



---

## Sachstand

---

### **Grubenwasserflutung im saarländischen Bergbau** Einzelfragen zur möglichen Belastung mit Radon

**Grubenwasserflutung im saarländischen Bergbau**

Einzelfragen zur möglichen Belastung mit Radon

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 021/18  
Abschluss der Arbeit: 22.3.2018  
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und  
Forschung

---

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

---

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Definition Grubenwässer</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>Umweltbelastungen</b>	<b>5</b>
3.1.	Radon	6
3.1.1.	Definition	6
3.1.2.	Durch Radon verursachtes Krankheitsbild	7
3.1.3.	Grenzwerte für Radon im Freien	7
3.1.4.	Grenzwerte für Radon im Trinkwasser	9
3.1.5.	Freigesetzte Menge Radon in stillgelegten Bergwerken	9
3.1.6.	Beispiel Schiefergas	10
3.1.7.	Veränderung der Radonkonzentration durch Grubenwasserflutungen	11
<b>4.</b>	<b>Fazit</b>	<b>14</b>
<b>5.</b>	<b>Quellen und Literatur</b>	<b>14</b>

## 1. Einleitung

Die geplante Grubenflutung in unterschiedlichen saarländischen Bergwerken hat zu einer kontroversen Diskussion über die mögliche Gefährdung des Trinkwassers, Erschütterungen, Erdhebungen und die Gefahren freigesetzter Altlasten und freigesetzten radioaktiven Radons geführt.<sup>1</sup>

Ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde bei Bergarbeitern, die unter Tage extrem hohen Radonbelastungen ausgesetzt waren, bereits vor vielen Jahrzehnten nachgewiesen. Radon wurde deshalb 1980 vom internationalen Krebsforschungszentrum der Weltgesundheitsorganisation (WHO) als für den Menschen krebserregender Stoff eingestuft.<sup>2</sup>

Das Risiko, über Radon in der Luft an Lungenkrebs zu erkranken, haben Experten erforscht und beziffert. Mit Informationen und Studien zum Risiko von gesundheitsgefährdenden Stoffen, insbesondere Radon, des Grubenwassers bzw. als Begleiterscheinung der Grubenflutung befasst sich die vorliegende Arbeit.

## 2. Definition Grubenwässer

„Grubenwässer sind Grundwässer, die einem Grubengebäude **aus dem Nebengestein zufließen**. Wässer mit geringer Mineralisation sind dabei in der Regel vom **Niederschlagswasser** bestimmte Wässer. **Sie erreichen, von der Erdoberfläche kommend, mit unterschiedlicher Verweilzeit** über Porenräume, Fugen, Klüfte oder Störungen das Grubengebäude. Hoch bis sehr **hoch mineralisierte Wässer** gelangen dagegen aufgrund eines vorhandenen hydraulischen Gefälles **aus benachbarten, höher oder auch tiefer gelegenen Horizonten** in das Grubengebäude, **wobei die genaue Herkunft dieser Wässer z. T. kontrovers diskutiert wird**. Neben der allgemeinen Erfahrung, dass in bergbaulich erstellte Hohlräume sowohl schwach- als auch hochmineralisierte Wässer zufließen können, **haben Grubenwässer an verschiedenen Standorten entsprechend der Geologie des umliegenden Gebirges einen standortspezifischen Charakter**. Die Grubenwässer in der Ruhrkohle, im Uran-, Erz- oder Granitbergbau sind aufgrund der erdgeschichtlich differenzierten Entstehungsgeschichte des gesamten geologischen Umfeldes auch in der Zusammensetzung der Mineralisation qualitativ und quantitativ unterschiedlich. Die Deutung der Genese der Wässer er-

---

1 GGF Grundwasser- und Geo-Forschung GmbH erstellt für das Oberbergamt des Saarlandes (2017). Abschlussbericht „Fachgutachtliche hydrogeologische Beurteilung des Grubenwasseranstiegs in bergbaubedingten untertägigen Hohlräumen nach Einstellen des Kohleabbaus im Saarkarbon“, Projekt-Abschlussbericht - Proj.-Nr. LV 03 04 15, [https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group\\_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/Gutachten\\_Wagner\\_1\\_%20Zusammenfassung\\_stichwortartige%20Kurzform.pdf](https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/Gutachten_Wagner_1_%20Zusammenfassung_stichwortartige%20Kurzform.pdf)

RAG Aktiengesellschaft „Das Grubenwasserkonzept des Saarlands“ in „Das Grubenwasserkonzept der RAG“, [https://www.youtube.com/watch?v=9FXb2gi\\_rPA](https://www.youtube.com/watch?v=9FXb2gi_rPA)

2 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) „Radon – ein kaum wahrgenommenes Risiko“, [http://www.bfs.de/Shared-Docs/Downloads/BFS/DE/broschueren/ion/stko-radon.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](http://www.bfs.de/Shared-Docs/Downloads/BFS/DE/broschueren/ion/stko-radon.pdf?__blob=publicationFile&v=7)

folgt nur untergeordnet mittels der Hauptbestandteile, sondern vielmehr an Hand der Konzentration (bzw. von 15 Konzentrationsverhältnissen) bestimmter Elemente, wie z. B. Lithium, Brom, Strontium, Barium, Bor und Jod.“<sup>3</sup>

Analysen, die nicht sehr ähnliche geologische und bergbautechnische Ähnlichkeiten aufweisen, können daher nur bedingt herangezogen bzw. verglichen werden.

