
Bearbeiter: Fredi Pfeiffer
E-Mail: fredi.pfeiffer@smul.sachsen.de
Tel.: 0351 2612-5406; Fax: 0351 2612-5399
Redaktionsschluss: 10.08.2010

Vergleichende Analyse von Orts- und Personendosimetrie zur Ermittlung der Radonexposition an Arbeitsplätzen

Untersuchungsergebnisse des 1. Teilvorhabens

1 Einleitung und Zielstellung

Die europäischen Anforderungen zum Schutz vor natürlichen Strahlenquellen wurden mit der Strahlenschutzverordnung vom 20.07.2001 (StrlSchV) auch für Arbeiten bei denen Radon-222 und dessen Zerfallsprodukte zu erheblich erhöhten Expositionen führen kann, in nationales Recht umgesetzt. Eine arbeitsplatzbezogene Abschätzung und die Ermittlung der Strahlenexposition aller betroffenen Beschäftigten bezüglich der in Anlage XI, Teil A StrlSchV benannten Arbeitsfelder bildet die Grundlage zur Wahrnehmung der Aufgaben des jeweils Verpflichteten (in der Regel der Betreiber) sowie der Kontrollfunktion der zuständigen Behörde.

Nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand wird die Radonexposition von Beschäftigten in Arbeitsstätten der Wasserwirtschaft, Radon-Heilbäder und –Heilstollen, Schau-/Besucherbergwerken und Schauhöhlen sowie in Betrieben, die bei der Sanierung von Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten und Arbeiten wirksam werden, nach den unterschiedlichsten Messmethoden ermittelt. So wird in einer Reihe von untertägigen Schauobjekten und Wasserwerken Sachsens seit mehreren Jahren die erforderlichen durch integrierende Messungen mittels personenbezogener Exposimeter (Kernspurmessverfahren - durch das DAP akkreditierte bzw. durch das BfS anerkannte Messstelle) abgesichert. Überwiegend werden jedoch Kurzzeitmessgeräte eingesetzt. Dabei werden an einzelnen ausgewählten Betriebspunkten in zeitlich unterschiedlichen Abständen (1 x pro Woche, 1 x pro Monat oder 2 x im Jahr) jeweils Kurzzeitmessungen durchgeführt. Die Expositionsdauer beträgt je nach Messprogramm 4-5 Minuten. Anhand der Aufenthaltszeiten der Beschäftigten erfolgt eine Hochrechnung über ein Kalenderjahr. Bei den Beschäftigten von Bergbausanierungsbetrieben können durch stark variierende Arbeitsabläufe bei den jeweils notwendigen Sicherungs- und Verwehrarbeiten an einer Baustelle ständig wiederkehrenden Arbeitsprofilen wie bei den Bergführern in Schauhöhlen nicht zugeordnet werden.

Die Frage, ob mit den zum Einsatz kommenden Messmethoden und Messgeräten die Radonexposition repräsentativ erfasst wird und welche Unsicherheiten dabei auftreten, kann auf Basis der bisher vorhandenen Erkenntnissen mit ausreichender Sicherheit nicht beantwortet werden. Weiterhin sieht die Strahlenschutzbehörde Untersuchungsbedarf hinsichtlich der Kalibrierung der verwendeten Messgeräte (gültige Kalibrierung vorhanden? Wurde durch ein autorisiertes Unternehmen kalibriert?).

An dieser Stelle setzt das vom LfULG initiierte (Az.13-0345.40/2/16) und von der Bietergemeinschaft ALTRAC Radon-Messtechnik / PreCura Institut für Präventive Medizin e.V. in den Jahren 2009/2010 umgesetzte Fremdleistungsvorhaben an. Es wurden in 11 ausgewählten Unternehmen durch vergleichende Messungen mit unterschiedlichen Messmethoden einerseits sowie Messgeräten verschiedener Bauart andererseits die Unterschiede bei der Ermittlung der personenbezogenen Exposition nach Messsystem und angewandten Verfahren bestimmt und Vorschläge für künftige geeignete Messstrategien zu den jeweiligen Arbeitsfeldern erarbeitet, die repräsentativ und belastbar sein sollen.

