 durchgeführt. Zur Reduzierung der Radonkonzentration wurde wieder ein mobiles Belüftungssystem mit einer Durchflussrate von etwa 2.000 m³ pro Stunde eingesetzt. Wie im Vorjahr wurde radonarme Außenluft über einen flexiblen Schlauch etwa 1 m über dem Kammerboden einblasen. Im Gegensatz zum letzten Jahr war der Lüfter während der gesamten Zeit der Behälterreinigung Tag und Nacht in Betrieb und wurde nach Betriebsschluss nicht abgeschaltet. Eine weitere Reduktion der durchschnittlichen Radonkonzentration sollte damit erreicht werden.

Durch die kontinuierliche Zwangsbelüftung der leeren, in der Reinigung befindlichen Behälterkammer, entstanden stationäre Lüftungsverhältnisse. Die Schwankungen der Radonkonzentration im Kammerraum wurden deshalb hauptsächlich durch die zeitlich schwankenden Füllstandshöhen der zweiten, gegenüberliegenden Behälterkammer verursacht. Abbildung 9.15 zeigt den Verlauf der Radonkonzentration und den Füllstand der vollen Kammer während der Reinigungsarbeiten in den beiden Behälterkammern. Die Radonkonzentration wurde mit einem Gerät vom Typ „AlphaGUARD“ mit einer zeitlichen Auflösung von zehn Minuten aufgezeichnet. Radonkonzentration und Füllstand sind direkt korreliert. Wie auch schon bei den Reinigungsarbeiten im letzten Jahr beobachtet, erreicht man besonders niedrige Radonkonzentrationen, wenn der Behälter unter der Wasseroberfläche befüllt wird.

Alle an der Behälterreinigung beteiligten Personen trugen während der Reinigungsarbeiten wieder personengebundene Exposimeter. Die ermittelten Expositionen sind in Tabelle 9.6 aufgelistet. Da die Zeiten des Aufenthalts im Behälter genau festgehalten wurden, kann auch unter Berücksichtigung dieser Zeiten und der Messwerte des „AlphaGUARD“ aus dem Verlauf der Radonkonzentration im Behälter eine Exposition für die einzelnen Beschäftigten abgeschätzt werden. Diese Abschätzung ist ebenfalls in Tabelle 9.6 enthalten. Damit können auch die mittleren Radonkonzentrationen während der Reinigungsarbeiten berechnet werden. Die mittleren Radonkonzentrationen, berechnet aus den Messwerten des „AlphaGUARD“, liegen in der Regel höher als die mit den personengebundenen Exposimetern ermittelten Werte, da sich das Personal nicht ständig im Behälter-

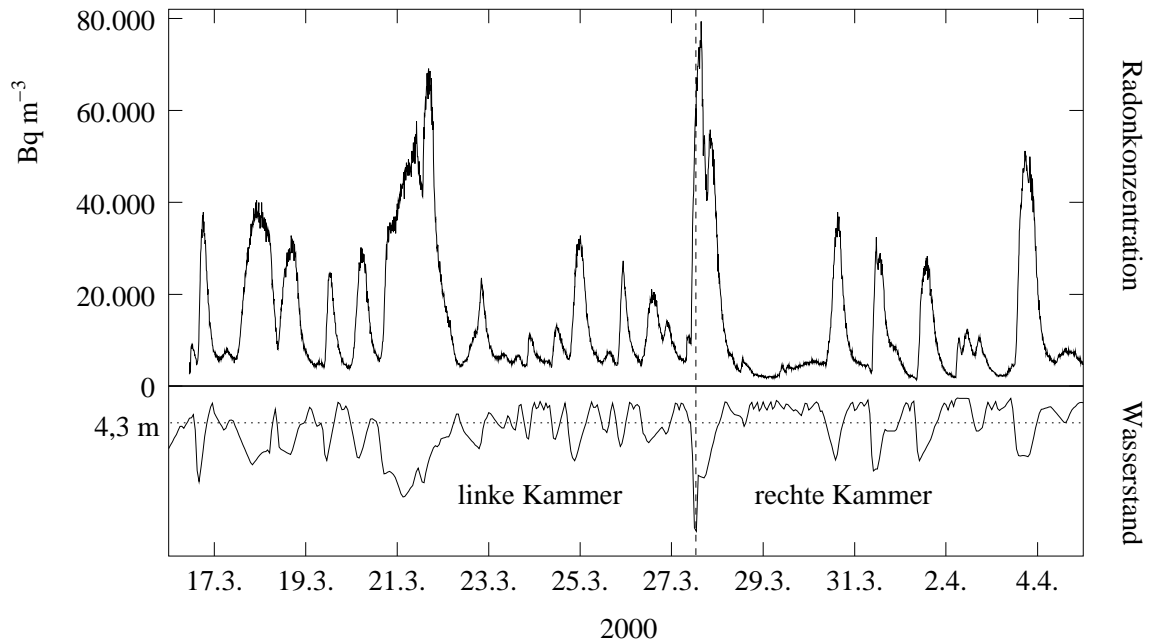


Abbildung 9.15: Verlauf der Radonkonzentration und des Füllstands während der Reinigung der zwei Behälterkammern im Hochbehälter des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5332 (WS). Zuerst wurde die rechte, dann die linke Kammer gereinigt. Das mobile Belüftungssystem war 24 Stunden pro Tag im Betrieb.

gebäude und somit auch in Bereichen mit niedrigen Radonkonzentrationen aufhält. Die mit einem Stern (*) bezeichneten Werte sind deshalb unplausibel und wurden wahrscheinlich durch eine unsachgemäße Lagerung des personengebundenen Expositometers verursacht.

Tabelle 9.6: Radonexpositionen des Personals bei der Behälterreinigung, ermittelt mit Hilfe von personengebundenen Expositometern (PEX) und im Vergleich dazu berechnet aus dem Protokoll der Tragezeiten und Messwerten der Radonkonzentration eines elektronischen Radonmonitors (AlphaGUARD). Die mit einem Stern (*) bezeichneten Werte sind unplausibel und wurden wahrscheinlich durch eine unsachgemäße Lagerung des personengebundenen Expositometers verursacht.

Name	Tragezeit [h]	Radonexposition [MBq h m ⁻³]		Mittlere Konzentration [Bq m ⁻³]	
		PEX	AlphaGUARD	PEX	AlphaGUARD
Person 1	48	0,07	0,17	4.000	10.000
Person 2	53	0,20	0,23	11.000	13.000
Person 3	19	0,13*	0,07	23.000*	13.000
Person 4	19	0,47*	0,03	72.000*	7.000

Die Radonexposition des Personals während der Behälterreinigung konnte im Jahr 2000 auf ein akzeptables Maß reduziert werden. Durch den Einsatz des mobilen Belüftungssystems konnte die durchschnittliche Radonkonzentration im Behälter im Tag-Nacht-Mittel von 400.000 Bq m⁻³ auf 25.000 Bq m⁻³ gesenkt werden. Da darauf geachtet wurde, dass während der Arbeiten im Behälter der Wasserstand der zweiten Behälterkammer möglichst über 4,3 m war, wurde eine durchschnittliche Radonkonzentration zu den üblichen Arbeitszeiten von 8.000 Bq m⁻³ erreicht. Das entspricht einer Reduktion der Exposition des Reinigungspersonals von etwa 98%. Die Erfolge der Optimierungsmaßnahmen während der Behälterreinigungen seit 1997 verdeutlicht Tabelle 9.7. In der vorletzten Spalte sind die aus den personengebundenen Exposimeterergebnissen berechneten mittleren Konzentrationen zusammengestellt. Die letzte Spalte beruht auf der Auswertung der Messwerte des „AlphaGUARDS“. Hier wurden die durchschnittlichen Konzentrationen während der normalen Arbeitszeiten (8.00 Uhr bis 16.00 werktags) ermittelt. Diese Konzentrationen sind etwas höher als die Werte aus der vorletzten Spalte, da sich die Arbeiter bei den Reinigungsarbeiten auch teilweise kurzzeitig außerhalb des Gebäudes aufhalten und die Exposimeter dazu nicht abnehmen.

Tabelle 9.7: Zusammenfassung der Ergebnisse der Optimierungsmaßnahmen beim Einsatz des mobilen Lüftungssystems während der Behälterreinigung. 1997, als noch kein Lüfter eingesetzt wurde, wurden die Expositionen noch nicht erfasst.

Jahr	Summe Arbeitszeiten [h]	Summe Exposition [MBq h m ⁻³]	Mittlere Konzentration aus PEX-Werten [Bq m ⁻³]	Durchschnittliche Konzentration zu den üblichen Arbeitszeiten [Bq m ⁻³]
1997	-	-	-	400.000
1998	82	11,6	140.000	260.000
1999	152	7,5	48.000	61.000
2000	140	0,9	6.000	8.000

9.5 Reduktion der Radonkonzentration im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5425

In das oberirdische Gebäude mit der Entsäuerungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5425 (SB) im Fichtelgebirge wurde ein Lüftungssystem installiert, um die teilweise sehr hohen Konzentrationen von bis zu 50.000 Bq m⁻³ auf ein akzeptables Maß zu senken (siehe auch Kapitel 8.10). In einer Öffnung an der Decke über den Entsäuerungsbecken wurde ein Ventilator eingebaut, der Außenluft in den Entsäuerungsraum bläst. In der gegenüberliegenden Ecke des Raumes befindet sich in Bodennähe eine Entlüftungsöffnung. Zusätzlich wurden die Entsäuerungsbecken mit einem Rollo vom Raum abgetrennt (siehe Abbildung 9.16). Da aber durch diese Maßnahme die Becken nicht luftdicht abgetrennt werden und weiterhin einige Durchlassöffnungen vorhanden sind, ist die nachhaltige Effektivität dieser Maßnahme zweifelhaft.



Abbildung 9.16: Eingebaues Rollo als Trennwand zu den Entsäuerungsbecken im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5425 (SB).

Der Ventilator wird mit einer Zeitschaltuhr gesteuert. Von 12.00 Uhr bis 13.00 Uhr, von 18.00 Uhr bis 20.00 Uhr und von 00.00 Uhr bis 1.00 Uhr ist der Ventilator eingeschaltet. Vor dem Betreten des Gebäudes kann der Wasserwart per Hand (der Schalter befindet sich außen am Gebäude) auf Dauerbetrieb umstellen. Innerhalb von 10 Minuten fällt die Radonkonzentration im Entsäuerungsraum auf etwa 100 Bq m^{-3} .

Abbildung 9.17 zeigt die Effektivität des eingebauten Lüfters. Ein deutlicher Abfall der Radonkonzentration ist nach Einschalten des Ventilators erkennbar.

Die jährliche Radonexposition eines Wasserwarts konnte damit unter 1 MBq h m^{-3} gesenkt werden. Die Exposition des zweiten Wasserwarts sollte noch genauer untersucht werden, da dessen Aufgaben monatsweise sehr verschieden sein können und aufgrund der sehr unterschiedlichen Konzentrationen in den verschiedenen Anlagen des gesamten Gewinnungsgebiets starke Schwankungen der monatlichen Exposition zu erwarten sind (siehe Tabelle 8.9).

9.6 Reduktion der Radonkonzentration im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 8104

Im Rahmen der Untersuchungen in den bayerischen Wasserversorgungsanlagen wurden bei einem Wasserwart in einem Wasserversorgungsunternehmen (WVU-Nr. 8104) erhöhte Radonexpositionen gemessen. Aus einer zweimonatigen Messung mit einem personengebundenen Exposimeter

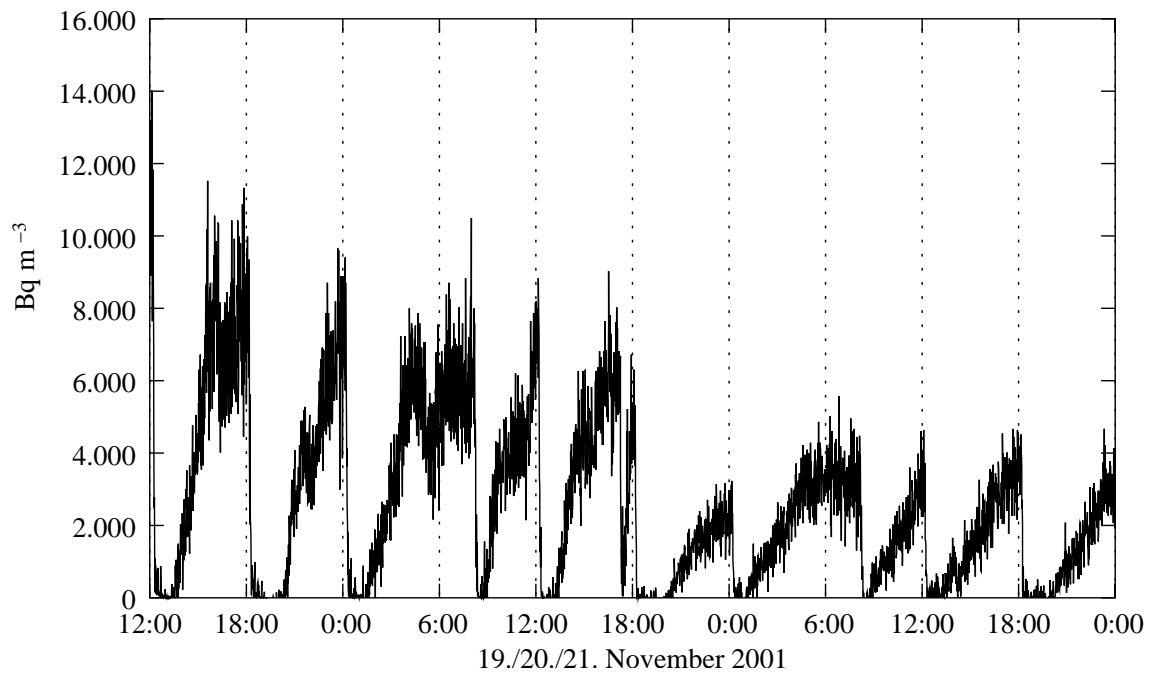


Abbildung 9.17: Verlauf der Radonkonzentration in einem Entsäuerungsraum bei Betrieb eines aktiven Lüftungssystems im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5425. Der regelmäßige Abfall und Anstieg der Konzentration wird durch die von einer Zeitschaltuhr gesteuerten Betriebszeiten des Lüfters verursacht. Der Lüfter wurde auch manuell eingeschaltet (z.B. täglich um etwa 8.00 Uhr).

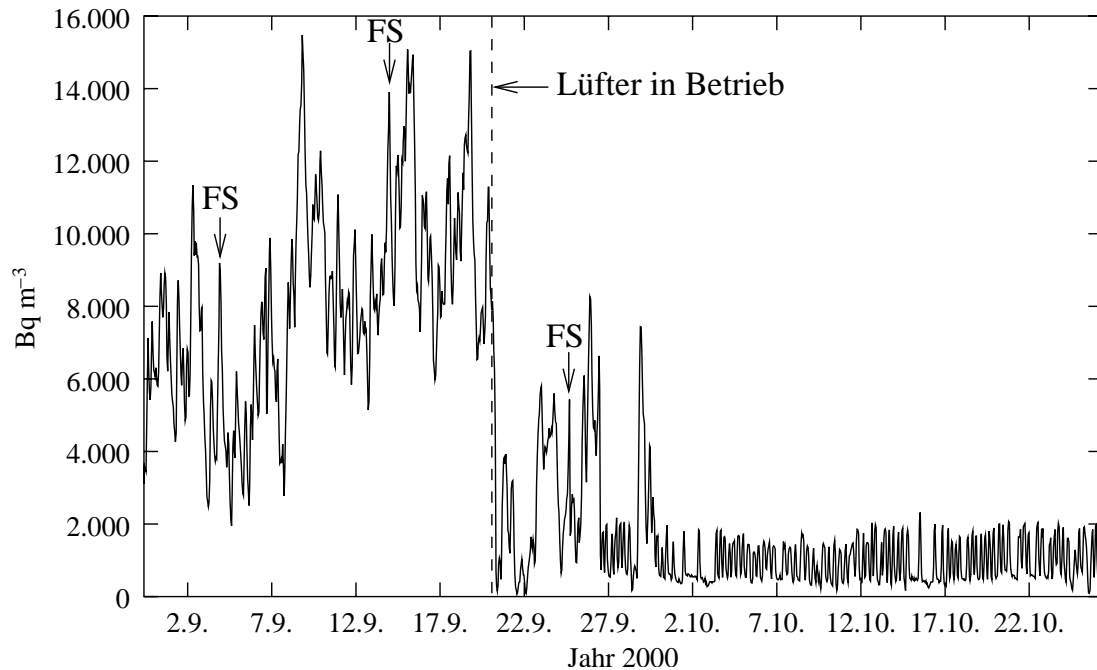


Abbildung 9.18: Reduktion der Radonkonzentration in einem Gebäude mit Aufbereitungsanlage (WVU-Nr. 8104) durch Einbau eines Lüfters. Ein Anstieg der Werte während der Filterspülungen (FS) ist deutlich zu erkennen.

wurde eine Jahresdosis von $4,1 \text{ MBq h m}^{-3}$ abgeschätzt. Eine Nachmessung ergab sogar einen noch höheren Wert von $11,0 \text{ MBq h m}^{-3}$. Nach Mitteilung der Messwerte wurde das LfU vom Betreiber der Anlagen um Mithilfe bei der Planung und Anwendung von Reduktionsmaßnahmen gebeten.

Der Wasserwart betreut einen Hochbehälter, eine Aufbereitungsanlage und mehrere Brunnen. Bei einem Radongehalt im Rohwasser von 23 Bq l^{-1} wurde im Gebäude der Aufbereitungsanlage eine Radonkonzentration von etwa 20.000 Bq m^{-3} und im Hochbehälter von 10.000 Bq m^{-3} gemessen. Da sich der Wasserwart vor allem in dem Gebäude der Aufbereitungsanlage aufhält, in dem keine Lüftungsmöglichkeiten vorhanden sind, wurde beschlossen, einen Ventilator in einer Außenwand des Gebäudes zu installieren. Dieser Lüfter ging am 20.09.2000 erstmals in Betrieb. Der Lüfter wird pro Stunde nur 10 Minuten mittels einer Zeitschaltuhr eingeschaltet. In Abbildung 9.18 ist zu erkennen, dass nach einer Test- und Einstellphase von etwa zwei Wochen eine deutliche Reduktion der mittleren Radonkonzentration erreicht wurde. Die mittlere Radonkonzentration konnte auf etwa 1.000 Bq m^{-3} gesenkt werden.

Der Anstieg der Radonkonzentration durch verstärktes Ausgasen von Radon bei der Filterspülung (FS) ist in etwa vergleichbar mit den Schwankungen, verursacht durch unterschiedliche Wetterlagen oder Fördermengen. Bei optimiertem Betrieb des Lüfters werden die Schwankungen nur noch durch die Laufzeiten der Förderpumpen und die Rückspülvorgänge verursacht.

Ob die niedrigere Radonkonzentration im Gebäude auch zu einer befriedigenden Reduktion der Exposition des Wasserwarts führt, muss noch durch eine weitere Messung mit einem personengebundenen Exposimeter überprüft werden.

9.7 Reduktion der Expositionen zweier Wasserwerke der Wasserversorgungsunternehmen Nr. 5053 und 5065

Im Rahmen einer Studie des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) wurden im Sommer 1998 Kernspurexposimeter von fünf verschiedenen Anbietern getestet [83]. Vier ausgewählte Wasserwerke aus dem ostbayerischen Raum (Region 5) trugen diese Systeme für zwei Monate während der Arbeiten in den Wasserwerken. Die Exposimeter wurden auf der Kleidung am Oberkörper befestigt. Die Systeme wurden gleichzeitig getragen.

Bei der Auswertung wurde bei zwei Wasserwerken eine erheblich erhöhte Exposition festgestellt.

Für den Wasserwerk des einen Versorgungsunternehmens (WVU-Nr. 5053) wurde eine jährliche Exposition von 11 MBq h m^{-3} abgeschätzt. Eine zweite Messung Ende 1998 ergab eine Jahresexposition von $2,4 \text{ MBq h m}^{-3}$. Nach einem Gespräch mit dem Wasserwerk vor Ort stellte sich heraus, dass das Exposimeter bei der ersten Messung einmal für längere Zeit im Hochbehälterkammerraum versehentlich liegen gelassen wurde. Der deutlich niedrigere Wert der zweiten Messung ist dadurch plausibel. Weitere Maßnahmen zur Reduktion der Radonexposition des Wasserwerks sollten dennoch durchgeführt werden.

Die Hochrechnung für die Jahresexposition des zweiten Wasserwerks (WVU-Nr. 5065) lag sogar bei 90 MBq h m^{-3} . Nach einem ausführlichen Gespräch mit dem Wasserwerk vor Ort wurden Maßnahmen zur Reduktion der Exposition diskutiert und weitere Messungen vereinbart. Dem Wasserwerk wurde geraten, die etwa eine halbe Stunde dauernde chemische Analyse nicht innerhalb der Sammelschächte (Radonkonzentrationen um die $200.000 \text{ Bq m}^{-3}$), sondern im Freien oder im Kraftfahrzeug durchzuführen. Bei einer Anzahl von über 10 Probenahmen pro Woche sollte dies zu einer deutlichen Reduktion der Exposition führen. Zusätzlich wurde vereinbart, die Exposition bei der Filterspülung getrennt zu erfassen. Für die Exposition während der wöchentlichen Filterspülungen wurde ein unproblematischer Wert von unter $0,8 \text{ MBq h m}^{-3}$ pro Jahr ermittelt. Für die Exposition bei den Routinearbeiten wurde durch die Wiederholungsmessung eine Jahresexposition von 13 MBq h m^{-3} abgeschätzt. Eine deutliche Reduktion der Exposition wurde offensichtlich erreicht, weitere Maßnahmen zur Verringerung dieses immer noch sehr hohen Wertes müssen aber getroffen werden.

9.8 Zusammenfassende Bewertung der Effektivität der angewandten Reduktionsmaßnahmen

Wie erwartet hat sich gezeigt, dass einfache Maßnahmen zur Senkung der Radonexposition der Beschäftigten nicht immer den gewünschten Erfolg bringen. Das Öffnen von Türen oder Fenstern reduziert nicht in jedem Fall die Radonkonzentrationen in der Raumluft merklich. Intensives Lüften sollte aber trotzdem konsequent praktiziert werden. Maßnahmen zum Schutz vor Eintrag ins Trinkwasser wie z.B. von Insekten, Kleintieren oder Blättern müssen gegebenenfalls getroffen werden. Bei Problemen mit bakteriellem Eintrag ist eine passive Lüftung nicht zu empfehlen. Als sehr effektive und einfache Maßnahme hat sich die Information der Beschäftigten über die Vermeidung von Belastung durch Radon in den Wassergewinnungsanlagen herausgestellt. Ist das

Problem erkannt, können oft sehr einfach die Aufenthaltszeiten in den Anlagen reduziert oder auch sehr leicht bessere Lüftungsverhältnisse hergestellt werden. Bisher waren sogar sehr kleine Luftwechselraten wegen eventuellen Problemen mit bakteriellem Eintrag oder Schwitzwasser oft unerwünscht. Die Aufenthaltszeiten in den Anlagen lassen sich im Allgemeinen fast immer ohne große Kosten reduzieren, da in Unkenntnis der Radonbelastungen unnötiger Aufenthalt bisher nicht vermieden wurde. Zum Beispiel kann eine chemische Analyse, Warten auf das Ende der Filterspülung, Zeitunglesen, Mittagessen und Büroarbeit auch außerhalb der Anlagen erfolgen.

Sehr bewährt hat sich zur Senkung der Radonkonzentration eine aktive Belüftung der Anlagen. Sowohl der feste Einbau von Ventilatoren als auch der Einsatz von mobilen Belüftungssystemen ist zu empfehlen. Mobile Geräte können auch gegebenenfalls von einem mobilen Dieselgenerator mit elektrischer Energie versorgt werden. Die oft hochbelasteten Quellschächte, fern vom öffentlichen Stromnetz, können somit auch belüftet werden. Bei Problemen während der jährlichen Behälterreinigungen können diese mobilen Lüftungsgeräte kostengünstig und effektiv eingesetzt werden. Ein einzelnes Gerät kann somit universell eingesetzt werden. Vorgeschaltete Filter können den Eintrag von Bakterien, Blütenpollen und Staub verhindern.

Das Einziehen von Trennwänden ist zwar nicht immer kostengünstig, bringt aber auch eine Reduktion der Exposition der Beschäftigten. Insbesondere beim Neubau von Wassergewinnungsanlagen sollte auf eine luftdichte Abtrennung von Räumen mit Wasserbecken oder Filteranlagen Wert gelegt werden. Zumindest sollten die Zugangstüren geschlossen gehalten und abgedichtet werden. Auch die Abluft von sogenannten Aufbereitungen mit geschlossenen Filtertanks sollte über Rohre direkt ins Freie geführt werden. Bisher wird die Abluft oft in den Innenraum abgegeben, was unter Umständen zu sehr hohen Radonkonzentrationen in der Raumluft führen kann.

Büros in Gebäuden mit Aufbereitungsanlagen oder Trinkwasserbehältern müssen langfristig in andere Gebäude verlegt werden, da sich gezeigt hat, dass es sonst durch die hohen Aufenthaltszeiten fast immer zu einer Überschreitung des Eingreifwertes kommt.

Bei allen erfolgreich durchgeführten Maßnahmen zur Reduktion der Radonexpositionen sollte das Wasserversorgungsunternehmen die Wirksamkeit der Maßnahmen über einen längeren Zeitraum überprüfen.

10 Jahresmessungen der Exposition ausgewählter Wasserwerke

Eine wesentliche Frage bei der Überwachung von radonexponierten Arbeitsplätzen und Beschäftigten ist: Wie lange muss gemessen werden, um eine zuverlässige Hochrechnung auf die Jahresexposition durchführen zu können? Das bedeutet: Wie stark sind die Schwankungen in den Expositionswerten, verursacht z.B. durch saisonal unterschiedliche Radonkonzentrationen in den Anlagen, zeitlich variierende Arbeitsabläufe und Aufenthaltsdauern sowie zusätzliche Reparatur- oder Reinigungsarbeiten?

Deshalb wurde im Mai 2000 in einem Schreiben an 25 Wasserversorgungsunternehmen mit schon ermittelten erhöhten Radonexpositionen des Personals um eine Teilnahme an Messungen mit personengebundenen Exposimetern gebeten. 14 Wasserwerke erklärten sich bereit, ein personengebundenes Exposimeter über einen Zeitraum von einem Jahr während der Arbeitszeit zu tragen. Alle zwei Monate wurde das personengebundene Exposimeter zur Auswertung zurückgesandt und durch ein Neues ersetzt. Somit sollte man nach Beendigung des Projekts 6 Messwerte zur lückenlosen Ermittlung der Jahresexposition und zur Beurteilung der Schwankungsbreite erhalten. Die Jahresexpositionen der 14 Wasserwerke sind in Tabelle 10.1 zusammengestellt. In den Zeiträumen des Jahres, in denen keine oder unsichere Messwerte vorlagen, wurde eine mittlere Exposition angenommen. Zur Berechnung dieser mittleren Exposition wurden erst alle gemessenen Expositionen dieses Jahres aufaddiert und anschließend mit dem Verhältnis Zeitraum ohne Messwerte zu Zeitraum mit Messwerten multipliziert. Auch ältere Messungen, die schon vor Beginn des Messprogramms im Mai 2000 gewonnen wurden, sind zum Vergleich in die Tabelle mit aufgenommen.

Bei drei Wasserwerken ist die Radonexposition bei den Folgemessungen im Rahmen der Messgenauigkeit etwa gleich geblieben. Bei den anderen Wasserwerken konnte die Exposition deutlich gesenkt werden. Diese Absenkung der Werte ist darauf zurückzuführen, dass durch die Information der Beschäftigten und Verantwortlichen der Wasserversorgungsunternehmen bereits einfache Maßnahmen zur Reduktion der Expositionen, wie z.B. Minimierung der Aufenthaltszeiten und Optimierung der Lüftung während des Aufenthalts in den Anlagen, erfolgreich durchgeführt wurden. Dies ist zwar sehr erfreulich, hat aber dazu geführt, dass die Messungen über den bisherigen Zeitrahmen hinaus verlängert werden müssten, um nach Abschluss der Reduktionsmaßnahmen die rein betriebsablauf- und wetterbedingten Schwankungen der Exposition zu erfassen. Die Zuverlässigkeit einer Hochrechnung einer 2-Monats-Messung der Exposition auf eine Jahresexposition kann durch die Ergebnisse der bisherigen Messreihen nicht bewertet werden.

Der zeitliche Verlauf der berechneten Jahresexpositionen von Beschäftigten aus 13 Wasserversorgungsunternehmen ist in den Abbildungen 10.1 bis 10.13 dargestellt. Um die gemessenen Expositionen besser miteinander vergleichen zu können, wurde jeder 2-Monats-Messwert auf eine Jahresexposition hochgerechnet. Dies bedeutet, dass die in die Diagramme eingetragenen Werte diejenige Jahresexposition darstellen, die der Beschäftigte erhalten würde, wenn er sich im ganzen Jahr in ähnlicher Radonkonzentration wie im Messzeitraum aufhalten würde. Die Balken stellen die statistische Messunsicherheit (2-Sigma-Vertrauensbereich) dar.

Tabelle 10.1: Jährliche Radonexposition des Personals von 14 Wasserversorgungsunternehmen in den Jahren 1998 bis 2001. Die Expositionen sind in der Einheit MBq h m^{-3} angegeben.

