

Das geogene Radon-Potenzial

Die Aktivitätskonzentration von Radon (^{222}Rn) in Innenräumen hängt von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren ab. Neben den Gebäudeeigenschaften ist der Boden unter dem Gebäude die wichtigste Quelle für Radon in Innenräumen. Um verschiedene Orte oder Regionen mit unterschiedlichen Bodenstrukturen miteinander vergleichen zu können, eignet sich das „geogene Radon-Potenzial“, eine Funktion aus der Radon-Aktivitätskonzentration in der Bodenluft und der Permeabilität des Bodens. Diese Größe kann als Maß für die Menge an Radon verstanden werden, die ein Boden freisetzt. Neben der Vergleichbarkeit verschiedener Orte kann das geogene Radon-Potenzial auch als Grundlage dafür dienen, Gebiete auszuweisen, in denen nach StrlSchG die Radon-Konzentration in der Raumluft „in einer beträchtlichen Zahl von Gebäuden“ den Referenzwert von 300 Bq/m^3 überschreitet.

Referenzwerte und Vorsorgegebiete

Mit dem Inkrafttreten des neuen Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) am 31.12.2018 wurde in Deutschland der Referenzwert für die ^{222}Rn -Aktivitätskonzentration in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen von 300 Bq/m^3 eingeführt. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass der Referenzwert über- oder unterschritten wird, ist für die verschiedenen Regionen Deutschlands sehr unterschiedlich. Sie hängt nicht nur von einer Vielzahl von Parametern ab, die von der Gebäudebeschaffenheit, der Baubsubstanz oder auch vom Wohnverhalten der Bewohner bestimmt sind, sondern insbesondere auch von der Bodenbeschaffenheit und von anderen geologischen Bedingungen des Untergrunds (z. B. mineralogische Zusammensetzung, Porosität in Lockergesteinen oder tektonische Elemente). Damit ergeben sich hinsichtlich der zu erwartenden Radon-Kon-

zentrationen deutliche regionale Unterschiede: In Ostfriesland mit bevorzugt quarzhaltigen Sedimenten findet man sicherlich seltener Innenräume oberhalb des Referenzwerts als beispielsweise im Schwarzwald oder im Erzgebirge mit den hauptsächlich kristallinen Festgesteinen.

Die in den Innenräumen vorliegende Radon-Konzentration wird beeinflusst durch

- die Radon-Konzentration in der Bodenluft,
- die Permeabilität des Bodens und die damit verbundenen Radon-Transporteigenschaften (Diffusion und/oder Konvektion) sowie
- die Eindringwahrscheinlichkeit des Radons in ein Gebäude.

Um den unterschiedlichen regionalen Radon-Situationen Rechnung zu tragen, sieht das StrlSchG in § 121 die Ausweisung von sogenannten „Radon-Vorsorgegebieten“ vor. (Der Begriff als solcher kommt allerdings im StrlSchG gar nicht vor.) Damit werden Gebiete gekennzeichnet, in denen die Radon-

Konzentration in der Raumluft „in einer beträchtlichen Zahl von Gebäuden“ den Referenzwert überschreitet [1]. Die Ausweisung solcher Gebiete obliegt den einzelnen Bundesländern, die verschiedene Herangehensweisen je nach existierender Datenlage und bestehenden Verwaltungsstrukturen anwenden. Einheitlich gefordert ist allerdings, dass die Ausweisung dieser Gebiete „auf Grundlage einer wissenschaftlich basierten Methode“ erfolgt, die eine „Vorhersage“ ermöglicht, ob der Referenzwert überschritten wird (§ 153 StrlSchV [2]).

Eine gemäß der StrlSchV geforderte „wissenschaftlich basierte Methode“ wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) entwickelt und baut auf Kriterien auf, bei denen das Radon-Potenzial einer Region eine zentrale Rolle spielt [3]. Das Radon-Potenzial ist dabei nicht nur ein qualitativer sprachlicher Begriff, sondern auch eine physikalisch definierte Größe, die sich aus messbaren Variablen zusammensetzt. Um diese Größe in solcher Weise abzugrenzen, wird sie häufig als „geogenes Radon-Potenzial“ bezeichnet [3]. Ziel ist die Definition eines Schwellenwerts für das geogene Radon-Potenzial, dessen Überschreitung ein Radon-Vorsorgegebiet kennzeichnet.