Zu diesem Zweck wurden parallel Vergleichsmessungen an einzelnen Betriebspunkten vorgesehen. Im Einzelnen wurde dabei wie folgt vorgegangen:

- personendosimetrische Langzeitmessungen mit passiven Dosimetern einer anerkannten Messstelle über 4 x 3 Monate;
- ortsbezogene Langzeitmessungen mit passiven Dosimetern einer anerkannten Messstelle über 4 x 3 Monate;
- ortsbezogene Kurzzeitmessungen mit im BfS kalibrierten Grubenradiometern;
- ortsbezogene Kurzzeitmessungen mit den bislang routinemäßig eingesetzten Messgeräten in unterschiedlichen Zeitabständen;
- ortsdosimetrische Langzeitmessungen mit kalibrierten elektronischen Messgeräten.

Das Ziel dieser Untersuchungen war die vergleichende Analyse von ortsdosimetrischen Kurz- und Langzeitmessungen mit personenbezogenen Messungen auf der Basis langzeitintegrierender Expositometer zur Ermittlung der tatsächlichen Radonexposition.

2 Gegenwärtiger Stand der Technik - Darstellung der gegenwärtigen Situation

Die Radonkonzentration [c_{Rn}] kann sowohl mit aktiven als auch mit passiven Messgeräten ermittelt werden /1/. Aktive Messmethoden, hierbei handelt es sich um elektronische Geräte mit Direktanzeige, verursachen bei deren Einsatz in der Messpraxis einen vergleichsweise hohen arbeitsorganisatorischen Aufwand und sind kostenintensiv. Sie sind jedoch im Rahmen von ortsgebundenen Übersichtsmessungen für die Ableitung operative Strahlenschutzmaßnahmen unverzichtbar. Die Messungen erfolgen größtenteils mit Grubenradiometern mit typischen Messzeiten von 4 bzw. 5 Minuten. Elektronische Messgeräte erfordern zur Gewährleistung der Qualitätssicherung einen vergleichsweise höherem Kalibrieraufwand als Messsysteme auf der Basis von Kernspurdetektoren. So ist die vom BfS für die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition festgelegte turnusmäßige Kalibrierung derartiger Messgeräte nur an einem akkreditierten Kalibrierlabor (PTB bzw. BfS) zulässig. Eine derartige Kalibrierung ist zwei Jahre gültig und muss danach wiederholt werden /2/.

Passive Messmethoden, hierbei handelt es sich im Wesentlichen um orts- und personendosimetrische Messsysteme auf der Basis von Kernspurdetektoren, sind jährlich einer Vergleichsmessung in der Kalibrierkammer des BfS zu unterziehen. Diese Messsysteme verfügen über keine Direktanzeige. Die Auswertung der einzelnen Detektoren ist vergleichsweise zeitintensiv und aufwendig, dafür sind die Anschaffungskosten sehr niedrig.

Gemäß Richtlinie für die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition bei Arbeiten sind die folgenden Maßnahmen erforderlich:

- Erhebungsmessungen;
- Kontrollmessungen nach Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition;
- Überwachungsmessungen im Rahmen der physikalischen Strahlenschutzkontrolle.

Nur eine sinnvolle Kombination dieser Maßnahmen gewährleistet, dass die Strahlenschutzüberwachung dazu führt, Gesundheitsgefährdungen in diesen Arbeitsfeldern zu vermeiden.

In der Studie angewandte Messverfahren

- ortsbezogene Langzeitmessung mit Expositometern auf der Basis von Kernspurdetektoren
- personendosimetrische Langzeitmessung mit passiven Dosimetern einer anerkannten Messstelle

- ortsbezogene Kurzzeitmessung mit kalibrierten Grubenradiometern der Typen AZ 1 und AZ 3
- ortsbezogene Kurzzeitmessung mit den durch die Betreiber bislang routinemäßig eingesetzten Messgeräten (soweit vorhanden)

Dabei verwendete Messgeräte

- Kombination AlphaGUARD / TN-WL 01 zur Bestimmung der c_{Rn} und PAEK und F
- EQF 3020 zur Bestimmung von c_{Rn} , PAEK, F sowie freiem Anteil an PAEK
- Grubenradiometer AZ 1 und AZ 3 zur Bestimmung der PAEK
- DosemanPro zur Bestimmung der PAEK
- Exposimeter mit Kernspurdetektoren zur Bestimmung der c_{Rn}