WVU-Nr.	1998	1999	2000	2001
3005	-	9,4	11,7	10,1
5065	65,3	-	86,5	22,0
5122 (WW1)	-	24,0	12,8	2,3
5122 (WW2)	-	-	17,7	2,0
5127	-	16,0	3,1	0,9
5202	7,5	7,5	0,5	1,5
5322	-	18,0	4,9	2,6
5348	-	330	< 0,4	< 0,6
5378	-	2,1	1,2	< 0,4
5411	-	2,6	2,5	4,2
5413	-	-	14,2	5,2
5425	-	-	0,6	0,5
7043	-	5,0	< 0,6	< 0,5
8159	-	4,4	2,4	1,8

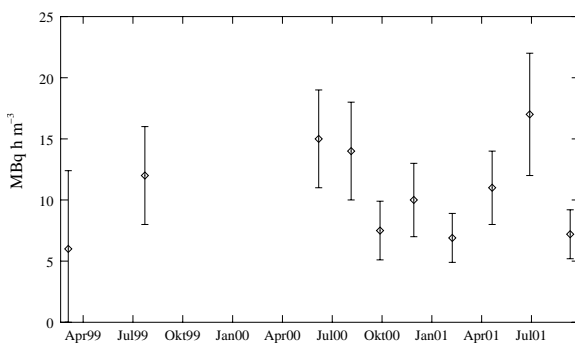


Abbildung 10.1: Exposition des Wasserwarts (WVU-Nr. 3005).

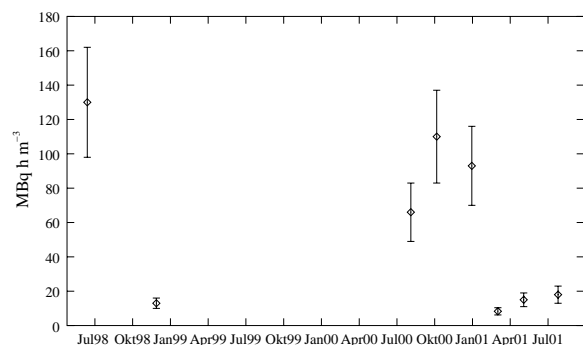


Abbildung 10.2: Exposition des Wasserwarts (WVU-Nr. 5065).

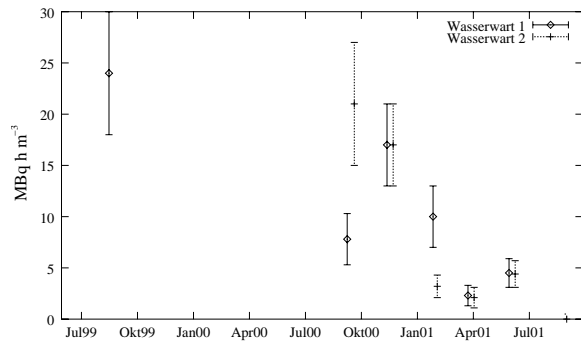


Abbildung 10.3: Exposition des Wasserwerts (WVU-Nr. 5122).

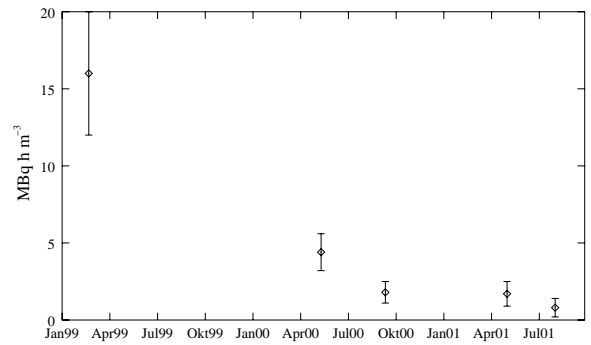


Abbildung 10.4: Exposition des Wasserwerts (WVU-Nr. 5127).

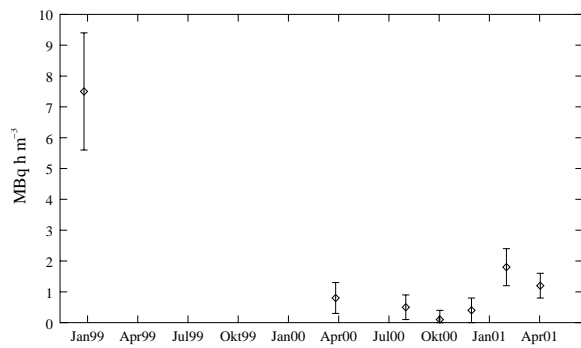


Abbildung 10.5: Exposition des Wasserwerts (WVU-Nr. 5202).

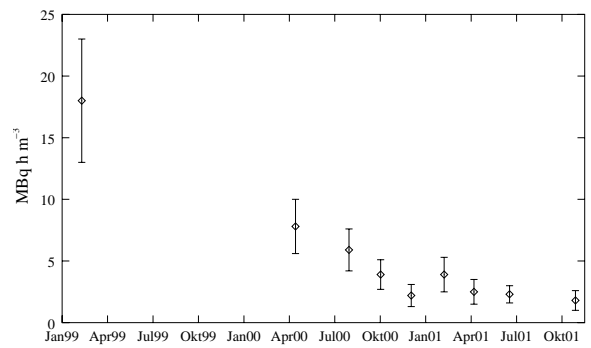


Abbildung 10.6: Exposition des Wasserwerts (WVU-Nr. 5322).

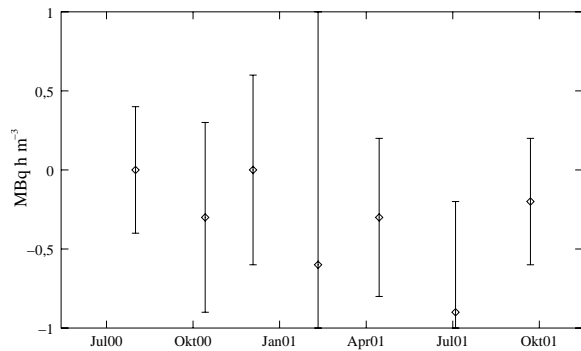


Abbildung 10.7: Exposition des Wasserwerts (WVU-Nr. 5348).

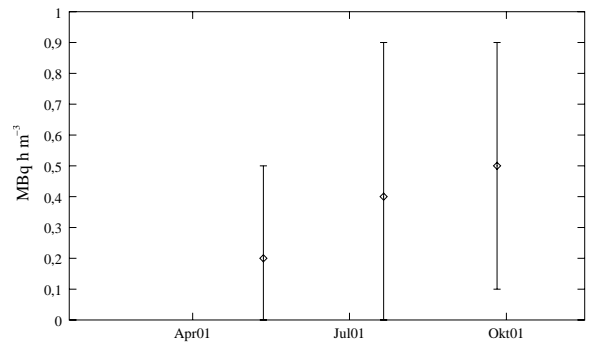


Abbildung 10.8: Exposition des Wasserwerts (WVU-Nr. 5378).

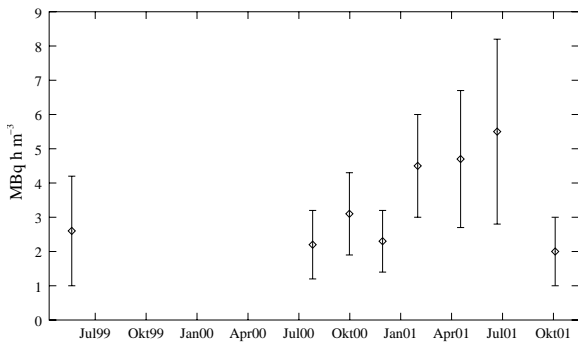


Abbildung 10.9: Exposition des Wasserwerts (WVU-Nr. 5411).

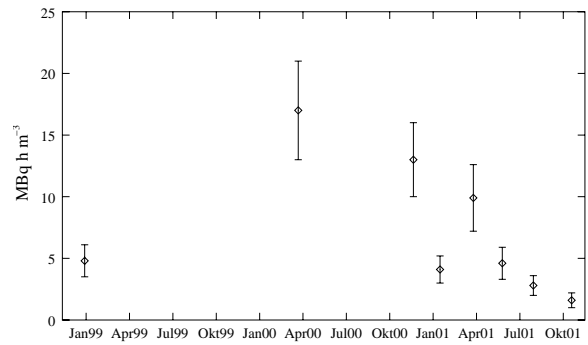


Abbildung 10.10: Exposition des Wasserwerts (WVU-Nr. 5413).

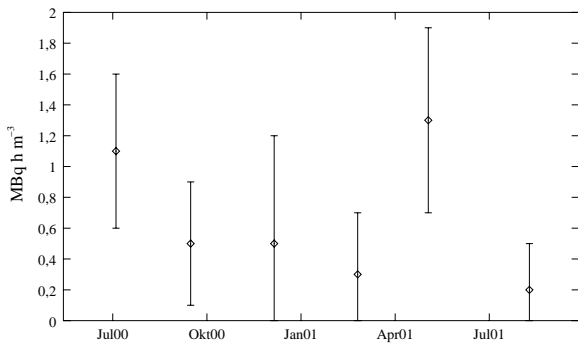


Abbildung 10.11: Exposition des Wasserwerts (WVU-Nr. 5425).

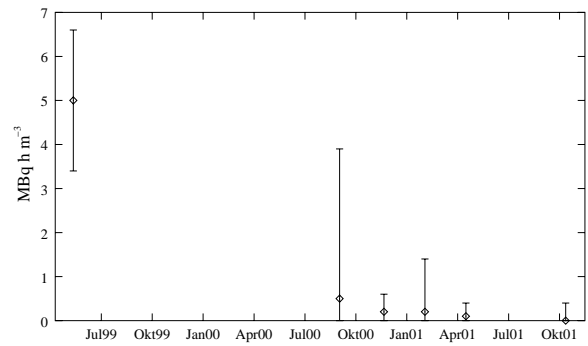


Abbildung 10.12: Exposition des Wasserwerts (WVU-Nr. 7043).

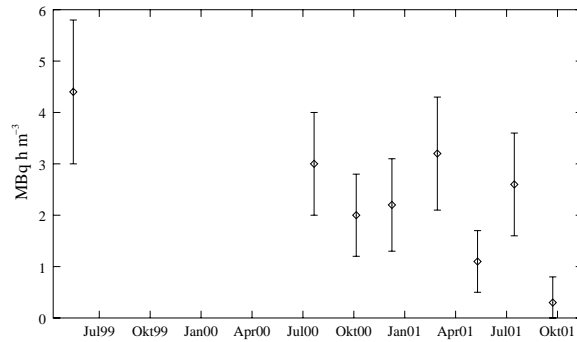


Abbildung 10.13: Exposition des Wasserwerts (WVU-Nr. 8159).

11 Messungen der Ortsdosisleistung

In den Aufbereitungsräumen und im Hochbehälter von sechs verschiedenen Wasserversorgungsunternehmen wurde mit einem Messgerät vom Typ „AlphaGUARD“ gleichzeitig mit der Radonkonzentration auch die Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) aufgezeichnet. Ziel der Messungen war es, eine Korrelation zwischen der Radonkonzentration der Raumluft und der ODL in Wasserversorgungsanlagen nachzuweisen. In Abbildung 11.1 ist dieser Zusammenhang am Beispiel eines Gebäudes mit Aufbereitungsanlage des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5425 dargestellt. Eine Ausgleichsgerade durch die Messpunkte zeigt die mittlere Abhängigkeit von ODL und Radonkonzentration.

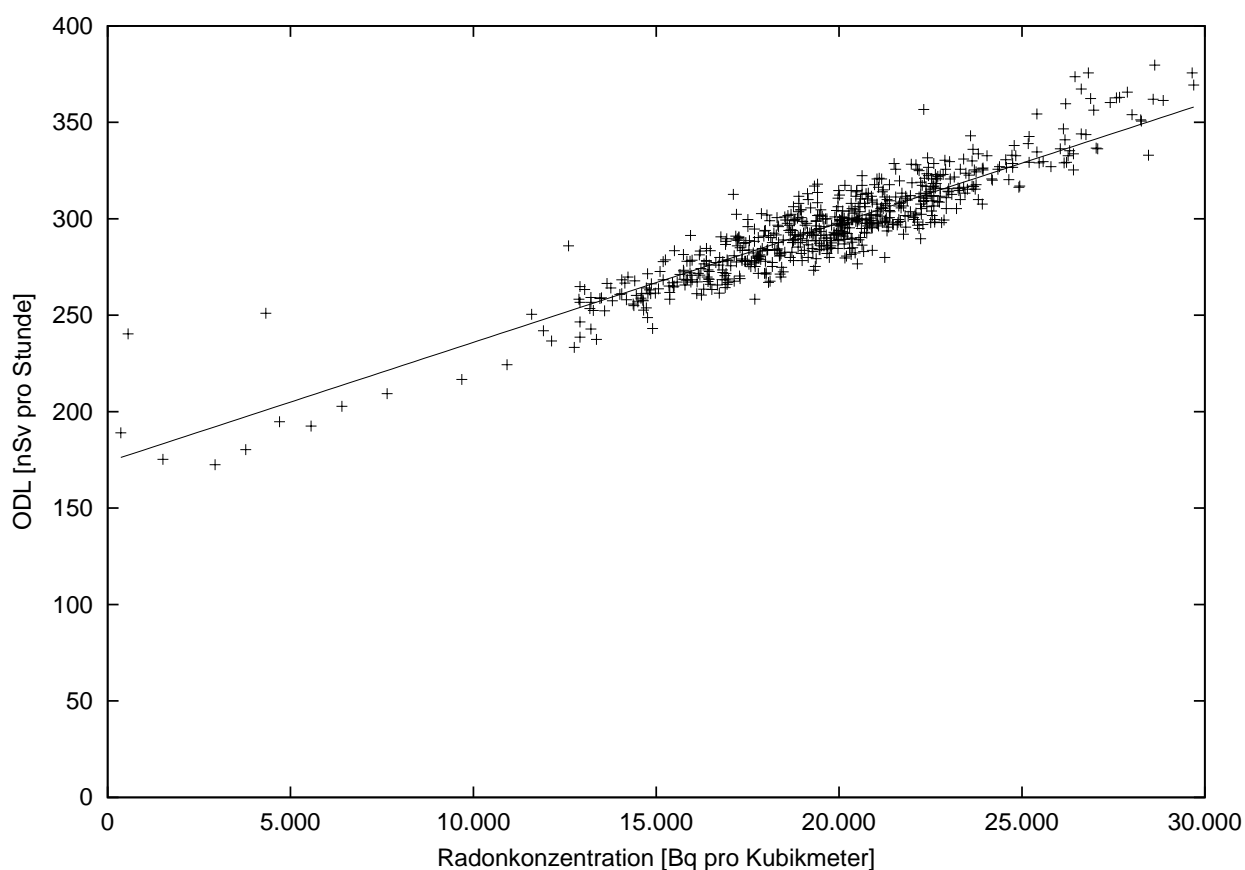


Abbildung 11.1: Korrelation zwischen Radonkonzentration und ODL im Entsäuerungsraum (SB) des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5425.

Die Ergebnisse aus einer Regressionsroutine von den Daten aus allen drei Anlagen sind in Tabelle 11.1 zusammengefasst. Der Zusammenhang zwischen ODL und Radonkonzentration (Rn-Konz.) wird durch eine Geradengleichung der Form $ODL = a * \text{Rn-Konz.} + b$ ausgedrückt.

Tabelle 11.1: Korrelation zwischen Radonkonzentration und ODL in verschiedenen Räumen, ausgedrückt durch Geradengleichungen der Form $ODL = a * \text{Rn-Konz.} + b$. Die mit (*) bezeichneten Werte sind mit hoher statistischer Unsicherheit behaftet.

WVU-Nr.	Raum	a [(nSv/h)/(Bq m ⁻³)]	b [nSv/h]
3005	Elektronikbüro	0,0065	150
3005	Büro	0,0108*	142
5055	Entsäuerungsraum (LH)	0,0028	246
5055	Entsäuerungsraum (DB)	0,0527	206
5111	Entsäuerungsraum (SW)	0,0024*	84
5111	Entsäuerungsraum (LD)	0,0020*	116
5306	Entsäuerungsraum	0,0077	174
5306	Hochbehälter	0,0047*	121
5322	Entsäuerungsraum	0,0094	134
5425	Entsäuerungsraum (SB)	0,0062	174
5425	Entsäuerungsraum (LB)	0,0062	111

Der konstante Anteil, den der Faktor b beschreibt, wird durch das Baumaterial und durch Pb-210, das an den Wänden abgeschieden wurde, verursacht. Die Steigung der Gerade (Faktor a) wird ebenfalls von der Geometrie des Raumes und dem Aufstellungsort des Messgerätes beeinflusst, da die an Oberflächen abgeschiedenen kurzlebigen Zerfallsprodukte zur ODL beitragen. Einen weiteren Beitrag liefern die Zerfallsprodukte in der Raumluft.

Versuche mit wechselnden Lüftungsbedingungen zeigten, dass in manchen Fällen bei starkem Abfall der Radonkonzentration die ODL erst verspätet diesem Abfall folgt. Dies weist darauf hin, dass in diesem Fall die an den Oberflächen abgeschiedenen, kurzlebigen Zerfallsprodukte, die nicht durch den Frischluftstrom entfernt werden können, den Hauptbeitrag zur ODL liefern.

Die Ursache für den relativ hohen Faktor a im Entsäuerungsraum des Wasserversorgungsunternehmens Nr. 5055 (DB) ließ sich nicht ganz eindeutig klären. In diesem Fall war das Messgerät auf einem Gitterrost in einem Abstand direkt über der Wasseroberfläche aufgestellt und Gammastrahlung aus der Raumluft von allen Raumrichtungen konnte vom Messgerät registriert werden. Dies führt sicher zu etwas höheren Werten von a , ein solch stark erhöhter Wert, wie in diesem Fall, ist aber kaum erklärbar.

Der Faktor a ist ein Dosiskonversionskoeffizient, der mit den üblichen Koeffizienten für Radoninhalation verglichen werden kann. Bei einem Gleichgewichtsfaktor von 0,4 ergibt sich ein Konversionskoeffizient für Radonexpositionen von etwa 4 (nSv/h)/(Bq m⁻³) [48]. Das bedeutet, dass der Beitrag zur effektiven Dosis durch die Inhalation von Radon und seinen Zerfallsprodukten bei einem Faktor a von 0,01 (nSv/h)/(Bq m⁻³) 400 mal höher ist als der Beitrag durch die „radoninduzierte“ ODL. Eine Radonkonzentration von 50.000 Bq m⁻³ mit Zerfallsprodukten wären nötig, um bei einer hypothetischen Aufenthaltszeit von 2.000 h pro Jahr aufgrund der ODL eine effektive Jahresdosis von 1 mSv zu erreichen.

12 Kernspurdetektoren als personengebundene Systeme

12.1 Die Handhabung eines personengebundenen Kernspurexposimeters

Für die Messungen der Raumluft und auch der individuellen Exposition der Beschäftigten werden Kernspurexposimeter¹ mit einer Detektorfolie des Typs CR-39 vom GSF-Forschungszentrum verwendet, die dort auch ausgewertet werden. Das Gehäuse der Exposimeter besitzt einen Durchmesser von 6 cm und ist mit Detektorfolie insgesamt 20 g schwer (siehe Abbildung 12.1). Als Transportbehälter werden mit einem Klebeband abgedichtete Metall Dosen oder verschweißte, metallisierte Tüten verwendet. Der Transportbehälter muss radondicht sein, um zu verhindern, dass die Exposimeter schon während des Transports exponiert werden. Die Wasserwaage wurden angehalten, die Exposimeter nach der Expositionszeit sorgfältig zu verschließen und sofort zurückzusenden.

Kernspurdetektoren zur Erfassung der Radonexposition sind kostengünstige Systeme, mit denen eine ausreichend hohe Messgenauigkeit erreicht werden kann. Bei der Verwendung als personengebundene Messsysteme können aber durch die Korrektur der ermittelten Exposition mit Hilfe des Messwertes des Referenzexposimeters am Lagerort (siehe Kapitel 5.4) größere Messunsicherheiten auftreten. Beim Vergleich des Messwerts mit dem Eingreif- oder Grenzwert muss deshalb die statistische Messunsicherheit berücksichtigt werden.

Bei der Auswertung der Kernspurdetektorfolien spielt die statistische Messunsicherheit, die durch die radioaktiven Zerfälle des Radongases in der Messkammer verursacht wird, eine untergeordnete Rolle. Dominierend ist die Messunsicherheit aufgrund der Ätzprozedur und des computergesteuerten Zählens der Kernspuren. Dadurch reduziert sich die statistische, relative Messunsicherheit nicht mit zunehmender Exposition oder größerer Messzeit, wie es bei Messungen radioaktiver Proben normalerweise zu erwarten ist. Durch mehrere Messungen hintereinander kann die statistische Messunsicherheit verringert werden.

Als mittlere relative statistische Messunsicherheit einer Einzelmessung dieser Kernspurexposimeter muss für die zweifache Standardabweichung (2-Sigma-Vertrauensbereich) ein Wert von 25% bei einem Messwert größer $0,2 \text{ MBq h m}^{-3}$ und 50% bei unter $0,1 \text{ MBq h m}^{-3}$ angenommen werden. Im Bereich zwischen $0,1$ und $0,2 \text{ MBq h m}^{-3}$ wird die mittlere Messunsicherheit durch Interpolation ermittelt. Expositionen unter $0,035 \text{ MBq h m}^{-3}$ können in der Regel nicht nachgewiesen werden. Die obere Expositionsgrenze des Detektors liegt bei 80 MBq h m^{-3} . Bei noch höheren Expositio-

¹Früher wurden die Kernspurdetektoren auch als „Kernspurdosimeter“ bezeichnet. Da aber die effektive Dosis nur unter mehreren Annahmen aus der von den Detektoren ermittelten Exposition berechnet werden kann, ist „Exposimeter“ der korrektere Ausdruck.



Abbildung 12.1: Kernspurexposimeter des GSF-Forschungszentrums zur Erfassung von Radonexpositionen.

nen überlappen die Spuren so stark, dass eine korrekte Auszählung nicht mehr möglich ist. Ein Überschreiten der zulässigen Spurdichte wird vom automatischen Auswertesystem jedoch sicher erkannt. Thoron (Radon-220) wird aufgrund der langen Diffusionszeit der Radongasatome durch das Detektorgehäuse von etwa einer halben Stunde praktisch nicht nachgewiesen. Durch die kurze Halbwertszeit von 55 Sekunden sind fast alle Radon-220 Atome zerfallen bevor sie das Innere des Detektorgehäuses erreichen können. Das Ansprechverhalten der Exposimeter auf Rn-222 wurde auch für sehr kurze Expositionszeiten im Bereich von Minuten vom GSF-Forschungszentrum im Labor getestet und hat zufriedenstellende Ergebnisse geliefert [84]. Die Diffusionszeit beeinflusst das Ansprechverhalten nicht, da bei längeren Diffusionszeiten zwar weniger Radonotope das Gehäuseinnere erreichen, dafür aber die Verweilzeit der Atome im Gehäuse nach einer Exposition entsprechend länger ist. Die Anzahl der Zerfälle ist damit unabhängig von der Diffusionszeit. Nur Absorptionseffekte in der Gehäusewand können sich limitierend auf das Ansprechverhalten auswirken (siehe auch [85, 86]).

Die Exposition des Wasserwarts wird aus der gemessenen Exposition des personengebundenen Systems und eines Referenzexposimeters, das fest an einem Lagerort aufgestellt wurde, berechnet. Damit kann die Beaufschlagung des personengebundenen Exposimeters während der Lagerung in der arbeitsfreien Zeit berücksichtigt werden. Durch hohe Radonkonzentrationen am Lagerort können aber sehr hohe Messunsicherheiten entstehen. Die relative statistische Messunsicherheit der korrigierten Exposition, wie sie nach Gleichung 5.1 auf Seite 31 zu bestimmen ist, berechnet sich nach folgender Formel:

$$\frac{\Delta E_{WW}}{E_{WW}} = \frac{\sqrt{(\Delta E_{Pers})^2 + (1 - T/T_E)^2 (\Delta E_{Ref})^2}}{E_{Pers} - (1 - T/T_E) E_{Ref}}$$

E_{WW}	Radonexposition des Wasserwarts
ΔE_{WW}	statistische Messunsicherheit der Radonexposition des Wasserwarts
E_{Pers}	Exposition des personengebundenen Expositometers
ΔE_{Pers}	statistische Messunsicherheit der Exposition des personengebundenen Expositometers
E_{Ref}	Exposition des Referenzexpositometers
ΔE_{Ref}	statistische Messunsicherheit der Exposition des Referenzexpositometers
T	Summe der Tragezeiten des personengebundenen Expositometers
T_E	Expositionszeit (Messzeitraum)

Abbildung 12.2 zeigt die relative statistische Messunsicherheit für eine zweimonatige personengebundene Messung für die drei verschiedenen Fälle an Lagerorten mit einer mittleren Luftkonzentration von 500 Bq m^{-3} (RefKonz500), 200 Bq m^{-3} (RefKonz200) und 50 Bq m^{-3} (RefKonz50) in Abhängigkeit von der gemessenen korrigierten Exposition E_{WW} des Wasserwarts. Deutlich erkennt man, dass mit höherer Radonkonzentration am Ort der Lagerung des personengebundenen Expositometers sich auch die Messunsicherheit erhöht. Für $(1 - T/T_E)$ wurde der mittlere Wert aller bisherigen personengebundenen Messungen von 0,95 angenommen. Die senkrechte gepunktete Linie markiert den Wert von $0,333 \text{ MBq h m}^{-3}$. Bei einer linearen Hochrechnung von diesem 2-Monats-Wert auf die Jahresexposition würde genau der Eingreifwert erreicht werden. Die durchgezogenen Linien unterhalb dieses Wertes markieren den Bereich, in dem die Summe aus Messwert und statistischer Messunsicherheit (2-Sigma-Vertrauensbereich) den Wert von $0,333 \text{ MBq h m}^{-3}$ überschreitet. Das bedeutet, dass in diesem Fall nicht mit ausreichender Sicherheit (das heißt mit mehr als 95,4% Wahrscheinlichkeit) festgestellt werden kann, ob die Exposition des Wasserwarts $0,333 \text{ MBq h m}^{-3}$ überschritten hat. Dieser Bereich beginnt in den drei verschiedenen Fällen bei 45%, 71% bzw. 78% von $0,333 \text{ MBq h m}^{-3}$. Die minimale relative statistische Messunsicherheit, die nur bei hohen Expositionen annähernd erreicht wird, liegt bei 25%.

Führt man diese Messung sechsmal hintereinander durch, entfällt die unsichere Hochrechnung zur Abschätzung der Jahresexposition. Auch die statistische Gesamtmessunsicherheit wird erheblich reduziert. Bei einer über das Jahr konstanten Radonkonzentration würde sich die relative statistische Messunsicherheit des Summenwertes von sechs 2-Monats-Messungen um den Faktor $\sqrt{6}/6 = 0,41$ gegenüber der Messunsicherheit einer einzigen Messung über ein Jahr reduzieren. Abbildung 12.3 zeigt den Verlauf der statistischen Messunsicherheit bei einer derartigen Jahresmessung. Die senkrechte, gepunktete Linie markiert hier den Eingreifwert, die durchgezogenen Linien unterhalb des Eingreifwerts den Bereich, in dem die Summe aus statistischer Messunsicherheit (2-Sigma-Vertrauensbereich) und Messwert den Eingreifwert überschreitet. Für alle drei Lagerorte beginnt dieser ungünstige Bereich hier, relativ gesehen, später als bei der 2-Monatsmessung erst bei 88%, 91% bzw. 91% des Eingreifwerts. Die Messung ist, wie erwartet, präziser. Die minimale relative statistische Messunsicherheit liegt hier bei etwa 10%.

