

Thomas Schneider und Sven Bauer, Plauen

Das Radon-Problem in der Drachenhöhle Syrau - eine Herausforderung für Strahlen- und Höhlenschutz

1. Problemstellung

Die Drachenhöhle Syrau bei Plauen wurde 1928 bei Steinbrucharbeiten entdeckt und nach halbjährigem Ausbau im September 1928 dem Besucherverkehr freigegeben. Die Höhle ist in einer kleinen Linse oberdevonischer Flaser- und Knollenkalksteine angelegt.

Mit der Erschließung der Höhle wurde ein künstliches Bewetterungssystem geschaffen - die Höhle besaß wahrscheinlich keine bewetterungsrelevanten Natureingänge. Die Wetter wurden durch die Höhendifferenz zwischen Höhleneingang (Fensteröffnung mit Ventilator) und Höhlenausgang (Stahltür) kontrolliert. Es kam in Abhängigkeit von der Außentemperatur, je nachdem ob diese über oder unter der konstanten Höhlentemperatur von ca. 10°C lag, zu einem wechselnden Bewetterungsregime. Der Höhlenausgang liegt um einige Meter tiefer als der Eingang. Bis in die achtziger Jahre wurde die so entstandene Bewetterung sporadisch durch das Betreiben des Ventilators am Höhleneingang verstärkt.

Im Juni 1984 erfolgte durch das damalige Staatliche Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz der DDR (SAAS) eine erste routinemäßige Strahlenschutzerhebungsmessung auf Radon und seine Folgeprodukte (RnFP). Die erzielten Meßwerte ließen eine strahlenschutztechnische Überwachung des untertage eingesetzten Höhlenpersonals notwendig erscheinen, während für Besucher mit einer kurzen Verweilzeit in der Höhle keine Strahlengefährdung zu erwarten war. In der Folge wurde durch das SAAS ein umfangreiches Meßprogramm gefahren und eine Strahlenschutzsanierung der Drachenhöhle konzipiert. Noch im gleichen Jahr wurden Maßnahmen realisiert, den Wetterstrom in der Höhle durch Einblasen von Außenluft zu erhöhen und dadurch, die sich in der Höhlenluft ansammelnden RnFP auszublasen. Am Höhleneingang wurde ein neuer leistungsstärkerer Axialventilator mit einer Förderleistung von 0,3 - 0,4 m³/s installiert und in der Folge dauerbetrieben. Am Höhlenausgang wurde eine Gittertür eingebaut, die einen ungehinderten Austritt der Wetter gewährleisten sollte. Im Juli 1985 wurden im Irrgarten, einem abseits des Hauptwetterstroms gelegenen Höhlenteil, 3 Bohrungen abgeteuft. Die Höhlenverwaltung wurde verpflichtet regelmäßige Kontrollmessungen durchzuführen und Strahlenschutzberichte mit den Meßdaten und den Verweilzeiten des Höhlenpersonals an das SAAS zu liefern.

Die Drachenhöhle verfügt über eine durch das sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung bestätigte Strahlenschutzordnung.

In den Jahren nach diesen Maßnahmen wurden in der Höhle Effekte registriert, die unmittelbar auf das neue Bewetterungsregime zurückgeführt werden mußten. Vor allem dort, wo sich Raumquerschnitte verengten kam es zu Düseneffekten, die eine Austrocknung der lehmigen Höhlensedimente und zur partiellen Zerstörung der für Syrau typischen Lehmkegelreihen führten. Kurzzeitig wurde daraufhin mittels einer Sprühstrecke in der Höhle (Seetreppe) versucht, die eingeblassene Luft anzufeuchten. Technische Schwierigkeiten und Zweifel am Erfolg ließen die Verantwortlichen diesen Versuch schnell beenden.

Anschrift der Autoren:

Sven Bauer, G.-Adolf-Straße 31, 08523 Plauen

Thomas Schneider, Margarethe-Naumann-Straße 35, 08527 Plauen

Zunehmend wurde zur gleichen Zeit eine Explosion der Lampenflora in der Höhle verzeichnet. Eine drastische Minimierung der Höhlenbeleuchtung um fast 50 % und das mechanische Entfernen von Moosrasen und Farnen konnten dem keinen Einhalt gebieten. Spätestens 1990 war die Höhle flächendeckend mit Schimmelpilzen und verschiedenen Flechten infiziert. Unklar ist allerdings, ob diese Flechten nicht erst so spät beobachtet wurden und nicht schon eher existent waren. Von der Höhlenverwaltung wurde festgestellt, daß die Verstärkung der künstlichen Höhlenbewetterung im Komplex mit der in den achtziger Jahren stattgefundenen Entwicklung der Besucherzahlen (1989: 156.000) bei der Größe der Drachenhöhle mit nur 350 m Führungsweg und einer Gesamtganglänge von 500 m dringend Abwehrmaßnahmen erforderlich sind.