Abb. 1 Messgerätevergleich

Eine Studie aus dem Jahr 2000 hat bereits gezeigt, dass zwischen orts- bzw. personenbezogenen Langzeit-Messungen (Kernspurdetektoren, Zeitraum: 8 Monate) zur Ermittlung der individuellen beruflichen Strahlenexposition in untertägigen Objekten z.T. erhebliche Abweichungen auftreten können. Es erfolgte damals jedoch kein direkter Messvergleich zwischen den eingesetzten Kurzzeitmessgeräten. Ebenfalls wurden auch keine elektronischen Langzeit-Messgeräte zur Erfassung des zeitlichen Verlaufes der Aktivitätskonzentrationen, des Gleichgewichtsfaktors sowie des freien Anteils der potenziellen Alpha-Energiekonzentration kurzlebiger Radon-Zerfallsprodukte (PAEK) eingesetzt.

Bei einer ganzheitlichen Betrachtungsweise des beruflichen Strahlenschutzes, speziell an untertägigen Arbeitsplätzen, muss daher im Einzelfall geprüft werden, welche Belastungspfade relevant sind. Im Einzelnen sind das:

- Potenzielle Alpha-Energiekonzentration kurzlebiger Radon-Zerfallsprodukte (PAEK); [c_{pot}]
- Radon-222-Konzentration [c_{Rn}]
- Exposition infolge der langlebigen Radon-Zerfallsprodukten
- Gamma-Ortsdosisleistung

In der Überwachungspraxis zu diesen Arbeitsfeldern werden tatsächlich entweder die potenzielle Alpha-Energiekonzentration kurzlebiger Radon-Zerfallsprodukte **oder** die Radon-222-Konzentration bestimmt.

Man geht davon aus, dass bis auf die kurzlebigen Radon-Zerfallsprodukte alle anderen Komponenten weniger als 10% zur Gesamtstrahlenbelastung beitragen und demzufolge vernachlässigt werden können. Nach der bei der Sanierung von Hinterlassenschaften auf dem Gebiet der neuen Bundesländern weiterhin gültigen Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11.10.1984 (VOAS) fanden weiterhin der freie Anteil kurzlebiger Radon-Zerfallsprodukte (nicht an Aerosole wie z.B. Staub gebunden oder clusterbildend) sowie Thoron (Rn-220) und Thoron-

Zerfallsprodukte keine Berücksichtigung. Der freie Anteil f_p wurde in der Vergangenheit unter den Bedingungen des aktiven Bergbaus vernachlässigt, da dieser deutlich unter fünf Prozent lag.

3 Gegenüberstellung der ermittelten Radonexpositionen

Die Ergebnisse wurden übersichtlich in Datenkennblätter für jedes einzelne zu untersuchende Objekt zusammengefasst. Der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration ist für jedes einzelne Objekt, mit Ausnahme der Bergbausanierungsbetriebe, in Diagrammen dargestellt.

Gegenübergestellt wurden die Radonjahresexpositionen der einzelnen Arbeitnehmer in MBq/m³ nach dem jeweiligen Ermittlungsverfahren:

- Überwachung mit Personendosimeter über 12 Monate
- Prognose basierend auf zwei Messperioden mit Personendosimeter (6 Monate)
- Hochrechnung basierend auf Mittelwerte der Kurzzeitmessungen mit AZ 3
- Abschätzung auf Basis passiver Ortsdosimeter über 12 Monate