In das geogene Radon-Potenzial gehen in bestimmter Weise 2 wichtige Bodenparameter als Messgrößen ein:

- die Radon-Bodenluftkonzentration c_{Rn} und
- die Bodenpermeabilität k .

Die Radon-Bodenluftkonzentration gibt an, wie viel Radon in den Porenhohlräumen des Erdbodens vorliegt, und ist gewissermaßen ein Maß für die Stärke der Radon-Quelle im Boden. Sie wird nach festgelegten Verfahren in 1 m Tiefe im Erdboden gemessen [4] (Abb. 1).

Radon-Potenzial: physikalisch definierte Größe

Regionale Unterschiede der Radon-Konzentrationen

„Radon-Vorsorgegebiete“



Abb. 1: Illustration einer typischen Radon-Bodenluftmessung mittels einer Packersonde; angesaugt und gemessen wird die Luft, die sich im Porenraum des Bodens in 1 m Tiefe sammelt. Grafik: conduo.de/J. Seekatz

Der andere Bodenparameter, die Boden-Permeabilität, gibt an, wie „durchlässig“ ein Boden ist. Aus dieser Größe kann abgeleitet werden, wie viel von dem entstandenen Radon dem Erdboden entweichen und an die Oberfläche gelangen kann. Beide Größen, die Bodenluftkonzentration und die Permeabilität, bestimmen also das Ausmaß der Radon-Freisetzung aus dem Erdboden. Wenn man die Permeabilität (einfach) logarithmisch gegen die Bodenluftkonzentration aufträgt (Abb. 2), kann man rein formal alle Punkte zusam-

menfassen, die auf einer gemeinsamen Geraden liegen. Vergleicht man eine Bodensituation, bei der die Bodenluftkonzentration c_{Rn} (angegeben in kBq/m^3) klein und die Permeabilität k (angegeben in m^2) groß ist (z. B. ein Punkt links auf der blauen Geraden), mit einer anderen Bodensituation, bei der im Gegensatz dazu c_{Rn} groß ist und k klein (z. B. ein Punkt rechts auf der blauen Geraden), so kann beiden Situationen doch eine ähnliche Bedeutung hinsichtlich der Radon-Freisetzung aus dem Boden und damit der Vorhersagemöglichkeit der Radon-Innenraumkonzentration zukommen: Beide Bodensituationen hätten dann das gleiche „Radon-Potenzial“. Will man diesen Umstand quantifizieren, so bietet sich an, die Radon-Bodenluftkonzentration c_{Rn} mit der Bodenpermeabilität k in Beziehung zu setzen, z. B. in folgender Form:

$$\log\left(\frac{k}{\text{m}^2}\right) = m \cdot \left(\frac{c_{Rn}}{\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}}\right) + b \quad (1)$$

Dabei ist m die Steigung und b der Achsenabschnitt der Geraden (vgl. Abb. 2).

In dieser logarithmischen Darstellung bedeutet das, dass alle Punkte entlang einer Geraden unterschiedliche Bodensituationen beschreiben, die dennoch zu einer gleichen Beurteilung des Radon-Potenzials, d. h. zu gleicher Vorhersage eines Erwartungswerts zur Radon-Innenraumkonzentration, führen.

Eine geringe Radon-Bodenluftkonzentration (z. B. $24 \text{ kBq}/\text{m}^3$) bei hoher Bodenpermeabilität (z. B. 10^{-11} m^2) führt zum gleichen Radon-Potenzial wie ein großes c_{Rn} (z. B. $96 \text{ kBq}/\text{m}^3$) bei kleinem k (z. B. 10^{-14} m^2). Eine andere Kurve bedeutet ein anderes Radon-Potenzial (blaue und braune Geraden in Abb. 2).