### 3. Umweltbelastungen

Im Rahmen von Grubenwasserflutungen wird neben möglichen Erschütterungen, Bodenhebungen und -senkungen des Gebirgskörpers, Vernässung an der Erdoberfläche und einer verstärkten Freisetzung von (gasförmigem) Methan und Radon eine Beeinträchtigung des Trinkwassers befürchtet.<sup>4</sup>

Hinzu kommen Altlasten, „denn in den Bergwerken des Saarlandes lagern bis zu 1500 Tonnen hochgiftige Polychlorierte Byphenyle in Form von Hydraulikölen. [...] Sie gelangten in den Achtzigerjahren durch große Leckagen, Ölwechsel unter Tage und unsachgemäße Entsorgung in die Schächte.“<sup>5</sup> „Die RAG<sup>6</sup> hat ihre Bergwerke in der Vergangenheit nämlich nicht nur zum Abbau von Kohle genutzt. Sie dienten anschließend auch als eine Art Großdeponie für hochgiftige Sonderabfälle. Bereits Mitte 2013 musste das Unternehmen einräumen, dass es in den Neunzigerjahren mehr als 600 000 Tonnen mit Dioxin, Arsen und Quecksilber verseuchten Sonder- und Giftmüll nach einem wissenschaftlich umstrittenen Verfahren in seinen Stollen eingelagert hatte.“<sup>7</sup>

„Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind giftige und krebserregende chemische Chlorverbindungen, die bis in die 1980er Jahre vor allem in Transformatoren, elektrischen Kondensatoren, in Hydraulikanlagen als Hydraulikflüssigkeit, sowie als Weichmacher in Lacken, Dichtungsmassen, Isoliermittel und Kunststoffen verwendet wurden. PCB zählen inzwischen zu den zwölf als „drecksiges Dutzend“ bekannten organischen Giftstoffen, welche durch die Stockholmer Konvention vom 22. Mai 2001 weltweit verboten wurden. [...] Seit Ende der Übergangsfrist 1999 müssen PCB-Altlasten gemeldet und als Sondermüll entsorgt werden. [...] Die PCB-Richtlinie kennt zwei Grenzwerte für PCB: den Vorsorge- und Grenzwert (300 bzw. 3000 ng/m<sup>3</sup> Raumluft).“ Daneben

---

3 Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH (1997). „Charakterisierung von mineralisierten Tiefengrundwässern in nichtsalinaren Festgesteinen“, Kapitel 3.3.4 <https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-144.pdf>

4 Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN, „Grubenwasseranstieg im Saarrevier“, BT-Drs [19/1209](#)

5 Spiegel-Online (2015). „Opfer der Flutung“, <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-132040381.html>

6 RAG Aktiengesellschaft, ehemals Ruhr AG, Bergbaukonzern

7 Spiegel-Online (2015). „Gift im Schacht“, <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-131242900.html>

gibt es Höchstmengen für das Vorkommen von PCB in Lebensmitteln; sie sind in der sog. Schadstoff-Höchstmengenverordnung aufgeführt.<sup>8</sup>

„Der Chlorierungsgrad (d.h. die Zahl der am Grundgerüst befindlichen Chloratome) hat Einfluss auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften und damit direkt Auswirkungen auf das Umweltverhalten und die Toxizität. Mit steigendem Chlorierungsgrad nehmen die Dichte, Fettlöslichkeit (Lipophilie) und Persistenz in der Umwelt zu. Gleichzeitig nehmen die Flüchtigkeit, die Wasserlöslichkeit und das Vermögen, chemische Reaktionen einzugehen, ab. Folglich reichern sich vor allem die schwereren Verbindungen in der Umwelt an, insbesondere in fetthaltigem Gewebe (Akkumulationstendenz).“<sup>9</sup>

PCB werden aufgrund ihrer Langlebigkeit und ihrer Stoffeigenschaften vor allem in Böden und Sedimenten angereichert und gelangen über die Nahrungskette in Mensch und Tier, wo sie sich vor allem in Fettgeweben anreichern. Aufgrund der Anreicherung im Fettgewebe sind selbst kleinste laufend aufgenommene Mengen schädlich. Aufgrund ihrer Fettlöslichkeit werden PCB auch bei bloßem Hautkontakt vom Körper aufgenommen.

Nach den Studien der RAG ist keine Gefährdung der Saar durch die geplanten Grundwasserhebungen gegeben. Im Hochwasserfall werden jedoch weitere Maßnahmen empfohlen.<sup>10</sup> Kürzlich berichteten die Medien, dass die RAG vom Umweltministerium aufgefordert wurde, ein Konzept zur Reinigung von PCB-haltigem Grubenwasser vorzulegen.<sup>11</sup>

Zudem kann es vermehrt zu Methangasaustritten kommen. Damit verbunden tritt auch radioaktives Radon aus.

### 3.1. Radon

#### 3.1.1. Definition

Das Bundesamt für Strahlenschutz beschreibt das radioaktive Gas Radon wie folgt: „Die Erdkruste enthält neben anderen, für die Strahlenexposition des Menschen weniger wichtigen, die natürlichen Radionukliden Uran-238, Uran-235, Thorium-232 und Kalium-40. Als Zwischenprodukt der Zerfallsreihe des Uran-238 entsteht über Radium-226 das radioaktive Edelgas Radon-222

---

8 Chemie.de (1997-29017). „Polychlorierte Biphenyle“, [http://www.chemie.de/lexikon/Polychlorierte\\_Biphenyle.html](http://www.chemie.de/lexikon/Polychlorierte_Biphenyle.html)

9 Umweltbundesamt (UBA) (2017). „Dioxine und dioxinähnliche PCB in Umwelt und Nahrungsketten“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/170210\\_uba\\_hg\\_dioxine\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/170210_uba_hg_dioxine_bf.pdf)

10 Ingenieur- und Planungsbüro LANGE GbR für RAG (2017). „Heben und Einleiten von Grubenwasser am Standort Duhamel in die Saar als Folge des Ansteigenlassens des Grubenwasserspiegels auf -320 mNN in den Wasserprovinzen Reden und Duhamel“, Anlage 1b, [https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group\\_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/1.b\\_NATURA\\_2000\\_Grubenwasser\\_August2017.pdf](https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/1.b_NATURA_2000_Grubenwasser_August2017.pdf)