Arbeitnehmer und Tragezeit Dosimeter in Stunden während 12 Monaten	AN	Ergebnis Radonexposition P_{Rn} Personendosimeter 12 Monate (Summe aus den Messperioden I bis IV)	Prognose Radonexposition P_{Rn} Für 12 Monate (basierend auf den Messperioden I und II)	Hochrechnung Ergebnis Mittelwert AZ 3 aus allen Einzelmessungen \times Tragezeit	Hochrechnung Ergebnis Mittelwert Ortsdosimeter aus vier Messperioden \times Tragezeit
WW 1: AN 1 : t= 1.976	1	0,925	0,524		
WW 1: AN 2 : t= 1.896	2	0,416	0,601		
WW 2: AN 1 : t= 1.510	3	1,191	0,720		
WW 2: AN 2 : t= 1.482	4	0,475	0,628		
SBW 1: AN 1: t= 704	5	20,966	37,017	34,87	6,227
SBW 2: AN 1: t= 680	6	3,296	4,917	3,727	2,255
SBW 2: AN 2: t= 622	7	4,117	6,222	3,481	2,107
SBW 3: AN 1: t= 464	8	0,507	0,771	0,677	0,411
SBW 3: AN 2: t= 904	9	1,704	2,878	1,318	0,802
SBW 4: AN 1: t= 172	10	0,129	0,782	0,124	1,868
SBW 4: AN 2: t= 716	11	2,607	1,732	0,516	7,733
SBW 4: AN 3: t= 627	12	0,915	0,594	0,462	6,772
SBW 4: AN 4: t= 323	13	1,756	1,850	0,329	3,488
BSB 1: AN 1: t= 1.620	14	0,985	1,824	0,220	5,709
BSB 1: AN 2: t= 1.326	15	0,829	0,953	0,239	2,413
BSB 1: AN 3: t= 1.129	16	2,912	2,097	4,273	/.
BSB 2: AN 1: t= 1.560	17	1,292	1,492	2,022	4,263
BSB 2: AN 2: t= 1.304	18	1,451	1,005	3,988	5,756
BSB 2: AN 3: t= 1.430	19	1,515	2,616	6,509	6,281
BSB 3: AN 1: t= 1.594	20	0,151	0,627	0,311	2,769
Bad 1: AN 1: t= 1.488	21	0,108	<0,070	0,100	0,140
Bad 1: AN 2: t= 1.408	22	0,122	0,094	0,094	0,132
Bad 2: AN 1: t= 493	23	1,656	0,595	0,192	0,152
Bad 2: AN 2: t= 1.111	24	1,032	2,300	0,483	0,342

Tab.2: Übersicht der mit unterschiedlichen Verfahren ermittelten Radonexposition in MBq/m³

WW Wasserwerk SBW Schaubergwerk
 Bad Radonbad BSB Bergbausanierungsbetrieb

Zusammenfassend wird festgestellt, dass aus den personenbezogen ermittelten Messwerten und den Ergebnissen der Abschätzung der Jahresexposition auf der Basis von Kurzzeitmessungen z.T. signifikante Unterschiede resultieren. Diese Diskrepanzen äußern sich in der Mehrzahl der Fälle dahingehend, dass aus Kurzzeitmessungen abgeschätzte Jahresexpositionen die tatsächlichen Expositionen unterschätzen.

4 Beurteilung der verwendeten Messgeräte

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich nur auf die Erfahrungen der Autoren aus dem im Rahmen des Projektes realisierten Messungen und verwendeten Messgeräte unter den jeweiligen Einsatzbedingungen. Die einzelnen Einschätzungen stellen keine generelle Aussage hinsichtlich der Qualität eines einzelnen Messgerätes, eines Geräte-Typs bzw. eines Herstellers dar. Im Folgenden wird als Referenz-Messgerät auf das vor Beginn der Messungen im BfS kalibrierte AZ3 Bezug genommen. Bei allen Parallelmessungen kamen bei dem verwendeten AZ3 die Probenahme mit der Außensonde zur Anwendung.

Grubenradiometer AZ 1

Messgeräte der Bauart AZ 1 wurden bereits ab Mitte der Sechziger Jahre produziert, sind aber dennoch in einigen Unternehmen noch routinemäßig im Einsatz. Dieser Gerätetyp zeichnet sich trotz der vielen Betriebsjahre durch seine Robustheit und Zuverlässigkeit, auch unter schwierigen Bedingungen in untertägigen Bereichen, aus. Es kann konstatiert werden, dass die erzielten Messergebnisse zwar diejenigen des eingesetzten AZ 3 bei Verwendung der Außensonde mehrheitlich unterschätzen, aber die Abweichungen mit bis zu 30% dennoch in einem akzeptablen Rahmen liegen.