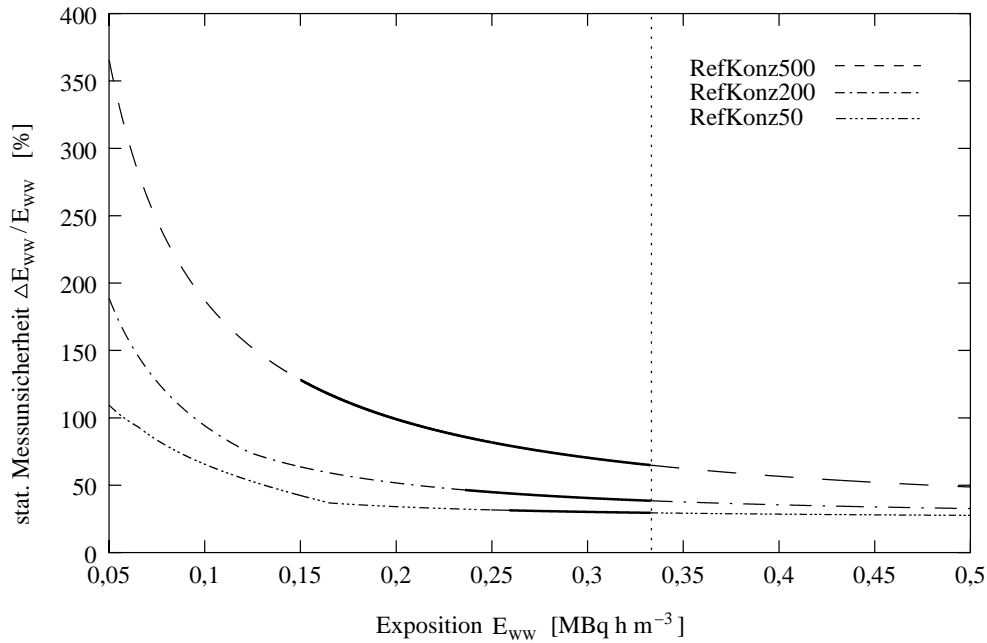


Abbildung 12.2: Relative statistische Messunsicherheit einer personengebundenen 2-Monats-Messung für drei verschiedene Raumluftkonzentrationen am Lagerort in Abhängigkeit von der ermittelten Personenexposition

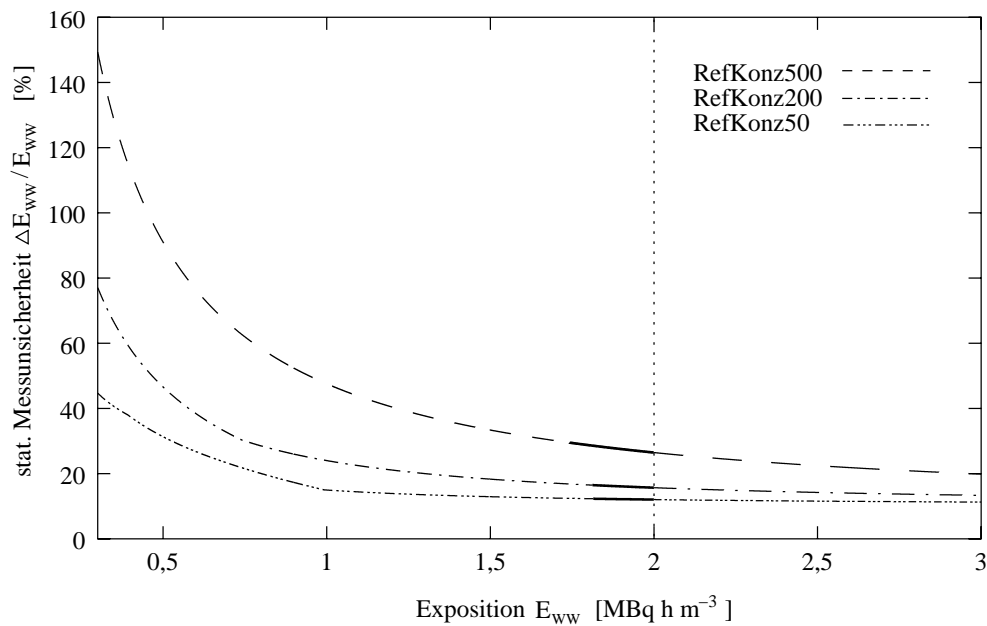


Abbildung 12.3: Relative, statistische Messunsicherheit sechs aufeinander folgender, personengebundener 2-Monats-Messungen für drei verschiedene Raumluftkonzentrationen am Lagerort in Abhängigkeit von der ermittelten Personenexposition

Die Berechnung der Exposition aus den Messwerten der ortsgebundenen Expositometer ist in den Arbeitsbereichen der Wasserwirtschaft äußerst fragwürdig. Die Radonkonzentrationen in den Anlagen können zeitlich stark schwanken und mit den Arbeitsabläufen und somit mit den Aufenthaltszeiten der Beschäftigten stark korreliert sein (siehe Kapitel 8). Das Heranziehen des Mittelwerts der Raumluftkonzentration kann damit zu einer erheblichen Fehleinschätzung der Exposition des Personals führen.

Noch problematischer ist, dass die meisten Wasserwerke sehr viele Betriebsräume betreuen und zur Abschätzung der Exposition deshalb ein genaues Protokoll über die Aufenthaltszeiten an den verschiedenen Orten geführt werden muss. Die Erfahrung aus dieser Untersuchung hat gezeigt, dass viele Wasserwerke das Führen solcher Protokolle als unzumutbar empfinden. Auch eine Verpflichtung zur Protokollführung durch den Vorgesetzten oder durch die Aufsichtsbehörde würde deshalb in den meisten Fällen zu keiner zuverlässigen Dokumentation der Tragezeiten führen. Aufgrund der hohen Anzahl von Betriebsräumen müssten außerdem sehr viele ortsgebundene Messsysteme aufgestellt werden, um alle Arbeitsbereiche des Beschäftigten zu erfassen.

12.2 Praxistest personengebundener Expositometer unterschiedlicher Messstellen

Im Rahmen einer umfassenden Studie des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) wurden Kernspurexpositometersysteme fünf verschiedener Anbieter (Messstellen) getestet. In einem vorhergehenden Experiment, bei dem die Expositometer in der Radonkammer des BfS in Berlin verschiedenen Konzentrationen und Bedingungen ausgesetzt wurden, haben alle Systeme eine ausreichende Messgenauigkeit gezeigt [83, 87, 88].

Bei der 3. Sitzung der Arbeitsgruppe „Radon/Radonzerfallsprodukt-Überwachung an Arbeitsplätzen“ des Fachausschusses Strahlenschutz des Länderausschusses für Atomkernenergie im Februar 1998 wurde die Durchführung eines Praxistests der Expositometersysteme beschlossen. Dabei sollten die Systeme in Schauhöhlen, bergbaulichen Anlagen unter Tage und in Wasserwerken getestet werden. Da auch für diese Untersuchung ein zuverlässiges und präzises personengebundenes Expositometersystem benötigt wird, erklärte sich das LfU gerne bereit, als Praxistest einen Expositometervergleich in Wasserwerken durchzuführen. In Wasserwerken müssen die Expositometer hohen Ansprüchen genügen. Hohe Luftfeuchte und große Schwankungen der Radonkonzentration innerhalb weniger Minuten beim Betreten und Verlassen der Anlagen dürfen die Expositionsbestimmung nicht verfälschen. Die langen Lagerzeiten außerhalb der Arbeitszeit des Wasserwerks müssen bei der Berechnung der Exposition mit ausreichender Genauigkeit berücksichtigt werden können.

Für den Test wurden vier Wasserwerke aus dem Bayerischen Wald ausgewählt, die gleichzeitig Expositometer von fünf verschiedenen Messstellen zwei Monate (14.5. bis 15.07.98) lang trugen. Die Wasserwerke führten während dieser Zeit nur routinemäßige Arbeiten, d.h. keine Behälterreinigungen, durch. Zu jedem personengebundenen Expositometer wurde ein Referenzexpositometer mitgeliefert, das an einem Ort mit möglichst geringer Radonkonzentration aufgestellt wurde. Die personengebundenen Expositometer wurden dort zu den Zeiten gelagert, zu denen sie nicht getra-

gen wurden. Mit Hilfe der Referenzexposimeter kann dann die während der Lagerung erhaltene Exposition abgezogen werden.

Tabelle 12.1 zeigt die Ergebnisse dieses Tests. Die jährliche Exposition wurde unter den gleichen Annahmen wie in Tabelle 9.2 berechnet. Die in den zwei Monaten ermittelte Exposition wurde dazu mit dem Faktor 6 multipliziert. Sehr gute bzw. gute Übereinstimmung herrscht bei der Ermittlung der Exposition von Wasserwart 3 und Wasserwart 4. Bei den sehr hohen Expositionen (Wasserwart 2) gibt es größere Unsicherheiten. Auch bei der Bestimmung der Exposition von Wasserwart 1 gibt es Unterschiede, da die Abschätzung der sehr niedrigen Exposition des Referenzexposimeters mit Messunsicherheiten behaftet ist. Die Korrektur der Personenexposition aufgrund der Lagerzeiten führt deshalb auch zu Ungenauigkeiten bei der korrigierten Exposition.

Abschließend kann man sagen, dass die Exposimeter aller fünf Messstellen für den Einsatz in Wassergewinnungsanlagen geeignet sind. Eine genauere Analyse aller Daten inklusive den Tests aus den Schauhöhlen und bergbaulichen Anlagen wird vom BfS aber noch durchgeführt.

Tabelle 12.1: Ergebnisse des Kernspurexposimetervergleichs.

Die Werte der Exposition der personengebundenen Exposimeter (PEX) sind bereits von den Messstellen unter Berücksichtigung der ermittelten Expositionen der Referenzexposimeter (REX) korrigiert worden. Die Referenzexposimeter und personengebundenen Exposimeter wurden an folgenden Orten aufbewahrt:

Wasserwart 1 (WVU-NR. 5121): Balkon

Wasserwart 2 (WVU-NR. 5065): Lagerschuppen, 1.Stock (gut gelüftet)

Wasserwart 3 (WVU-NR. 5053): Auto, Kofferraum

Wasserwart 4 (WVU-NR. 5045): Büro, 1.Stock (gut gelüftet)

Messstelle	Wasserwart 1		Wasserwart 2		Wasserwart 3		Wasserwart 4	
	PEX	REX	PEX	REX	PEX	REX	PEX	REX
Expositionszeit [h]	11	1.488	84	1.488	110	1.488	30	1.488
Nr. 1 [MBq h m ⁻³]	0,10	0,08	22,0	0,10	1,9	0,05	0,16	0,20
Nr. 2 [MBq h m ⁻³]	0,12	-	8,7	-	1,4	-	0,18	-
Nr. 3 [MBq h m ⁻³]	0,26	0,01	14,5	0,03	1,7	0,06	0,15	0,14
Nr. 4 [MBq h m ⁻³]	0,14	0,03	>17,0	0,02	1,8	0,07	0,17	0,19
Nr. 5 [MBq h m ⁻³]	0,20	0,02	14,1	<0,01	1,8	0,07	0,10	0,20
Mittel [MBq h m ⁻³]	0,14	0,03	14,8	0,05	1,7	0,06	0,15	0,18
Mittl. Konz. [Bq m ⁻³]	13.100	19	176.000	34	15.800	41	5.160	123
Jahresexposition [MBq h m ⁻³]	1		120		13		1	

Tabelle 12.2: Exposition des Wasserwarts des Versorgungsunternehmens Nr. 3005. Berechnung der Jahresexposition (berechn. Expo.) aus den Raumlufkonzentrationen und Aufenthaltsdauern und zum Vergleich die aus den personengebundenen Messungen hochgerechnete Jahresexposition (pers. Expo.).

	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Aufenthaltszeit [h a ⁻¹]	berechn. Expo. [MBq h m ⁻³]	pers. Expo. [MBq h m ⁻³]
Büro	1000	800	0,8	
Filterraum	5000	200	1,0	
Hochbehälter und Brunnen	1000	80	0,08	
Summe		1080	1,9	1,8 ± 0,5

12.3 Abschätzung der Exposition aus orts- und personengebundenen Messungen

Prinzipiell kann die Exposition des Wasserwarts auf zwei verschiedene Weisen abgeschätzt werden. Die sicherste Methode ist das Erfassen der Exposition durch das Tragen eines personengebundenen Exposimeters am Körper. Die Exposition wird auf diese Weise kontinuierlich registriert. Ein Notieren der Aufenthaltszeiten in den verschiedenen Anlagen ist nicht nötig. Der Nachteil dieser Methode ist, dass das Exposimeter eventuell manchmal vergessen und damit nicht immer beim Betreten der Anlagen mitgeführt wird. Lagern des personengebundenen Exposimeters in einer Atmosphäre mit hoher Radonkonzentration kann die Messgenauigkeit stark beeinträchtigen oder sogar eine Wiederholungsmessung erforderlich machen.

Andererseits kann die Exposition auch durch Messung der Radonkonzentration und Ermitteln der genauen Aufenthaltszeiten des Wasserwarts an den verschiedenen Arbeitsplätzen abgeschätzt werden. Bei sehr kurzen Aufenthaltszeiten, wie sie bei Kontrollgängen in den Wassergewinnungsanlagen üblich sind, ist aus Erfahrung eine genaue Schätzung der Zeiten sehr schwierig und das genaue Notieren der Zeiten aufwendig. Zur Berechnung der Exposition kann in der Regel aus messtechnischen Gründen, z.B. bei Benutzung von Kernspurexposimetern, nur der Mittelwert der Radonkonzentration benutzt werden. Da aber die Radonkonzentration in den Anlagen sehr stark schwankt, kann dieser Mittelwert erheblich von dem über die Anwesenheitszeiten des Wasserwarts gemittelten abweichen. Bei den sehr unterschiedlichen Tätigkeiten und der oft großen Anzahl von Anlagen muss bei der Abschätzung der Exposition eines Wasserwarts bei dieser Methode sehr große Sorgfalt angewendet werden, d.h. dass die Aufenthaltszeiten sehr sorgfältig protokolliert werden müssen.

Zum Vergleich wurden die Jahresexpositionen von zwei Wasserwarten aus unterschiedlichen Versorgungsunternehmen (WVU-Nr. 3005 und WVU-Nr. 5111) auf beide oben genannte Methoden ermittelt. Die Berechnung der Exposition aus den Raumlufkonzentrationen und Aufenthaltsdauern sowie aus den personengebundenen Messungen zeigen Tabelle 12.2 und Tabelle 12.3.

Bei dem Wasserwart des Versorgungsunternehmens Nr. 3005 erhält man eine gute Übereinstim-

Tabelle 12.3: Exposition des Wasserwerts des Versorgungsunternehmens Nr. 5111. Berechnung der Jahresexposition (berechn. Expo.) aus den Raumlufkonzentrationen und Aufenthaltsdauern und zum Vergleich die aus den personengebundenen Messungen hochgerechnete Jahresexposition (pers. Expo.) .

	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Aufenthaltszeit [h a ⁻¹]	berechn. Expo. [MBq h m ⁻³]	pers. Expo. [MBq h m ⁻³]
Quellschächte	130000	28	3,6	
Entsäuerungsraum LD	9100	140	1,3	
Entsäuerungsraum SH	11000	190	2,1	
Entsäuerungsraum SW	7900	190	1,5	
Schaltraum GD	1600	110	0,2	
Summe		658	8,7	19 ± 5

Die Abweichung zwischen den beiden auf unterschiedlichen Weise ermittelten Expositionen. Dagegen erhält man signifikante Unterschiede bei den Expositionen des Wasserwerts des Versorgungsunternehmens Nr. 5111. Folgende Ursachen können dafür verantwortlich sein: Die Konzentrationsverläufe in den Entsäuerungsräumen zeigen große Schwankungen im zeitlichen Verlauf. Eine Mittelung kann deshalb problematisch sein. Außerdem liegen keine Messwerte der Radonkonzentration während der Filterspülungen der drei Anlagen vor. Da bei dieser Tätigkeit der Wasserwart anwesend ist und erfahrungsgemäß die Radonkonzentration während dieser Tätigkeit besonders hoch ist, wird die Exposition durch die Berechnung aus einer über einen längeren Zeitraum gemittelten Konzentration unterschätzt. Möglicherweise wurden auch die Aufenthaltszeiten in den Quellschächten nicht ganz realistisch abgeschätzt, was zu erheblichen Fehleinschätzungen der Gesamtexposition führen kann.

12.4 Entwicklung eines Exposimeterlagerbehälters

Bei der Bestimmung der Radonexposition mittels Kernspurexposimeter wird immer ein Referenzexposimeter ausgewertet. In der Zeit, in der das personengebundene Exposimeter nicht getragen wird, lagert es neben dem Referenzexposimeter. Aus der ermittelten Exposition des Referenzexposimeters lässt sich die Exposition, die das personengebundene Exposimeter während der Lagerung erhalten hat, berechnen und muss bei der Berechnung der Radonexposition, die die Person im Messzeitraum in den Wassergewinnungsanlagen erhalten hat, berücksichtigt werden (siehe Kapitel 5.4).

In der Praxis ist jedoch die Radonkonzentration am Lagerort der Exposimeter oftmals ungünstig hoch, weil im ganzen Gebäude kein geeigneter Lagerort vorhanden ist. Das kann die statistische Messunsicherheit des ausgewerteten Messwerts stark erhöhen. In einigen Fällen ist die Messung sogar so ungenau, dass sie wiederholt werden muss. Um dieses Problem zu umgehen, wurde vom U.R.A.-Labor der Universität Regensburg ein System entwickelt, das es ermöglicht, das Referenz-

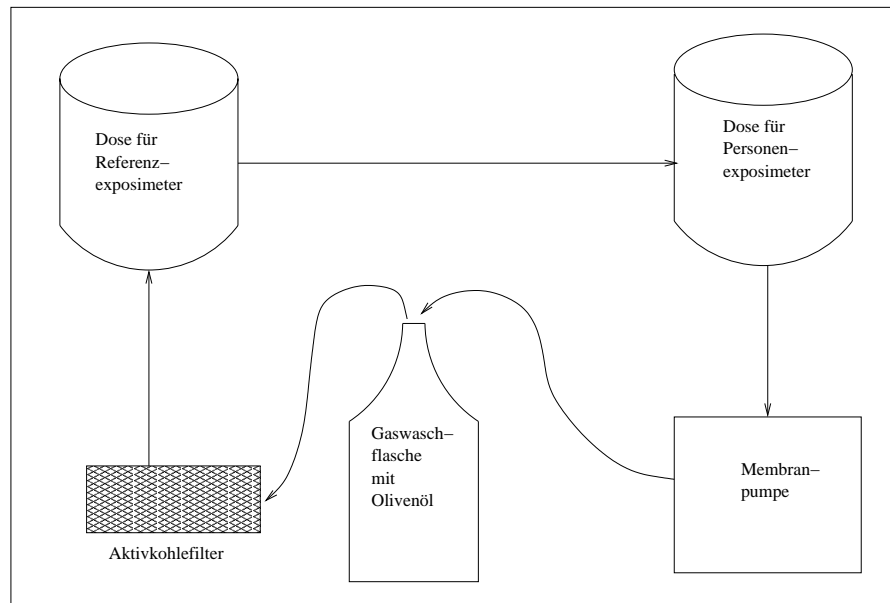


Abbildung 12.4: Schematischer Aufbau für ein System zur Aufbewahrung der personengebundenen Exposimeter in radonarmer Atmosphäre.

renzexposimeter unabhängig von der Radonkonzentration am Aufbewahrungsort in einer relativ radonarmen Atmosphäre zu lagern.

Das in sich abgeschlossene System wird im Kreislauf betrieben (siehe Abbildung 12.4). Eine Membranpumpe sorgt im Dauerbetrieb für eine kontinuierliche Zirkulation der Luft. Das Referenzexposimeter befindet sich in einer kleinen Kunststoffdose und wird während des gesamten Überwachungszeitraums nicht herausgenommen. Bei Beginn und am Ende der Arbeitszeit wird die Dose zum Entnehmen bzw. Zurücklegen des personengebundenen Exposimeters geöffnet. Nur dann wird radonhaltige Luft in den Kreislauf eingebracht. Über die Pumpe wird diese Luft in eine Gaswaschflasche geleitet, die mit handelsüblichem Olivenöl gefüllt ist. Die Eigenschaft der hohen Löslichkeit von Radon in Olivenöl bietet die Möglichkeit, das eingebrachte Radon zu absorbieren [89]. Ebenso wirkt der Aktivkohlefilter, der zusätzlich Radonzerfallsprodukte und verdampfendes Olivenöl absorbiert. Die so gefilterte, radonarme Luft gelangt nun zum Referenzexposimeter, das somit selbst beim Öffnen der Dose nur wenig mit radonhaltiger Frischluft in Kontakt kommt. Die Vorrichtung ist in einem Koffer installiert und leicht zu transportieren. Am Aufstellungsort ist lediglich die Membranpumpe außerhalb des Koffers aufzustellen, da sonst Probleme mit der Abwärme auftreten können.

Erste Laborexperimente brachten gute Ergebnisse und müssen nun im Feldversuch in den Wasserwerken vor Ort verifiziert werden. Im Labor wurde bei einer mittleren Anfangskonzentration von etwa 150 Bq m^{-3} in der Raumluft nach einiger Zirkulationszeit eine Konzentration im Aufbewahrungsbehälter von etwa 50 Bq m^{-3} erreicht. Ob bei höheren Anfangskonzentrationen auch solch ein niedriger Wert erreicht werden kann, muss noch getestet werden. Nach einer bestimmten Zeit sind das Olivenöl und der Aktivkohlefilter aufgrund von Sättigungseffekten auszutauschen.

12.5 Erfahrungen aus der Praxis

Personengebundene Kernspurexposimeter haben sich in der Praxis als zuverlässige Messgeräte zur Ermittlung der Radonexposition des Personals in Wasserwerken erwiesen. In der Regel können die mit der Post versandten Exposimeter mit Hilfe eines Anleitungsschreibens vom Personal sachgerecht eingesetzt werden. In manchen Fällen wurde aber eine telefonische Beratung vom Benutzer in Anspruch genommen. Bei der Durchführung personengebundener Messungen kann unsachgemäße Benutzung der Exposimeter nicht ganz ausgeschlossen werden. Manchmal werden die Anleitungen nicht gründlich gelesen und die personengebundenen als ortsgebundene Exposimeter verwendet oder die Exposimeter werden in Räumen mit hoher Radonkonzentration gelagert. Ein versehentliches Liegenlassen eines personengebundenen Exposimeters im Hochbehälter über einen längeren Zeitraum, z.B. mehrere Tage, führt aufgrund der dort herrschenden hohen Radonkonzentrationen dazu, dass die Jahresexposition erheblich zu hoch abgeschätzt wird. Wird das Exposimeter beim Betreten der Anlagen einmal vergessen, verursacht dies hingegen in der Regel keinen großen Fehler bei der Abschätzung. Fehleinschätzungen der Exposition können auch auftreten, wenn die Exposimeter in ihren Transportbehältern über Monate in Räumen mit hohen Konzentrationen gelagert werden, da die Transportbehälter nicht völlig radondicht sind.

In der Regel können jedoch durch den Vergleich der Messergebnisse aus ortsgebundenen und personengebundenen Messungen und dem Messwert des Referenzexposimeters Unstimmigkeiten erkannt und dem zu Folge Fehlmessungen ausgesondert werden. Gegebenenfalls wird die Messung dann wiederholt. Ebenfalls müssen Messungen, die sehr hohe Expositionswerte anzeigen, sicherheitshalber durch eine zweite Messung bestätigt werden.

Grundsätzlich waren die Messergebnisse mit den Kernspurexposimetern zufriedenstellend. Wegen Fehlanwendungen, aber auch wegen zu großer Messunsicherheiten bei Messwerten, die nahe am Eingreifwert waren, mussten etwa 20% der Messungen wiederholt werden. Die Wasserwarte mit Fehlanwendungen wurden dann telefonisch beraten, um bei der nächsten Messung genauere Messwerte zu erzielen. Eine grundsätzliche telefonische oder persönliche Einweisung des Wasserwarte könnte die Anzahl der Fehlanwendungen wahrscheinlich deutlich reduzieren. Im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens musste aber aufgrund der großen Anzahl von Messungen auf eine solche grundsätzliche Einweisung verzichtet werden.

Die Ermittlung der Expositionen mit personengebundenen Systemen ist der Berechnung der Exposition aus Aufenthaltszeiten und Konzentrationen an den Arbeitsplätzen in der Regel vorzuziehen. Nur bei einer sehr kleinen Anzahl von begehbaren Räumen ist es sinnvoll alle Räume der Gewinnungsanlage mit ortsgebundenen Exposimetern auszumessen. Ergibt eine Abschätzung aus den Messwerten und den Aufenthaltszeiten eine Exposition weit unter den Eingreifwert, kann auf das Tragen von personengebundenen Systemen verzichtet werden. Auch bei Abschätzung der Exposition während der Behälterreinigungen kann der Einsatz von ortsgebundenen Exposimetern vorteilhaft sein, da für kurze Tragezeiten (im Bereich von Tagen) die statistischen Messunsicherheiten sehr groß werden können.

Zusammenfassend ist zu erwähnen, dass diese kostengünstigen und robusten Systeme nicht für Präzisionsmessungen der Exposition von Beschäftigten geeignet sind. Besonders kleine Expositionen können nur mit hoher statistischer Messunsicherheit bestimmt werden. Eine Exposition

von 1 MBq h m^{-3} stellt oft schon die Nachweisgrenze dar. Aber diese Systeme sind bei richtiger Handhabung und einer Messzeit von mindestens zwei bis drei Monaten geeignet, um in den meisten Fällen mit hinreichender Sicherheit zu entscheiden, ob die hochgerechnete Jahresexposition über oder unter dem Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} liegt. Eine Grenzwertüberschreitung kann noch zuverlässiger erkannt werden. Unbedingt ist zu beachten, dass die prozentuale statistische Messunsicherheit durch die Differenzbildung bei der Berechnung der Exposition aus den Messwerten von Referenz- und personengebundenen Expositometer immer unterschiedlich ist und bei der Bewertung des Messergebnisses **grundsätzlich** betrachtet werden muss.

13 Radontransfer Wasser-Luft in Aufbereitungsanlagen

Im Dezember 1997 wurden in Wasserversorgungsanlagen des Fichtelgebirges einige Aufbereitungsanlagen untersucht. Durch die Bestimmung des Radongehalts im Wasser vor und nach der Aufbereitung sollten Informationen über den Transfer von Radon in die Raumluft in Aufbereitungsanlagen gesammelt werden. Tabelle 13.1 zeigt die Ergebnisse von Untersuchungen in sechs verschiedenen Anlagen. Ein signifikanter Transfer von Radon in die Raumluft konnte nur in zwei Aufbereitungsräumen beobachtet werden. Auffällige Unterschiede in der Bauart der Anlagen sind aber nicht vorhanden. Eine Korrelation zwischen Raumluft und Transferanteil ist in diesen Anlagen nicht nachzuweisen. Auch bei Heranziehung von Daten aus früheren Untersuchungen ist keine Systematik im Zusammenhang von Radonkonzentration im Wasser, Transfer und Raumluftkonzentration zu erkennen [14].

Tabelle 13.1: Die Radonkonzentrationen im Wasser vor und nach der Aufbereitungsanlage sowie die Raumluftkonzentration in der Anlage

Anlage (WVU-Nr.)	Rn-Konz. Zulauf [Bq l ⁻¹]	Rn-Konz. Ablauf [Bq l ⁻¹]	Absoluter Transfer [Bq l ⁻¹]	Relativer Transfer [%]	Raumluft- konzentration [Bq m ⁻³]
3081 (LT)	266±9	280±9	-14±13	<9	135.000
5334 (OK)	521±15	523±15	-2±21	<12	34.000
5334 (SC)	428±10	414±10	14±14	<13	66.000
5366	35±2	34±1	1±2	<20	61.000
5374	446±14	331±11	115±18	26±4	397.000
5407	249±7	165±9	84±9	34±4	5.000

14 Voruntersuchungen im Wasserversorgungsunternehmen Nr. 7001

Im Dezember 1997 wurde ein großes Wasserversorgungsunternehmen (WVU-Nr. 7001), das sein Wasser aus alpinen Regionen und Moränen-Bereichen gewinnt, untersucht. In den Rohwässern der Quellgebiete wurden Radonkonzentrationen unterhalb der gammaspektrometrischen Nachweisgrenze von 5 Bq l^{-1} gemessen. Dennoch treten in der Raumlufte der Quellstollen und Sammelschächte Radonkonzentrationen von über 1.000 Bq m^{-3} auf. Die Ergebnisse aus einmonatigen Messungen mit Kernspurexposimetern sind in Tabelle 14.1 aufgelistet. Im Sammelschacht fließen im Mittel etwa 1.500 Liter pro Sekunde unter starken Verwirbelungen durch das Gebäude. So kann auch ein sehr geringer Radongehalt durch die enormen Wassermengen zu hohen Raumlufkonzentrationen führen.

Die Messung im Hochbehälter wurde in dem mit einer Glaswand vom Wasserbecken abgetrennten Bereich durchgeführt, in dem sich auch Besuchergruppen aufhalten. Durch die vollautomatische Computersteuerung hält sich nur sehr selten ein Wasserwart in diesem Hochbehältergebäude auf.

Tabelle 14.1: Die Radonkonzentration in der Raumlufte von Anlagen eines großen Wasserversorgungsunternehmens.

Ort	Mittlere Radonkonzentration [Bq m^{-3}]
Hauptsammler UG	1.300
Hauptsammler OG	1.300
Querstollen 5 G	160
Querstollen 5 M	700
Querstollen 4 M	410
Hochbehälter	70

15 Messungen von Schlämmen aus der Filterspülung

Seit der Novellierung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) im August 2001 müssen einige industrielle Rückstände bei Beseitigung oder Verwertung überwacht werden, sofern sie nicht bestimmte Kriterien erfüllen, um aus dieser Überwachung entlassen werden zu können. Die zu berücksichtigenden Rückstände sind in Anlage XII der StrlSchV [25] aufgelistet. Schlämme aus dem Betrieb von Wasseraufbereitungen sind nicht aufgeführt. Dennoch ist in § 102 festgelegt, dass auch bei erheblich erhöhten Expositionen durch Materialien, die nicht in Anlage XII enthalten sind, die zuständigen Behörden Strahlenschutzmaßnahmen anordnen können.

Werden die Grundsätze von § 97 Abs.1 auch auf diese Materialien angewendet, stellt eine Jahresexposition für Bevölkerung oder Einzelpersonen von unter 1 mSv keine erhöhte Strahlenexposition dar. Genauso gilt der Grundsatz aus der Anlage XII, Teil B, Abs. 5, welcher Rückstände mit spezifischen Aktivitäten von unter 200 Bq/kg¹ prinzipiell aus der Überwachung entlässt.

In den Wasserversorgungsanlagen entstehen Rückstände in Form von Schlämmen bei der sogenannten „Filterspülung“ der Aufbereitungsanlage, auch „Rückspülung“ genannt. Bei diesem Arbeitsprozess wird das Filtermaterial durch Spülen mit Wasser gereinigt. Das Spülwasser wird in der Regel in einem Absetzbecken gesammelt und nach dem Absetzen der Schwebstoffe abgepumpt. Die Schwebstoffe reichern sich somit auf dem Grund des Beckens an. Dieses Wasser-Schwebstoffgemisch im unteren Bereich des Beckens muss in regelmäßigen Abständen ebenfalls abgepumpt werden. Das Gemisch wird dann entweder unverändert an eine Kläranlage oder nach dem Trocknen und evtl. Pressen an Deponien oder an die Landwirtschaft als Dünger abgegeben.