11 Saarbrücker Zeitung (2018). „Land drängt RAG zu Reinigung von PCB-Wasser“, vom 17.3.2017 Seite B1.

(Halbwertszeit 3,8 Tage). Es ist farblos, geruchlos und geschmacklos. Radon verursacht den größten Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung aus natürlichen Strahlenquellen in Deutschland.“<sup>12</sup> Weiter heißt es zum Verhalten von Radon in der Umwelt: „Ein Teil des entstehenden Radons wird in den Porenraum der Böden und in Gesteine freigesetzt. Von dort wandert es zur Erdoberfläche. Dieser Transport wird durch Spalten und Risse im Untergrund begünstigt. Dadurch kann es über Klüfte, Bergsenkungen oder an der Grenze zweier Gesteinsarten zu lokal erhöhten Radonkonzentrationen kommen. Darüber hinaus kann Radon auch im Grundwasser gelöst und mit diesem im geologischen Untergrund transportiert werden. Radon steigt im Erdboden nach oben und gelangt schließlich in die Atmosphäre. Im Freien verdünnt sich das Gas sehr schnell. Die Konzentrationen unterliegen witterungsbedingt zeitlichen Veränderungen und sind regional unterschiedlich. [...] Die Jahresmittelwerte in der bodennahen Luft liegen gewöhnlich bei 5 Bequerel<sup>13</sup> pro Kubikmeter ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) bis etwa  $30 \text{ Bq}/\text{m}^3$ .<sup>14</sup>

### 3.1.2. Durch Radon verursachtes Krankheitsbild<sup>15</sup>

Unter "Schneeberger Bergkrankheit" versteht man den strahlenbedingten Bronchial- oder Lungenkrebs durch Inhalation des radioaktiven Edelgases Radon und seiner radioaktiven Zerfallsprodukte. Als die Schneeberger Krankheit noch nicht als solche identifiziert war, bezeichnete man chronische Lungenkrankheiten der Bergleute als Bergsucht.

Im Zusammenhang mit der Bewertung der Belastung durch Radon in Innenräumen sprechen die Experten im Allgemeinen von einem zusätzlichen relativen Lungenkrebsrisiko, das durch Radon verursacht wurde.

### 3.1.3. Grenzwerte für Radon im Freien

Die WHO weist daraufhin, dass **kein Grenzwert** für Radon existiert, unter dem es kein Risiko für Lungenkrebs gibt: „There is no known threshold concentration below which radon exposure

---

12 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) „Was ist Radon?“, <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/einfuehrung/einfuehrung.html>

13 Ein Bequerel (Bq) gibt an, wie viele Kernzerfälle pro Sekunde stattfinden, und wird auf eine Menge (Kilogramm oder Liter) bezogen. Die Einheit beschreibt die Aktivität. Die Maßeinheit für die biologische Wirkung auf den Körper oder auf Organe ist das Sievert (Sv).

14 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) „Radon – ein kaum wahrgenommenes Risiko“, <http://www.bfs.de/Shared-Docs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/stko-radon.pdf?blob=publicationFile&v=7>

15 Radon-Info, Kemski & Partner, „Schneeberger Bergkrankheit“, [http://www.radon-info.de/index.php?show=schneeberger\\_bergkrankheit](http://www.radon-info.de/index.php?show=schneeberger_bergkrankheit)

mensch+umwelt spezial (2006). „Lungenkrebs durch Radon“, Ausgabe 8, Seite 37, [https://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/FLUGS/PDF/Veranstaltungen/Radon\\_m\\_u\\_spezial.pdf](https://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/FLUGS/PDF/Veranstaltungen/Radon_m_u_spezial.pdf)

presents no risk. Even low concentrations of radon can result in a small increase in the risk of lung cancer.”<sup>16</sup>

Die Strahlenschutzkommission hat nationale und internationale Gesundheitsstudien insbesondere zur Wirkung von Radon von Uranbergbauarbeitern und Radon und seine Zerfallsprodukte in Innenräumen ausgewertet und das zusätzliche Lungenkrebsrisiko durch Radon bewertet.<sup>17</sup>

Das Bundesamt für Strahlenschutz empfiehlt bauliche Maßnahmen, wenn der Jahresmittelwert der Radonkonzentration von 100 Bq/m<sup>3</sup> **in Gebäuden** überschritten wird.<sup>18</sup>

„Die Radonkarte Deutschlands liefert eine Übersicht über die Radonkonzentration in der Bodenluft in 1m Tiefe unter der Erdoberfläche. In der Bodenluft sind Radonkonzentrationen in einem Bereich von weniger als 10.000 Bq/m<sup>3</sup> bis 100.000 Bq/m<sup>3</sup> üblich.“<sup>19</sup> „Rückschlüsse auf das Risiko erhöhter Radonkonzentrationen in Innenräumen ermöglicht das "Radonpotenzial", das das Gasvorkommen im Boden und seine Durchlässigkeit zu einer Bewertungsgröße verknüpft.“<sup>20</sup>

„Die Europäische Atomgemeinschaft (Euratom) erlaubt von Februar 2018 an einen Radongehalt in Innenräumen von bis zu 300 Becquerel/m<sup>3</sup> (Bq/m<sup>3</sup>) im Jahresmittel. Das heißt, in keinem Kubikmeter sollen mehr als 300 Radonatome pro Sekunde zerfallen.“<sup>21</sup>

---

16 Weltgesundheitsorganisation (WHO) (2009). „WHO Handbook on Indoor Radon“, [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44149/1/9789241547673\\_eng.pdf?ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44149/1/9789241547673_eng.pdf?ua=1)

17 Strahlenschutzkommission (SSK) (2004). „Auswertung der vorliegenden Gesundheitsstudien zum Radon“, [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ssk\\_stellung.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ssk_stellung.pdf)

Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion DIE LINKE „Langfristige Risiken der Exposition gegenüber Radon“, BT-Drs [18/3543](#)

18 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) „Radon – ein kaum wahrgenommenes Risiko“, [http://www.bfs.de/Shared-Docs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/stko-radon.pdf?\\_blob=publicationFile&v=7](http://www.bfs.de/Shared-Docs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/stko-radon.pdf?_blob=publicationFile&v=7)

19 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) „Radon – ein kaum wahrgenommenes Risiko“, [http://www.bfs.de/Shared-Docs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/stko-radon.pdf?\\_blob=publicationFile&v=7](http://www.bfs.de/Shared-Docs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/stko-radon.pdf?_blob=publicationFile&v=7)

20 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) „Radon im Boden“, [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/boden/boden\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/boden/boden_node.html)

21 VDI-Nachrichten (2016). „EU-Richtlinie für weniger Strahlentote“, <https://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/EU-Richtlinie-fuer-weniger-Strahlentote>

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015). „Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation“, <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1651Web-62473672.pdf>

### 3.1.4. Grenzwerte für Radon im Trinkwasser

Zur Sicherung der Trinkwasserqualität trat 2013 eine europäische Richtlinie in Kraft, die 2015 in der deutschen Trinkwasserverordnung aufgenommen wurde.<sup>22</sup> Der Dosisrichtwert der Weltgesundheitsorganisation (WHO) für Trinkwasser beträgt 0,1 Millisievert (mSv) pro Jahr.<sup>23</sup> „Die europäischen Vorgaben berücksichtigen bei der Ermittlung der Gesamtdosis nicht die Dosisbeiträge durch Tritium, Kalium-40, Radon und Radonzerfallsprodukte. Gemäß einer Empfehlung der EU – Kommission zum Schutz der Bevölkerung vor Radon im Trinkwasser aus dem Jahr 2001 sollten allerdings auch Radon und seine Zerfallsprodukte in die Bewertungen einbezogen werden.“<sup>24</sup>

„In einer großangelegten Studie untersuchte das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zwischen 2003 und 2008 fast 600 Trinkwässer aus ganz Deutschland auf natürliche Radionuklide (Uran, Radium, Radon, Blei und Polonium). Das Ergebnis: Trinkwasser liefert durchschnittlich 0,09 mSv pro Jahr, also nur etwa 0,2 % der Gesamtbelastung.“<sup>25</sup>

Tafelwässer mit einem Hinweis auf die Eignung für Säuglingsernährung dürfen gewerbsmäßig nur in den Verkehr gebracht werden, wenn die Aktivitätskonzentrationen für 226 Ra unter 125 mBq/l und für 228 Ra unter 20 mBq/l liegen. Die Summe der Aktivitätskonzentrationen darf einen Wert von 100 mBq/l nicht überschreiten.<sup>26</sup>

### 3.1.5. Freigesetzte Menge Radon in stillgelegten Bergwerken

Aus im Gestein in Spuren vorhandenem Uran und Thorium entsteht durch Zerfall Radon. Radon aus tiefergelegenen Erdschichten erreicht meist nicht die Erdoberfläche, weil es aufgrund seiner kurzen Halbwertszeit auf dem Weg dorthin zerfällt. Gebunden an Methangas kann es an die

---

22 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2018). „Leitfaden schafft Grundlage für Sicherung der Trinkwasserqualität“, [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/trinkwasser/trinkwasser\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/trinkwasser/trinkwasser_node.html)

23 Die biologische Wirkung der radioaktiven Strahlung wird in Millisievert (mSv) angegeben. Der vom Bundesamt für Strahlenschutz angegebene Grenzwert für künstliche und natürliche radioaktive Strahlung beträgt 2,1 mSv pro Jahr. „In Deutschland beträgt die durchschnittliche Strahlenexposition durch Radon in Häusern circa 0,9 Millisievert (mSv) pro Jahr, im Freien circa 0,2 mSv pro Jahr. Mit insgesamt 1,1 mSv pro Jahr ist Radon damit für mehr als die Hälfte der natürlichen Strahlenbelastung verantwortlich.“ Ebenda.

24 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2017). „Natürliche Radionuklide in Mineralwässern“, [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/mineralwasser/mineralwasser\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/mineralwasser/mineralwasser_node.html)

Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland  
[https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-20100319945/3/BfS\\_2010\\_SW\\_06\\_09.pdf](https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-20100319945/3/BfS_2010_SW_06_09.pdf)

25 Umweltbundesamt (UBA) (2016). „Rund um das Trinkwasser“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba\\_rund\\_um\\_das\\_trinkwasser\\_ratgeber\\_web\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_rund_um_das_trinkwasser_ratgeber_web_0.pdf)

26 Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser (Mineral- und Tafelwasser-Verordnung) (2017)., [https://www.gesetze-im-internet.de/min\\_tafelwv/BJNR010360984.html](https://www.gesetze-im-internet.de/min_tafelwv/BJNR010360984.html)

Oberfläche gelangen bzw. befördert werden. In einigen Bergbauregionen (z.B. Uranbergbau) sind bis zu einigen tausend Becquerel pro Kubikmeter freigesetzt worden.<sup>27</sup>

In einer Studie aus dem Jahr 2008 haben die Experten Radon für eine Betrachtung der mikrobiologische Konzentrationsveränderung während des Langzeitverhaltens ausgeschlossen, da dessen Transport über Sickerwasser vernachlässigbar ist. Denn Radon als Edelgas zieht den gasförmigen Zustand vor und verflüchtigt sich.<sup>28</sup>