Grubenradiometer AZ 2

Bei diesem Messgerät handelt es sich um den Nachfolgetyp des AZ 1. Es wird in den untersuchten Unternehmen nur bei einem Wasserversorger routinemäßig eingesetzt. Gegenüber dem AZ 1 ist festzustellen, dass die Pumpeinheit insbesondere bei großer Staubbelastung scheinbar stör anfälliger ist. Auch bei diesem Messgerät muss festgestellt werden, dass es gegenüber dem AZ 3 zu Unterschätzungen bei der Bestimmung der PAEK führt. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der freie Anteil vergleichsweise hohe Werte annimmt. Geräte dieses Typs können für alle Bereiche, außer in Objekten mit hohem freien Anteil, ohne Einschränkungen eingesetzt werden.

Grubenradiometer AZ 3

Dieses Messgerät stellt die Weiterentwicklung der Typen AZ 1 und AZ 2 dar und wird erst seit einigen Jahren produziert. Es wird, da eine gültige Kalibrierung seitens des BfS vorhanden ist, bei der vorliegenden Analyse als Referenz-Messgerät eingesetzt, d.h. alle mit anderen Messgeräten erzielten Messergebnisse werden mit diesem AZ 3 in Bezug gesetzt und bewertet. Ähnlich wie beim AZ2 stellt aus der Sicht der Autoren die Pumpeinheit möglicherweise eine Schwachstelle dar, zumindest bei Verwendung der Außenfiltermethode bei hohen Staubbelastungen. In diesem Fall muss unbedingt die Filterhalterung des Innenfilters mit einem Filter bestückt sein, damit keine Staubpartikel in die Pumpeinheit gelangen können. Auf diese Besonderheit wird in der Bedienungsanleitung des Gerätes nicht hingewiesen. Bei einem vergleichsweise sehr hohen freien Anteil in der Luft kann es bei Verwendung der Außenfilter-Methode zu keiner nennenswerten Unterschätzung der PAEK kommen, da analog dem AZ 1, der Messkopf direkt in die Umgebungsluft gehalten wird. Messgeräte der AZ 3-Reihe sind bei der Verwendung der Messmethode mit Außensonde uneingeschränkt einsetzbar.

AlphaGUARD / TN-WL 01

Messgeräte vom Typ AlphaGUARD sind im Wesentlichen für kontinuierliche Messungen der Radon-222-Konzentration über größere Zeitintervalle entwickelt worden und sind demzufolge im Diffusionsmodus für Kurzzeitmessungen im Rahmen des operativen Strahlenschutzes weniger geeignet. Es besteht bei Kurzzeitmessungen von weniger als einer Stunde die Gefahr der Unterschätzung der Radonkonzentration, da eine bestimmte Zeit vergeht, bis die Radonkonzentration im Inneren der Messkammer des Gerätes die gleichen Werte annimmt, wie in der Umgebung des Messgerätes. Unter Vorschaltung einer AlphaPump und Umschaltung auf den Modus „1Min/Pump“ kann dieses Gerät auch für Kurzzeitmessungen eingesetzt werden, wobei aber Thoron einen erhöhten Messeffekt vor-

täuschen kann. Wird dieses Messgerät im Diffusionsbetrieb für deutlich mehr als eine Stunde pro Einzelmessung vor Ort eingesetzt, sind die angezeigten Messwerte der Radonkonzentration für den Messzeitraum repräsentativ. Bei vergleichsweise schnell aufeinanderfolgenden Messungen in verschiedenen Objekten besteht bei Verwendung des Diffusionsmodus die Gefahr der Überbewertung der Radonkonzentration in einem Objekt, wenn kurz vorher in einer Anlage mit hoher Radonkonzentration gemessen wurde, da das Radon zeitverzögert aus der Messkammer im Inneren des Gerätes in die Umgebungsluft diffundiert. Dieses Messgerät ist für den operativen Strahlenschutz nur unter Berücksichtigung der o.g. Besonderheiten geeignet.