Im Rahmen einer Untersuchung wurden deshalb 25 Wasserversorgungsunternehmen angeschrieben und um eine Filterschlammprobe gebeten. Ein Begleitprotokoll mit Angaben über Art der Aufbereitung, Entsorgungsweg, Menge des jährlich anfallenden Filterschlammes und Häufigkeit der Entleerungen des Absetzbeckens sollte ausgefüllt werden. Da der Feststoffgehalt im Absetzbecken oft unter einem Prozent ist, sollte das Schwebstoffgemisch vor dem Versand getrocknet oder filtriert werden, um in einer Probenmenge von etwa 1 kg mindestens 10% Feststoffanteil zu erreichen. Insgesamt 17 Unternehmen haben Proben zur Verfügung gestellt.

Am LfU wurden die Proben getrocknet, falls nötig zerkleinert und dann in einer radondichten Messschale eingeschlossen. Die Messschale wurde etwa zwei Wochen gelagert, um radioaktives Gleichgewicht zwischen bestimmten Isotopen der Uran und Thorium-Reihe zu erreichen. Anschließend wurden die Proben gammaspektrometrisch ausgewertet. Dadurch kann aus den Messwerten der einfach zu bestimmenden spezifischen Aktivitäten von Pb-214 und Bi-214 auf die Aktivität von Ra-226 ($T_{1/2} = 1.600$ a) sowie von Pb-212 und Bi-212 auf die Aktivität von Th-228 ($T_{1/2} = 1,9$ a) geschlossen werden. Der Wert von Ac-228 entspricht der spezifischen Konzentration

¹Jedes Isotop der Uran-238- und Thorium-232-Reihe muss eine spezifische Aktivität unter diesem Wert haben.

von Ra-228 ($T_{1/2} = 5,7$ a). Obwohl die Lagerzeit von zwei Wochen nicht ausreicht, um mit Sicherheit ein radioaktives Gleichgewicht von Th-234 ($T_{1/2} = 24$ d) und U-238 zu erreichen, entspricht der Messwert der spezifischen Aktivität von Th-234 in etwa dem Wert von U-238. Bei Füllzeiten im Bereich von Monaten und Jahren sollte sich im Absetzbecken ein Gleichgewicht zwischen beiden Isotopen eingestellt haben. Uran und Thorium sind Schwermetalle und fest im Schlamm gebunden. Sie können somit auch bei der Probenahme und -aufbereitung nicht entweichen.

Die Ergebnisse der gammaspektrometrischen Messungen der Filterschlämme sind in Tabelle 15.1 dargestellt. Von zwei Wasserversorgungsunternehmen wurden Schlämme von zwei verschiedenen Aufbereitungsanlagen gemessen. Es ist deutlich zu sehen, dass die Schlämme aus der Enteisung und Entmanganung höhere spezifische Aktivitäten aufweisen als die Rückstände aus Entsäuerungsanlagen. Auch im Rahmen anderer Untersuchungen wurden erhöhte Aktivitäten von Schlämmen aus solchen Aufbereitungsanlagen gemessen [90]. Eine Abhängigkeit der Aktivitäten vom geologischen Untergrund des Wassergewinnungsgebiets ist nicht erkennbar. Die Isotope einer Zerfallsreihe sind im Boden in der Regel im radioaktiven Gleichgewicht. Die höheren spezifischen Aktivitäten von Ra-226 bzgl. Th-234/U-238 (Uran-238-Reihe) und Ra-228 bzgl. Th-228 (Thorium-Reihe) lassen vermuten, dass das Radium effektiver als Thorium oder Uran im Filtermaterial absorbiert wird.

Der Schwebstoffgehalt in den Absetzbecken nimmt im Allgemeinen mit der Zeit zu und hängt vom zeitlichen Abstand zur letzten Entsorgung der Beckenrückstände ab. Für eine Bestimmung der jährlich in die Umwelt eingebrachten Radioaktivitätsmenge ist deshalb der genaue Feststoff- bzw. Wassergehalt des abgegebenen Rückstands notwendig. Die Entsorgungen finden jedoch oft in Abständen von bis zu mehreren Jahren statt. Genaue Daten über die Zusammensetzung der abgegebenen Rückstände können somit kurzfristig nicht erfasst werden.

Jahresdosen für eine Einzelperson der Bevölkerung von über 1 mSv können eventuell auftreten, wenn Schlämme aus der Enteisung oder Entmanganung mit sehr hohen spezifischen Aktivitäten in der Landwirtschaft als Dünger verwendet werden [91]. Bei Nutzung von Schlämmen aus diesem Typ von Aufbereitungsanlage in der Landwirtschaft empfiehlt es sich, Messungen zur Bestimmung der Gehalte der natürlichen Radioisotope durchzuführen und die Reststoffe gegebenenfalls anderweitig zu entsorgen.

Bei der Bewertung der Messwerte und einer Abschätzung der Jahresdosis für eine Einzelperson der Bevölkerung ist zu berücksichtigen, dass Pb-210 auch bei im Vergleich zu Ra-226 wesentlich geringeren Aktivitätskonzentrationen im Filterschlamm wegen des etwa 3 bis 6 mal höheren Ingestions-Dosiskoeffizienten [23, 92] merklich zur effektiven Gesamtdosis beitragen kann.

Tabelle 15.1: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Messungen der Filterschlämme aus der Filterspülung der Aufbereitungsanlagen. Die spezifischen Aktivitäten beziehen sich auf die Trockenmasse. In der Spalte mit den Abgabemengen sind die Volumina oder Gewichte der jährlich abgegeben Rückstände inklusive ihres Wasseranteils (keine Trockenmasse) aufgelistet.

WVU Nr.	Ra-226 [Bq/kg]	Pb-210 [Bq/kg]	Th-234 [Bq/kg]	Th-228 [Bq/kg]	Ra-228 [Bq/kg]	K-40 [Bq/kg]	Art der Aufb.	Abg. an	jährl. Menge
2067	3.260	2.300	<169	883	1.810	410	FeMn	D	1 t
2078	2.160	151	<92	1.120	1.520	133	FeMn	KA	20 m ³
2115	444	<60	<52	177	527	53	FeMn	KA	20 m ³
3005	6.280	826	<121	1.970	3.330	435	FePb	LW	-
3195	3.260	1.070	<104	1.000	2.360	240	FeMn	HD	6 t
3278	330	65	60	204	313	80	FeMn	SD	5 m ³
5191	385	95	<65	67	354	58	FeMn	BG	50 m ³
7017	1.260	99	<60	455	680	440	FeMn	KA	20 m ³
7017	805	63	<40	327	313	460	FeMn	KA	20 m ³
7164	3.300	<146	<156	5.060	8.420	1.010	FeMn	KA	23 m ³
3282	89	83	120	193	336	57	As	D	0,1 m ³
2252	158	207	<23	91	80	328	ES	KA	3 m ³
3017	26	100	<133	61	12	<20	ES	LW	-
3158	16	<54	<40	18	20	<37	ES	LW	350 t
5232	220	65	58	110	160	440	ES/Mn	D	56 m ³
5263	82	14	19	32	38	19	ES	KA	5 t
5328	25	65	<11	<16	18	45	ES	-	8 m ³
5348	6	41	<7	<12	<4	<11	ES	-	-
5414	8	74	<16	3	10	20	ES	D	1 t
5414	17	170	<8	3	7	<13	ES	D	1 t

Fe Entfernung von Eisen
Mn Entfernung von Mangan
Pb Entfernung von Blei
As Entfernung von Arsen
ES Entsäuerung
- keine Angabe

HD Hausmülldeponie
SD Sondermülldeponie
D Deponie (nicht spezifiziert)
KA Kläranlage
LW Landwirtschaft
BG Biogasanlage (Verbrennung)

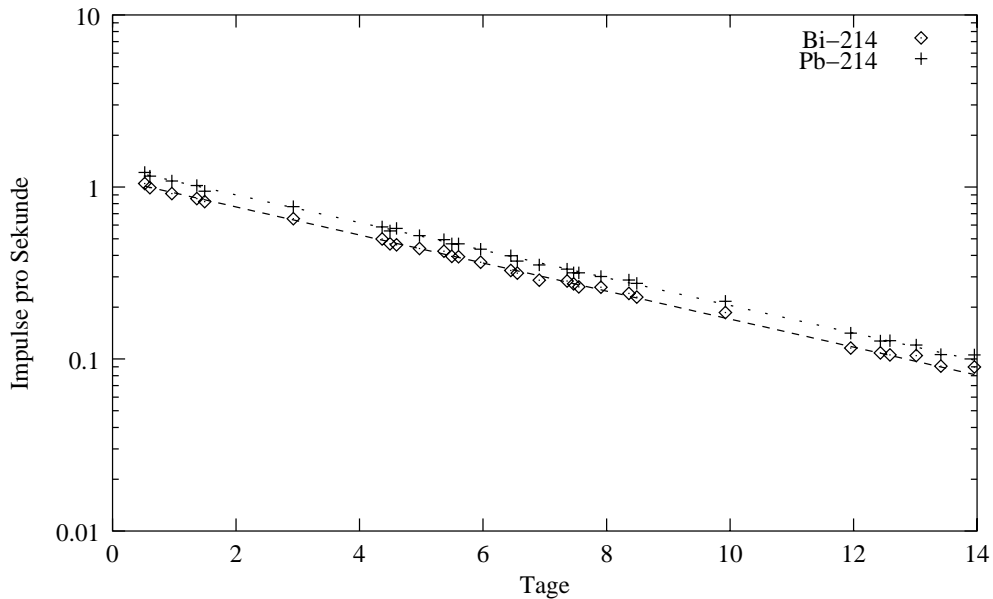


Abbildung 16.1: Ergebnisse aus 30 zeitlich aufeinanderfolgenden gammaspektrometrischen Messungen der Impulsraten von Bi-214 und Pb-214 einer Wasserprobe in einer PET-Flasche. Die vom Gammadetektor registrierte und über die Messzeit gemittelte Impulsrate ist in Abhängigkeit vom mittleren Messzeitpunkt eines bestimmten Messintervalls aufgetragen.

16 Radondichtheit von PET-Flaschen

Zum Nachweis der Radondichtheit der verwendeten PET-Flaschen (Polyethylenterephthalat) wurde der Zerfall des Radon in einer Flasche über einen längeren Zeitraum beobachtet. Dabei wurde eine mit radonhaltigem Wasser gefüllte Flasche über einen Zeitraum von etwa 14 Tagen gamma-spektrometrisch ausgemessen. Die Radonkonzentration in der Flasche war zur Beginn der Messung etwa 600 Bq l^{-1} . Der Messzeitraum wurde in etwa 30 Messintervalle unterteilt. Von jedem Messintervall wurde die mittlere Impulsrate der 609 keV-Linie von Pb-214 und der 352 keV-Linie von Bi-214 ermittelt. Die Ergebnisse wurden dann grafisch in logarithmischer Darstellung aufgetragen (Abbildung 16.1) und die Halbwertszeit durch eine Ausgleichsgerade berechnet. Aufgrund der unterschiedlichen Verzweigungsverhältnisse und der energieabhängigen Nachweiseffizienz des Gammadetektors liegt die Impulsrate von Pb-214 generell etwas höher als die von Bi-214. Bei völlig radondichter Flasche erwartet man eine Halbwertszeit von 3,825 Tagen, genau die Halbwertszeit HWZ_{Rn} von Rn-222. Gemessen wurden jedoch geringere Halbwertszeiten von $3,69 \pm 0,03$ Tage für Bi-214, sowie $3,75 \pm 0,03$ Tage für Pb-214.

Aus beiden Werten errechnet sich eine mittlere Halbwertszeit HWZ_{Mess} von 3,72 Tagen. Das bedeutet, dass etwas Radon durch die Flaschenwände diffundiert und somit diese gemessene Halbwertszeit durch die von Rn-222 und einer Diffusionshalbwertszeit HWZ_{Diff} zusammensetzt. Folgender Zusammenhang gilt:

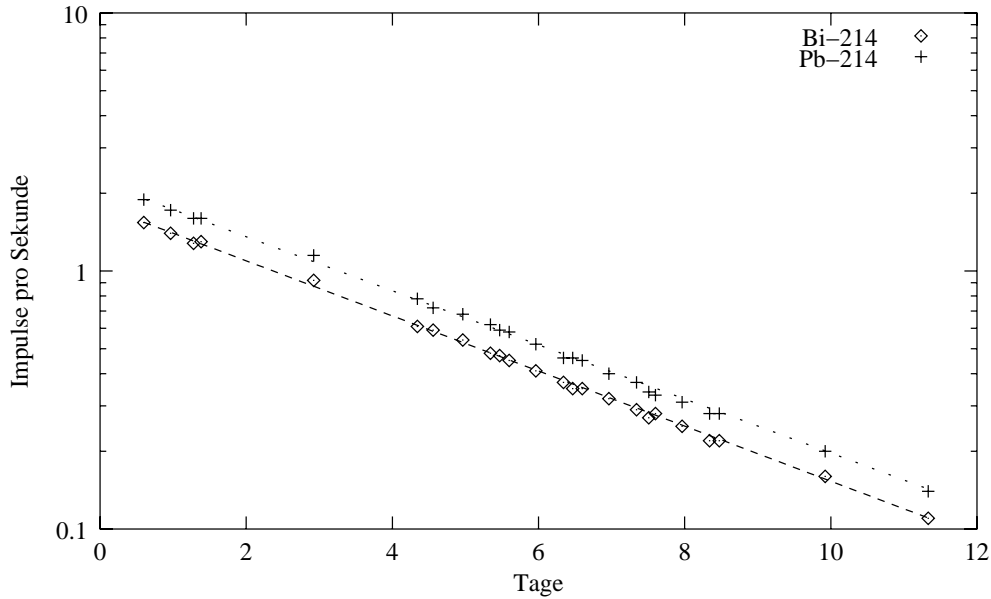


Abbildung 16.2: Ergebnisse aus 24 zeitlich aufeinanderfolgenden gammaspektrometrischen Messungen der Impulsraten von Bi-214 und Pb-214 einer Wasserprobe in einer PE-Flasche. Die vom Gammadetektor registrierte und über die Messzeit gemittelte Impulsrate ist in Abhängigkeit vom mittleren Messzeitpunkt eines bestimmten Messintervalls aufgetragen.

$$HWZ_{Mess}^{-1} = HWZ_{diff}^{-1} + HWZ_{Rn}^{-1} \quad (16.1)$$

Somit ergibt sich für HWZ_{diff} ein Wert von 135 Tagen. Das bedeutet, dass nach 135 Tagen die Hälfte des Radons entweichen würde, wenn es nicht durch den radioaktiven Zerfall abnähme. Da die Wasserproben aber immer innerhalb einer Woche nach der Probenahme gemessen worden sind, kann der Verlust von Radon durch die Flaschenwand und den Verschluss vernachlässigt werden.

Zum Vergleich wurde auch noch die Dichtigkeit einer PE-Flasche (Polyethylen) auf gleiche Weise untersucht (Abbildung 16.2).

In diesem Test wurden jedoch Halbwertszeiten von $2,82 \pm 0,02$ Tage für Bi-214 und $2,87 \pm 0,02$ Tage für Pb-214 gemessen. Es errechnet sich eine mittlere Halbwertszeit HWZ_{Mess} von 2,85 Tage, was einer Halbwertszeit HWZ_{diff} von 11,1 Tage entspricht. Ein merklicher Anteil von Radon würde bei der Verwendung von PE-Flaschen auf dem Transport zum Auswertelabor verloren gehen. Da sich auch insbesondere gezeigt hat, dass die einzelnen PE-Flaschen auch innerhalb einer Charge unterschiedliche Diffusionseigenschaften aufweisen, sind PE-Flaschen als Behälter für Radonproben ungeeignet.

17 Zusammenfassung

Zu Beginn des Untersuchungsvorhabens 1998 wurden Erhebungsbögen an alle etwa 2.600 Wasserversorgungsunternehmen in Bayern versandt und Daten über Anzahl und Art der Wassergewinnungsanlagen sowie Art und Dauer der Arbeitsabläufe erhoben. Danach wurden etwa 550 Wasserversorgungsunternehmen für Messungen des Radongehalts des Rohwassers, der Raumluft in den Anlagen und der Radonexposition der Beschäftigten ausgewählt. Für die Erfassung der Radonexpositionen wurden Kernspurdetektoren (Exposimeter) verwendet, die über einen Zeitraum von zwei Monaten immer bei den Begehungen in den Anlagen mitgeführt wurden. Anhand der gemessenen Exposition wurde auf eine Jahresexposition hochgerechnet. Bei 62 Wasserwarten wurde eine Jahresexposition über dem Eingreifwert von 2 MBq h m^{-3} abgeschätzt. 26 Personen erreichten sogar eine Exposition über dem Grenzwert von 6 MBq h m^{-3} . Eine Hochrechnung für die Jahresexposition der Beschäftigten in bayerischen Wasserversorgungsunternehmen ergab, dass etwa 10% der etwa 4.500 Wasserwarte eine Jahresexposition über dem Eingreifwert und 3% eine Exposition über dem Grenzwert erhalten. Besonders häufig wurden im ostbayerischen Raum, den Gebieten des Bayerischen, Oberpfälzer und Frankenwalds, erhöhte Radonexpositionen erfasst. Extrem hohe Werte des Radongehaltes im Rohwasser und in der Raumluft wurden im Fichtelgebirge gemessen.

Bei einigen Wasserwarten, die erhöhten Expositionen ausgesetzt sind, wurden Maßnahmen zur Reduzierung der Radonbelastung durchgeführt. Das U.R.A.-Labor der Universität Regensburg begleitete in Zusammenarbeit mit dem LfU in mehreren Wasserversorgungsunternehmen diese Maßnahmen durch Messungen und Beratung. Es wurden in 11 Wasserversorgungsunternehmen Radonmessungen mit aktiven elektronischen Geräten durchgeführt. Insbesondere wurden mit diesen Geräten verschiedene Parameter, wie z.B. gleichgewichtsäquivalente Konzentration, Gleichgewichtsfaktor, unangelagerter Anteil und der Einfluss von Lüftungsmaßnahmen auf die Radonkonzentration aufgezeichnet. Bei vier Wasserversorgungsunternehmen wurden bereits Maßnahmen zur Senkung der Radonexposition der Beschäftigten erfolgreich durchgeführt. Bei zwei Unternehmen war eine Reduktion der Exposition nicht notwendig. Die Zusammenarbeit des LfU mit dem U.R.A.-Labor wird auch weiterhin fortgesetzt, so dass in den nächsten Jahren weitere Anlagen saniert werden können. Das Forschungsprojekt „Beurteilung der radiologischen Situation durch Rn-222 in ausgewählten Wasserwerken in Bayern“ wird bis mindestens Ende 2003 weitergeführt.

Auch Maßnahmen zur Senkung der Radonexposition bei Behälterreinigungen wurden durchgeführt. Die Radonexposition des Personals, das die jährliche Reinigung eines Trinkwasserbehälters im Fichtelgebirge durchführt, konnte nach einer dreijährigen Experimentierphase auf sehr zufriedenstellende Werte gesenkt werden. Die Optimierung des Einsatzes eines mobilen Lüftungssystems zur Einbringung von Frischluft in das Behältergebäude führte zu einer Senkung der mittleren Radonkonzentration während der Reinigungszeiten von $400.000 \text{ Bq m}^{-3}$ im Jahr 1997 auf 8.000 Bq m^{-3} im Jahr 2000. Dies entspricht einer Reduktion der Radonkonzentration von 98%. Die Erfahrungen aus diesem Projekt können nun auch bei Reinigungsarbeiten in anderen Behältern dieses Wasserversorgungsunternehmens angewandt werden.

14 Wasserwarte wurden für eine kontinuierliche Überwachung der Jahresexposition ausgewählt, um zeitliche Schwankungen der Exposition erfassen zu können. Dazu mussten diese Beschäftigten

über mindestens ein Jahr personengebundene Exposimeter während der Arbeitszeit in den Wasserversorgungsanlagen tragen. Die personengebundenen Exposimeter wurden alle zwei Monate ausgetauscht und ausgewertet. Im Messzeitraum war bei fast allen Wasserwarten eine Absenkung der Exposition zu beobachten, da durch das Bewusstsein der Radonproblematik die Wasserwarte die Aufenthaltszeiten in den Anlagen immer mehr reduzierten und die Lüftung intensivierten. Die rein statistischen Schwankungen der Exposition konnten somit nicht ermittelt werden.

Für den Vollzug der im August 2001 in Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung wurde im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens ein Konzept zur Überwachung von Personen mit erhöhter Radonexposition entwickelt. Im Dezember 2001 wurden alle Wasserversorgungsunternehmen in einem Schreiben aufgefordert, Radonmessungen durchzuführen, dem LfU die Resultate der Messungen mitzuteilen und gegebenenfalls Maßnahmen zur Reduktion der Exposition ihrer Beschäftigten zu ergreifen.

Das Untersuchungsvorhaben wurde Ende 2001 beendet. Ein ebenfalls vom StMLU finanziertes Folgeprojekt mit dem Titel „Strahlenexposition durch natürliche Radioisotope aus gewerblichen Betrieben in Bayern“ wurde am LfU Anfang 2002 begonnen.

Literaturverzeichnis

- [1] J.H. Lubin, J.D. Boice, C.H. Edling, R. Hornung, G. Howe, E. Kunz, 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.
- [2] 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, 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.
- [3] J. Muller, W.C. Wheeler, J.F. Gentleman, G. Suranyi, 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.
- [4] W. Jacobi, K. Heinrichs, 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.
- [5] G.J. Enderle, K. Friedrich. East German uranium miners (Wismut) – exposure conditions and health consequences. *Stem Cells*, 13 (Suppl. 1):78–89, 1995.
- [6] S.C. Darby, E. Whitley, G.R. Howe, S.J. Hutchings, R.A. Kusiak, J.H. Lubin, H.I. Morrison, M. Tirmarche, L. Tomasek, 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.
- [7] K.B. Mulloy, D.S. James, K. Mohs, M. Kornfeld. Lung cancer in a non-smoking underground uranium miner. *Environ Health Perspect*, 109(3):305–309, 2001.
- [8] I. Kobal, M. Ancik, M. Skofljaneč. Variation of ^{222}Rn air concentration in Postojna cave. *Radiat Prot Dosim*, 25(3):207–211, 1988.
- [9] D.P. Loomis. Radon concentrations and exposure levels in Hungarian caves. *Health Phys*, 71(3):362–369, 1996.
- [10] I. Kobal, S. Fedina. Radiation doses at the Radenci health resort. *Radiat Prot Dosim*, 20(4):257–259, 1987.
- [11] I. Kobal, A. Renier. Radioactivity of the Atomic Spa at Podčetrtek, Slovenia, Yugoslavia. *Health Phys*, 53(3):307–310, 1987.
- [12] P. Szerbin, G. Koteles, D. Stur. Radon concentrations in Rudas thermal bath, Budapest. *Radiat Prot Dosim*, 56(1-4):319–322, 1994.
- [13] 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.

- [14] A. Reichelt, K. Lehmann. Antropogene Stoffe und Produkte mit natürlichen Radionukliden, Teil 2: Untersuchungen zur Strahlenexposition beim beruflichen Umgang. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1993.
- [15] A. Reichelt, 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.
- [16] H.M. Prichard, T.F. Gesell. Radon-222 in municipal water supplies in the central United States. *Health Phys*, 45(5):991–993, 1983.
- [17] D.L. Henshaw, J. Perryman, P.A. Jeitch, J.E. Allen, G.C. Camplin. Radon in domestic water supplies in the UK. *Radiat Prot Dosim*, 46(4):285–290, 1993.
- [18] J. Schmitz, R. Nickels. Exposition durch Radon und Radonfolgeprodukte in Wasserwerken. *Z. Wasser - Abwasser*, 754–762, 1999.
- [19] E.L. Fisher, L.J. Fuortes, 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.
- [20] A. Savidou, G. Sideris, N. Zouridakis. Radon in public water supplies in Migdonia basin, central Macedonia, Northern Greece. *Health Phys*, 80:170–174, 2001.
- [21] T. Heinrich. Strahlenquellen mit natürlichen radiaktiven Stoffen: Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1997.
- [22] T. Heinrich. Radonexposition an Arbeitsplätzen in Bayerischen Wasserwerken. *Schr.-Reihe Verein WaBoLu*, 101:73–80, 1997.
- [23] 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.
- [24] Strahlenexposition an Arbeitsplätzen durch natürliche Radionuklide: Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission, Band 10. *Berichte der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1997. ISBN 3-437-21336-9.
- [25] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung (StrlSchV) vom 20. Juli 2001. In: *Bundesgesetzblatt, Teil I*, 1713–1848. 2001.
- [26] 90/143/EURATOM. Commission recommendation on 21 Feb. 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon: The Commission of the European Community. *Official Journal No. L 080 27/03/1990*, 1990.

- [27] Zur Radon-Exposition der Bevölkerung. In: Empfehlungen der Strahlenschutzkommission zu speziellen Fragen des Strahlenschutzes in den Jahren 1974 - 1984. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1980. ISBN 3-437-11034-9.
- [28] Strahlenexposition und mögliches Lungenkrebsrisiko durch Inhalation von Radon-Zerfallsprodukten in Häusern. In: Empfehlung der Strahlenschutzkommission 1985/86. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Band 6, 1987. ISBN 3-437-11138-8.
- [29] Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radon und seine Zerfallsprodukte. In: Empfehlung der Strahlenschutzkommission 1988/89. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Band 15, 1991. ISBN 3-437-11138-8.
- [30] Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung, Band 19. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1992. ISBN 3-437-11451-4.
- [31] Schweizer Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22.06.1994. Schweizerischer Bundesrat. SR-Nummer 8.14.501. Kap. 8, Art. 110, 1994.
- [32] O. Ennemoser, W. Ambach, T. Auer, P. Brunner, P. Schneider, W. Oberaigner, F. Purtscheller, V. Stingl. High indoor radon concentrations in an Alpine region of western Tyrol. *Health Phys*, 67(2):151–154, 1994.
- [33] G.A. Swedjemark, L. Mjönes. Radon and radon daughter concentrations in Swedish homes. *Radiat Prot Dosim*, 7(1-4):341–345, 1984.
- [34] O. Castren, A. Voutilainen, K. Winqvist, I. Mäkeläinen. Studies of high indoor radon areas in Finland. *The Science of the Total Environment*, 45:311–318, 1985.
- [35] B. Sansoni, W. Matthes, J. Schnitzler. Gebiete mit erhöhter natürlicher Radioaktivität, IV. Radon-222,- Radium-226- und Urankonzentration in Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser im Fichtelgebirge, Ergebnisse der Meßfahrt Mai/Juni 1984. Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jül-2063, Mai 1986.
- [36] M. Trautmannsheimer. Zwischenbericht des Forschungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ vom 01.10.1998. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 1998.
- [37] M. Trautmannsheimer. Zwischenbericht des Forschungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ vom 01.02.2000. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2000.

- [38] M. Trautmannsheimer. Zwischenbericht des Forschungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“ vom 01.02.2001. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2001.
- [39] E. Bauer, R. Schupfner. Zwischenbericht des Forschungsvorhabens „Beurteilung der radiologischen Situation durch Rn-222 in ausgewählten Wasserwerken in Bayern“ vom 01.01.2001. Universität Regensburg, 2001.
- [40] R. Schupfner, B. Rossbacher, E. Bauer. Zwischenbericht des Forschungsvorhabens „Beurteilung der radiologischen Situation durch Rn-222 in ausgewählten Wasserwerken in Bayern“ vom 31.03.2002. Universität Regensburg, 2002.
- [41] E. Eder. Strahlenschutz in einer radonbelasteten Trinkwassergewinnungsanlage. In: Berichte der Strahlenschutzkommission: Radon Statusgespräch 1998, 17, 203–216. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Mai 1998. ISBN 3-437-25569-X.
- [42] M. Trautmannsheimer, E. Eder. Flächendeckende Erhebung der Radonexposition in bayerischen Wasserwerken. In: Forschung zum Problemkreis „Radon“: Vortragsmanuskripte des 12. Statusgespräches. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Dezember 1999.
- [43] M. Trautmannsheimer, E. Eder. Reduktion der Radonexposition bei einer Trinkwasserbehälter-Reinigung. In: Forschung zum Problemkreis „Radon“: Vortragsmanuskripte des 13. Statusgespräches. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Dezember 2000.
- [44] M. Trautmannsheimer. Radon exposure levels of water supply facility personnel in Southern Germany. In: Proceedings of the 5th Regional Congress on Radiation Protection and Safety - Regional IRPA Congress, Recife, Pernambuco-Brazil, 2001.
- [45] M. Trautmannsheimer, W. Schindlmeier, K. Hübel. Radon exposure levels of the staff in the drinking water supply facilities in Bavaria, Germany. In: Proceedings of the 5th International Conference on „High Levels of Natural Radiation and Radon areas: Radiation Dose and Health Effects“, Band 1225C, 81–86. International Congress Series, Elsevier Science B.V., 2002. ISSN 0531-0531, ISBN 0-444-50863-5.
- [46] M. Trautmannsheimer, H. Eggl, K. Hübel. Untersuchung von radonexponierten Arbeitsplätzen in bayerischen Wasserversorgungsunternehmen. In: 33. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz „Strahlenschutz für Mensch und Gesellschaft im Europa von Morgen“, Publikationsreihe „Fortschritte im Strahlenschutz“ (FS-01-118-T), 115–118. K. Mück, A. Hefner, N. Vana, TÜV-Verlag, 2001. ISSN 1013-4506, ISBN 3-8249-0661-9.
- [47] M. Trautmannsheimer, W. Schindlmeier, K. Börner. Radon concentration measurements and personnel exposure levels in Bavarian water supply facilities. akzeptiert zur Veröffentlichung in Health Phys.