### 3.1.6. Beispiel Schiefergas

Der Hauptbestandteil von Schiefergas ist Methangas. Mit der Förderung von Schiefergas gelangt auch Radon an die Oberfläche. Im Zusammenhang mit Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten werden Experten wie folgt zitiert: “Die natürliche Radioaktivität der Grubenwässer im Oberkarbon ist insbesondere an die Radium Konzentrationen gebunden und nimmt mit steigendem Salzgehalt zu. Für die hoch mineralisierten Grubenwässer im Ruhrkarbon werden für die Radionuklide 226 Ra Aktivitäten von 60 Bq/l und für 228 Ra von 30 Bq/l angegeben (Wiegand & Feige 2002, Leopold et al. 2002). Nennenswerte Radionuklid-Konzentrationen bzw. -aktivitäten aus den Zerfallsketten oberhalb des Radiums (u.a. Uran, Thorium) sind nicht bekannt. Die genannten Aktivitäten überschreiten die WHO-Richtwerte von 1,0 bzw. 0,1 Bq/l deutlich.“

Weiter heißt es dort: “Umgerechnet auf den durchschnittlichen Wasserkonsum eines Erwachsenen von 2 Litern pro Tag würden die angegebenen Maximalkonzentrationen der dominierenden Radionuklide einer Dosis von ca. 5,8 mSv/a (Millisievert pro Jahr) durch das Isotop 226 Ra und von 7,25 mSv/a durch das Isotop 228 Ra entsprechen. Sowohl die Einzeldosen als auch die Gesamtdosis liegen deutlich über der Gesamtrichtdosis der TrinkwV von 0,1 mSv/a. Auch die Aktivitätshöchstkonzentrationen der Mineral und Tafelwasserverordnung für eine Eignung zur Säuglingsernährung werden um mehr als zwei Größenordnungen überschritten.“<sup>29</sup>

---

27 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) „Radon – ein kaum wahrgenommenes Risiko“, [http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/stko-radon.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/stko-radon.pdf?__blob=publicationFile&v=7)

28 G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH für das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2008). „Methodische Weiterentwicklung des Leitfadens zur radiologischen Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten – Mikrobiologisch induzierte Freisetzung von natürlichen Radionukliden aus Halden mit dem Sickerwasser“, [http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/fachinfo/ion-altlasten/Abschlussbericht-StSch4555.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/fachinfo/ion-altlasten/Abschlussbericht-StSch4555.pdf?__blob=publicationFile&v=1), Seite 14.

29 Umweltbundesamt (UBA) (2012). „Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten“, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4346.pdf>, Seite A83.

### 3.1.7. Veränderung der Radonkonzentration durch Grubenwasserflutungen

Die in dem Kohlegebirge gebundenen Mengen an Gas gelangen mit der Zeit über Inhomogenitäten im Gestein in das noch offene, trockene Grubengebäude und werden bei einem Grubenwasseranstieg aus dem Grubengebäude gedrückt.<sup>30</sup>

Eine Vielzahl von Grubengasaustrittsstellen ist derzeit bekannt und unterliegt im Allgemeinen einem Monitoring. In einem Konzept der RAG heißt es: „Mit dem Grubenwasseranstieg könnte es zeitweise zu einem erhöhten Gasaustritt über Tage an den Naturgasaustrittsstellen kommen oder es könnten zeitweise zusätzliche Austrittsstellen entstehen. Diese temporäre Zunahme von Methan wird überwacht werden.

Mit dann weiter steigendem Grubenwasserstand in den einzelnen Lagerstättenbereichen wird sich die Grubengasdarbietung sukzessive verringern, da das Wasser das Gas in den Poren einschließt und damit die Gasmigration unterbindet. In gleichem Maße verringert sich bzw. entfällt die Möglichkeit einer wirtschaftlichen Grubengasgewinnung. Am Standort Reden wird bereits durch einen geringfügigen Anstieg des Grubenwassers die Gaswegsamkeit auf der -600 m-Sohle sehr schnell unterbrochen. Vor Beginn eines Grubenwasseranstiegs werden Maßnahmen eingeleitet, die sicherstellen, dass entweder das bisherige Ausgasungsverhalten an der Tagesoberfläche unverändert bleibt oder, dass von eventuellen Zusatzausgasungen keine Gefahr ausgeht.“<sup>31</sup>

Im Zusammenhang mit den geplanten Grubenflutungen im Saarrevier kommt ein Gutachten des Oberbergamts des Saarlandes im Hinblick auf die zukünftige Belastung mit Radon zu folgenden Ergebnissen:

„Die speziell das Gas Radon betreffenden Zusammenhänge und Aussagen seien an dieser Stelle nochmals wie folgt zusammengefasst:

Radon ist einer der in der öffentlichen Einschätzung am meisten unterschätzten kanzerogenen Stoffe. Seine Schadwirkung bzw. gesundheitlichen Risiken entfaltet es aber so gut wie nicht im Freien, sondern in Gebäuden bzw. in deren Keller oder unteren Wohnebenen.

Im saarländischen Steinkohlegebirge bzw. Saarbrücker Kohlensattel existiert kein im Vergleich zu anderen Gebieten in Deutschland auffällig hohes Nachlieferpotenzial für Radon.

Aufgrund kurzer Zerfallszeit der verschiedenen Isotope zerfällt Radon bei langen Fließzeiten oder großer Entfernung schon auf dem Transportweg, so dass die Emanation in großen Tiefen in

---

30 Erdbaulaboratorium Saar (ELS) im Auftrag der RAG Aktionsgesellschaft (2017). „Ansteigenlassen des Grubenwasserspiegels auf -320 mNN in den Wasserprovinzen Reden und Duhamel Hydrogeologische Bewertung einer möglichen Beeinflussung des oberflächennahen Grundwassers“, [http://www.bid.rag.de/bid/PDFs/SA//GWA\\_Reden\\_Duhamel/2\\_ELS\\_Hydrogeologische%20Bewertung/3222\\_GA1\\_2017-07-28\\_Grubenwasseranstieg-320mNN.pdf](http://www.bid.rag.de/bid/PDFs/SA//GWA_Reden_Duhamel/2_ELS_Hydrogeologische%20Bewertung/3222_GA1_2017-07-28_Grubenwasseranstieg-320mNN.pdf)

31 KMPG für RAG Aktiengesellschaft (2014). „Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für das Saarland“, [https://www.saarland.de/dokumente/thema\\_grubenwasserhaltung/rag\\_grubenwasserkonzept\\_integraltext.pdf](https://www.saarland.de/dokumente/thema_grubenwasserhaltung/rag_grubenwasserkonzept_integraltext.pdf)

der Regel keine Bedeutung für den Austritt übertage hat. Auch das im Wasser gelöste Radon zerfällt bei langen Fließzeiten bzw. großen Transportwegen auf dem Weg zur übertägigen Auslaufstelle bereits weitgehend.