In den Wintermonaten 1989/90 und 1990/91 wurde deshalb die Drachenhöhle erstmals für je drei Monate für den Besucherverkehr geschlossen, um der Höhle quasi eine Erholungspause zuzugestehen.

Nach diesen zwei Jahren wurde konstatiert, daß der Zeitraum von drei Monaten zu keinerlei beobachtbaren, positiven Veränderungen führt. Die Lampenfloren hatten sich im Gegenteil weiterentwickelt - Moose gar, nachweislich, bei völliger Dunkelheit frische grüne Triebe ausgebildet. Ab Sommer 1990 wurde der Einsatz des Axialventilators minimiert. Im Frühjahr 1991 wurden vorerst letztmalig Floren mechanisch entfernt. Dies und der insgesamt deutliche Rückgang der Besucherzahlen mögen verantwortlich dafür sein, daß die Entwicklung der Lampenfloren seitdem stagniert.

2. Radon und Radonfolgeprodukte in der Drachenhöhle

Das Vogtland ist allgemein eine Region, in der ein relativ hoher geogener Radon-background zu erwarten ist. Dies liegt einmal an der Existenz größerer Granitkomplexe und zum zweiten am Vorhandensein altpaläozoischer Sedimentserien mit großem pelitischen Anteil. In letzteren sind die Ausgangselemente der Uran-Radium-Zerfallsreihe U^{238} und Ra^{226} , gebunden vor allem an Tonminerale, angereichert und waren unter anderem Gegenstand des WISMUT-Bergbaus im Raum Gera-Ronneburg.

Die in der Syrauer Drachenhöhle auftretende natürliche Belastung der Höhlenluft mit Radon und seinen Folgeprodukten entstammt einmal dem Pelitanteil der Kalke, bzw. zwischengelagerten Tonschieferlagen und -paketen; zum anderen ist anzunehmen, daß freigesetzte Radionuklide aus geologisch benachbarten Tonschiefern über das Kluftsystem in die Höhle hinein entgasen.

Das Ra^{226} mit einer Halbwertszeit von $1,6 \cdot 10^3$ a zerfällt in das Edelgas Rn^{222} (HWZ 3,825 d), dieses weiter in seine kurzlebigen Folgeprodukte Po^{218} (HWZ 3,05 min), Pb^{214} (HWZ 6,28 min), Bi^{214} (HWZ 19,9 min) und Po^{214} (HWZ $1,64 \cdot 10^{-4}$ s). Das Radon und seine Folgeprodukte werden als Gase aus dem Festgesteinskörper freigesetzt und wandern der Schwerkraft bzw. vorhandenen Wetterströmen folgend. Ihre Eigenschaft, schwerer als Luft zu sein, läßt Hohlräume aller Art zu Fallen für Radionuklide werden. Verbinden sich Rn und RnFP mit Staubpartikeln in der Luft, entstehen radioaktive Aerosole, die vom Menschen eingeatmet, in den Atmungsorganen abgelagert werden und eine Bestrahlung der Zellen der Lungen- und Bronchialepithel bewirken. Die abgestrahlte Energiedosis wird fast vollständig im Zellgewebe absorbiert. Die toxikologische Wirkung der Alphastrahlung bestimmter Konzentrationen ist umstritten und soll hier nicht Gegenstand der Betrachtung sein.

In Syrau wurden Messungen mit einem polnischen Meßgerät vom Typ RGR 13 durchgeführt. Ermittelt wird ein, für praktische Zwecke des Strahlenschutzes festgelegter Kennwert - die Konzentration der potentiellen Energie der Alpha-Strahlung der Radonzerfallsprodukte in einer Luftvolumeneinheit. Über einen Glasfaserfilter wird über eine definierte Zeit die zu beprobende Luft gepumpt. Radionuklide werden im Filter gefangen, anschließend wiederum über bestimmte Zeiteinheiten hinweg die Zerfallsereignisse, die vom Filter ausgehen detektiert. Einheit für die ermittelte potentielle Alphaenergiekonzentration E_{pot} ist $\mu J/m^3$.