- [48] H. Smith. Protection against radon-222 at home and at work, Band 4. ICRP Publication 65, Annals of the ICRP, The International Commission on Radiological Protection, Pergamon Edition, 1994.
- [49] H. Fauth, R. Hindel, U. Siewers, J. Zinner. Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland: Verteilung von Schwermetallen in Wässern und Bachsedimenten. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1985. ISBN 3-980 1097-0-4.
- [50] J. Kemski, A. Siehl, M. Valdivia-Manechecho. Klassifikation des geogenen Radon-Potentials in der Bundesrepublik Deutschland. In: Berichte der Strahlenschutzkommission: Radon Statusgespräch 1998, 17, 13–24. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Mai 1998. ISBN 3-437-25569-X.
- [51] J. Kemski, R. Klingel, A. Siehl. Classification and mapping of radon affected areas in Germany. Environm Int, 22(Suppl. 1):789–798, 1996.
- [52] J. Kemski, R. Klingel, A. Siehl. Das geogene Radon-Potential. In: Umweltradioaktivität, 179–222. Siehl, A.: Ernst & Sohn, Berlin, 1996. ISBN 3-433-01813-8.
- [53] J. Kemski, A. Siehl, M. Valdivia-Manechecho. Kartierung des geogenen Radon-Potentials in der Bundesrepublik Deutschland. In: Forschung zum Problembereich „Radon“: Vortragsmanuskripte des 9. Statusgespräches. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Oktober 1996.
- [54] J. Kemski, A. Siehl, M. Valdivia-Manechecho. Ergebnisse der Kartierung des geogenen Radon-Potentials in Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Oktober 1997.
- [55] A. Siehl. Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radonpotentials. Strahlenschutzforschung - Programmreport 1998 - Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Resortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 1–10, 1999. BfS-ISH-185/99.
- [56] K. Aurand, H. Rühle. Radon und Trinkwasser. Eigenverlag Verein WaBoLu, Berlin, 1997.
- [57] Wasserwerks-Nachbarschaften, Bayern, 10 Jahre Wasserwerksnachbarschaften Eigenüberwachungsverordnung - EÜV. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstr. 67, 80636 München, 1996.
- [58] Th. Kloepzig, R. Schneider. Erhebungsmessungen der Radonfolgeproduktkonzentration in wasserwirtschaftlichen Anlagen des Freistaats Sachsen. Radon und Trinkwasser, Schr.-Reihe Verein WaBoLu, 95–111, 1997. ISBN 3-932816-7.
- [59] J.H. Weber. Diplomarbeit: Radonmessungen in hessischen Wasserwerken. Fachhochschule Gießen-Friedberg, 2001.

- [60] R. Hentzschel, H. Ziß. Radonmessungen in Rheinland-Pfälzischen Wasserwerken. In: Forschung zum Problemkreis „Radon“: Vortragsmanuskripte des 14. Statusgespräches. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Oktober 2001.
- [61] T. Bünger. Der Gehalt natürlicher Radionuklide (Uran, Radium, Thorium u.a.) im Trinkwasser. Schr.-Reihe Verein WaBoLu, 101:125–139, 1997.
- [62] A. Wicke, J. Porstendörfer. Bestimmung kleinster Radium-226 Konzentrationen im Wasser. *J Radioanalytical Chemistry*, 56(1-2):105–112, 1980.
- [63] W.K. Drane, E.L. York, J.H. Hightower, J.E. Watson. Variation of Rn-222 in public drinking water supplies. *Health Phys*, 73:906–911, 1997.
- [64] 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.
- [65] Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) vom 21. Mai 2001. In: Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 24, 959. 2001.
- [66] K. Hopke. Development of a drinking water standard for Rn-222 in the United States. Proceedings of the 7th Tohwa University International Symposium Radon and Thoron in the Human Environment, 503–507, 1998. ISBN 981-02-3444-0.
- [67] H. Rühle. Der Radongehalt des Trinkwassers in der Bundesrepublik Deutschland: Abschluss der flächendeckenden Untersuchungen. In: Forschung zum Problemkreis „Radon“: Vortragsmanuskripte des 12. Statusgespräches. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Dezember 1999.
- [68] Richtlinie 2001/928/EURATOM der Kommission vom 20. Dezember 2001 über den Schutz der Öffentlichkeit vor der Exposition gegenüber Radon im Trinkwasser. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 2001. Az. K(2001) 4580.
- [69] H. Rühle, Th. Bünger, H. Viertel. Flächendeckende Untersuchung über den Radongehalt des Trinkwassers in der Bundesrepublik Deutschland. *BfS Jahresbericht*, ST19–ST21, 1998.
- [70] I. Kobal, J. Vaupotič, D. Mitić, J. Kristan, M. Ančik, S. Jerančič, M. Škofljanec. Natural radioactivity of fresh waters in Slovenia, Yugoslavia. *Environment International*, 16:141–154, 1990.
- [71] C. Duenas, M.C. Fernandez, C. Enriquez, J. Carretero, E. Liger. Natural radioactivity levels in Andalusian spas. *Water Research*, 32:2271–2278, 1998.
- [72] E.L. Fisher, L.J. Fuortes, J. Ledolter, D.J. Steck, R.W. Field. Temporal and spatial variation of waterborne point-of-use ²²²Rn in three water distribution systems. *Health Phys*, 74(2):242–248, 1998.

- [73] P. Tchokossa, J.B. Olomo, O.A. Osibote. Radioactivity in the community water supplies of Ife-Central and Ife-East local government areas of Osun state, Nigeria. *Nucl Instr Meth Phys Res*, A422:784–789, 1999.
- [74] W. Zhuo, T. Iida, X. Yang. Occurrence of ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{228}Ra and U in groundwater in Fujian Province, China. *J Environ Radioactivity*, 53:111–120, 2001.
- [75] M. Zalewski, M. Karpinška, Z. Mnich, J. Kapala, P. Zalewski. Study of ^{222}Rn concentrations in drinking water in the north-eastern hydroregions of Poland. *J Environ Radioactivity*, 53:167–173, 2001.
- [76] J. de Oliveira, B.P. Mazzilli, M.H. de Oliveira Sampa, E. Bambalas. Natural radionuclides in drinking water supplies of São Paulo State, Brazil and consequent population doses. *J Environ Radioactivity*, 53:99–109, 2001.
- [77] B. Erlandsson, B. Jakobsson, G. Jönsson. Studies of the radon concentration in drinking water from the horst Söderåsen in Southern Sweden. *J Environ Radioactivity*, 53:145–154, 2001.
- [78] R.A. Lima, C.M. Silva, R.S. Amaral, C.A. Hazin. Radon in drinking water from public and private supplies in the metropolitan area of Recife, in Brazil. In: Proceedings of the 5th international conference on „High levels of natural radiation and radon areas: radiation dose and health effects“, Band 2, 113–116. BfS Schriften, Bundesamt für Strahlenschutz, Wirtschaftsverlag NW/Verlag für neue Wissenschaft, 2002. ISSN 0937-4469, ISBN 3-89701-808-X.
- [79] N. Pilz. Radioaktivität und Strahlenschutz. *Wasser · Abwasser*, 143:35–38, 2002.
- [80] Strahlenschutz für Mitarbeiter - Neue Pflichten für alle Wasserversorgungsunternehmen. betrifft sicherheit, 2:20–21, 2001.
- [81] Strahlenschutz für Mitarbeiter. Berufsgenossenschaft der Gas-, Fernwärme- und Wasserwirtschaft, Postfach 101562, 40006 Düsseldorf, Sonderdruck, BGFW 083.02001, 2001.
- [82] A. Reineking, J. Porstendörfer. „Unattached“ fraction of short-lived Rn decay products in indoor and outdoor environments: an improved single-screen method and results. *Health Phys*, 58(6):715–727, 1990.
- [83] J. Schwedt, W. Ullmann, P. Hamel, V. Schmidt. Übersicht über Methoden für orts- und personengebundene Messungen von Radon und Radonzerfallsprodukten. Workshop „Strahlenschutzüberwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhten Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten und Qualitätssicherung der Überwachungsmessungen“, B1, 1999. BfS-Schr-20/99.
- [84] T. Haninger, W. Wahl. Experimentelle Überprüfung des Ansprechverhaltens eines passiven Radondosimeters mit CR-39 Detektor bei Kurzzeitexpositionen. In: Forschung zum Problemkreis „Radon“: Vortragsmanuskripte des 12. Statusgespräches. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Dezember 1999.

- [85] D.T. Bartlett, G.J. Gilvin, D.W. Dixon, H.L. Solanki, J.C.H. Miles. The performance of the NRPB radon personal dosimeter. *Rad Prot Dos*, 17:139–142, 1986.
- [86] D.T. Bartlett, G.J. Gilvin, R. Still, D.W. Dixon, J.C.H. Miles. The NRPB radon personal dosimetry service. *J Radiol Prot*, 8(No.1):19–24, 1988.
- [87] V. Schmidt, W. Ullmann, P. Hamel. Kalibrierung von Radonmeßgeräten im Bundesamt für Strahlenschutz. Workshop „Strahlenschutzüberwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhten Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten und Qualitätssicherung der Überwachungsmessungen“, C4, 1999. BfS-Schr-20/99.
- [88] V. Schmidt, J. Schwedt, W. Ullmann. Ergebnisse von vergleichenden Laboratoriumsuntersuchungen an mit Kernspurdetektoren ausgerüsteten Messsystemen. Workshop „Strahlenschutzüberwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhten Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten und Qualitätssicherung der Überwachungsmessungen“, C5, 1999. BfS-Schr-20/99.
- [89] D. Al-Azmi, B. Snopek, A.M. Sayed, T. Domanski. A method of measuring radon (^{222}Rn) gas content in water samples based on the high solubility of radon gas in olive oil. In: Proceedings of the 5th international conference on „High levels of natural radiation and radon areas: radiation dose and health effects“, Band 2, 57–59. Bundesamt für Strahlenschutz, 2002. ISSN 0937-4469, ISBN 3-89701-808-X.
- [90] K. Haberer. Radium-226 in Filterschlämmen der Grundwasseraufbereitung. *Vom Wasser*, 92:335–345, 1999.
- [91] J. Hofmann, R. Leicht, H.J. Wingender, J. Wörner. Radiological impact due to wastes containing radionuclides from use and treatment of water. In: Nuclear Safety and the Environment. European Commission, 2000. Report EUR 19255.
- [92] Guidelines for drinking-water quality, second edition, Band 2. World Health Organisation, 1996. ISBN 9241544805.
- [93] DIN 4046, Wasserversorgung. Normenausschuß Wasserwesen im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., September 1983.
- [94] Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten, Band 47. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Urban und Fischer Verlag, München, 2002. ISBN 3-437-21478-0.
- [95] P. Deus, E. Ettenhuber, R. Lehmann, W. Ullmann. Übersicht über die Messung von Radon und Radonzerfallsprodukten. Publikationsreihe „Fortschritte im Strahlenschutz“ des Fachverbandes für Strahlenschutz, 2000.

Anhang

A Auswertung der Erhebungsbögen

Dieses Kapitel enthält mehrere Tabellen des gleichen Typs mit getrennter Auswertung der unterschiedlichen zehn geologischen Regionen in 10 Zeilen und 4 Spalten, bezeichnet mit „klein“, „mittel“ und „groß“, aufgeschlüsselt nach Kategorien der Wasserabgabemenge des Wasserversorgungsunternehmens. Mit „klein“ wird ein Wasserversorgungsunternehmen mit einer Abgabe von unter 100.000 Kubikmeter pro Jahr bezeichnet. Der Bereich „mittel“ eine Abgabemenge von 100.000 bis zu 1 Million Kubikmeter pro Jahr. Wasserversorgungsunternehmen mit einer Abgabemenge über 1 Million Kubikmeter pro Jahr werden als „groß“ bezeichnet. Die Zeile „total“ enthält die Summe über alle Regionen einer Größenkategorie. Die Zeile „MW“ enthält den Mittelwert einer Größenkategorie, gemittelt über alle Regionen. Falls nicht anders in der Tabellenüberschrift angegeben, geben die in Klammern gesetzten Prozentzahlen in den Spalten „klein“, „mittel“ und „groß“ den Anteil der jeweiligen Wasserversorgungsunternehmen-Größenkategorie zu allen Wasserversorgungsunternehmen einer Region (Zeile) an. Die Spalte „total“ gibt den Anteil der Wasserversorgungsunternehmen der jeweiligen Region zur Gesamtzahl der Wasserversorgungsunternehmen an. Die Spalte „MW“ gibt den Mittelwert über alle Größenkategorien einer Region an.

A.1 Verteilung der Wasserversorgungsunternehmen und Beteiligung an der Fragebogenaktion

Tabelle A.1: Verteilung der angeschriebenen Wasserversorgungsunternehmen.

Region	klein	mittel	groß	total
1	37 (34,9%)	67 (63,2%)	2 (1,9%)	106 (4,1%)
2	131 (52,2%)	111 (44,2%)	9 (3,6%)	251 (9,7%)
3	121 (33,3%)	211 (58,1%)	31 (8,5%)	363 (14,0%)
4	71 (33,0%)	128 (59,5%)	16 (7,4%)	215 (8,3%)
5	247 (58,0%)	166 (39,0%)	13 (3,1%)	426 (16,5%)
6	14 (38,9%)	19 (52,8%)	3 (8,3%)	36 (1,4%)
7	163 (34,0%)	261 (54,5%)	55 (11,5%)	479 (18,5%)
8	297 (52,8%)	226 (40,1%)	40 (7,1%)	563 (21,8%)
9	74 (57,8%)	47 (36,7%)	7 (5,5%)	128 (5,0%)
10	6 (33,3%)	9 (50,0%)	3 (16,7%)	18 (0,7%)
total	1.161 (44,9%)	1.245 (48,2%)	179 (6,9%)	2.585 (100,0%)

Tabelle A.2: Anzahl der Wasserversorgungsunternehmen, die geantwortet haben. 2 Briefe unzustellbar. (Prozentzahlen bezogen auf alle angeschriebenen Wasserversorgungsunternehmen).

Region	klein	mittel	groß	total
1	19 (51,4%)	35 (52,2%)	1 (50,0%)	55 (51,9%)
2	50 (38,2%)	52 (46,8%)	8 (88,9%)	110 (43,8%)
3	47 (38,8%)	128 (60,7%)	18 (58,1%)	193 (53,2%)
4	23 (32,4%)	78 (60,9%)	12 (75,0%)	113 (52,6%)
5	78 (31,6%)	104 (62,7%)	10 (76,9%)	192 (45,1%)
6	4 (28,6%)	9 (47,4%)	3 (100,0%)	16 (44,4%)
7	62 (38,0%)	175 (67,0%)	44 (80,0%)	281 (58,7%)
8	68 (22,9%)	114 (50,4%)	28 (70,0%)	210 (37,3%)
9	16 (21,6%)	22 (46,8%)	6 (85,7%)	44 (34,4%)
10	3 (50,0%)	5 (55,6%)	2 (66,7%)	10 (55,6%)
total	370 (31,9%)	722 (58,0%)	132 (73,7%)	1.224 (47,4%)

A.2 Interesse an Radonmessungen

Tabelle A.3: Anzahl der Wasserversorgungsunternehmen, die bereit waren, bei den Radonmessungen mitzumachen. (Prozentzahlen bezogen auf alle Wasserversorgungsunternehmen, die geantwortet haben).

Region	klein	mittel	groß	total
1	16 (84,2%)	32 (91,4%)	1 (100,0%)	49 (89,1%)
2	21 (42,0%)	35 (67,3%)	7 (87,5%)	63 (57,3%)
3	28 (59,6%)	102 (79,7%)	18 (100,0%)	148 (76,7%)
4	12 (52,2%)	69 (88,5%)	12 (100,0%)	93 (82,3%)
5	55 (70,5%)	93 (89,4%)	10 (100,0%)	158 (82,3%)
6	4 (100,0%)	6 (66,7%)	3 (100,0%)	13 (81,2%)
7	33 (53,2%)	141 (80,6%)	42 (95,5%)	216 (76,9%)
8	33 (48,5%)	94 (82,5%)	25 (89,3%)	152 (72,4%)
9	12 (75,0%)	20 (90,9%)	6 (100,0%)	38 (86,4%)
10	3 (100,0%)	3 (60,0%)	2 (100,0%)	8 (80,0%)
total	217 (58,6%)	595 (82,4%)	126 (95,5%)	938 (76,6%)

A.3 Statistik über die Beschäftigten der Wasserversorgungsunternehmen

Anhang D enthält ein Muster des in diesem Unterkapitel erwähnten Erhebungsbogen II.

Tabelle A.4: In Erhebungsbogen II erfasste Beschäftigte.

Region	klein	mittel	groß	total
1	24 (26,7%)	63 (70,0%)	3 (3,3%)	90 (4,7%)
2	30 (24,2%)	63 (50,8%)	31 (25,0%)	124 (6,5%)
3	44 (12,6%)	221 (63,5%)	83 (23,9%)	348 (18,2%)
4	17 (8,8%)	130 (67,0%)	47 (24,2%)	194 (10,1%)
5	86 (29,7%)	171 (59,0%)	33 (11,4%)	290 (15,1%)
6	4 (22,2%)	9 (50,0%)	5 (27,8%)	18 (0,9%)
7	50 (10,8%)	295 (63,6%)	119 (25,6%)	464 (24,2%)
8	62 (20,3%)	164 (53,8%)	79 (25,9%)	305 (15,9%)
9	17 (24,6%)	38 (55,1%)	14 (20,3%)	69 (3,6%)
10	5 (33,3%)	4 (26,7%)	6 (40,0%)	15 (0,8%)
total	339 (17,7%)	1.158 (60,4%)	420 (21,9%)	1.917 (100,0%)

Tabelle A.5: Anzahl Wasserversorgungsunternehmen, die Beschäftigte im Erhebungsbogen II angegeben haben. (Prozentzahlen bezogen auf alle Wasserversorgungsunternehmen).

Region	klein	mittel	groß	total
1	16 (43,2%)	31 (46,3%)	1 (50,0%)	48 (45,3%)
2	22 (16,8%)	37 (33,3%)	8 (88,9%)	67 (26,7%)
3	30 (24,8%)	109 (51,7%)	18 (58,1%)	157 (43,3%)
4	12 (16,9%)	71 (55,5%)	11 (68,8%)	94 (43,7%)
5	56 (22,7%)	95 (57,2%)	9 (69,2%)	160 (37,6%)
6	4 (28,6%)	7 (36,8%)	3 (100,0%)	14 (38,9%)
7	36 (22,1%)	151 (57,9%)	39 (70,9%)	226 (47,2%)
8	49 (16,5%)	100 (44,2%)	28 (70,0%)	177 (31,4%)
9	13 (17,6%)	20 (42,6%)	6 (85,7%)	39 (30,5%)
10	3 (50,0%)	3 (33,3%)	2 (66,7%)	8 (44,4%)
total	241 (20,8%)	624 (50,1%)	125 (69,8%)	990 (38,3%)

Tabelle A.6: Mittlere Anzahl der Beschäftigten pro Wasserversorgungsunternehmen.

Region	klein	mittel	groß	MW
1	1,5	2,0	3,0	1,9
2	1,4	1,7	3,9	1,9
3	1,5	2,0	4,6	2,2
4	1,4	1,8	4,3	2,1
5	1,5	1,8	3,7	1,8
6	1,0	1,3	1,7	1,3
7	1,4	2,0	3,1	2,1
8	1,3	1,6	2,8	1,7
9	1,3	1,9	2,3	1,8
10	1,7	1,3	3,0	1,9
MW	1,4	1,9	3,4	1,9

Tabelle A.7: Hochrechnung der Anzahl der Beschäftigten in den Wassergewinnungsanlagen in Bayern.

Region	klein	mittel	groß	total
1	56 (28,3%)	136 (68,7%)	6 (3,0%)	198 (4,4%)
2	179 (44,4%)	189 (46,9%)	35 (8,7%)	403 (8,9%)
3	177 (23,7%)	428 (57,2%)	143 (19,1%)	748 (16,6%)
4	101 (25,1%)	234 (58,1%)	68 (16,9%)	403 (8,9%)
5	379 (52,2%)	299 (41,2%)	48 (6,6%)	726 (16,1%)
6	14 (32,6%)	24 (55,8%)	5 (11,6%)	43 (1,0%)
7	226 (25,0%)	510 (56,4%)	168 (18,6%)	904 (20,0%)
8	376 (43,7%)	371 (43,1%)	113 (13,1%)	860 (19,0%)
9	97 (48,0%)	89 (44,1%)	16 (7,9%)	202 (4,5%)
10	10 (32,3%)	12 (38,7%)	9 (29,0%)	31 (0,7%)
total	1.615 (35,7%)	2.292 (50,7%)	611 (13,5%)	4.518 (100,0%)

Tabelle A.8: Prozentuale Verteilung der Beschäftigten (männlich/weiblich).

männlich, 1.657 Personen (99,6%)			
	Verantwortlicher	Stellvertreter	total
Hauptberuflich	56,8	17,0	73,8
Nebenberuflich	20,3	5,9	26,2
total	77,1	22,9	100,0
weiblich, 7 Personen (0,4%)			
	Verantwortlicher	Stellvertreter	total
Hauptberuflich	14,3	57,1	71,4
Nebenberuflich	0,0	28,6	28,6
total	14,3	85,7	100,0

Tabelle A.9: Prozentuale Verteilung der Beschäftigten nach Berufsgruppen.

Wasserwarte, 1.573 Personen (94,1%)			
	Verantwortlicher	Stellvertreter	total
Hauptberuflich	55,4	17,8	73,2
Nebenberuflich	20,5	6,4	26,8
total	75,8	24,2	100,0
Wassermeister, 53 Personen (3,2%)			
	Verantwortlicher	Stellvertreter	total
Hauptberuflich	84,9	0,0	84,9
Nebenberuflich	15,1	0,0	15,1
total	100,0	0,0	100,0
Arbeiter, 40 Personen (2,4%)			
	Verantwortlicher	Stellvertreter	total
Hauptberuflich	65,0	12,5	77,5
Nebenberuflich	15,0	7,5	22,5
total	80,0	20,0	100,0
Sonstige, 6 Personen (0,4%)			
	Verantwortlicher	Stellvertreter	total
Hauptberuflich	50,0	50,0	100,0
Nebenberuflich	0,0	0,0	0,0
total	50,0	50,0	100,0

Tabelle A.10: Prozentuale Verteilung der Beschäftigten nach Wasserversorgungsunternehmen-Größe.

Beschäftigte in kleinen WVU, 291 Personen (17,4%)			
	Verantwortlicher	Stellvertreter	total
Hauptberuflich	27,5	49,8	77,3
Nebenberuflich	10,3	12,4	22,7
total	37,8	62,2	100,0
Beschäftigte in mittleren WVU, 1.030 Personen (61,6%)			
	Verantwortlicher	Stellvertreter	total
Hauptberuflich	58,4	13,3	71,7
Nebenberuflich	21,7	6,5	28,3
total	80,2	19,8	100,0
Beschäftigte in großen WVU, 352 Personen (21,0%)			
	Verantwortlicher	Stellvertreter	total
Hauptberuflich	75,0	1,7	76,7
Nebenberuflich	23,3	0,0	23,3
total	98,3	1,7	100,0

Tabelle A.11: Anteil der nebenberuflich Beschäftigten bezogen auf alle Mitarbeiter und auf die verschiedenen Regionen in Prozent.

Region	klein	mittel	groß	MW
1	54,5	13,8	0,0	24,4
2	66,7	21,2	4,2	29,1
3	50,0	8,0	4,1	12,4
4	62,5	18,5	0,0	17,7
5	40,0	14,0	0,0	20,5
6	100,0	77,8	0,0	61,1
7	71,4	22,0	0,0	21,1
8	90,4	39,0	4,0	39,2
9	78,6	12,5	0,0	28,0
10	40,0	0,0	0,0	16,7
MW	62,2	19,8	1,7	23,4

A.4 Statistik über die Anzahl der Gebäude der Wasserversorgungsunternehmen

Anhang D enthält ein Muster des in diesem Unterkapitel erwähnten Erhebungsbogen I.

A.4.1 Brunnen

Tabelle A.12: Anzahl Wasserversorgungsunternehmen, die Anlagen im Erhebungsbogen I angegeben haben. (Prozentzahlen bezogen auf alle Wasserversorgungsunternehmen).

Region	klein	mittel	groß	total
1	17 (45,9%)	31 (46,3%)	1 (50,0%)	49 (46,2%)
2	23 (17,6%)	36 (32,4%)	8 (88,9%)	67 (26,7%)
3	30 (24,8%)	110 (52,1%)	18 (58,1%)	158 (43,5%)
4	14 (19,7%)	70 (54,7%)	11 (68,8%)	95 (44,2%)
5	58 (23,5%)	94 (56,6%)	9 (69,2%)	161 (37,8%)
6	4 (28,6%)	7 (36,8%)	2 (66,7%)	13 (36,1%)
7	40 (24,5%)	151 (57,9%)	40 (72,7%)	231 (48,2%)
8	49 (16,5%)	100 (44,2%)	28 (70,0%)	177 (31,4%)
9	13 (17,6%)	20 (42,6%)	5 (71,4%)	38 (29,7%)
10	3 (50,0%)	3 (33,3%)	2 (66,7%)	8 (44,4%)
total	251 (21,6%)	622 (50,0%)	124 (69,3%)	997 (38,6%)

Tabelle A.13: In Erhebungsbogen I angegebene Brunnen.

Region	klein	mittel	groß	total
1	21 (19,6%)	84 (78,5%)	2 (1,9%)	107 (3,3%)
2	28 (7,9%)	122 (34,6%)	203 (57,5%)	353 (10,7%)
3	53 (8,7%)	339 (55,7%)	217 (35,6%)	609 (18,5%)
4	17 (7,2%)	155 (65,7%)	64 (27,1%)	236 (7,2%)
5	140 (18,8%)	542 (72,8%)	63 (8,5%)	745 (22,7%)
6	5 (17,2%)	10 (34,5%)	14 (48,3%)	29 (0,9%)
7	52 (7,1%)	366 (50,2%)	311 (42,7%)	729 (22,2%)
8	49 (13,9%)	182 (51,6%)	122 (34,6%)	353 (10,7%)
9	10 (15,6%)	35 (54,7%)	19 (29,7%)	64 (1,9%)
10	6 (9,5%)	6 (9,5%)	51 (81,0%)	63 (1,9%)
total	381 (11,6%)	1.841 (56,0%)	1.066 (32,4%)	3.288 (100,0%)

Tabelle A.14: Mittlere Brunnenanzahl pro Wasserversorgungsunternehmen.

Region	klein	mittel	groß	MW
1	1,2	2,7	2,0	2,2
2	1,2	3,4	25,4	5,3
3	1,8	3,1	12,1	3,9
4	1,2	2,2	5,8	2,5
5	2,4	5,8	7,0	4,6
6	1,2	1,4	7,0	2,2
7	1,3	2,4	7,8	3,2
8	1,0	1,8	4,4	2,0
9	0,8	1,8	3,8	1,7
10	2,0	2,0	25,5	7,9
MW	1,5	3,0	8,6	3,3

Tabelle A.15: Hochrechnung der Anzahl der Brunnen in Bayern.

Region	klein	mittel	groß	total
1	46 (19,8%)	182 (78,4%)	4 (1,7%)	232 (3,4%)
2	159 (20,8%)	376 (49,3%)	228 (29,9%)	763 (11,2%)
3	214 (17,3%)	650 (52,5%)	374 (30,2%)	1.238 (18,1%)
4	86 (18,6%)	283 (61,3%)	93 (20,1%)	462 (6,8%)
5	596 (36,3%)	957 (58,2%)	91 (5,5%)	1.644 (24,1%)
6	17 (26,2%)	27 (41,5%)	21 (32,3%)	65 (1,0%)
7	212 (16,7%)	633 (49,7%)	428 (33,6%)	1.273 (18,6%)
8	297 (33,7%)	411 (46,6%)	174 (19,7%)	882 (12,9%)
9	57 (34,3%)	82 (49,4%)	27 (16,3%)	166 (2,4%)
10	12 (11,3%)	18 (17,0%)	76 (71,7%)	106 (1,6%)
total	1.696 (24,8%)	3.619 (53,0%)	1.516 (22,2%)	6.831 (100,0%)

A.4.2 Hochbehälter

Tabelle A.16: In Erhebungsbogen I angegebene Hochbehälter.

Region	klein	mittel	groß	total
1	32 (19,5%)	117 (71,3%)	15 (9,1%)	164 (5,5%)
2	38 (14,3%)	117 (44,0%)	111 (41,7%)	266 (8,8%)
3	59 (10,6%)	381 (68,6%)	115 (20,7%)	555 (18,5%)
4	38 (11,9%)	213 (66,6%)	69 (21,6%)	320 (10,6%)
5	111 (19,8%)	387 (69,0%)	63 (11,2%)	561 (18,7%)
6	7 (11,9%)	27 (45,8%)	25 (42,4%)	59 (2,0%)
7	58 (10,7%)	356 (65,4%)	130 (23,9%)	544 (18,1%)
8	78 (19,0%)	227 (55,2%)	106 (25,8%)	411 (13,7%)
9	18 (18,0%)	56 (56,0%)	26 (26,0%)	100 (3,3%)
10	6 (21,4%)	7 (25,0%)	15 (53,6%)	28 (0,9%)
total	445 (14,8%)	1.888 (62,8%)	675 (22,4%)	3.008 (100,0%)

Tabelle A.17: Mittlere Hochbehälteranzahl pro Wasserversorgungsunternehmen.