Von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen, sind vorhandene Austritte an der Geländeoberfläche auf strukturgeologische Auffälligkeiten begrenzt.

Stärkere Erschütterungen können eine Mobilisierung und schlussendlich auch erhöhte Konzentration von Radon und stärkere Austritte an die Geländeoberfläche und in Gebäuden verursachen. Deshalb ist eine erhöhte Überwachung übertage nach stärkeren Erschütterungen im Verlauf des Grubenwasseranstiegs angebracht.

Die Örtlichkeiten mit höherem Radonrisiko sind schon jetzt weitgehend bekannt. Es ist aber nicht auszuschließen, dass einige neue Austrittstellen in schon eingrenzbaaren vermuteten Bereichen hinzukommen können.

Die Austritte und Konzentrationen werden im Zuge des Grubenwasseranstiegs temporär ansteigen, dann aber mit hoher Wahrscheinlichkeit dauerhaft zurückgehen und unter die Messwerte, die aktuell zu messen sind, fallen.

Es ist nicht auszuschließen, dass auch nach dem Grubenwasseranstieg noch Lokalitäten mit erhöhten Radonaustritten, wenn auch in geringerer Zahl, bestehen bleiben und vereinzelt auch nicht tolerierbare Konzentrationen in Gebäuden verursachen können, die dann Anlass für Minderungsmaßnahmen geben. Angesichts des sicheren Wissens, dass hinsichtlich der oberflächennahen Grubengasaustritte nicht die Phase nach Beendigung des Grubenwasseranstieges, sondern die Anstiegsphase das stärkste Gefährdungspotenzial mit sich bringt, sollte ein detaillierter Untersuchungs- und Überwachungsplan sowie ein schubladenfertiger Maßnahmen- und Alarmplan ausgearbeitet werden und vorliegen. Da während des Wasseranstiegs in den Gruben und im Gebirge auch bisher nicht auffällige und unvorhersehbare Stellen für erhöhte Gasaustritte nicht gänzlich auszuschließen sind, sollten solche Möglichkeiten durch eine für diese Restrisikofälle bekannte Vorgehensweise in den Plänen mit berücksichtigt werden. In bestimmten Fällen empfehlen sich auch zeitlich dichte Gasvolumen- und Konzentrations-Messungen.“<sup>32</sup>

---

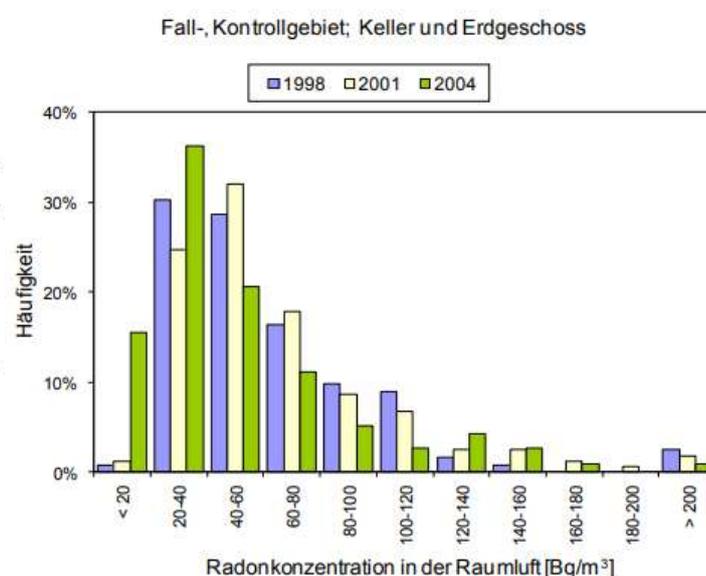
32 GGF Grundwasser- und Geo-Forschung GmbH, erstellt für das Oberbergamt des Saarlandes (2017). Abschlussbericht „Fachgutachtliche hydrogeologische Beurteilung des Grubenwasseranstiegs in bergbaubedingten untertägigen Hohlräumen nach Einstellen des Kohleabbaus im Saarkarbon“, Projekt-Abschlussbericht - Proj.-Nr. LV 03 04 15, [https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group\\_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/Gutachten\\_Wagner\\_1\\_%20Zusammenfassung\\_stichwortartige%20Kurzform.pdf](https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/Gutachten_Wagner_1_%20Zusammenfassung_stichwortartige%20Kurzform.pdf)

Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung (2017). „Umweltverträglichkeitsprüfungen - Grubenwasseranstieg auf -320 m NN“, Linksammlung unter <https://www.uvp-verbund.de/trefferanzeige?docuuid=99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D>

In einer Stellungnahme zum geplanten Grubenwasseranstieg weisen die Experten darauf hin, dass „bekanntermaßen erhöhte CH<sub>4</sub>-Werte [Methan-Werte] mit ebenfalls erhöhten Radonkonzentrationen einhergehen können.“<sup>33</sup> Beispielhaft untersuchen die Gutachter Radon-Messungen der Raumluft in Fürstenhausen nahe Saarbrücken für verschiedene Jahre. Die Analysen betrachten nicht die Veränderungen, die mit einer Grubenflutung einhergehen könnten, sollen jedoch eine ähnliche Situation widerspiegeln. Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft „statistische Kennwerte der Verteilungen der Radonmesswerte aller Messwerte (Fall- und Kontrollgebiet, Keller und Erdgeschoss) der drei Kampagnen in Fürstenhausen, ebenso das Histogramm der Radonmesswerte.“<sup>34</sup>