Beurteilung des Radon-Potenzials

Radon-Quelle und Radon-Bodenluftkonzentration

Das gasförmige ^{222}Rn wird aus dem Zerfall des ^{226}Ra in der natürlichen

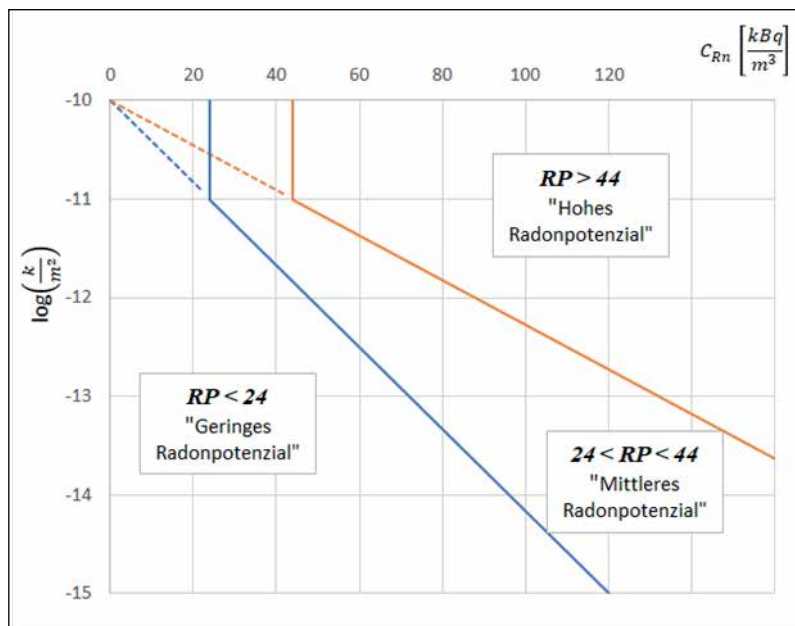


Abb. 2: Beziehung zwischen der Bodenpermeabilität k und der Radon-Bodenluftkonzentration c_{Rn} bei gleichen geogenen Radon-Potenzialen $RP = 44$ (braune Linie) und $RP = 24$ (blaue Linie). Das geogene Radon-Potenzial entspricht den (negativen) reziproken Steigungen der Kurven. Für Permeabilitätswerte $k > 10^{-11} \text{ m}^2$ entspricht das geogene Radon-Potenzial RP numerisch der Radon-Bodenluftkonzentration.

Zerfallsreihe des ^{238}U gebildet. Das radioaktive Edelgas kann aus den Kornoberflächen von Mineralen in den verschiedenen geologischen Strukturen auf verschiedenen Wegen freigesetzt werden. Diese auch Emanation genannten Prozesse führen zur Freisetzung aus den Gesteins- und Bodenschichten und zum Übergang in die fluide oder gasförmige Phase. Diese und andere Prozesse führen in Abhängigkeit von der Bodenstruktur und der Tiefe zu unterschiedlichen Radon-Konzentrationen in der Bodenluft, aus der ^{222}Rn über diffusive oder konvektive Transportprozesse an die Oberfläche gelangen kann.

Neben der Zusammensetzung der zugrunde liegenden Geologie und des Bodenaufbaus können auch geologische Verwerfungen die Radon-Konzentration lokal stark beeinflussen. Solche Verwerfungen können als bevorzugter Migrationspfad für Radon aus tiefer liegenden Gesteinen dienen. Als Referenz für die Beurteilung der Radon-Situation wird i. d. R. eine Bodentiefe von 1 m gewählt, in der c_{Rn} und k bestimmt werden [4, 5] (Abb. 1). Der Wertebereich erstreckt sich in der Praxis von typischerweise wenigen kBq/m^3 in Nordwestdeutschland bis einigen $100 \text{ kBq}/\text{m}^3$ im Erzgebirge, im Schwarzwald und in einigen anderen Regionen.