Region	klein	mittel	groß	MW
1	1,9	3,8	15,0	3,3
2	1,7	3,2	13,9	4,0
3	2,0	3,5	6,4	3,5
4	2,7	3,0	6,3	3,4
5	1,9	4,1	7,0	3,5
6	1,8	3,9	12,5	4,5
7	1,4	2,4	3,2	2,4
8	1,6	2,3	3,8	2,3
9	1,4	2,8	5,2	2,6
10	2,0	2,3	7,5	3,5
MW	1,8	3,0	5,4	3,0

Tabelle A.18: Hochrechnung der Anzahl der Hochbehälter in Bayern.

Region	klein	mittel	groß	total
1	70 (19,8%)	253 (71,7%)	30 (8,5%)	353 (5,2%)
2	216 (30,8%)	361 (51,4%)	125 (17,8%)	702 (10,4%)
3	238 (20,4%)	731 (62,6%)	198 (17,0%)	1.167 (17,2%)
4	193 (28,3%)	389 (57,0%)	100 (14,7%)	682 (10,1%)
5	473 (37,9%)	683 (54,8%)	91 (7,3%)	1.247 (18,4%)
6	24 (17,9%)	73 (54,5%)	37 (27,6%)	134 (2,0%)
7	236 (22,9%)	615 (59,7%)	179 (17,4%)	1.030 (15,2%)
8	473 (41,6%)	513 (45,1%)	151 (13,3%)	1.137 (16,8%)
9	102 (37,8%)	132 (48,9%)	36 (13,3%)	270 (4,0%)
10	12 (21,8%)	21 (38,2%)	22 (40,0%)	55 (0,8%)
total	2.037 (30,1%)	3.771 (55,6%)	969 (14,3%)	6.777 (100,0%)

A.4.3 Sammelschächte

Tabelle A.19: In Erhebungsbogen I angegebene Sammelschächte.

Region	klein	mittel	groß	total
1	7 (18,4%)	30 (78,9%)	1 (2,6%)	38 (2,0%)
2	11 (6,6%)	115 (68,9%)	41 (24,6%)	167 (9,0%)
3	20 (9,0%)	137 (62,0%)	64 (29,0%)	221 (11,9%)
4	7 (2,6%)	257 (95,2%)	6 (2,2%)	270 (14,5%)
5	106 (16,1%)	523 (79,5%)	29 (4,4%)	658 (35,3%)
6	2 (11,8%)	6 (35,3%)	9 (52,9%)	17 (0,9%)
7	32 (14,9%)	125 (58,1%)	58 (27,0%)	215 (11,5%)
8	35 (19,8%)	78 (44,1%)	64 (36,2%)	177 (9,5%)
9	9 (17,0%)	22 (41,5%)	22 (41,5%)	53 (2,8%)
10	3 (6,4%)	8 (17,0%)	36 (76,6%)	47 (2,5%)
total	232 (12,5%)	1.301 (69,8%)	330 (17,7%)	1.863 (100,0%)

Tabelle A.20: Mittlere Sammelschächteanzahl pro Wasserversorgungsunternehmen.

Region	klein	mittel	groß	MW
1	0,4	1,0	1,0	0,8
2	0,5	3,2	5,1	2,5
3	0,7	1,2	3,6	1,4
4	0,5	3,7	0,5	2,8
5	1,8	5,6	3,2	4,1
6	0,5	0,9	4,5	1,3
7	0,8	0,8	1,4	0,9
8	0,7	0,8	2,3	1,0
9	0,7	1,1	4,4	1,4
10	1,0	2,7	18,0	5,9
MW	0,9	2,1	2,7	1,9

Tabelle A.21: Hochrechnung der Anzahl der Sammelschächte in Bayern.

Region	klein	mittel	groß	total
1	15 (18,3%)	65 (79,3%)	2 (2,4%)	82 (2,0%)
2	63 (13,6%)	355 (76,5%)	46 (9,9%)	464 (11,3%)
3	81 (17,8%)	263 (57,9%)	110 (24,2%)	454 (11,1%)
4	36 (7,0%)	470 (91,3%)	9 (1,7%)	515 (12,6%)
5	451 (31,8%)	924 (65,2%)	42 (3,0%)	1.417 (34,6%)
6	7 (19,4%)	16 (44,4%)	13 (36,1%)	36 (0,9%)
7	130 (30,5%)	216 (50,7%)	80 (18,8%)	426 (10,4%)
8	212 (44,3%)	176 (36,7%)	91 (19,0%)	479 (11,7%)
9	51 (38,1%)	52 (38,8%)	31 (23,1%)	134 (3,3%)
10	6 (7,1%)	24 (28,6%)	54 (64,3%)	84 (2,1%)
total	1.052 (25,7%)	2.561 (62,6%)	478 (11,7%)	4.091 (100,0%)

A.4.4 Aufbereitungsanlagen mit offenen Filtern

Tabelle A.22: In Erhebungsbogen I angegebene Aufbereitungsanlagen mit offenen Filtern.

Region	klein	mittel	groß	total
1	12 (29,3%)	25 (61,0%)	4 (9,8%)	41 (11,0%)
2	2 (15,4%)	3 (23,1%)	8 (61,5%)	13 (3,5%)
3	11 (16,4%)	39 (58,2%)	17 (25,4%)	67 (18,0%)
4	0 (0,0%)	2 (50,0%)	2 (50,0%)	4 (1,1%)
5	51 (22,6%)	167 (73,9%)	8 (3,5%)	226 (60,8%)
6	0 (-%)	0 (-%)	0 (-%)	0 (0,0%)
7	2 (18,2%)	9 (81,8%)	0 (0,0%)	11 (3,0%)
8	1 (50,0%)	0 (0,0%)	1 (50,0%)	2 (0,5%)
9	0 (-%)	0 (-%)	0 (-%)	0 (0,0%)
10	2 (25,0%)	1 (12,5%)	5 (62,5%)	8 (2,2%)
total	81 (21,8%)	246 (66,1%)	45 (12,1%)	372 (100,0%)

Tabelle A.23: Mittlere Anzahl der Aufbereitungsanlagen mit offenen Filtern pro Wasserversorgungsunternehmen.

Region	klein	mittel	groß	MW
1	0,7	0,8	4,0	0,8
2	0,1	0,1	1,0	0,2
3	0,4	0,4	0,9	0,4
4	0,0	0,0	0,2	0,0
5	0,9	1,8	0,9	1,4
6	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,1	0,1	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,7	0,3	2,5	1,0
MW	0,3	0,4	0,4	0,4

Tabelle A.24: Hochrechnung der Anzahl der Aufbereitungsanlagen mit offenen Filtern in Bayern.

Region	klein	mittel	groß	total
1	26 (29,5%)	54 (61,4%)	8 (9,1%)	88 (10,5%)
2	11 (37,9%)	9 (31,0%)	9 (31,0%)	29 (3,4%)
3	44 (29,7%)	75 (50,7%)	29 (19,6%)	148 (17,6%)
4	0 (0,0%)	4 (57,1%)	3 (42,9%)	7 (0,8%)
5	217 (41,4%)	295 (56,3%)	12 (2,3%)	524 (62,3%)
6	0 (-%)	0 (-%)	0 (-%)	0 (0,0%)
7	8 (33,3%)	16 (66,7%)	0 (0,0%)	24 (2,9%)
8	6 (85,7%)	0 (0,0%)	1 (14,3%)	7 (0,8%)
9	0 (-%)	0 (-%)	0 (-%)	0 (0,0%)
10	4 (28,6%)	3 (21,4%)	7 (50,0%)	14 (1,7%)
total	316 (37,6%)	456 (54,2%)	69 (8,2%)	841 (100,0%)

A.4.5 Aufbereitungsanlagen mit geschlossenen Filtern

Tabelle A.25: In Erhebungsbogen I angegebene Aufbereitungen mit geschlossenen Filtern.

Region	klein	mittel	groß	total
1	2 (9,5%)	17 (81,0%)	2 (9,5%)	21 (4,3%)
2	1 (3,8%)	11 (42,3%)	14 (53,8%)	26 (5,3%)
3	11 (9,7%)	84 (74,3%)	18 (15,9%)	113 (23,0%)
4	1 (1,6%)	35 (56,5%)	26 (41,9%)	62 (12,6%)
5	12 (16,4%)	51 (69,9%)	10 (13,7%)	73 (14,8%)
6	0 (0,0%)	4 (100,0%)	0 (0,0%)	4 (0,8%)
7	14 (8,6%)	106 (65,4%)	42 (25,9%)	162 (32,9%)
8	4 (17,4%)	16 (69,6%)	3 (13,0%)	23 (4,7%)
9	2 (50,0%)	2 (50,0%)	0 (0,0%)	4 (0,8%)
10	2 (50,0%)	2 (50,0%)	0 (0,0%)	4 (0,8%)
total	49 (10,0%)	328 (66,7%)	115 (23,4%)	492 (100,0%)

Tabelle A.26: Mittlere Anzahl der Aufbereitungen mit geschlossenen Filtern pro Wasserversorgungsunternehmen.

Region	klein	mittel	groß	MW
1	0,1	0,5	2,0	0,4
2	0,0	0,3	1,8	0,4
3	0,4	0,8	1,0	0,7
4	0,1	0,5	2,4	0,7
5	0,2	0,5	1,1	0,5
6	0,0	0,6	0,0	0,3
7	0,3	0,7	1,1	0,7
8	0,1	0,2	0,1	0,1
9	0,2	0,1	0,0	0,1
10	0,7	0,7	0,0	0,5
MW	0,2	0,5	0,9	0,5

Tabelle A.27: Hochrechnung der Anzahl der Aufbereitungen mit geschlossenen Filtern in Bayern.

Region	klein	mittel	groß	total
1	4 (8,9%)	37 (82,2%)	4 (8,9%)	45 (4,5%)
2	6 (10,7%)	34 (60,7%)	16 (28,6%)	56 (5,6%)
3	44 (18,6%)	161 (68,2%)	31 (13,1%)	236 (23,6%)
4	5 (4,7%)	64 (59,8%)	38 (35,5%)	107 (10,7%)
5	51 (32,9%)	90 (58,1%)	14 (9,0%)	155 (15,5%)
6	0 (0,0%)	11 (100,0%)	0 (0,0%)	11 (1,1%)
7	57 (19,1%)	183 (61,4%)	58 (19,5%)	298 (29,9%)
8	24 (37,5%)	36 (56,2%)	4 (6,2%)	64 (6,4%)
9	11 (68,8%)	5 (31,2%)	0 (0,0%)	16 (1,6%)
10	4 (40,0%)	6 (60,0%)	0 (0,0%)	10 (1,0%)
total	206 (20,6%)	627 (62,8%)	165 (16,5%)	998 (100,0%)

A.5 Statistik über die Aufenthaltszeiten der Beschäftigten

Tabelle A.28: Aufenthalt in den Anlagen pro Jahr. Auswertung der Erhebungsbögen von 1.763 Wasserwarten. Es wurden nur Personen einbezogen, die Aufenthaltszeiten größer 0 Stunden angegeben haben. Die letzte Spalte gibt den prozentualen Anteil dieser Personen zu allen Erfassten an.

Wasserwarte	Mittelwert [h]	Minimum [h]	Maximum [h]	proz. Anteil [%]
Aufenthalt im Trinkwasserbehälter				
Behälterreinigung	34	1	850	89,4
Tätigkeiten in Beckenräumen	36	1	900	75,6
Aufenthalt in abgetrennten Räumen	129	1	1.680	77,5
Aufenthalt im Aufbereitungsgebäude				
Zur Spülung	66	1	967	19,6
Tätigkeiten in den Filtrerräumen	46	1	400	19,3
Aufenthalt in abgetrennten Räumen	236	1	1.800	14,5
Aufenthalt in Sammelschächten	29	1	365	28,0

Tabelle A.29: Aufenthalt in den Anlagen pro Jahr. Auswertung der Erhebungsbögen von 55 Wassermeistern. Es wurden nur Personen einbezogen, die Aufenthaltszeiten größer 0 Stunden angegeben haben. Die letzte Spalte gibt den prozentualen Anteil dieser Personen zu allen Erfassten an.

Wassermeister	Mittelwert [h]	Minimum [h]	Maximum [h]	proz. Anteil [%]
Aufenthalt im Trinkwasserbehälter				
Behälterreinigung	32	1	200	87,3
Tätigkeiten in Beckenräumen	41	1	350	90,9
Aufenthalt in abgetrennten Räumen	199	8	1.200	81,8
Aufenthalt im Aufbereitungsgebäude				
Zur Spülung	75	20	150	10,9
Tätigkeiten in den Filtrerräumen	110	5	500	21,8
Aufenthalt in abgetrennten Räumen	238	12	880	21,8
Aufenthalt in Sammelschächten	60	5	300	23,6

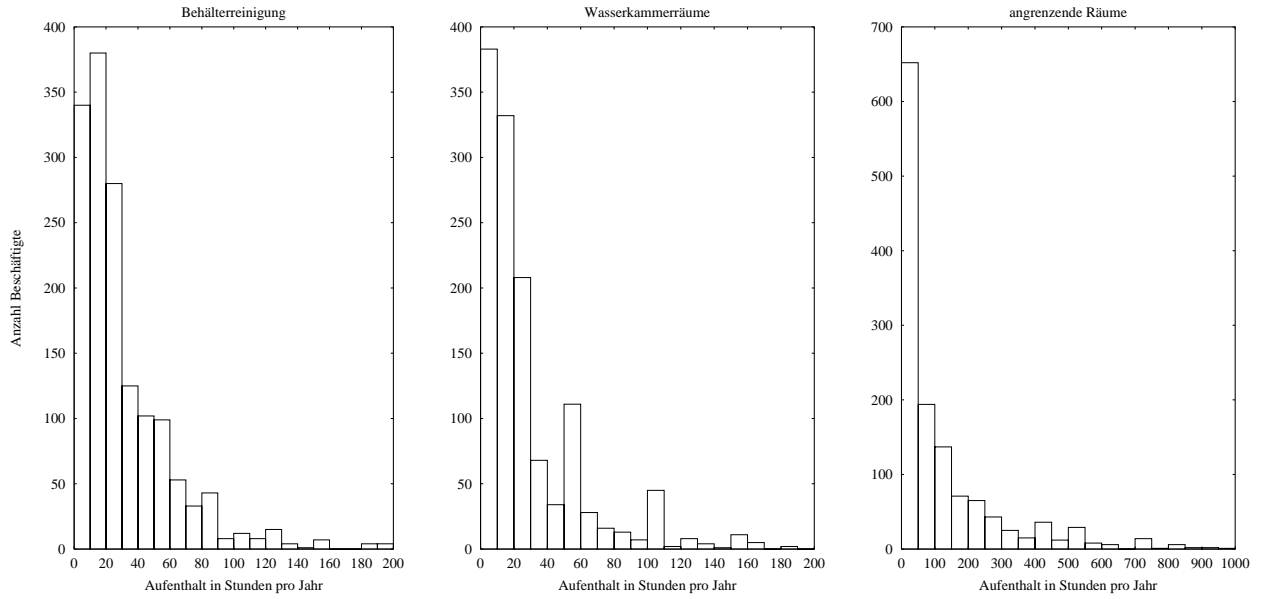


Abbildung A.1: Verteilung der jährlichen Aufenthaltsstunden im Hochbehälter.

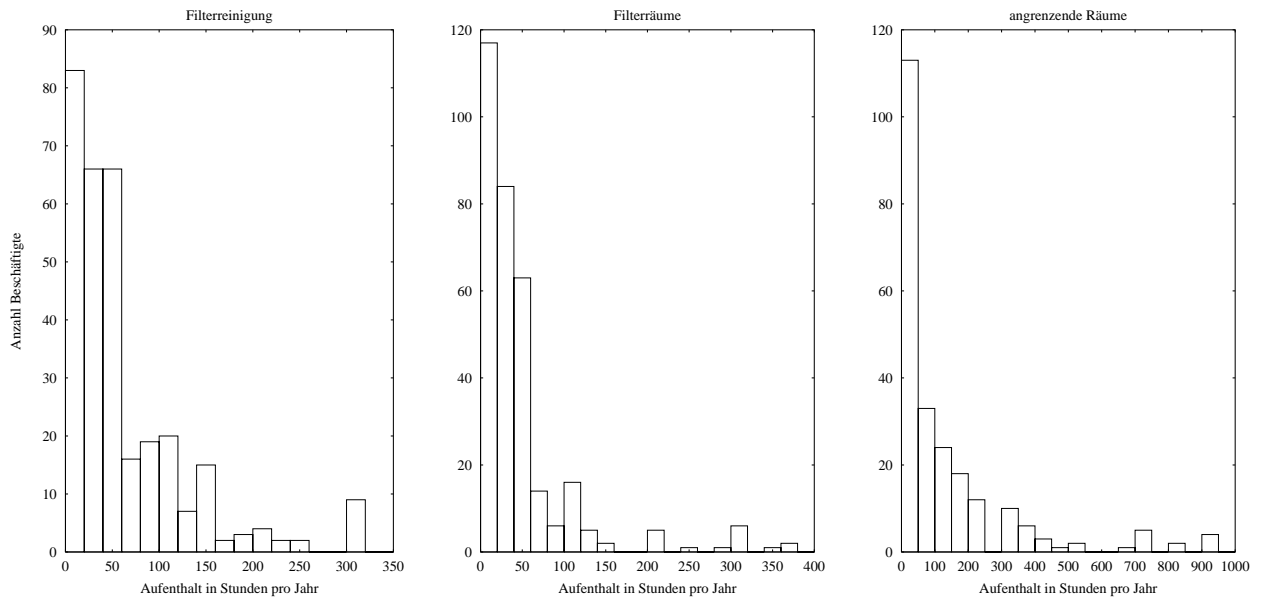


Abbildung A.2: Verteilung der jährlichen Aufenthaltsstunden im Aufbereitungsgebäude.

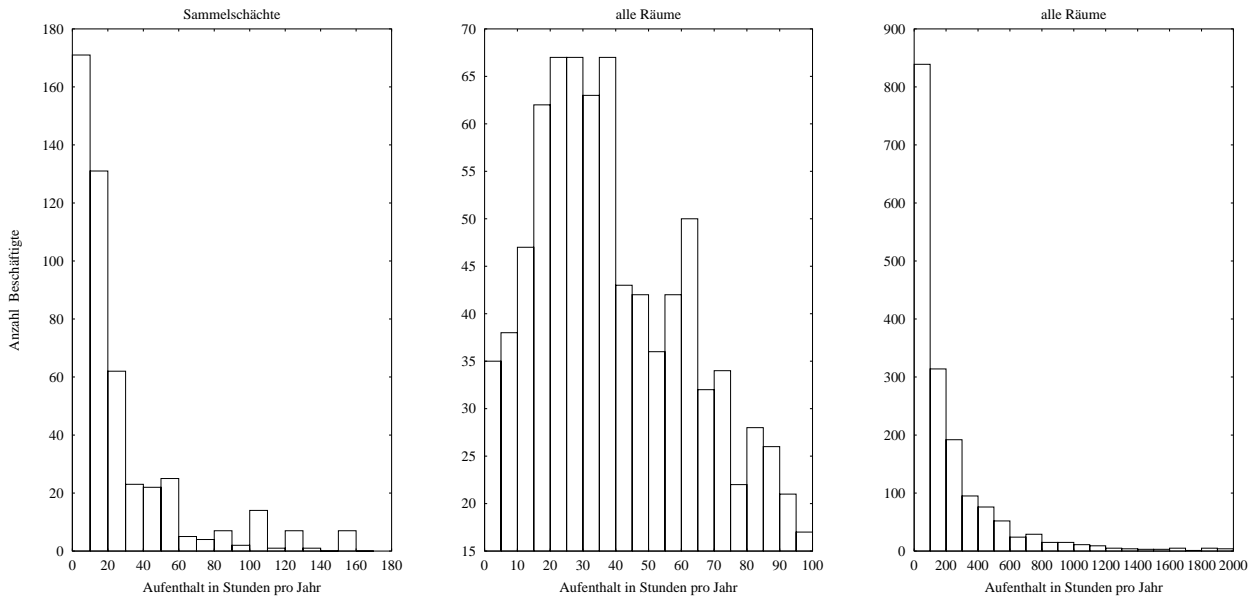


Abbildung A.3: Verteilung der jährlichen Aufenthaltsstunden in den Sammelschächten (links) und in allen Räumen (Mitte, rechts).

Tabelle A.30: Mittlerer Aufenthalt von haupt- und nebenberuflich Beschäftigten in den Anlagen pro Jahr.

Beschäftigte	hauptberuflich [h]	nebenberuflich [h]
Aufenthalt im Trinkwasserbehälter		
Behälterreinigung	40	15
Tätigkeiten in Beckenräumen	42	23
Aufenthalt in abgetrennten Räumen	153	65
Aufenthalt im Aufbereitungsgebäude		
Zur Spülung	92	39
Tätigkeiten in den Filtrerräumen	66	29
Aufenthalt in abgetrennten Räumen	188	78
Aufenthalt in Sammelschächten	40	13

Tabelle A.31: Mittlerer Aufenthalt Beschäftigter kleiner, mittlerer und großer Wasserversorgungsunternehmen in den Anlagen pro Jahr.

Beschäftigte	klein [h]	mittel [h]	groß [h]
Aufenthalt im Trinkwasserbehälter			
Behälterreinigung	15	35	55
Tätigkeiten in Beckenräumen	27	40	39
Aufenthalt in abgetrennten Räumen	83	134	147
Aufenthalt im Aufbereitungsgebäude			
Zur Spülung	37	89	90
Tätigkeiten in den Filterräumen	30	51	93
Aufenthalt in abgetrennten Räumen	60	138	537
Aufenthalt in Sammelschächten	17	32	47

Tabelle A.32: Mittlerer totaler Aufenthalt der Beschäftigten in allen Anlagen pro Jahr.

Region	klein [h]	mittel [h]	groß [h]	MW [h]
1	158	277	1.535	287
2	109	271	821	369
3	174	324	677	389
4	124	204	328	227
5	140	282	279	239
6	70	103	290	147
7	71	164	153	151
8	44	105	136	100
9	39	114	89	91
10	114	418	1.153	611
MW	108	219	356	229

Tabelle A.33: Mittlerer totaler Aufenthalt der Beschäftigten in den Hochbehältern pro Jahr.

Region	klein [h]	mittel [h]	groß [h]	MW [h]
1	80	174	772	170
2	106	241	405	250
3	152	223	232	216
4	113	193	335	220
5	92	175	126	145
6	70	100	290	146
7	70	156	167	149
8	43	107	86	88
9	47	112	122	99
10	46	262	551	306
MW	86	173	210	166

Tabelle A.34: Mittlerer totaler Aufenthalt der Beschäftigten im Aufbereitungsgebäude pro Jahr.

Region	klein [h]	mittel [h]	groß [h]	MW [h]
1	147	224	733	236
2	-	412	571	539
3	89	365	650	454
4	-	154	6	72
5	66	128	286	122
6	-	-	-	-
7	42	141	30	130
8	-	145	1.865	1.005
9	-	12	-	12
10	145	65	552	407
MW	84	205	568	270

Tabelle A.35: Mittlerer totaler Aufenthalt der Beschäftigten in den Sammelschächten pro Jahr.

Region	klein [h]	mittel [h]	groß [h]	MW [h]
1	6	33	30	26
2	23	42	105	64
3	7	25	22	22
4	37	51	4	46
5	22	38	154	38
6	1	6	-	5
7	34	20	39	26
8	6	15	19	14
9	2	25	11	16
10	25	140	100	101
MW	17	32	47	32

A.6 Statistik über die bauliche Ausführung und Wartung der Gebäude

Dieses Unterkapitel enthält eine Auswertung der Daten aus den Erhebungsbögen IIIa und IIIb (siehe Anhang D).

A.6.1 Hochbehälter

„kl. HB“ sind Hochbehälter mit einem Volumen unter 100 Kubikmeter. Die Spalte „mit. HB“ umfasst Hochbehälter mit einem Volumen von 100 bis zu 1.000 Kubikmeter. Hochbehälter mit einem Volumen größer 1.000 Kubikmeter sind in der Spalte „gr. HB“ zusammengefasst.

Tabelle A.36: Mittlere Hochbehältergröße in Kubikmeter in kleinen, mittleren und großen Wasserversorgungsunternehmen.

Region	klein	mittel	groß	MW
1	324	506	282	455
2	240	515	2.148	1.017
3	386	556	2.870	959
4	397	534	1.508	766
5	220	367	994	421
6	200	509	1.234	921
7	418	760	5.135	1.845
8	175	709	1.580	895
9	143	590	1.067	674
10	374	671	1.903	1.301
MW	278	562	2.366	946

Tabelle A.37: Mittlere Wasserabgabe der Hochbehälter in 1.000 Kubikmeter pro Jahr in kleinen, mittleren und großen Wasserversorgungsunternehmen.

Region	klein	mittel	groß	MW
1	43	116	121	107
2	41	130	970	397
3	62	137	931	282
4	64	138	782	273
5	33	84	315	106
6	41	134	735	518
7	110	205	2.239	660
8	35	167	512	255
9	25	166	303	177
10	54	66	299	158
MW	50	140	920	304

Tabelle A.38: Aufteilung der Hochbehälter bezüglich ihrer unterschiedlichen Lüftungseinrichtungen in Prozent (keine Lüftung/Schlitze/Ventilator).

Region	kl. HB	mit. HB	gr. HB	MW
1	27/ 73/ 0	8/ 86/ 5	0/100/ 0	9/ 86/ 4
2	15/ 81/ 4	6/ 83/ 11	18/ 69/ 13	10/ 80/ 10
3	31/ 67/ 2	5/ 93/ 2	0/ 96/ 4	8/ 90/ 2
4	16/ 80/ 4	2/ 98/ 0	2/ 91/ 6	3/ 95/ 2
5	12/ 87/ 1	4/ 94/ 2	0/100/ 0	5/ 94/ 1
6	-/ -/ -	3/ 93/ 3	0/100/ 0	2/ 95/ 2
7	14/ 86/ 0	5/ 93/ 2	1/ 87/ 12	5/ 91/ 5
8	14/ 86/ 0	6/ 88/ 6	1/ 97/ 1	6/ 90/ 4
9	14/ 86/ 0	0/ 98/ 2	0/ 93/ 7	3/ 95/ 2
10	-/ -/ -	0/100/ 0	0/100/ 0	0/100/ 0
MW	18/ 81/ 1	5/ 92/ 3	2/ 92/ 6	6/ 91/ 3

Tabelle A.39: Prozentualer Anteil der Hochbehälter mit angrenzenden Räumen, in denen sich Personen länger als eine Stunde pro Woche aufhalten.

Region	kl. HB	mit. HB	gr. HB	MW
1	27	21	25	22
2	42	37	38	38
3	38	26	36	30
4	42	31	51	36
5	12	21	31	20
6	-	29	83	43
7	30	34	54	39
8	9	22	26	22
9	16	21	40	23
10	-	21	50	30
MW	26	27	41	29

Tabelle A.40: Mittlere Wiederholungsrate für die Hochbehälterreinigung in Monaten.

Region	kl. HB	mit. HB	gr. HB	MW
1	12	13	10	13
2	21	16	14	16
3	15	15	15	15
4	16	17	13	16
5	19	16	14	16
6	-	17	13	16
7	14	13	13	13
8	15	15	13	14
9	13	13	12	13
10	-	15	14	14
MW	16	15	14	15

Tabelle A.41: Mittlere Dauer der Hochbehälterreinigung in Stunden.

Region	kl. HB	mit. HB	gr. HB	MW
1	4	10	15	10
2	6	14	56	22
3	7	13	27	15
4	5	12	25	13
5	7	15	36	15
6	-	9	16	11
7	8	13	28	16
8	5	11	24	13
9	7	16	24	15
10	-	13	20	16
MW	7	13	29	15

Tabelle A.42: Mittlere Anzahl der Personen für die Hochbehälterreinigung.

Region	kl. HB	mit. HB	gr. HB	MW
1	2	2	2	2
2	2	2	3	2
3	2	2	3	2
4	3	2	3	3
5	2	2	3	2
6	-	2	2	2
7	2	2	3	2
8	2	2	2	2
9	2	2	2	2
10	-	2	2	2
MW	2	2	3	2

Tabelle A.43: Aufgewendete Arbeitsstunden für die Hochbehälterreinigung pro 100 Quadratmeter Behälteroberfläche und Jahr.

Region	kl. HB	mit. HB	gr. HB	MW
1	18	9	5	10
2	17	14	17	15
3	21	12	7	13
4	22	12	8	12
5	33	16	13	18
6	-	6	4	6
7	20	11	7	10
8	17	9	7	9
9	36	16	7	19
10	-	10	4	8
MW	24	12	9	13

Tabelle A.44: Prozentualer Anteil der Hochbehälter, die von einem speziellen Reinigungsstrupp gereinigt werden.

Region	kl. HB	mit. HB	gr. HB	MW
1	12	14	0	13
2	0	14	24	14
3	17	14	25	16
4	17	10	10	10
5	19	13	39	16
6	-	0	0	0
7	7	18	19	18
8	8	13	11	12
9	14	13	7	13
10	-	22	50	31
MW	14	14	19	15

Tabelle A.45: Prozentualer Anteil der Hochbehälter, die von einer externen Firma gereinigt werden.

Region	kl. HB	mit. HB	gr. HB	MW
1	18	28	25	27
2	12	19	49	24
3	2	4	4	3
4	0	5	17	7
5	3	1	3	1
6	-	0	0	0
7	0	3	5	3
8	8	3	5	4
9	0	3	0	2
10	-	32	12	26
MW	4	6	10	6

A.6.2 Aufbereitungsanlagen

„kl. AB“ sind Aufbereitungen mit einer offenen Filterbeckenoberfläche unter 5 Quadratmeter. Die Spalte „mit. AB“ umfasst Aufbereitungen mit einer Filterbeckenoberfläche von 5 bis zu 50 Quadratmeter. Aufbereitungen mit einer Filterbeckenoberfläche größer 50 Kubikmeter sind in der Spalte „gr. AB“ zusammengefasst.