Die so ermittelten absoluten Energiewerte werden mit einem festgelegten Grenzwert für die

durchschnittliche jährliche Konzentration der potentiellen Alpha-Energie in der Luft ($DAC_{pot} = 4 \cdot 10^7$ MeV/m³ = 6,4 µJ/m³) ins Verhältnis gesetzt.

$$W = E_{pot} / DAC_{pot}$$

Man erhält den dimensionslosen "Betriebspunktwert W" und für die integrale Strahlenbelastung den in h angegebenen Belastungswert $\Sigma W \cdot z$, wobei z die Aufenthaltszeit in h am Betriebspunkt ist.

Über W wurden Strahlenschutzbereiche und Kategorien für Strahlenschutzwerk­tätige definiert. Ziel der Strahlenschutzmaßnahmen durch das SAAS war es, den Betriebspunktwert an allen Meßpunkten in der Drachenhöhle auf unter 0,1 (entspricht lokalitätsbezogen etwa 120 Bq/m³) zu drücken und das Führungspersonal nicht über den Grenzwert von $\Sigma W \cdot z = 2.000$ h hinaus zu belasten. Dieses strahlenhygienische Ziel wurde mit den o. a. Maßnahmen bei ununterbrochenem Lauf des Axialventilators erreicht.

Wegen der ebenfalls angeführten Negativauswirkungen der künstlichen Bewetterung in der Drachenhöhle wurde 1993 erneut ein Meßprogramm durchgeführt. Strahlenschutzerfordernisse und Ansprüchen des Höhlen- und Naturschutzes sollten stärker in Übereinklang gebracht werden. Das Meßprogramm sollte folgende Erkenntnisse bringen:

- Ermittlung von Betriebspunktwerten an verschiedenen Lokalitäten der Höhle
- Erfassung von Schwankungsbreiten der Alphaenergiekonzentration an einzelnen Meßpunkten
- Verhalten der Betriebspunktwerte an 4 ausgewählten Meßpunkten beim zeitlich gestaffelten Betrieb des Axialventilators (künstliche Zusatzbewetterung)
- zeitliche Minimierung der Zusatzbewetterung

Die Ergebnisse von 120 Einzelmessungen, die zwischen Juni und August 1993 in der Drachenhöhle durchgeführt wurden seien hier vorgestellt:

Zur Dimensionierung der allgemein recht ungewöhnlichen Einheiten µJ/m³ für die potentielle Alphaenergiekonzentration E und die bessere Vergleichbarkeit der höhlenspezifischen Betriebspunktwerte W seien einige Grenz- und Vergleichswerte angegeben.

Allgemein erwies es sich als Problem, die mit dem RGR-13 ermittelten und anschließend über gerätespezifische Formeln berechneten Energiekonzentrationen mit sonst üblichen spezifischen Aktivitätsangaben als Zahl der Zerfallsereignisse je Sekunde pro Volumeneinheit (z.B. Bq/l oder Bq/m³) zu vergleichen.

Für die Drachenhöhle existieren zwei direkte Vergleichsangaben (mdl. Mtlg. Dr. Ullmann, Bundesamt für Strahlenschutz):

$$W = 1,0 \text{ entspricht } 2.850 \text{ Bq/m}^3, \quad W = 0,1 \text{ entspricht rund } 120 \text{ Bq/m}^3$$

Der empfohlene Grenzwert für die Radioaktivität in Wohnungen beträgt 250 Bq/m³.

Weitere Vergleiche ermöglichen polnische Vorschriften, die wir der Betriebsanleitung des Meßgerätes entnommen haben. Normative Werte der potentiellen Alphaenergiekonzentration lauten (in µJ/m³):

- | | |
|--|--------|
| -für beruflich Strahlung ausgesetzte Personen, z.B. Bergleute | 6,2 |
| -für Erwachsene in der Population, die radioaktiven Umwelt-
verseuchungen ausgesetzt sind | 0,17 |
| -für Personengruppen, die auch Säuglinge und Kinder umfassen | 0,085. |

In Tabelle 1 werden Betriebspunktwerte aus dem gesamten Bereich der Drachenhöhle aufgelistet, die am 9.07.1993 ermittelt wurden und die als repräsentativ für die natürliche Belastung der Höhlenluft ohne zusätzliches Einblasen von Wettermitteln mittels des Axial-Ventilators am Höhleneingang angesehen werden können.

Generell liegen die Werte weit über den angestrebten Grenzwerten von $W=0,1$ bzw. 0,3. Es läßt sich feststellen, daß Meßpunkte in weiten, offenen Hallen, die vom Hauptwetterstrom (Eingang - Vorhalle - Großer See - Ausgang) erfaßt werden, relativ geringe Werte aufweisen. Die geringsten Werte werden im Zwergenreich (Schatzkammer und Lehmkeller) gemessen. Hohe Werte weisen

Höhlenteile auf, die vom Wetterstrom nur noch randlich oder gar nicht erreicht werden: E.-Weise-Nische, Nixensee, Irrgarten. Dabei läßt sich zeigen, daß die Wetterbohrungen im Irrgarten keinen relevanten Einfluß auf die Bewetterung haben.