DosemanPRO

Das DosemanPro wurde zur Ermittlung der personenbezogenen Strahlenexposition infolge kurzlebiger Radon-Zerfallsprodukte entwickelt, vorzugsweise mit einer Tragezeit von ca. acht Stunden pro Tag. Demgegenüber werden Messgeräte dieses Typs bei einigen Anwendern ausschließlich für Kurzmessungen zur Bestimmung der PAEK eingesetzt, mit typischen Messzeiten von 15 Minuten bis zu einer Stunde. Der erste richtige Messwert wird erst nach etwa drei Stunden angezeigt, vorher kommt es zu einer z.T. deutlichen Unterschätzung der tatsächlichen PAEK. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass es offenbar insbesondere bei Luftbewegungen (Wettergeschwindigkeit) am Arbeitsort zu einer Unterschätzung der PAEK kommt. Der Grund hierfür könnte der vergleichsweise geringe Luftdurchsatz der Pumpe (0,18 l/min im Gegensatz zu 2 l/min bei AZ-Geräten) sein. Hier sind weiterführende Untersuchungen zum Praxiseinsatz dieses Gerätes erforderlich.

RnZP-Messgerät RDM

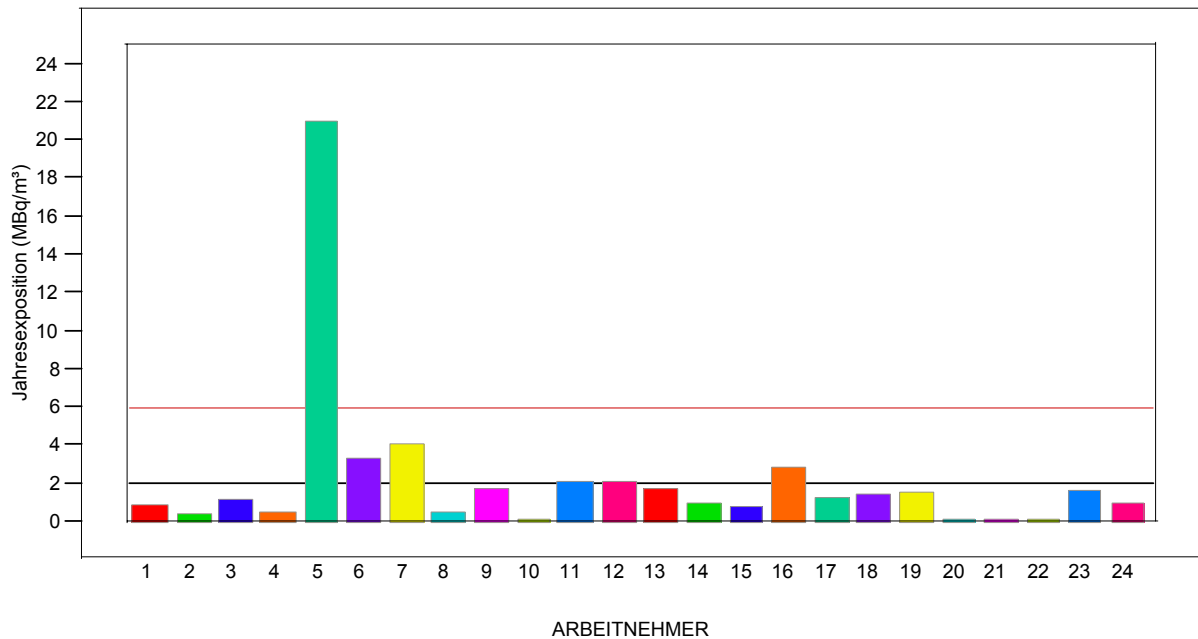
Ein untersuchtes Unternehmen verfügt über drei Stück dieses Messgerätes, die alle für den operativen Strahlenschutz unter Tage eingesetzt werden. Das Messgerät misst auch unter ungünstigen Umgebungsbedingungen im Rahmen der Fehlergrenzen vergleichsweise zuverlässig die PAEK. Der erste wahre Messwert wird nach ca. 15 Minuten angezeigt, so dass es für den operativen Strahlenschutz geeignet erscheint. Dieses Messgerät ist für Messungen im Rahmen des operativen Strahlenschutzes geeignet.