**alle Messwerte****(Fall-/Kontrollgebiet, Keller/Erdgeschoss)**

	1998	2001	2004
Anzahl	122	162	116
	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>
Minimum	18	10	11
10Pz	31	24	16
<b>Median</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>39</b>
90Pz	111	113	110
Maximum	620	280	355



Die Experten kommen nach Analyse der Messergebnisse zu dem Schluss: „Es waren sowohl deutliche Erhöhungen als auch deutliche Abnahmen der Messwerte zu beobachten, jedoch ohne Muster. [...] Eine Beeinflussung der Radonkonzentration in den Gebäuden durch den untertägigen Abbau ist mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen. [...] Dabei ist von einer mittleren bergbaubedingten Erhöhung der Radonkonzentration um ca. 20 % auszugehen. Diese höheren Werte lagen aber noch immer deutlich unterhalb der o.g. Richtwerte und waren insofern als unbedenklich einzustufen, zumal erfahrungsgemäß die Höhe der Radonaktivitätskonzentration in den Häusern als dynamische Reaktion mit Reduzierung der bergbaulichen Tätigkeit wieder abnimmt.“

Die Experten stufen die Messwerte generell als niedrig ein (die Medianwerte im Keller und im Erdgeschoss lagen ausnahmslos deutlich unter 100 Bq/m<sup>3</sup>) und schließen eine gesundheitliche

33 DMT GmbH & Co. KG (20). „Stellungnahme zur möglichen Radonbelastung in Zusammenhang mit dem geplanten Grubenwasseranstieg auf -320 m NN in den Wasserprovinzen Reden und Duhamel“, [https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group\\_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/6\\_Reden\\_Duhamel%20Radonbelastung\\_18.04.2016.pdf](https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/6_Reden_Duhamel%20Radonbelastung_18.04.2016.pdf)

34 ebenda

Gefährdung der Menschen durch die Inhalation von Radon in Gebäuden mit hoher Wahrscheinlichkeit aus.

Die Gutachter bestätigen auch die Abhängigkeit von Methangas und Radongas. „Zeitgleiche Methan- und Radonmessungen an Methanaustrittsstellen an der Erdoberfläche in Fürstenhausen ergaben eine hoch signifikante positive Korrelation zwischen dem Auftreten der beiden Gase. Dies deutet darauf hin, dass Methan- bzw. Gasgemische als Transportmedium für Radon aus dem Untergrund fungieren. CH<sub>4</sub>-Austrittsstellen sind somit Orte potenziell erhöhter Radonkonzentrationen.“

#### 4. Fazit

Verbunden mit dem Methanaustritt tritt auch radioaktives Radon aus dem Untertagebau aus. Die Experten gehen von einem Anstieg der Werte bei einer Grubenwasserflutung aus. Bisherige Messungen haben ergeben, dass die Werte, wenn nicht unbedingt in den Kellerräumen, zumindest aber in den Aufenthaltsräumen unterhalb des vom Bundesamt für Strahlenschutz empfohlenen Grenzwertes liegen. Inwieweit die Werte bei der geplanten Grubenwasserflutung im Saarland ansteigen, muss ein Monitoring zeigen. Davon unabhängig ist zu berücksichtigen, dass kein Grenzwert für Radon existiert, unterhalb dem es kein Risiko für das Entstehen von Lungenkrebs gibt.

#### 5. Quellen und Literatur

Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN, „Grubenwasseranstieg im Saarrevier“, BT-Drs [19/1209](#)

Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion DIE LINKE „Langfristige Risiken der Exposition gegenüber Radon“, BT-Drs [18/3543](#)

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2017). „Natürliche Radionuklide in Mineralwässern“, [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/mineralwasser/mineralwasser\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/mineralwasser/mineralwasser_node.html)

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2018). „Leitfaden schafft Grundlage für Sicherung der Trinkwasserqualität“, [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/trinkwasser/trinkwasser\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/trinkwasser/trinkwasser_node.html)

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) „Radon – ein kaum wahrgenommenes Risiko“, [http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/stko-radon.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/stko-radon.pdf?__blob=publicationFile&v=7)

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) „Radon im Boden“, [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/boden/boden\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/boden/boden_node.html)

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) „Was ist Radon?“, <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/einfuehrung/einfuehrung.html>

Chemie.de (1997-29017). „Polychlorierte Biphenyle“, [http://www.chemie.de/lexikon/Polychlorierte\\_Biphenyle.html](http://www.chemie.de/lexikon/Polychlorierte_Biphenyle.html)

DMT GmbH & Co. KG (20). „Stellungnahme zur möglichen Radonbelastung in Zusammenhang mit dem geplanten Grubenwasseranstieg auf -320 m NN in den Wasserprovinzen Reden und Duhamel“, [https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group\\_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/6\\_Reden\\_Duhamel%20Radonbelastung\\_18.04.2016.pdf](https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/6_Reden_Duhamel%20Radonbelastung_18.04.2016.pdf)

Erdbaulaboratorium Saar (ELS) im Auftrag der RAG Aktiengesellschaft (2017). „Ansteigenlassen des Grubenwasserspiegels auf -320 mNN in den Wasserprovinzen Reden und Duhamel Hydrogeologische Bewertung einer möglichen Beeinflussung des oberflächennahen Grundwassers“, [http://www.bid.rag.de/bid/PDFs/SA//GWA\\_Reden\\_Duhamel/2\\_ELS\\_Hydrogeologische%20Bewertung/3222\\_GA1\\_2017-07-28\\_Grubenwasseranstieg-320mNN.pdf](http://www.bid.rag.de/bid/PDFs/SA//GWA_Reden_Duhamel/2_ELS_Hydrogeologische%20Bewertung/3222_GA1_2017-07-28_Grubenwasseranstieg-320mNN.pdf)