Tabelle A.46: Mittlere Filterfläche in Quadratmetern in kleinen, mittleren und großen Wasserversorgungsunternehmen.

Region	klein	mittel	groß	MW
1	9	17	15	14
2	-	16	144	102
3	5	26	131	53
4	-	8	4	6
5	6	11	41	11
6	-	3	-	3
7	2	140	-	113
8	2	16	350	180
9	-	-	-	-
10	30	4	89	69
MW	7	16	105	25

Tabelle A.47: Mittlerer Durchfluss durch die Filter in Liter pro Sekunde in kleinen, mittleren und großen Wasserversorgungsunternehmen.

Region	klein	mittel	groß	MW
1	5	8	23	9
2	-	29	90	64
3	4	21	92	37
4	-	18	2	16
5	80	7	29	24
6	-	10	-	10
7	7	29	-	26
8	11	30	220	87
9	-	-	-	-
10	7	-	131	110
MW	52	11	78	27

Tabelle A.48: Aufteilung der Aufbereitungsräume bezüglich ihrer unterschiedlichen Lüftungseinrichtungen in Prozent (Keine Lüftung/Schlitze/Ventilator).

Region	kl. AB	mit. AB	gr. AB	MW
1	0/100/ 0	3/ 90/ 7	0/100/ 0	3/ 92/ 5
2	0/100/ 0	33/ 67/ 0	0/ 33/ 67	14/ 57/ 29
3	13/ 80/ 7	21/ 79/ 0	12/ 62/ 25	18/ 77/ 5
4	0/100/ 0	0/ 80/ 20	-/ -/ -	0/ 86/ 14
5	4/ 92/ 4	4/ 92/ 4	0/ 67/ 33	4/ 91/ 5
6	0/100/ 0	-/ -/ -	-/ -/ -	0/100/ 0
7	25/ 75/ 0	25/ 75/ 0	0/100/ 0	20/ 80/ 0
8	0/100/ 0	100/ 0/ 0	0/100/ 0	25/ 75/ 0
9	-/ -/ -	-/ -/ -	-/ -/ -	-/ -/ -
10	0/100/ 0	0/100/ 0	100/ 0/ 0	14/ 86/ 0
MW	6/ 91/ 4	8/ 88/ 4	9/ 65/ 26	7/ 87/ 5

Tabelle A.49: Prozentualer Anteil der Aufbereitungsanlagen mit angrenzenden Räumen, in denen sich Personen länger als eine Stunde pro Woche aufhalten.

Region	kl. AB	mit. AB	gr. AB	MW
1	29	52	100	49
2	100	100	100	100
3	53	76	62	68
4	50	80	-	71
5	8	26	67	20
6	0	-	-	0
7	75	75	0	60
8	100	0	50	50
9	-	-	-	-
10	0	60	0	43
MW	20	42	61	36

Tabelle A.50: Mittlere Wiederholungsrate für die Filterreinigung in Monaten.

Region	kl. AB	mit. AB	gr. AB	MW
1	23	27	-	26
2	120	12	24	52
3	34	35	53	38
4	3	96	-	50
5	32	25	8	27
6	-	-	-	-
7	66	180	12	67
8	-	3	12	9
9	-	-	-	-
10	12	10	36	14
MW	33	28	30	30

Tabelle A.51: Mittlere Dauer der Filterreinigung in Stunden.

Region	kl. AB	mit. AB	gr. AB	MW
1	7	14	-	13
2	40	80	4	32
3	10	17	32	17
4	1	9	-	6
5	6	11	21	9
6	-	-	-	-
7	3	24	12	13
8	-	1	18	12
9	-	-	-	-
10	3	13	24	13
MW	7	13	22	12

Tabelle A.52: Mittlere Anzahl des Personals für die Filterreinigung.

Region	kl. AB	mit. AB	gr. AB	MW
1	3	3	-	3
2	3	2	2	2
3	3	2	2	2
4	1	2	-	1
5	2	2	2	2
6	-	-	-	-
7	1	2	1	1
8	-	1	2	2
9	-	-	-	-
10	2	2	4	2
MW	2	2	2	2

Tabelle A.53: Aufgewendete Arbeitsstunden für die Filterreinigung pro 100 Quadratmeter Filterbeckenoberfläche und Jahr.

Region	kl. AB	mit. AB	gr. AB	MW
1	267	132	-	147
2	600	356	2	319
3	744	148	23	247
4	100	57	-	79
5	519	213	75	320
6	-	-	-	-
7	150	6	5	54
8	-	25	33	30
9	-	-	-	-
10	150	131	10	116
MW	519	182	36	271

Tabelle A.54: Prozentualer Anteil der Filter, die von einem speziellen Reinigungsstrupp gereinigt werden.

Region	kl. AB	mit. AB	gr. AB	MW
1	17	8	0	10
2	0	0	33	20
3	8	30	38	26
4	0	0	-	0
5	9	12	20	11
6	-	-	-	-
7	0	0	0	0
8	-	0	50	33
9	-	-	-	-
10	0	0	100	14
MW	9	14	32	14

Tabelle A.55: Prozentualer Anteil der Filter, die von einer externen Firma gereinigt werden.

Region	kl. AB	mit. AB	gr. AB	MW
1	0	15	0	12
2	0	0	50	25
3	8	3	11	6
4	0	0	-	0
5	1	3	0	2
6	-	-	-	-
7	50	100	0	50
8	0	0	0	0
9	-	-	-	-
10	0	0	100	14
MW	3	6	14	6

B Ergebnisse der Radonmessungen in tabellarischer Form

Tabelle B.1: Ergebnisse aus 591 Messungen von Rohwasserproben aus ganz Bayern.

Region	Probenzahl	Maximalwert [Bq l ⁻¹]	Median [Bq l ⁻¹]	Mittelwert [Bq l ⁻¹]
1	25	46	12	14
2	34	68	11	16
3	104	266	10	19
4	55	38	6	8
5	198	1.220	50	120
6	11	16	4	6
7	73	132	6	10
8	54	140	8	11
9	28	29	6	8
10	9	40	9	13

Tabelle B.2: Verteilung der 1.239 Messwerte von Raumluftkonzentrationen in den Wasserversorgungsanlagen in Bayern. (R = Region, PZ = Probenanzahl)

R	PZ	> 1.000 Bq m ⁻³ [%]	> 3.000 Bq m ⁻³ [%]	> 10.000 Bq m ⁻³ [%]	> 100.000 Bq m ⁻³ [%]	Maximum [Bq m ⁻³]	Median [Bq m ⁻³]	Mittelwert [Bq m ⁻³]
1	48	29	6	4	0	30.000	500	1.900
2	67	34	16	6	2	130.000	700	5.800
3	223	41	16	4	0	22.000	800	1.900
4	101	42	10	3	0	34.000	700	1.700
5	439	76	54	33	6	391.000	3.400	21.000
6	23	35	9	9	0	16.000	600	2.000
7	149	49	24	3	0	16.000	1.000	2.100
8	114	42	17	9	0	27.000	800	2.600
9	57	44	16	7	0	29.000	700	2.200
10	18	50	39	28	0	33.000	1.200	8.000

Tabelle B.3: Prozentuale Verteilung der Jahresexpositionen, hochgerechnet aus den 555 Messwerten der personengebundenen Expositometer in den Wasserversorgungsanlagen in Bayern. (R = Region, PZ = Probenanzahl)

R	PZ	< 2 MBq h m ⁻³ [%]	> 2 MBq h m ⁻³ [%]	> 6 MBq h m ⁻³ [%]	Median [MBq h m ⁻³]	Mittelwert [MBq h m ⁻³]
1	25	92	8	0	0,2	0,5
2	34	91	9	0	0,2	0,4
3	107	85	15	4	0,3	1,1
4	48	98	2	0	0,2	0,3
5	178	84	16	11	0,3	7,0
6	11	91	9	0	0,3	0,7
7	68	94	6	3	0,2	0,6
8	50	88	12	0	0,1	0,3
9	26	100	0	0	0,1	0,1
10	8	100	0	0	0,2	0,3

C 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 in diesem Bericht Abkürzungen benutzt, die in der folgenden Liste in Klammern dem Begriff beigefügt sind.

C.1 Begriffe aus der Wasserversorgung

Die Definitionen der meisten Begriffe aus der Wasserversorgung wurden der DIN-Vorschrift DIN4046 (Wasserversorgung) [93] 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 aus 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.

Aufbereitungsraum

Raum, in dem eine Aufbereitungsanlage untergebracht ist.

Aufbereitungsgebäude

Gebäude, 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.

Filter

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

Offene Filter

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

Geschlossene Filter

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

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.

Grundwasserleiter

Gesteinskörper, der geeignet ist, Grundwasser weiterzuleiten.

Hochbehälter

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

Rohwasser

Wasser vor der Aufbereitung.

Reinwasser

Wasser nach der Aufbereitung.

Sammelschacht, Quellschacht

Wasserdichter Schacht zum Sammeln des aus einzelnen Wasserfassungen gewonnenen Wassers.

Schüttung

Wasserfluss (Wassermenge pro Zeit) durch einem Wasserleiter (z.B. Quellschacht).

Wasserwerk

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

Wasserversorgungsanlage

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

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.

Wasserversorgungsunternehmen (WVU)

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

C.2 Begriffe aus der Radonmesstechnik

Nähere Erläuterungen zu den Begriffen und Messverfahren sind auch im „Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten“ [94] und in der Loseblattsammlung des Fachverbands für Strahlenschutz [95] zu finden.

Radon

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

Zerfallsprodukte

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

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.

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 berechnet.)

Jahresexposition

Radonexposition einer Person in einem Jahr.

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 potenzielle 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 Berücksichtigung der unterschiedlichen Fähigkeit der einzelnen Zerfallsprodukte, Energie zu deponieren, durchgeführt. Die Höhe der deponierten Energie in einem Gewebe ist ein Maß für die Schädigung.)

Gleichgewichtsfaktor (F)

Verhältnis der gleichgewichtsäquivalenten Radonkonzentration zur Radonkonzentration.

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.

Thoron

Mit Thoron ist das Isotop Radon-220 (Rn-220) mit einer Halbwertszeit von 55 Sekunden gemeint.

Thoron-Zerfallsprodukte

Unter den sog. kurzlebigen Thoron-Zerfallsprodukten sind die Isotope Po-216, Pb-212, Bi-212 und Po-212 zu verstehen.

Gleichgewichtsäquivalente Thoronkonzentration (Thoron-EEC)

Im Fall eines nicht im radioaktiven Gleichgewicht befindlichen Thoron/Thoronzerfallsproduktgemisches bezeichnet man als gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentration, mit Abkürzung Thoron-EEC, die Thoronkonzentration unter Gleichgewichtsbedingungen, die die gleiche potenzielle Al-

phaenergiekonzentration (PAEK) ergibt wie die Zerfallsprodukte im vorliegenden Fall. Die Einheit der Thoron-EEC ist Bq m^{-3} .

Emanierung

Unter Emanierung versteht man das Verlassen der Gesteinsmatrix und damit ein Überwechseln von Radon in das offene oder wasserführende Porensystem des Untergrunds.

Emaniervermögen

Fähigkeit zur Emanierung.

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.

Kernspurexposimeter, Kernspurdetektor

Passives, integrales Radonmessgerät zur Erfassung der Radonexposition (früher auch „Radondosimeter“ genannt). 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 Ätzvorgang vergrößert werden, so dass sie dann unter einem Mikroskop sichtbar werden. Die Zahl der entstandenen Löcher (pro Fläche) ist proportional zur registrierten Exposition.

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.

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.

Eingreifwert

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

Grenzwert

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

Rückantwort Erhebung WVU 1998

Rückantwort

An das
 Bayerische Landesamt für Umweltschutz
 Lazarettstr. 67
 80636 München

Bitte Blatt an Markierungen falten und in einen Umschlag mit Sichtfenster geben!

Erhebungsbogen I

Name des Unternehmens	:
Adresse	:
Verantwortlicher Leiter	:
Telefonnummer Leiter	:
Ansprechpartner	:
Telefonnummer Ansprechp.	:

Wir sind bereit bei den Radonmessungen mitzumachen: Ja Nein

Anzahl Brunnen	
Anzahl Trinkwasserbehälter	
Anzahl Sammelschächte	
Anzahl Aufbereitungsanlagen mit offenen Filter	
Anzahl Aufbereitungsanlagen mit geschlossenen Filter	

Erhebungsbogen II

Bitte für jeden Wasserwart und stellvertretenden Wasserwart (Stellvertreter ankreuzen!) jeweils einen "Fragebogen für den Wasserwart" ausfüllen. Falls Sie mehr als zwei Wasserwarte beschäftigen, kopieren Sie bitte diese Seite!

Fragebogen für den Wasserwart

Name Wasserwart: Ich bin Stellvertreter
Männlich Weiblich
Hauptberufliche Tätigkeit Nebenberufliche Tätigkeit

Aufenthalt im Trinkwasserbehälter

Zur Behälterreinigung: Stunden pro Jahr
Zu sonstigen Tätigkeiten in den Beckenräumen
(Inspektion, Reparatur, Wartung): Stunden pro Jahr
Aufenthalt in von den Becken abgetrennten Räumen
(Schaltraum, Aufenthaltsräume, Werkstatt,): Stunden pro Jahr

Aufenthalt in der Aufbereitung mit offenen Filtern

Zur Spülung: Stunden pro Jahr
Zu sonstigen Tätigkeiten in den Filterräumen
(Inspektion, Reparatur, Wartung, Filtermaterialfüllen): Stunden pro Jahr
Aufenthalt in von den Filtern abgetrennten Räumen
(Schaltraum, Aufenthaltsräume, Werkstatt,): Stunden pro Jahr

Aufenthalt in den Sammelschächten Stunden pro Jahr

Fragebogen für den Wasserwart

Name Wasserwart: Ich bin Stellvertreter
Männlich Weiblich
Hauptberufliche Tätigkeit Nebenberufliche Tätigkeit

Aufenthalt im Trinkwasserbehälter

Zur Behälterreinigung: Stunden pro Jahr
Zu sonstigen Tätigkeiten in den Beckenräumen
(Inspektion, Reparatur, Wartung): Stunden pro Jahr
Aufenthalt in von den Becken abgetrennten Räumen
(Schaltraum, Aufenthaltsräume, Werkstatt,): Stunden pro Jahr

Aufenthalt in der Aufbereitung mit offenen Filtern

Zur Spülung: Stunden pro Jahr
Zu sonstigen Tätigkeiten in den Filterräumen
(Inspektion, Reparatur, Wartung, Filtermaterialfüllen): Stunden pro Jahr
Aufenthalt in von den Filtern abgetrennten Räumen
(Schaltraum, Aufenthaltsräume, Werkstatt,): Stunden pro Jahr

Aufenthalt in den Sammelschächten Stunden pro Jahr

Erhebungsbogen IIIa

Bitte für jeden Trinkwasserbehälter und jede offene Aufbereitung einen eigenen Erhebungsbogen (IIIa bzw. IIIb) ausfüllen, auch wenn sich Behälter und Aufbereitung im gleichen Gebäude befinden! Falls der Fragebogen nicht ausreicht, kopieren Sie bitte diese Seite!

Trinkwasserbehälter

Name oder Bezeichnung der Anlage:

Name des betreuenden Wasserwarts:

Volumen des Trinkwasserbehälters: Kubikmeter

Wasserabgabe des Trinkwasserbehälters: 1000 Kubikmeter im Jahr

Welche Lüftung ist vorhanden? Keine Schlitze, Fenster, ... Ventilator

Besitzt das Gebäude andere Räume
(Schaltraum, Werkstatt, Aufenthaltsraum, ...)

in denen sich Personen mehr als 1 Stunde pro Woche aufhalten? Ja Nein

Behälterreinigung:

Wie oft wird gereinigt? jährlich oder alle Jahre

Wie lange dauert die Reinigung? Stunden

Wie viele Personen sind bei der Reinigung beschäftigt? Personen

Wird die Reinigung von einem speziellen, eigenen

Reinigungs- oder Wartungstrupp durchgeführt? Ja Nein

Wird die Reinigung von einer externen Firma durchgeführt? Ja Nein

Erhebungsbogen IIIb

Bitte für jeden Trinkwasserbehälter und jede offene Aufbereitung einen eigenen Erhebungsbogen (IIIa bzw. IIIb) ausfüllen, auch wenn sich Behälter und Aufbereitung im gleichen Gebäude befinden! Falls der Fragebogen nicht ausreicht, kopieren Sie bitte diese Seite!

Offene Aufbereitung

Name oder Bezeichnung der Anlage:

Name des betreuenden Wasserwarts:

Gesamte Oberfläche der Filter: Quadratmeter

Durchfluß durch die Filter: Liter pro Sekunde

Welche Lüftung ist vorhanden? Keine Schlitze, Fenster, ... Ventilator

Besitzt das Gebäude andere Räume
(Schaltraum, Werkstatt, Aufenthaltsraum, ...)

in denen sich Personen mehr als 1 Stunde pro Woche aufhalten? Ja Nein

Filterreinigung (nicht Spülung!):

Wie oft wird gereinigt? jährlich oder alle Jahre

Wie lange dauert die Reinigung? Stunden

Wie viele Personen sind bei der Reinigung beschäftigt? Personen

Wird die Reinigung von einem speziellen, eigenen

Reinigungs- oder Wartungstrupp durchgeführt? Ja Nein

Wird die Reinigung von einer externen Firma durchgeführt? Ja Nein

E Musterschreiben an die Versorgungsunternehmen zur Mitteilung von Messwerten

Dieses Kapitel enthält ein fiktives Musterschreiben, welches in dieser Art an 550 Wasserversorgungsunternehmen im Februar 2000 versandt worden ist. Mit diesem Schreiben wurden die Wasserversorgungsunternehmen über die Ergebnisse der Radonmessungen, die in ihren Unternehmen vom LfU durchgeführt wurden, informiert. Eine Bewertung der Ergebnisse ist ebenfalls im Schreiben enthalten.

Im Gegensatz zum Musterschreiben, das alle verschiedenen Möglichkeiten von Messergebnissen enthält, mussten in den meisten Fällen der 500 Schreiben Messwerte von nur einer Wasserprobe, zwei Raumluft- und einer personengebundenen Messung mitgeteilt werden.



Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 86177 Augsburg

Stadtwerke Wasserstadt
Wasserwerk
Wasserwerk Weg 1
99999 Wasserstadt

Dienstgebäude Augsburg

<i>Ihr Schreiben/Zeichen</i>	<i>Bitte bei Antwort angeben Unser Zeichen</i>	<i>Bearbeiter/in eMail</i>	<i>NB-Stelle/Fax</i>	<i>Datum</i>
	4/3-633-264-9999	Dr. Trautmannsheimer Markus.Trautmannsheimer @lfu.bayern.de	5294/5554	07.02.2000

Radonexponierte Arbeitsplätze in Bayern

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Radonmessungen im Rahmen der Untersuchungen in Ihren Wassergewinnungsanlagen sind nun ausgewertet. Dieses Schreiben enthält eine Zusammenstellung der Messungen, die in Ihrem Versorgungsunternehmen (WVU-Nr. 9999) durchgeführt wurden mit einer anschließenden Bewertung der Ergebnisse. Unter dem Begriff „Radon“ ist im Folgenden, wie üblich, das Isotop Rn-222 zu verstehen.

1 Messungen des Radongehalts im Rohwasser

Probennummer: w329
Probenahmeort: Hochbehälter Oberdorf, Rohrkeller
Wasserzusammensetzung: Quelle 1 und Quelle 2
Probenahmedatum: 15.04.1999
Messwert: 110 Bq/Liter

Dienstgebäude Augsburg
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 - 9071-0
089 - 9214-0
Fax.: 0821 - 9071-5556

Abfalltechnikum
Am Mittleren Moos 46A
86167 Augsburg
Tel.: 0821 - 7000 290
Fax.: 0821 - 7000 299

Außenstelle Nordbayern
Schloss Steinenhausen
95326 Kulmbach
Tel.: 09221 - 604-0
Fax.: 09221 - 651-60

Außenstelle Garmisch
Gsteigstraße 43
82467 Garmisch-Partenkirchen
Tel.: 08821 - 2330
Fax.: 08821 - 2392

Probennummer: w330
Probenahmeort: Aufbereitung Unterdorf, Rohrkeller
Wasserzusammensetzung: Brunnen 1 und Brunnen 2
Probenahmedatum: 15.04.1999
Messwert: < 7,2 Bq/Liter

Grenzwerte für den Radongehalt in Rohwasser existieren zur Zeit nicht und sind auch in naher Zukunft nicht zu erwarten. Bei einem hohen Radongehalt im Rohwasser ist jedoch mit einer erhöhten Raumlufkonzentration in den Räumen der wasserwirtschaftlichen Anlagen zu rechnen. Der Mittelwert des Radongehalts im Rohwasser liegt in Deutschland im Bereich von 5 bis 10 Bq/Liter.

2 Messungen der Radonkonzentration in der Raumluf

Dosimeternummer: s2001943
Expositionsor: Unterdorf, Aufbereitung, Filterraum
Expositionszeitraum: 31.03.1999 - 14.04.1999
Messwert: 40.000 Bq m⁻³

Dosimeternummer: s2001944
Expositionsor: Unterdorf, Aufbereitung, Rohrkeller
Expositionszeitraum: 31.03.1999 - 15.04.1999
Messwert: 48.000 Bq m⁻³

Dosimeternummer: s2001995
Expositionsor: Oberdorf, Filterhalle
Expositionszeitraum: 31.03.1999 - 15.04.1999
Messwert: 630 Bq m⁻³

Dosimeternummer: s2001996
Expositionsor: Oberdorf, Labor
Expositionszeitraum: 31.03.1999 - 15.04.1999
Messwert: 490 Bq m⁻³

Die Einführung eines Grenzwertes für die Raumlufkonzentration am Arbeitsplatz ist nicht vorgesehen. Jedoch wird nach der Novellierung der Strahlenschutzverordnung im Laufe des Jahres 2000 eine Beschränkung der Jahresexposition¹ der Beschäftigten in Kraft treten. Die Jahresexposition ist in der Regel die Summe von einzelnen Expositionen aus dem Aufenthalt des Beschäftigten an mehreren Arbeitsplätzen. Die Beträge der einzelnen Expositionen können durch Multiplikation der mittleren Raumlufkonzentration mit der abgeschätzten jährlichen Aufenthaltsdauer des

¹Unter einer „Radonexposition“ versteht man das Produkt aus mittlerer Radonkonzentration und Aufenthaltsdauer einer Person an einem Arbeitsplatz

Beschäftigten an diesem Ort abgeschätzt und somit miteinander verglichen oder aufaddiert werden.

Als Grenzwert für die Jahresexposition eines Beschäftigten durch Radon ist $6 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ vorgesehen. Bei einer Unterschreitung des sog. Eingreifwertes von $2 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ sind keine weiteren Messungen notwendig. Im Zwischenbereich von Grenzwert und Eingreifwert muss die Exposition des Beschäftigten ständig registriert und überwacht werden.

Legt man eine maximale Arbeitszeit von 2000 Stunden pro Jahr zugrunde, kann bei einem Beschäftigten durch den Aufenthalt an Arbeitsplätzen mit Raumlufkonzentrationen kleiner 1000 Bq m^{-3} der Eingreifwert nicht überschritten werden. Damit sind solche Arbeitsplätze auch ohne Kenntnis der genauen Aufenthaltsdauer als unbedenklich einzustufen.

3 Messungen der Radonexposition der Beschäftigten (Routinebetrieb)

Personen-/Referenz-Dosimeternummer: p2002163/r2002145
Name des Dosimeterträgers: S. Maier
Expositionszeitraum: 31.03.1999 - 31.05.1999
Totale Tragezeit: 178,25 Stunden
Gemessene Exposition: $1,1 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$
Hochgerechnete Jahresexposition: $6,6 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$

Personen-/Referenz-Dosimeternummer: p2002214/r2002067
Name des Dosimeterträgers: W. Müller
Expositionszeitraum: 31.03.1999 - 31.05.1999
Totale Tragezeit: 559,5 Stunden
Gemessene Exposition: $< 0,15 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$
Hochgerechnete Jahresexposition: $< 0,9 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$

Personen-/Referenz-Dosimeternummer: p2002160/r2002133
Name des Dosimeterträgers: F. Schmidt
Expositionszeitraum: 02.03.1999 - 08.04.1999
Totale Tragezeit: 15,5 Stunden
Gemessene Exposition: $0,26 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$
Hochgerechnete Jahresexposition: $2,5 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$

Zur Abschätzung der Jahresexposition eines Beschäftigten, der sich während seiner Arbeitszeit an mehreren Orten mit unregelmäßigen Aufenthaltszeiten aufhält, eignet sich besonders ein Messsystem (Personendosimeter), das vom Beschäftigten mitgeführt wird. Die Radonexposition kann damit direkt ohne genaue Kenntnis der einzelnen Aufenthaltszeiten an den Arbeitsplätzen gemessen werden. Lediglich eine Korrektur zur Berücksichtigung der Exposition, die das nicht abschaltbare Personendosimeter während seiner Lagerung in der arbeitsfreien Zeit erhalten hat, ist mit Hilfe der gemessenen Exposition des Referenzdosimeters durchzuführen.

Wird angenommen, dass die Verhältnisse und Arbeitsabläufe im Expositionszeitraum repräsentativ sind, kann eine Hochrechnung für die Jahresexposition des Beschäftigten für den Vergleich mit Grenz- oder Eingreifwert erfolgen. Spezielle, sehr unregelmäßige oder nur selten durchgeführte Arbeiten (Behälterreinigung) mit möglichen hohen Expositionen für das Personal müssen aber gesondert betrachtet werden.

4 Messungen des Personals der Behälterreinigung

Personen-/Referenz-Dosimeternummer: p2002182/r2001790
Name des Dosimeterträgers: S. Maier
Expositionszeitraum: 23.02.1999 - 25.02.1999
Gemessene Exposition: $0,59 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h/m}^3$

Personen-/Referenz-Dosimeternummer: p2002183/r2001790
Name des Dosimeterträgers: F. Schmidt
Expositionszeitraum: 23.02.1999 - 25.02.1999
Totale Tragezeit: 5,75 Stunden
Gemessene Exposition: $0,58 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h/m}^3$

Zum Vergleich mit Grenz- und Eingreifwert muss die Exposition aus der Behälterreinigung zur hochgerechneten Jahresexposition des Beschäftigten aus dem Routinebetrieb (Abschnitt 3) addiert werden.

5 Bewertung der Messergebnisse

Für W. Müller wurde eine Jahresexposition unter dem Eingreifwert ermittelt. Dennoch kann nicht ganz ausgeschlossen werden, dass der Aufenthalt des Personals im Hochbehälter während der Behälterreinigung zur einer Überschreitung des Eingreifwerts führt. Weitere Radonmessungen begleitend zur Behälterreinigung sind deshalb erforderlich. Wird jedoch durch eine Abschätzung der Exposition aus Messwerten der Raumlufkonzentration und durch Annahme einer maximalen Aufenthaltsdauer des Personals im Hochbehälter plausibel gemacht, dass der Eingreifwert in keinem Fall erreicht oder überschritten werden kann, kann auf weitere Messungen verzichtet werden.

F. Schmidt wird voraussichtlich den Eingreifwert für die jährliche Radonexposition am Arbeitsplatz überschreiten. Weitere Messungen zur Bestätigung der vorliegenden Messwerte wären sinnvoll. Nach In-Kraft-treten der neuen Strahlenschutzverordnung ist bei einer Überschreitung des Eingreifwerts eine permanente Registrierung der Radonexposition dieser Personen während der Arbeitszeit verpflichtend. Personendosimeter müssen ständig getragen werden. Es wird jedoch empfohlen Maßnahmen zur Reduktion der Radonexposition Ihres Personals durchzuführen, um die Jahresexpositionen der betroffenen Personen möglicherweise bis unter den Eingreifwert zu senken. Falls Interesse über mögliche Reduktionsmaßnahmen besteht, gibt unsere Dienststelle gerne Auskunft.

S. Maier wird voraussichtlich die zulässige jährliche Radonexposition am Arbeitsplatz überschreiten. Weitere Messungen zur Bestätigung der vorliegenden Messwerte sind erforderlich. Bitte setzen Sie sich umgehend mit unserer Dienststelle in Verbindung, um über weitere Messungen und über Maßnahmen zur Reduktion der Radonexposition Ihres Personals zu diskutieren.

Da die novellierte Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in ihrer endgültigen Fassung noch nicht vorliegt und auch begleitende Richtlinien zur Umsetzung der StrSchV noch in Vorbereitung sind, kann die Bewertung der Ergebnisse in Bezug auf erforderliche oder nicht erforderliche Messungen oder Maßnahmen nur unter Vorbehalt erfolgen.

Maßnahmen zur Reduktion der Radonexposition der Beschäftigten der Wasserwirtschaft sollten jedoch grundsätzlich in Betracht gezogen und selbst bei Jahresexpositionen unter dem Eingreifwert mit vertretbarem Aufwand durchgeführt werden.

Mit freundlichem Gruß

I.A.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Trautmannsheimer', written in a cursive style.