Kurzfristige Wiederholungsmessungen (innerhalb 1,5 h) an einem Meßpunkt (Seetreppe) zeigen Schwankungen des Betriebspunktwertes immerhin von 0,5. Solche Schwankungen, wie auch deutliche Ausreißerwerte bei anderen Meßreihen deuten auf eine Reihe von Faktoren, die schwer einzukalkulieren sind. Theoretisch vorstellbare Einflüsse auf die Meßwerte sind:

- natürliche Schwankungen der Radon-Exhalation und des Rn-Zerfalls (Klimaabhängigkeit: Temperatur, Luftdruck etc.)
- Beeinflussung der "normalen" Bewetterung durch Besucher und die Messenden
- gerätebedingte Meßfehler (Umgebungsstrahlung am Gerät)
- Ablese- und Berechnungsungenauigkeiten.

Tabelle 1			
Drachenhöhle Syrau:			
Ermittlung der potentiellen Alphaenergiekonzentration ohne Zusatzbewetterung			
Meßmethode Kusnetzverfahren			
Datum	Außentemp.	Wetter	Aufnahme
9.7.93	18°C	sonnig	T. Schneider
Meßpunkt	E pot (10^{-6} J/m ³)	W	
Eingangstreppenfuß	14,28	2,23	
Deckenstein	12,52	1,96	
Seebrücke	15,96	2,49	
Drachenschlucht (S-Kurve)	13,52	2,11	
Schatzkammer	11,17	1,75	
Lehmkaller	9,32	1,46	
Seetreppe	13,36	2,09	
E.-Weise-Nische	21,42	3,35	
Ausgangstreppe	18,98	2,97	
Nixensee	25,45	3,98	
Irrgarten- Ende	36,37	5,68	
Irrgarten- Schlot	33,60	5,25	

An den schon durch das SAAS ausgewählten vier Meßpunkten: Deckenstein, Lehmkeller, Seetreppe, Nixensee wurden in der Folge Meßreihen gefahren, die die Auswirkungen der Zusatzbewetterung auf die Betriebspunktwerte aufzeigen sollten (Tab. 2). Dabei ist bei Inbetriebnahme des Axialventilators folgende Tendenz zu verzeichnen.

Schon unmittelbar nach Inbetriebnahme der Zusatzbewetterung erfährt die Höhlenluft in den eingangsnahen großen Hallen einen starken Austausch. Die Betriebspunktwerte am Deckenstein und am Ende des Großen Sees auf der Seetreppe reagieren rasch, der im Lehmkeller zeitverzögert, aber deutlich. Innerhalb von 8 h erreichen alle drei Meßpunkte Betriebspunktwerte von unter 0,3.

Im Bereich der Walhalla und des Nixensees kommt es zum Aufstau der vom Eingang in diese Richtung geblasenen Höhlenwetter. Die Betriebspunktwerte steigen bei jedem Einschalten der Belüftung erst einmal einige Stunden

stark an. Dieser Rückstau der radioaktiven Aerosole wird sicher durch das Entweichen der leichteren Frischluft über die Ausgangstreppe verstärkt. Nach 11,5 h Laufzeit der Belüftung wurde dann jedoch auch am Nixensee eine Verminderung von W um 50 %, nach 24 h ein Wert von W=0,39 gemessen. Offensichtlich kommt es nach geraumer Zeit auch hier aufgrund der nun geringer zufließenden radioaktiv belasteten Luft aus dem übrigen Höhlenbereich zu einer wirksamen Verdünnung.

Da der Meßpunkt Nixensee außerhalb und ca. 2 m tiefer als der Führungsweg liegt, wurden in der Walhalla Überprüfungs-messungen durchgeführt, die eine deutlich schnellere Entlüftung für die vom Besucherverkehr befahrenen Teile der Walhalla ergaben.

Abschließend wurde über mehrere Wochen der Axialventilator regelmäßig zwischen 17:00 Uhr abends und 8:00 Uhr morgens zugeschaltet und zu verschiedenen Zeiten am Tage Kontrollmessungen durchgeführt. Die Meßergebnisse lassen den Schluß zu, daß bei diesem Betriebsregime noch abends, kurz vor Wiederinbetriebnahme i.d.R. Werte für W von unter 0,3 erreicht werden.