Bodenpermeabilität

Nach der Bildung des Radons in Gesteinen und Böden bestimmen Migrationsprozesse die Bewegung und Diffusion durch Gesteine und Böden

aufgrund von Konzentrations- und Druckgradienten. Dabei sind bodenphysikalische und geochemische Faktoren sowie hydro-(geo-)logische, geodynamische und meteorologische Parameter

die bestimmenden Einflussfaktoren auf die Bodenpermeabilität für Radon oder allgemein für Gase. Die Gasper-

meabilität ist ein Maß für die Durchlässigkeit von Böden und Gesteinen und ist folgendermaßen definiert:

$$k = \frac{\dot{V} \cdot l \cdot \eta}{a \cdot \Delta p} \quad (2)$$

Dabei ist \dot{V} der Volumenstrom mit $[\dot{V}] = \text{m}^3/\text{s}$, l die Strömungsstrecke mit $[l] = \text{m}$, η die dynamische Viskosität mit $[\eta] = \text{Pa} \cdot \text{s}$, a die durchströmte Fläche mit $[a] = \text{m}^2$ und Δp die Druckdifferenz mit $[\Delta p] = \text{Pa}$ entlang der Strömungsstrecke. Die SI-Einheit der Permeabilität ist demnach $[k] = \text{m}^2$. Die Permeabilität kann sich in der Praxis über viele Größenordnungen erstrecken. Typisch sind Werte zwischen $k = 10^{-10} \dots 10^{-14} \text{ m}^2$.

In der Praxis lässt sich die Permeabilität leicht im gleichen Bohrloch bestimmen, in dem auch die Radon-Konzentration bestimmt wird (Abb. 1). Entweder werden schon bei der Radon-Messung der Volumenstrom und die Druckdifferenz bestimmt oder im Anschluss an die Messung mit einer separaten Pumpe.

Es ist allerdings zu beachten, dass die Permeabilität des Bodens um das Bohrloch herum zwar von der intrinsischen Permeabilität und der vorliegenden Durchfeuchtung der Bodenart abhängt, aber von Wegsamkeiten im Erdreich stark beeinflusst werden kann (Abb. 1). Hierzu gehören unter anderem Trockenrisse, die auch bei sehr bindigen Böden infolge der Schrumpfung durch Wasserverlust beim Austrocknen auftreten, oder auch Grab- und Bohrlöcher bodenbewohnender Lebewesen (Bioturbation). Solche Wegsamkeiten führen bei der In-situ-Messung des Bodens zu einer höheren Permeabilität, als sie für diese Bodenart im Labor durch Permeabilitätsmessungen oder Korngrößenanalysen ermittelt würde.

Das „geogene“ Radon-Potenzial

Wie jede lineare Beziehung hat auch die in Abbildung 2 gezeigte Funktion (in logarithmischer Auftragung) eine Steigung m und einen Achsenabschnitt b (vgl. Gl. (1)). Zur Kennzeichnung des Radon-Potenzials soll jedoch nur die Steigung dienen. Sie sagt aus, wie stark die Radon-Bodenluftkonzentration c_{Rn} mit der Permeabilität k des Bodens zunimmt, und kann damit als Maß für die Freisetzung des Radons aus dem Erdboden und somit für das Radon-Potenzial angesehen werden. Der Achsenabschnitt ist dagegen für diese Betrachtung ohne Bedeutung und kann empirisch aus Messdaten bzw. durch Extrapolation bis $c_{\text{Rn}} = 0$ ermittelt werden. Auf der Grundlage solcher Verfahren wurde als Achsenabschnitt $b = -10$ ermittelt [6], was einer Permeabilität von $k = 10^{-10} \text{ m}^2$ bei $c_{\text{Rn}} = 0$ entspricht.

Normiert man also die (logarithmische) Permeabilitätsachse mit dem so ermittelten Achsenabschnitt (vgl. Abb. 2), so ergibt sich ein neuer Nullpunkt, durch den alle Kurven unterschiedlicher Steigung gehen und sich (idealerweise) dort kreuzen bzw. dort

beginnen.

Es bleibt somit lediglich die Steigung m zur Kennzeichnung des Radon-Potenzials, das in dieser Definition mit der negativen reziproken Steigung

$$RP = \frac{1}{-m}$$

dann das „geogene“ Radon-Potenzial RP genannt wird:

$$\log\left(\frac{k}{\text{m}^2}\right) - b = \quad (3)$$

$$\log\left(\frac{k}{\text{m}^2}\right) + 10 =$$

$$m \cdot c_{\text{Rn}} / \text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$RP = \frac{1}{-m} = \frac{c_{\text{Rn}} / \text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}}{-\log\left(\frac{k}{\text{m}^2}\right) - 10}$$

Bodenpermeabilität für Radon?