Dr. M. Trautmannsheimer

Wissenschaftlicher Angestellter

F Schreiben an alle Wasserversorgungsunternehmen zum Vollzug der Strahlenschutzverordnung

Dieses Kapitel enthält einen Abdruck der 14 Seiten des Schreibens, das an alle Wasserversorgungsunternehmen in Bayern im Dezember 2001 versandt wurde. In diesem Schreiben werden die Wasserversorgungsunternehmen aufgefordert, zum Vollzug der neuen Strahlenschutzverordnung, die am 1. August 2001 in Kraft getreten ist, Messungen zur Erhebung der Radonexposition ihrer Beschäftigten durchzuführen. In dem Schreiben wird auch mitgeteilt, auf welche Weise die Messungen durchgeführt werden müssen und welche Messstellen für die Auswertung von Kernspurexposimetern vom LfU akzeptiert werden.



Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 86177 Augsburg

An
2587 Wasserversorgungsunternehmen
in Bayern

Dienstgebäude Augsburg

<i>Ihr Schreiben/Zeichen</i>	<i>Bitte bei Antwort angeben Unser Zeichen</i>	<i>Bearbeiter/in eMail</i>	<i>NB-Stelle/Fax</i>	<i>Datum</i>
	4/3-633-10 WVU-Nr. XXXX	Dr. Trautmannsheimer Markus.Trautmannsheimer@ lfu.bayern.de	5294/5554	30.11.2001

Erhebung der Radonexposition von Beschäftigten gemäß §95 der StrlSchV

Anlagen: Zwei Formularvorlagen, Ablaufplan mit Liste von Messstellen, Auszug aus der Strahlenschutzverordnung

Sehr geehrte Damen und Herren,

am 1. August 2001 ist die neue Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in Kraft getreten. Bestimmte Betriebe mit Beschäftigten in Arbeitsfeldern, die in Anlage XI, Teil A der StrlSchV aufgelistet sind, sind nun verpflichtet die jährliche Radon-222 Exposition dieser Mitarbeiter zu erheben und geeignete Maßnahmen zu treffen, um die Strahlenexposition möglichst gering zu halten. (Einen Auszug aus der StrlSchV mit den für diese Arbeitsfelder relevanten Paragraphen §93-§96 und §117 erhalten Sie als Anlage.)

Zu diesen Arbeitsfeldern gehören:

- untertägige Bergwerke, Schächte und Höhlen, einschließlich Besucherbergwerke
- Radon-Heilbäder und -Heilstollen
- Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung

Für den Vollzug des §95 (Titel: Natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen) der StrlSchV ist in Bayern das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) in Augsburg zuständig.

Grundsätzlich sollten folgende zwei Messmethoden zur Ermittlung der jährlichen Radonexposition der Beschäftigten angewandt werden: Der Beschäftigte trägt während der Arbeiten in den

Dienstgebäude Augsburg
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 - 9071-0
089 - 9214-0
Fax.: 0821 - 9071-2

Abfalltechnikum
Am Mittleren Moos 46A
86167 Augsburg
Tel.: 0821 - 7000 290
Fax.: 0821 - 7000 299

Außenstelle Nordbayern
Schloss Steinenhausen
95326 Kulmbach
Tel.: 092 21 - 604-0
Fax.: 092 21 - 651-60

Außenstelle Garmisch
Gsteigstraße 43
82467 Garmisch-Partenkirchen
Tel.: 08821 - 2330
Fax.: 08221 - 2392

Anlagen ein Messsystem am Oberkörper, das über einen Zeitraum von mindestens drei Monaten die Radonexposition aufzeichnen soll. Dieses Messsystem wird als personengebundenes Exposimeter bezeichnet. Expositionen durch Arbeiten, die außerhalb der monatlichen Routineaufgaben anfallen, wie z.B. Behälterreinigungen, können durch Messung der Radonkonzentration am Arbeitsplatz und mit Hilfe der Aufenthaltszeit ermittelt werden. Mit sogenannten ortsgebundenen Exposimetern, die über einen Zeitraum von etwa 2 Wochen aufgestellt werden, kann die Radonkonzentration in der Raumluft an diesen Orten gemessen werden. Personen- wie auch ortsgebundene Exposimeter bestehen aus etwa 5 cm großen Dosen mit einem Gewicht von ungefähr 20 g. Diese Systeme können von Messstellen (Liste liegt dem Schreiben bei; andere Messstellen sind dem LfU nicht bekannt) bezogen werden und müssen nach der Benutzung zur Auswertung auch wieder dorthin zurückgeschickt werden.

Es wird folgende Vorgehensweise bei der Ermittlung der jährlichen Radonexposition der Beschäftigten vorgegeben (siehe auch Ablaufplan):

1. Alle Beschäftigten des Unternehmens, die in den Arbeitsfeldern im Sinne der Anlage XI, Teil A der StrlSchV tätig sind, müssen ermittelt werden.
2. Von einer Messstelle müssen sogenannte personengebundene mit dazugehörigen Referenz-Exposimetern bezogen werden. Das personengebundene Exposimeter muss vom Beschäftigten über einen Zeitraum von mindestens 3 Monaten beim Aufenthalt in den Wassergewinnungsanlagen 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. Vom Messwert wird von der Messstelle auf eine Jahresexposition hochgerechnet (Routineexposition). Das Referenzexposimeter registriert die Radon-Exposition am Aufbewahrungsort des personengebundenen Exposimeters (Details zum Aufstellungsort des Referenz-Exposimeters teilt die Messstelle mit). Für jeden Beschäftigten muss ein Formblatt „Messprotokoll des Beschäftigten“ (Vorlage liegt dem Schreiben bei) 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. Die Namen dieser Personen müssen aber trotzdem in das unter Punkt 7 erwähnte Formblatt „Erhebung der Radonexposition“ eingetragen werden. In diesem Fall wird stellvertretend die Jahresexposition des Hauptbeschäftigten eingetragen und mit einem kleiner Zeichen (<) versehen. Das Beiblatt „Messprotokoll des Beschäftigten“ muss in diesem Fall nicht angelegt werden.
3. Expositionen durch Arbeiten, die außerhalb der monatlichen Routineaufgaben anfallen, müssen getrennt erfasst werden. Damit sind z.B. Arbeiten gemeint, die jährlich durchgeführt werden und mehrere Arbeitstage oder -wochen in Anspruch nehmen (z.B. Behälterreinigung). Für die Erfassung dieser Exposition kann bei der 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. In jedem Fall sollen aber pro Beschäftigten ein ortsgebundenes Exposimeter in einem Hochbehälterkammerraum sowie eines im Raum mit insgesamt längster Aufenthaltsdauer (z.B. im Aufbereitungsgebäude) aufgestellt werden.
4. Gegebenenfalls müssen die Routineexposition (aus 2.) und die außergewöhnlichen Expositionen (aus 3.) zu einer Gesamtjahresexposition addiert werden.
5. Es muss beurteilt werden, ob die Exposition der Beschäftigten mit vertretbaren Mitteln reduziert werden kann. Bei einer Jahresexposition von über $6 \text{ MBq} \cdot \text{h} / \text{m}^3$ muss die Exposition unter allen Umständen reduziert werden. Im Bereich von 2 bis $6 \text{ MBq} \cdot \text{h} / \text{m}^3$ müssen ebenfalls Maßnahmen zur Reduktion der Exposition angewandt werden. Falls aber Reduzierungsmaßnahmen unwirksam waren oder nur mit unververtretbarem hohem Aufwand durchzuführen wären, kann eine ständige Überwachung der Exposition des Beschäftigten bei der zuständigen Behörde beantragt

werden. Bei einer Jahresexposition unter $2 \text{ MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ genügen geeignete Maßnahmen des Arbeitsschutzes, um die Exposition der Beschäftigten möglichst gering zu halten. In diesem Fall sind auch augenblicklich keine weiteren Radon-Messungen notwendig. Bei wesentlichen Änderungen der Bausubstanz, der Lüftungseinrichtungen und von Betriebsabläufen, spätestens aber nach 10 Jahren, muss dennoch erneut die Radonexposition der Beschäftigten erhoben werden.

6. Nach Reduktionsmaßnahmen müssen erneut Messungen durchgeführt und gegebenenfalls die Jahresexposition der Beschäftigten erneut ermittelt werden.
7. Spätestens im August 2003 muss eine Mitteilung der Resultate aus der Ermittlung der Exposition der Beschäftigten und gegebenenfalls über die Durchführung von Maßnahmen zur Reduktion der Expositionen an das LfU erfolgen. Dafür sollen beiliegende Formblätternordrucke verwendet werden. Wird der Wert der ermittelten Jahresexposition von $2 \text{ MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ nicht sicher unterschritten, muss ein Antrag zur Aufnahme in eine ständige Überwachung gestellt werden. Bei einer Radon-Jahresexposition unter $2 \text{ MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ besteht zwar keine gesetzliche Verpflichtung die Ergebnisse der zuständigen Behörde zu melden, aber zur Aufsichtlichen Kontrolle und zur Anzeige des Vollzugs wird gebeten, auch in diesem Fall die Ergebnisse an das LfU zu übermitteln. Bitte geben Sie bei der Korrespondenz mit dem LfU immer Ihre WVU-Nr. an! Ihre WVU-Nr. finden Sie im Feld „Unser Zeichen“ am Anfang der ersten Seite dieses Schreibens.

Sollten in Ihrem Betrieb bereits schon 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.

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 Bußgeld belegt werden kann.

Bei weiteren Fragen wenden Sie sich bitte an eine Messstelle oder an das LfU (Dr. Litzke, Tel.: 0821/90715333). Weitere Informationen finden Sie auch in der kostenlosen Informationsbroschüre der Berufsgenossenschaft der Gas-, Fernwärme- und Wasserwirtschaft (BGFW) „Strahlenschutz für Mitarbeiter“, Ausgabe August 2001, (zu beziehen unter der Adresse: BGFW, Postfach 101562, 40006 Düsseldorf) und auf der Homepage der deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches (DVGW) unter der Adresse: http://www.dvgw.de/dvgw/i1_idx.htm?recht.

Mit freundlichen Grüßen

I.A.



Hübel
Ltd. Regierungsdirektor

Rückantwort Erhebung der Radonexposition

Rückantwort

An das
Bayerische Landesamt für Umweltschutz

86177 Augsburg

Name des Unternehmens :
Adresse:
Verantwortlicher Leiter:
Telefonnummer Leiter:
Ansprechpartner:
Telefonnummer Ansprechpartner:
Anzahl der Beschäftigten im Sinne der Anlage XI, Teil A der StrlSchV:

Liste der Beschäftigten

Name des Beschäftigten	Hochgerechnete Jahresexposition [MBq*h/m ³]	Jahresexposition sicher unter 2 MBq*h/m ³
		ja / nein
		ja / nein
		ja / nein
		ja / nein
		ja / nein
		ja / nein
		ja / nein
		ja / nein

Name der mit den Radonmessungen beauftragten Messstelle und gegebenenfalls Name und Adresse der mit der Durchführung der Erhebung beauftragten Firma (Ingenieurbüro):

Wurden die Aufenthaltszeiten in den Anlagen minimiert? (ja/nein)

Wurden Sanierungsmaßnahmen durchgeführt? (ja/nein)

Beantragung der Aufnahme in die ständige Überwachung (Jahresexposition evtl. über 2 MBq*h/m³): (ja/nein)

Name des Beschäftigten	Telefonnummer des Beschäftigten	Name des Unternehmens

1. Messungen der Radonexposition des Beschäftigten mit personengebundenen Exposimetern

	Gemessene Exposition (korrigiert) [MBq*h/m ³]	Gemessene Exposition des Referenz-Exposimeters [MBq*h/m ³]	Expositionszeitraum (Anfangs- und Enddatum)	Summe der Aufenthaltszeiten [Stunden]	Hochgerechnete Jahresexposition [MBq*h/m ³]
1. Messung					
2. Messung (WDH)					
3. Messung (WDH)					

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

	Radon-konzentration [Bq/m ³]	Expositionszeitraum (Anfangs- und Enddatum)	Ort und geg. Beschreibung der Tätigkeit	Summe der Aufenthaltszeiten [Stunden]	Exposition [MBq*h/m ³]
1. Ort					
2. Ort					
3. Ort					
4. Ort					

3. Abgeschätzte Gesamtjahresexposition (zum jetzigen Zeitpunkt, nach den Reduktionsmaßnahmen) in MBq*h/m³:

zu 1. :

In diese Tabelle sollen alle Messungen mit personengebundenen Exposimetern eingetragen werden, die der Beschäftigte durchgeführt hat. Die erste Messung sowie gegebenenfalls alle Wiederholungsmessungen (WDH) z.B. nach durchgeführten Reduktionsmaßnahmen sollen hier aufgeführt werden. In der Spalte „Gemessene Exposition (korrigiert)“ soll der durch die Exposition des Referenz-Exposimeter korrigierte Wert des personengebundenen, in der nächsten Spalte die Exposition des Referenz-Exposimeters eingetragen werden. Diese Werte, wie auch die hochgerechnete Jahresexposition, werden Ihnen von der Messstelle mitgeteilt.

zu 2. :

In diese Tabelle werden alle Messungen der Raumluftkonzentrationen mit ortsgebundenen Exposimetern eingetragen. Werden an einem dieser Orte außergewöhnliche Tätigkeiten, wie z.B. Behälterreinigungen, (siehe auch Anschreiben Punkt 3.) durchgeführt, muss aus dem Produkt Radonkonzentration [Bq/m^3] mal Summe der Aufenthaltszeiten in Stunden, die jährlich für die Tätigkeit an diesem Ort aufgewendet werden, geteilt durch 1 Million berechnet und in der letzten Spalte (Exposition [$\text{MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$]) in die Tabelle eingetragen werden.

Anmerkung: $1 \text{ MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3 = 1 \text{ Million Bq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ (M bedeutet Mega = Million)

Beispiel:

Radon Konzentration: $10000 \text{ Bq}/\text{m}^3$

Jährlicher Aufenthalt an diesem Ort (z.B. während der Behälterreinigung): 20 Stunden.

Exposition: $10.000 * 20 / 1.000.000 = 0,2 \text{ [MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3]$

zu 3. :

Zur Berechnung der aktuellen Jahresexposition des Beschäftigten muss zu der Routineexposition aus 1. die außergewöhnlichen Expositionen aus 2. addiert werden. Für die Routineexposition soll der zuletzt ermittelte, aktuelle Wert, nach eventuell durchgeführten Reduktionsmaßnahmen, herangezogen werden.

Kurze Beschreibung der durchgeführten Maßnahmen zur Reduktion der Radonexposition des Beschäftigten:

Ablaufplan zur Erhebung der Radonexposition

- Ermittlung der Beschäftigten, die in den Anlagen der Wassergewinnung, –aufbereitung und –verteilung arbeiten.
- Ermittlung des Bedarfs von personengebundenen Exposimetern (siehe Anschreiben Punkt 2). Im Zweifelsfall jeden ermittelten Beschäftigten mit einem Exposimeter ausstatten. Zu jedem personengebundenen Exposimeter muss ein sogenanntes Referenzexposimeter angefordert werden.
- Ermittlung des Bedarfs von ortsgebundenen Exposimetern. In jedem Hochbehälterkammerraum und in jedem Aufbereitungsgebäude sollte ein Exposimeter aufgestellt werden. Mindestens aber zwei Exposimeter pro Beschäftigten, der mit einem personengebundenen Exposimeter ausgerüstet wird.
- Bestellung der Exposimeter bei einer Messstelle.
- Nach Erhalt der Exposimeter sofortige Durchführung der Messungen. Alle Messwerte zur Durchführung der Messungen wird auf einem Informationsblatt mit den bestellten Exposimetern mitgeliefert.
- Nach der Messung Exposimeter sofort an die Messstelle zurücksenden.
- Nach Erhalt der Resultate der Messungen Jahresexposition der Beschäftigten abschätzen und gegebenenfalls Einleitung von weiteren Maßnahmen zur Reduktion der Radonexposition sowie erneute Messungen.
- Mitteilung der Messwerte an die zuständige Behörde mit Hilfe der beiliegenden Formblätternvordrucken.

Liste der Messstellen

GSF – Auswertungsstelle
Radon–Messdienst
Ingolstädter Landstraße 1
85761 Oberschleißheim

Tel. 089/3187–2220 und 089/3187–2784

Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung (LPS)
des Landes Mecklenburg–Vorpommern
Innovationspark Wuhlheide – Haus 41
Köpenicker Straße 325
12555 Berlin

Tel. 030/6576–3101 oder 030/6576–3104

ALTRAC Radon–Messtechnik
Dorothea Viehmann Straße 28
12524 Berlin

Tel. 030/67989737 (Herr Dr. Guhr)

Materialprüfungsamt (MPA) NRW
Marsbruchstraße 186
44287 Dortmund

Tel.: 0231/4502–531 (Frau Henke) und
0231/4502–550 (Herr Dr. Rox) und
0231/4502–517 (Herr Dr. Busch)

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Messstelle für Festkörperdosimeter
Postfach 3640
76021 Karlsruhe

Tel. 07247/822644

Auszug aus der Strahlenschutzverordnung veröffentlicht im Bundesgesetzblatt Jahrgang 2001 Teil I Nr. 38, ausgegeben zu Bonn am 26. Juli 2001

Teil 3

Schutz von Mensch und Umwelt vor natürlichen Strahlungsquellen bei Arbeiten

**Kapitel 1
Grundpflichten**

§ 93

Dosisbegrenzung

Wer in eigener Verantwortung eine Arbeit der in Kapitel 2 oder Kapitel 4 genannten Art ausübt oder ausüben lässt, hat dafür zu sorgen, dass die Dosisgrenzwerte in den Kapiteln 2 und 4 nicht überschritten werden.

§ 94

Dosisreduzierung

Wer in eigener Verantwortung eine Arbeit der in den Kapiteln 2 bis 4 genannten Art plant, ausübt oder ausüben lässt, hat geeignete Maßnahmen zu treffen, um unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten.

Kapitel 2

Anforderungen bei terrestrischer Strahlung an Arbeitsplätzen

§ 95

Natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen

(1) Wer in seiner Betriebsstätte eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in Anlage XI genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, hat je nach Zugehörigkeit des Arbeitsfeldes zu Teil A oder B der Anlage XI innerhalb von sechs Monaten nach Beginn der Arbeiten eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Radon-222-Exposition oder der Körperdosis durchzuführen. Die Abschätzung ist unverzüglich zu wiederholen, wenn der Arbeitsplatz so verändert wird, dass eine höhere Strahlenexposition auftreten kann. Satz 1 gilt auch für denjenigen, der in einer fremden Betriebsstätte in eigener Verantwortung Arbeiten nach Satz 1 ausübt oder unter seiner Aufsicht stehende Personen Arbeiten ausüben lässt. In diesem Fall hat der nach Satz 1 Verpflichtete ihm vorliegende Abschätzungen für den Arbeitsplatz bereitzustellen.

(2) Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat der zuständigen Behörde innerhalb von drei Monaten nach Durchführung der Abschätzung nach Absatz 1 Anzeige gemäß Satz 2 zu erstatten, wenn die Abschätzung nach Absatz 1 ergibt, dass die effektive Dosis 6 Millisievert im Kalenderjahr überschreiten kann. Aus der Anzeige müssen die konkrete Art der Arbeit, das betreffende Arbeitsfeld oder die betreffenden Arbeitsfelder, die Anzahl der betroffenen Personen, die eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert im Kalenderjahr erhalten können, die nach Absatz 10 Satz 1 vorgesehene Ermittlung und die nach § 94 vorgesehenen Maßnahmen hervorgehen. Bei Radonexpositionen kann davon ausgegangen werden, dass die effektive Dosis von 6 Millisievert im Kalenderjahr durch diese Expositionen nicht überschritten ist, wenn das Produkt aus Aktivitätskonzentration von Radon-222 am Arbeitsplatz und Aufenthaltszeit im Kalenderjahr den Wert von 2×10^6 Becquerel pro Kubikmeter mal Stunden nicht überschreitet. Bei deutlichen

Abweichungen des Gleichgewichtsfaktors zwischen Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten von dem zugrunde gelegten Wert von 0,4 kann die Behörde abweichende Werte für das Produkt aus Radon-222-Aktivitätskonzentration und Aufenthaltszeit im Kalenderjahr festlegen.

(3) Der nach Absatz 1 Satz 3 Verpflichtete hat dafür zu sorgen, dass er selbst und die unter seiner Aufsicht stehenden Personen in fremden Betriebsstätten anzeigebedürftige Arbeiten nur ausüben, wenn jede Person im Besitz eines vollständig geführten, bei der zuständigen Behörde registrierten Strahlenpasses ist.

(4) Für Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausüben, beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 20 Millisievert im Kalenderjahr. Der Grenzwert der Organdosis beträgt für die Augenlinse 150 Millisievert, für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 500 Millisievert. Bei Radonexpositionen kann davon ausgegangen werden, dass die effektive Dosis von 20 Millisievert im Kalenderjahr durch diese Expositionen nicht überschritten ist, wenn das Produkt aus Aktivitätskonzentration von Radon-222 am Arbeitsplatz und Aufenthaltszeit im Kalenderjahr den Wert von 6×10^6 Becquerel pro Kubikmeter mal Stunden nicht überschreitet. Absatz 2 Satz 4 gilt entsprechend.

(5) Der Grenzwert für die Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen beruflich strahlenexponierter Personen beträgt 400 Millisievert. Die zuständige Behörde kann im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 eine weitere berufliche Strahlenexposition zulassen, wenn diese nicht mehr als 10 Millisievert effektive Dosis im Kalenderjahr beträgt und die beruflich strahlenexponierte Person einwilligt. Die Einwilligung ist schriftlich zu erteilen.

(6) Wurde unter Verstoß gegen Absatz 4 Satz 1 oder 2 ein Grenzwert im Kalenderjahr überschritten, so ist eine Weiterbeschäftigung als beruflich strahlenexponierte Person nur zulässig, wenn die Expositionen in den folgenden vier Kalenderjahren unter Berücksichtigung der erfolgten Grenzwertüberschreitung so begrenzt werden, dass die Summe der Dosen das Fünffache des jeweiligen Grenzwertes nicht überschreitet. Ist die Überschreitung eines Grenzwertes so hoch, dass bei Anwendung von Satz 1 die bisherige Beschäftigung nicht fortgesetzt werden kann, kann die Behörde im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 Ausnahmen von Satz 1 zulassen.

(7) Für Personen unter 18 Jahren beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 6 Millisievert im Kalenderjahr. Der Grenzwert der Organdosis beträgt für die Augenlinse 50 Millisievert, für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 150 Millisievert im Kalenderjahr.

(8) Für ein ungeborenes Kind, das aufgrund der Beschäftigung seiner Mutter einer Strahlenexposition ausgesetzt ist, beträgt der Grenzwert für die Summe der Dosis aus äußerer und innerer Strahlenexposition vom Zeitpunkt der Mitteilung über die Schwangerschaft bis zu deren Ende 1 Millisievert.

(9) Sobald eine Frau, die eine anzeigebedürftige Arbeit ausübt, den nach Absatz 1 Verpflichteten darüber informiert hat, dass sie schwanger ist oder stillt, hat er ihre Arbeitsbedingungen so zu gestalten, dass eine innere berufliche Strahlenexposition ausgeschlossen ist.

(10) Für Personen, die anzeigepflichtige Arbeiten ausüben, hat der nach Absatz 1 Verpflichtete die Radon-222-Exposition und die Körperdosis auf geeignete Weise durch Messung der Ortsdosis, der Ortsdosisleistung, der Konzentration radioaktiver Stoffe oder Gase in der Luft, der Kontamination des Arbeitsplatzes, der Personendosis, der Körperaktivität oder der Aktivität der Ausscheidung nach Maßgabe des Satzes 3 zu ermitteln. Die Radon-222-Exposition kann auch durch direkte Messung ermittelt werden. Die Ermittlungsergebnisse müssen spätestens neun Monate nach erfolgter Strahlenexposition der die anzeigebedürftige Arbeit ausführenden Person vorliegen. Für die Messungen kann die zuständige Behörde die anzuwendenden Messmethoden und Messverfahren festlegen und für Messungen Messstellen bestimmen. § 41 Abs. 8 gilt entsprechend.

(11) Der nach Absatz 1 Verpflichtete darf Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausüben, eine Beschäftigung oder Weiterbeschäftigung nur erlauben, wenn sie innerhalb des jeweiligen Kalenderjahrs von einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 untersucht worden sind und dem nach Absatz 1 Verpflichteten eine von diesem Arzt ausgestellte Bescheinigung vorliegt, nach der der Beschäftigung keine gesundheitlichen Bedenken entgegenstehen. Satz 1 gilt entsprechend für Personen, die in eigener Verantwortung in eigener oder in einer anderen Betriebsstätte Arbeiten ausüben. § 60 Abs. 3 und die §§ 61 und 62 gelten entsprechend. Die in entsprechender Anwendung des § 61 Abs. 1 Satz 1 angeforderten Unterlagen sind dem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 unverzüglich zu übergeben. Der Arzt hat die ärztliche Bescheinigung dem Verpflichteten nach Absatz 1 Satz 1, der beruflich strahlenexponierten Person und, soweit gesundheitliche Bedenken bestehen, auch der zuständigen Behörde unverzüglich zu übersenden.

(12) Bei einer Arbeit nach Absatz 1, die zu einer effektiven Dosis von weniger als 6 Millisievert im Kalenderjahr führt, kann die Pflicht nach § 94 auch dadurch erfüllt werden, dass Strahlenschutzmaßnahmen auf der Grundlage von Vorschriften des allgemeinen Arbeitsschutzes Anwendung finden. Die zuständige Behörde kann entsprechende Nachweise verlangen.

§ 96

Dokumentation und weitere Schutzmaßnahmen

(1) Wer in eigener Verantwortung eine anzeigebedürftige Arbeit nach § 95 Abs. 2 ausübt oder ausüben lässt, hat die Ergebnisse der Ermittlungen nach § 95 Abs. 10 Satz 1 unverzüglich aufzuzeichnen. Die Radon-222-Exposition ist gemäß den Vorgaben des § 95 Abs. 2 Satz 3 und 4 in einen Wert der effektiven Dosis umzurechnen.

(2) Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat

1. die Aufzeichnungen nach Absatz 1
 - a) so lange aufzubewahren, bis die überwachte Person das 75. Lebensjahr vollendet hat oder vollendet hätte, mindestens jedoch 30 Jahre nach Beendigung der jeweiligen Beschäftigung,
 - b) spätestens 95 Jahre nach der Geburt der betroffenen Person zu löschen,
 - c) auf Verlangen der überwachten Person oder der zuständigen Behörde vorzulegen oder bei einer von dieser Behörde zu bestimmenden Stelle zu hinterlegen,
 - d) bei einem Wechsel des Beschäftigungsverhältnisses dem neuen Arbeitgeber auf Verlangen mitzuteilen, falls weiterhin eine Beschäftigung als beruflich strahlenexponierte Person ausgeübt wird,
2. Überschreitungen der Grenzwerte der Körperdosis nach § 95 Abs. 4 Satz 1 oder 2, Abs. 5 Satz 1, Abs. 7 und 8 der zuständigen Behörde unter Angabe der Gründe, der betroffenen Personen und der ermittelten Körperdosen unverzüglich mitzuteilen,
3. den betroffenen Personen im Fall der Nummer 2 die Körperdosis unverzüglich mitzuteilen.

(3) Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat die nach Absatz 1 Satz 2 umgerechnete oder nach § 95 Abs. 10 Satz 1 ermittelte Körperdosis und die in § 112 Abs. 1 Nr. 2 und 3 genannten Angaben der zuständigen Behörde oder einer von ihr bestimmten Stelle zur Weiterleitung an das Strahlenschutzregister binnen Monatsfrist nach der Aufzeichnung zu übermitteln. Das Bundesamt für Strahlenschutz bestimmt das Format und das Verfahren der Übermittlung. Auskünfte aus dem Strahlenschutzregister werden dem nach Absatz 1 Verpflichteten erteilt, soweit es für die Wahrnehmung seiner Aufgaben erforderlich ist. § 112 Abs. 4 Satz 1 Nr. 1 und 3 und Satz 2 findet Anwendung.

(4) Soweit die Expositionsbedingungen es erfordern, ordnet die zuständige Behörde bei anzeigebedürftigen Arbeiten geeignete Maßnahmen entsprechend den §§ 30, 34 bis 39, 43 bis 45, 47 Abs. 3 Satz 1, § 48 Abs. 2, § 67 sowie § 68 Abs. 1 Satz 1 Nr. 3 und 4 an. Sie kann auch anordnen, auf welche Weise die bei anzeigebedürftigen Arbeiten anfallenden Materialien zu entsorgen sind.

(5) Treten in anderen als den in Anlage XI Teil B genannten Arbeitsfeldern Expositionen auf, die denen der in Anlage XI Teil B genannten Arbeitsfeldern entsprechen, kann die zuständige Behörde in entsprechender Anwendung der Absätze 1 bis 4 und des § 95 die erforderlichen Anordnungen treffen.

§117

Übergangsvorschriften

(25) Die Fortsetzung von Arbeiten nach § 95 Abs. 2, die vor dem 1. August 2001 begonnen wurden, ist bis zum 1. August 2003 der zuständigen Behörde anzuzeigen. Genehmigungen nach § 3 der Strahlenschutzverordnung vom 30. Juni 1989 zum Umgang mit radioaktiven Stoffen, die nach § 95 Abs. 2 Satz 1 eine anzeigebedürftige Arbeit ist, gelten als Anzeige nach § 95 Abs. 2 fort, sofern nicht eine Genehmigung nach § 106 erforderlich ist. Im Rahmen solcher Genehmigungen erteilte Nebenbestimmungen gelten als Anordnungen nach § 96 Abs. 4 fort.

(26) Maßnahmen nach § 95 Abs. 10, § 96 Abs. 1 bis 3 und § 103 Abs. 1, Abs. 6 Satz 1, 3 und 4 und Abs. 9 sind bis zum 1. August 2003 umzusetzen.