Grubenradiometer RGR 13

Von diesem Messgerät, das im Wesentlichen in den Siebziger und Achtziger Jahren gebaut wurde, sind nur noch sehr wenige funktionsfähige Exemplare im Einsatz. Das Messgerät zeigt sich im Allgemeinen deutlich weniger robust als die Grubenradiometer der Typen der AZ-Reihe. Der Hauptschwachpunkt ist die Pumpeinheit, aber auch die Elektronik zeigt sich anfällig. Insbesondere bei Geräten, die über keine Kalibrierung verfügen, zeigen sich mitunter deutliche Unterschätzungen der tatsächlichen Strahlenexposition. Aus der Sicht der Autoren sind Messgeräte der Reihe RGR 11 ... 13 nur noch einsetzbar, wenn eine permanente Kontrolle des Kalibrierfaktors durch eine anerkannte Kalibrierstelle gewährleistet ist.

Radon-Exposimeter

Passive Diffusionskammern auf der Basis von Kernspurdetektoren sind für den operativen Strahlenschutz nicht geeignet, da diese Messsysteme über keine Direktanzeige verfügen. Diese Exposimeter können nur für Langzeitmessungen eingesetzt werden. Anwendungsmöglichkeiten hier wären insbesondere die Ortsdosimetrie und vor allem der Einsatz für die personenbezogene Ermittlung der Radonexposition in allen denkbaren Arbeitsbereichen (Mindestexpositionszeit 2 Monate). In Sachsen kommen nur Personen-Exposimeter von anerkannten sachverständigen Radon-Messstellen zum Einsatz, so dass eine gleichbleibende Messunsicherheit von maximal $\pm 20\%$ gewährleistet werden kann. Diese Messsysteme sind sehr robust, können auch bei Spritzwasser eingesetzt werden und sind in Kombination mit Referenz-Exposimetern sehr gut für die Ermittlung der personenbezogenen beruflichen Strahlenexposition geeignet.



5 Schlussfolgerungen

Die hier realisierten Messungen und Gespräche vor Ort haben im Verlauf der Untersuchungen zu einer Sensibilisierung der Objektbetreiber und deren Arbeitnehmer bezüglich des beruflichen Strahlenschutzes geführt. So kann konstatiert werden, dass von wenigen Ausnahmen abgesehen, die für Beschäftigte in Untertagebereichen nach sechs Monaten erstellte Prognose der Jahresexposition bei Projektende nach zwölf Monaten z.T. deutlich unterschritten wurde.

Von den Wasserversorgungsunternehmen abgesehen, besteht hinsichtlich der Höhe der Strahlenexposition der Beschäftigten eine teilweise erhebliche Diskrepanz zwischen den Abschätzungen und Annahmen der Unternehmen einerseits und der gemessenen personenbezogenen Exposition andererseits. Vor allem in der Gruppe der untersuchten Schaubergwerke kommt es zu Überschreitungen des Anzeigewertes von 2 MBq/m³.

In den untersuchten Baustellen der Bergbausanierungsbetriebe kann oftmals nur mit vergleichsweise großem Aufwand und kontinuierlicher Kontrolle ein Überschreiten des Anzeigewertes verhindert werden. Es besteht hier eine Situation, die aus einem über den normalen Arbeitsschutz hinausgehenden Handlungsbedarf begründet.

Bereits frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass in einer Reihe von Bergwerken eine personen-dosimetrische Überwachung der Beschäftigten in untertägigen Objekten angestrebt werden sollte. Die Resultate des vorliegenden Berichtes bestätigen diese Ergebnisse und zeigen, dass insbesondere bei Beschäftigten in Bergbausanierungsbetrieben eine personendosimetrische Überwachung die Methode der Wahl darstellt. Wird die Strahlenexposition allein auf der Basis von Kurzzeitmessungen bestimmt, kann es zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Strahlenexpositionen der Beschäftigten kommen.

Eine Kombination von Personendosimetrie (Kernspurmessverfahren) mit Kurzzeitmessungen im Rahmen des operativen Strahlenschutzes stellt die sinnvollste Form des Strahlenschutzes dar. Voraussetzung: Es werden kalibrierte elektronische Messgeräte und Personendosimeter eingesetzt.

Aus der Sicht der Verfasser besteht darüber hinaus die Notwendigkeit auch andere, im Freistaat tätige Bergbausanierungsbetriebe, die hier noch nicht erfasst wurden, zeitnah zu überprüfen. Des Weiteren sollten auch diejenigen Schaubergwerke und Schauhöhlen, die weder im eingangs genannten Vorha-

ben aus 2001 noch im laufenden Untersuchungsprogramm erfasst wurden, zukünftig untersucht werden.