Einordnung Radon-Potenzial	Bauausführung
„Gering“	Normale, gute Bauausführung Sorgfältige Abdichtungen von Durchführungen in Bodenplatten und erdberührenden Wänden (Kellerwände)
„Mittel“	Radonsichere Baulösungen Sorgfältige Bauweise, dichte Strukturen über dem Baugrund wie z. B. luftundurchlässige Folien Allgemein anerkannte Regeln der Technik mit Maßnahmen für einen erforderlichen Feuchteschutz nach § 123 StrlSchG
„Hoch“	Radonsichere Bauausführungen Sehr sorgfältige Bauweise mit kombinierten technischen Lösungen wie z. B. Bau von Drainagen unterhalb der Gebäude und/oder Einrichtungen zur Absaugung der Bodenluft

Tab. 1: Schlussfolgerungen für Bauausführungen

Das geogene Radon-Potenzial vereint somit in einer einzigen Größe die beiden wesentlichen, die Radon-Freisetzung bestimmenden Messgrößen der Bodenluftkonzentration und der Permeabilität.

Das Radon-Potenzial kann nach [6] in „gering“, „mittel“ und „hoch“ unterteilt werden (Abb. 2). Dieser Parameter hat sich auch als eine gut charakterisierende Größe für die Bewertung der Radon-Situation auf Grundstücken etabliert, aus der z. B. erforderliche Schutzmaßnahmen zur Verhinderung des Eindringens von Radon in neu zu

errichtende Gebäude abgeleitet werden können. Typische Werte für das geogene Radon-Potenzial bewegen sich zwischen 1 und 200. Als Grundlage für die Entscheidung zur Ausweisung von Radon-Vorsorgegebieten hat das BfS in Anlehnung an [3] die Kategorisierung in Klassen $RP < 24$, $24 < RP < 44$ und $RP > 44$ vorgenommen (vgl. Abb. 2 und 3). Nach der oben genannten Unterteilung können orientierend die in Tabelle 1 aufgeführten Schlussfolgerungen für Schutzmaßnahmen abgeleitet werden. Die in der Tabelle aufgeführten Angaben zur Bauausführung haben einen orientierenden Charakter. Die konkreten sogenannten Konstruktionsprinzipien und damit

die Umsetzung der Radon-Schutzmaßnahmen werden demnächst in einschlägigen DIN-Vorschriften formuliert sein.

In Abbildung 3 ist der Zusammenhang zwischen dem geogenen Radon-Potenzial, der Radon-Bodenluftkonzentration und der Bodenpermeabilität (als Parameterkurven) dargestellt. Aus dieser Darstellung wird deutlich, welche Parameterkonstellation die Einteilung in verschiedene Bereiche des geogenen Radon-Potenzials zur Folge hat.

Anwendungsgrenzen des Konzepts

An sich scheint das Konzept des geogenen Radon-Potenzials eine vergleichsweise einfache, gut nachvollziehbare und praktikable Größe zum Zweck einer quantitativen Beschreibung der Radon-Freisetzung aus dem Erdbo-den zu sein. Sie weist jedoch auch einige Fallstricke auf, die

Radon-Potenzial: eine praktikable Größe?