Tabelle 2

Drachenhöhle Syrau:

Verlauf der Betriebspunktwerte bei In- und Außerbetriebnahme der Zusatzbewetterung

Zeitraum: 10.7.1993 bis 14.7.1993

	8:00 Uhr Ventilator eingeschaltet						8:00 Uhr Ventilator ausgeschaltet						
	10.7.1993						11.7.1993			12.7.1993			
Uhrzeit Meß- punkt \ Ventilator ein/aus /h	7:30	9:30	13:00	15:30	19:30	0:00	7:45	12:15	16:00	19:00	8:00	13:00	17:00
	0	1,5	5	7,5	11,5	11,5	23,75	-4,25	-8	-11	-24	-29	-33
	Betriebspunktwerte W (Kusnetzverfahren)												
Deckenstein	2,30	0,29	0,28	0,33			0,14	0,13	0,19	0,19	0,74	0,67	0,50
Lehmkeller	2,4	2,42	1,25	0,38			0,10	0,14	0,13	0,28	0,60	0,21	0,76
Seetreppe	2,90	1,85	0,22	0,32			0,09	0,16	0,13	0,17	0,56	0,34	1,33
Nixensee	1,96	2,91	4,11	5,25	2,66	1,7	0,46	0,42	0,41	0,39	0,80	0,37	0,80

3. Strahlenschutztechnische Konsequenzen

Geht man von einer maximalen Verweildauer einer Höhlenführerin oder eines Höhlenführers im Untertagebereich der Höhle von 8 x einer halben Stunde am Tag aus, würde dies bei 20 Arbeitstagen im Monat im Jahr eine Verweildauer von 960h bedeuten. Die individuelle Strahlenbelastung beträgt dann bei einem durchschnittlichen Betriebspunktwert von $W=0,3$:

$\Sigma Wz = 0,3 \cdot 960 \text{ h} = 288$. Dieser Wert liegt unter dem Grenzwert von $\Sigma Wz = 600 \text{ h}$ für die Kategorie B der individuellen Strahlenbelastung von Strahlenwerkstätigen.

Diese Ergebnisse machen ungeachtet der in der Regel geringeren Gesamtstrahlenexposition des Höhlenpersonals und möglicher Diskussionen um die reale Gefahr, die von inhalierten Radionukliden ausgeht deutlich, daß eine zusätzliche Bewetterung der Drachenhöhle angezeigt ist. Die Autoren glauben, daß der Kompromiß zwischen den strahlenschutztechnischen Erfordernissen und Aspekten des Höhlenschutzes in dem versuchsweise erprobten Bewetterungsregime (Inbetriebnahme der Belüftung außerhalb der Öffnungszeiten zwischen 17:00 und 8:00 Uhr) bestehen kann. Zusätzlich sollte darüber nachgedacht werden, ob es möglich ist, den Eintrag von Sporen niederer Pflanzen, die sich als Lampenflora ansiedeln bzw. als Flechten die Höhle besiedeln über ein Filtersystem am Ventilator einzudämmen. Ein Schritt in diese Richtung wäre auch, den Ventilator bevorzugt zu Zeiten verminderter Staub- und Sporenbelastung in der Außenluft, z.B. an Regentagen, zuzuschalten.

Für die allgemeine Diskussion, inwieweit sich Höhlenforscher bei ihrer Arbeit in Höhlen einer Strahlungsgefährdung aussetzen, können die doch ausführlichen Messungen in der Drachenhöhle beitragen, die Argumentation zu versachlichen.

Die Maximalbelastung, die von Radon und seinen Folgeprodukten ausgeht und in der Drachenhöhle gemessen wurde, wurde im hinteren Teil des Irrgartens ermittelt. Der dortige Betriebspunktwert von $W = 5,7$ bedeutet, daß sich ein Mensch 35 h im Jahr an diesem Punkt aufhalten dürfte ($\Sigma Wz = 5,7 \cdot 35 \text{ h} = 200 \text{ h}$), ehe er den Grenzwert für die Einstufung als Strahlenwerkstätiger entsprechend der alten DDR-Vorschriften (Die mit dem Einigungsvertrag bundesdeutsches Recht wurden.) überschritten hätte. Höhlenforscher bewegen sich, wenn sie in Höhlen mit vergleichbarer Radon-Belastung tätig sind, also sehr wohl in Bereichen, in denen u.U. eine echte Gefahr vorhanden sein kann.

Quellen: Schriftverkehr der Gemeindeverwaltung Syrau mit dem Staatlichen Amt für Strahlenschutz und Atomsicherheit der DDR (1984-90), der Gemeinsamen Einrichtung der Länder für Strahlenschutz und Atomsicherheit (1990-91) und dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung (1991-93)