G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH für das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2008). „Methodische Weiterentwicklung des Leitfadens zur radiologischen Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten – Mikrobiologisch induzierte Freisetzung von natürlichen Radionukliden aus Halden mit dem Sickerwasser“, <http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/fachinfo/ion-altlasten/Abschlussbericht-StSch4555.pdf?blob=publication-File&v=1>, Seite 14

Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH (1997). „Charakterisierung von mineralisierten Tiefengrundwässern in nichtsalinaren Festgesteinen“, Kapitel 3.3.4 <https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-144.pdf>

GGF Grundwasser- und Geo-Forschung GmbH erstellt für das Oberbergamt des Saarlandes (2017). Abschlussbericht „Fachgutachtliche hydrogeologische Beurteilung des Grubenwasseranstiegs in bergbaubedingten untertägigen Hohlräumen nach Einstellen des Kohleabbaus im Saarkarbon“, Projekt-Abschlussbericht - Proj.-Nr. LV 03 04 15, [https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group\\_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/Gutachten\\_Wagner\\_1\\_%20Zusammenfassung\\_stichwortartige%20Kurzform.pdf](https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/Gutachten_Wagner_1_%20Zusammenfassung_stichwortartige%20Kurzform.pdf)

Ingenieur- und Planungsbüro LANGE GbR für RAG (2017). „Heben und Einleiten von Grubenwasser am Standort Duhamel in die Saar als Folge des Ansteigenlassens des Grubenwasserspiegels auf -320 mNN in den Wasserprovinzen Reden und Duhamel“, Anlage 1b, [https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group\\_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/1.b\\_NATURA\\_2000\\_Grubenwasser\\_August2017.pdf](https://www.uvp-verbund.de/documents/ingrid-group_ige-iplug-sl/99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D/1.b_NATURA_2000_Grubenwasser_August2017.pdf)

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015). „Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation“, <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1651Web-62473672.pdf>

---

KMPG für RAG (2014). „Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für das Saarland“, [https://www.saarland.de/dokumente/thema\\_grubenwasserhaltung/rag\\_grubenwasserkonzept\\_integraltext.pdf](https://www.saarland.de/dokumente/thema_grubenwasserhaltung/rag_grubenwasserkonzept_integraltext.pdf)

Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung (2017). „Umweltverträglichkeitsprüfungen - Grubenwasseranstieg auf -320 m NN“, Linksammlung unter <https://www.uvp-verbund.de/trefferanzeige?docuuid=99D1582F-F7E8-4AD5-B774-0C6ADA88CA8D>

mensch+umwelt spezial (2006). „Lungenkrebs durch Radon“, Ausgabe 8, Seite 37, [https://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/FLUGS/PDF/Veranstaltungen/Radon\\_m\\_u\\_spezial.pdf](https://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/FLUGS/PDF/Veranstaltungen/Radon_m_u_spezial.pdf)

Radon-Info, Kemski & Partner, „Schneeberger Bergkrankheit“, [http://www.radon-info.de/index.php?show=schneeberger\\_bergkrankheit](http://www.radon-info.de/index.php?show=schneeberger_bergkrankheit)

RAG Aktiengesellschaft „Das Grubenwasserkonzept des Saarlands“ in „Das Grubenwasserkonzept der RAG“, [https://www.youtube.com/watch?v=9FXb2gi\\_rPA](https://www.youtube.com/watch?v=9FXb2gi_rPA)

Saarbrücker Zeitung (2018). „Land drängt RAG zu Reinigung von PCB-Wasser“, vom 17.3.2017 Seite B1

Spiegel-Online (2015). „Gift im Schacht“, <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-131242900.html>

Spiegel-Online (2015). „Opfer der Flutung“, <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-132040381.html>

Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland [https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-20100319945/3/BfS\\_2010\\_SW\\_06\\_09.pdf](https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-20100319945/3/BfS_2010_SW_06_09.pdf)

Strahlenschutzkommission (SSK) (2004). „Auswertung der vorliegenden Gesundheitsstudien zum Radon“, [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ssk\\_stellung.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ssk_stellung.pdf)

Umweltbundesamt (UBA) (2012). „Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten“, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4346.pdf>, Seite A83

Umweltbundesamt (UBA) (2016). „Rund um das Trinkwasser“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba\\_rund\\_um\\_das\\_trinkwasser\\_ratgeber\\_web\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_rund_um_das_trinkwasser_ratgeber_web_0.pdf)

Umweltbundesamt (UBA) (2017). „Dioxine und dioxinähnliche PCB in Umwelt und Nahrungsketten“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/170210\\_uba\\_hg\\_dioxine\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/170210_uba_hg_dioxine_bf.pdf)

VDI-Nachrichten (2016). „EU-Richtlinie für weniger Strahlentote“, <https://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/EU-Richtlinie-fuer-weniger-Strahlentote>

Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser (Mineral- und Tafelwasser-Verordnung) (2017)., [https://www.gesetze-im-internet.de/min\\_tafelwv/BJNR010360984.html](https://www.gesetze-im-internet.de/min_tafelwv/BJNR010360984.html)

Weltgesundheitsorganisation (WHO) (2009). „WHO Handbook on Indoor Radon“, [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44149/1/9789241547673\\_eng.pdf?ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44149/1/9789241547673_eng.pdf?ua=1)

Wolkersdorfer, C. (2008). Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines – Fundamentals, Tracer Tests, Modelling, Water Treatment, Heidelberg, Springer. (TUT: 628.168 32 WOL)

Wolkersdorfer, Ch. (2006). Habilitationsschrift “Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines”, <https://www.wolkersdorfer.info/publication/pdf/MineAbandonment.pdf>

\*\*\*