Erforderliche Schutzmaßnahmen

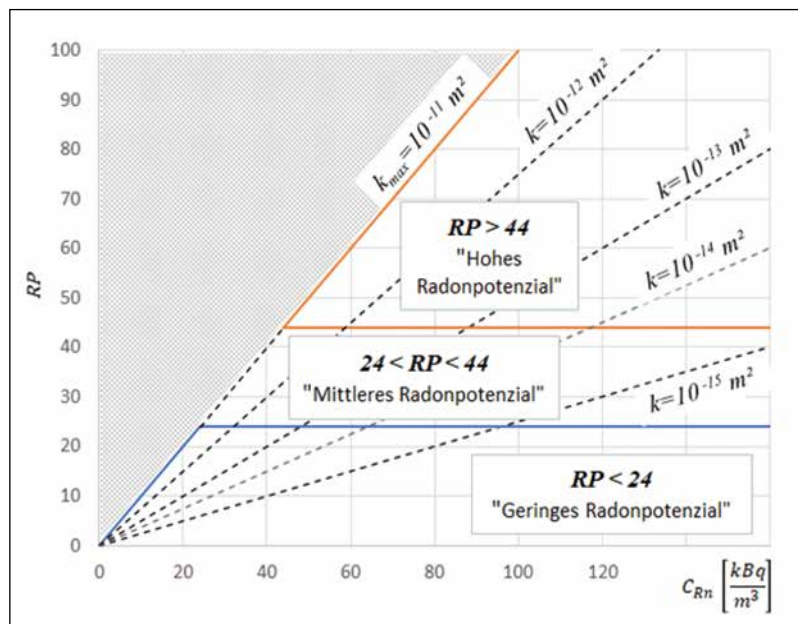


Abb. 3: Das geogene Radon-Potenzial RP in Abhängigkeit von der Radon-Bodenluftkonzentration C_{Rn} mit der Bodenpermeabilität k als Parameterkurven: Bereiche für „geringes Radon-Potenzial“ ($RP < 24$), „mittleres Radon-Potenzial“ ($24 < RP < 44$) und „hohes Radon-Potenzial“ ($RP > 44$) sind gekennzeichnet. Für Permeabilitätswerte $k > 10^{-11} m^2$ entspricht das geogene Radon-Potenzial RP numerisch der Radon-Bodenluftkonzentration.

es zu beachten gilt. Eine gute Anwendbarkeit ergibt sich für Permeabilitätswerte, die sich deutlich von der gewählten Nullpunkt-Normierung unterscheiden. Kommen diese jedoch in die Nähe des gewählten Nullpunkts, d. h. in die Nähe von $k = 10^{-10} m^2$, so kann die Differenz $-\log(k/m^2) - 10$ und damit der Nenner von Gl. (3) sehr klein werden. Damit ergibt sich ein sehr empfindlicher Wertebereich für das geogene Radon-Potenzial bis hin zu unendlich (für $k = 10^{-10} m^2$). In der Praxis hat sich abhängig von der geologischen und hydraulischen Beschaffenheit des Untergrunds tatsächlich gezeigt, dass solche Fälle auftreten können (unveröffentlichte eigene

Wertebereich für das geogene Radon-Potenzial

Messungen).

Diese Fälle treten insbesondere in Gebieten mit flächenhaft verbreiteten, sandig-kiesigen Flusssedimenten auf. Als Grundlage für die Ausweisung von Radon-Vorsorgegebieten kann das von großer Tragweite sein.

Wie oben erwähnt, ist die Wahl des Achsenabschnitts in Abbildung 2 bzw. Gl. (1) im Grunde genommen unerheblich für Aussagen zum Radon-Potenzial. Die Wahl von $k = 10^{-10} m^2$ als Referenzpunkt ist mit großen Unsicherheiten behaftet [6]. Auch die Wahl eines um 1 oder 2 Größenordnungen kleineren k würde den Zweck für ein geogenes Radon-Potenzial erfüllen und wäre für viele Fälle praktikabler und robuster gegen kleine Änderungen in k . In der Originalarbeit von Neznal et al. [6], aus der die Grundidee von Gl. (3) stammt, wird als mögliche Lösung dieses Problems eine Beschränkung der Permeabilität auf einen festen Wertebereich vorgeschlagen. Alle Werte oberhalb von

$$k_{\max} = 1,8 \cdot 10^{-11} m^2 \quad (4)$$

$$\Rightarrow -\log(k_{\max}/m^2) = 10,74$$

werden mit k_{\max} gleichgesetzt und alle Werte unterhalb von

$$k_{\min} = 5,2 \cdot 10^{-14} m^2 \quad (5)$$

$$\Rightarrow -\log(k_{\min}/m^2) = 13,28$$

werden mit k_{\min} gleichgesetzt [6]. Obwohl diese Werte in [6] aufgrund der besonderen Messmethode gewählt wurden, könnten sie im allgemeineren Fall auch als die Grenzen für beliebige Messsituationen angewendet werden. Noch einfacher jedoch ist es, das 10-Fache des Singularitätswerts, für den das geogene Radon-Potenzial gegen unendlich geht, als Maximalwert zu definieren. Dies wäre:

$$k_{\max} = 1 \cdot 10^{-11} m^2 \quad (6)$$

$$\Rightarrow -\log(k_{\min}/m^2) = 11$$

$$\Rightarrow RP = \frac{c_{Rn}/kBq \cdot m^{-3}}{-\log(k_{\max}/m^2) - 10} =$$

$$\frac{c_{Rn}/kBq \cdot m^{-3}}{11 - 10} = c_{Rn}/kBq \cdot m^{-3}$$

Damit wäre das geogene Radon-Potenzial für die maximale Permeabilität und darüber gleich dem numerischen Wert der Radon-Bodenluftkonzentration in kBq/m^3 . In den Abbildungen 2 und 3 ist dieser maximale Permeabilitätswert k_{\max} markiert.

Die Festlegung auf diese Grenze hat den Vorteil, dass sie ein plausibles Verhalten des geogenen Radon-Potenzials darstellt. Im geogenen Radon-Potenzial dient die Permeabilität dazu, die Behinderung der Radon-Freisetzung durch den Boden zu beschreiben. Im Fall von sehr durchlässigen Böden fällt diese Barriere weg und die Radon-Konzentrationen in 1 m Tiefe und kurz unter der Oberfläche gleichen sich immer mehr an.

Joachim Breckow, Klaus Flesch,
Hans Hingmann, Till Kuske □



Fortbildung (Auszug)

Radioanalytikurse, z.B.

Grundlagen der Gamma-Spektrometrie (SA270), 08. bis 11.06.2021

Radionuklide in der Umwelt- und Umgebungsüberwachung (SA230), 14. bis 17.06.2021

Der Wischtest in der Strahlenschutzpraxis (SA260), 28.09.2021

Anwendung von Erkennungs-, Nachweis- und Vertrauensgrenzen (SA252), 24. bis 25.03.2021

Einführung Strahlenschutz (ST010), 15. bis 18.06.2021, 30.11. bis 03.12.2021

Führen des Strahlenpasses (ST172), 04.03.2021, 21.05.2021, 22.10.2021

Fachkunderwerb StrlSchV:

Eingebaute radioaktive Strahler (ST130), 26. bis 27.04.2021, 20. bis 21.09.2021

Beschäftig. nach § 25 StrlSchG (ST171), 18. bis 20.05.2021, 19. bis 21.10.2021

Radioaktive Stoffe (ST110, ST115), 26. bis 30.04.2021, 21. bis 25.06.2021

Beförderung radioaktiver Stoffe Komplettkurs (ST530), 26. bis 28.04.2021, 20. bis 22.09.2021

Aufbaukurs: Modul BF (ST531), 28.04.2021, 22.09.2021, 08.12.2021

Kurs zur „Beratung und Durchführung von Sachverständigenprüfungen hinsichtlich überwachungsbedürftiger Rückstände, Arbeitsplätzen mit NORM oder Altlasten (Fachkunde S9.2, Erhöhte Anforderungen)“ (ST920), 26.04. bis 04.05.2021

Fachkunderhalt StrlSchV:

Aktualisierung der Fachkunde gemäß § 48 StrlSchV (ST101), 19. bis 20.04.2021, 29. bis 30.06.2021

Beschäftig. nach § 25 StrlSchG (ST102), 19.04.2021, 29.06.2021, 30.09.2021

Fachkunde für Röntgeneräte:

Strahlenschutz bei Röntgeneinrichtungen im nichtmedizinischen Bereich (SR610), 17. bis 20.05.2021, 20. bis 23.09.2021

Wartung und Erprobung von Röntgeneinrichtungen mit QS (SR660), 17. bis 21.05.2021, 20. bis 24.09.2021

(Verkürzter) Aktualisierungskurs Röntgentechnik (SR601/SR600), 15.04.2021, 25.07.2021, 09.09.2021

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt (FTU), Fon: 0721 608-24801,

E-Mail: info@ftu.kit.edu,

www.fortbildung.kit.edu