Beschäftigte in Wasserversorgungsunternehmen müssen im Normalbetrieb auf Grund der mit der überwiegenden Mehrwerksbedienung verbundenen kurzen Aufenthaltszeiten in den Anlagen und der zunehmenden Einbeziehung von Oberflächenwässern nicht personendosimetrisch überwacht werden. Allerdings sind bei bestimmten Arbeiten in Hochbehältern (z.B. Behälterreinigung, zeitaufwendige Reparaturen u.ä.) Kurzzeitmessungen bzw. eine temporäre personendosimetrische Überwachung erforderlich.

Mit dem Ziel der Erhöhung der Aussagekraft der hier erzielten Ergebnisse ist eine Erweiterung der Datenbasis der nachfolgend aufgeführten Messgrößen erforderlich:

- Variationsbreite des Gleichgewichtsfaktor F
- Freier Anteil an PAEK
- Einfluss der Wetter auf den Gleichgewichtsfaktor und die Zerfallsprodukte;
- Relevanz von Thoron (Radon-220)

Bei Radonmessungen muss grundsätzlich der Gleichgewichtsfaktor beachtet werden. Gemäß Teil 3 Kapitel 2 StrlSchV müssen Betreiber der zuständigen Behörde Anzeige erstatten, wenn die Abschätzung nach Absatz 1 ergibt, dass die effektive Dosis von 6 Millisievert im Kalenderjahr überschritten werden kann. Bei deutlichen Abweichungen von dem zugrunde gelegten Wert von $F=0,4$ sind die Messergebnisse der Radonkonzentration zu korrigieren, da beispielsweise ein mittlerer Gleichgewichtsfaktor von 0,7 zu einer höheren effektiven Dosis führen würde.

6 Vorläufige Handlungsempfehlungen

Für jede Berufsgruppe wurde auf Grundlage der vorhandenen Datenbasis eine kurze Handlungsempfehlung für die Betreiber erarbeitet, die in Sachsen in weiteren Schritten umgesetzt werden soll. Eine Erweiterung der Datenbasis sollte für eine belastbare Risikobewertung angestrebt werden.

Wasserwerke

- Keine Personendosimetrie erforderlich außer bei Behälterreinigungen (Fremdpersonal)
- Repräsentative Kurzzeit-Messungen ausreichend
- Bei Behälterreinigungen sollten Messungen der Radonkonzentration oder der PAEK durchgeführt werden; Die Erfassung des Gleichgewichtsfaktors wird empfohlen

Schaubergwerke

- Personendosimetrie wird empfohlen (halbjähriger bzw. besser vierteljähriger Wechsel)
- Umfassende Gesamteinschätzung (einmalig) jedes neuen Objektes erforderlich, dabei wird empfohlen, den Gleichgewichtsfaktor im Sommer- und Winterhalbjahr zu ermitteln.

Radon-Bäder

- Bei erhöhten Radonkonzentrationen Personendosimetrie empfohlen (halbjährig)
- Kurzzeitmessungen während des Bäderbetriebes, also beispielsweise während der Verabreichung von Wannensäugern empfohlen
- Ermittlung des mittleren Gleichgewichtsfaktors empfohlen

Bergbausanierungsbetriebe

- Gesamteinschätzung (einmalig) für jede neue Baustelle erforderlich, dabei wird empfohlen:
 - Personendosimetrie sinnvoll (vierteljähriger Wechsel der Dosimeter empfohlen)
 - Zusätzlich regelmäßige Kurzzeit-Messungen im Rahmen des operativen Strahlenschutzes; notwendig insbesondere bei Veränderungen im Betriebsablauf
 - Bestimmung des Gleichgewichtsfaktors in jeder neuen Baustelle erforderlich

Literatur

- /1/ Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission; Band 47: *Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten*. Urban und Fischer, München (2002)
- /2/ Richtlinie für die Überwachung der Strahlenexposition bei Arbeiten nach Teil 3 Kapitel 2 Strahlenschutzverordnung; RS II 3 – 15506/9, 15.12. 2003