

APPLICATION NOTE AN-005_DE

Bestimmung der Radonkonzentration im Bodengas

Version Oktober 2007

Diese Applikationsschrift beschreibt die einfache und schnelle Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Radon im Bodengas mit Hilfe eines Radonmonitors und einer Packersonde.

Physikalische und geophysikalische Grundlagen

Die Bestimmung der Radonaktivitätskonzentration im Bodengas mittels Radonmonitor erfolgt durch kontinuierliche oder getaktete Probenahme der Bodenluft über eine in den Boden eingebrachte und gegenüber der Außenluft abgedichtete Packersonde.

Eine kontinuierliche Probenahme wird meist über eine interne Pumpe des benutzten Radon-Monitors realisiert. Bei einer getakteten Probenahme geht es in der Regel darum, dass wohldefinierte Gasvolumina untersucht werden sollen. Dies erfolgt gemeinhin über eine externe Pumpe, beispielsweise auch im Handbetrieb, was die Gefahr, dass anstelle von Gas Bodenwasser in den Monitor gelangt, erheblich senkt.

Die Radonaktivitätskonzentration C [Bq/m^3] im Bodengas (allgemeiner in Aerosolen) bezeichnet das Verhältnis der (Radon-)Aktivität A [Bq] bezogen auf ein (Gas-)Volumen. Die Maßeinheit Bq/m^3 liest sich „Becquerel je Kubikmeter“, wobei 1Bq bedeutet, dass 1 radioaktiver Zerfall (hier bezüglich des radioaktiven Edelgases Radon-222) je Sekunde erfolgt.

Die Radonaktivitätskonzentration im Bodengas bewegt sich in Abhängigkeit vom Standort (ca. 1 m Tiefe) zwischen etwa 1.000 und mehr als 1.000.000 Bq/m^3 . Sie kann aber auch am gleichen Messpunkt merklich schwanken, insbesondere in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern wie etwa Temperatur, Luftdruck, Niederschlägen, Mondphasen (Gezeiten der Erdkruste) und weiteren. Sie beeinflussen u.a. die Geschwindigkeit der Bodengasbewegungen. Je größer aber die Verweildauer des Radons im Boden und je geringer der Nachschub an Radon vom Entstehungsort her ausfallen, umso kleinere Radonaktivitätskonzentrationen werden im oberflächennahen (in 1-2 m Tiefe) Bodenbereich nachweisbar sein, denn die Halbwertszeit für Radon-222 beträgt nur 3,8 Tage.

Viele in der täglichen Praxis relevante Fragestellungen fordern die Abschätzung eines Risikos durch Bodenradon. Hierauf hat, wie oben beschrieben, die Bodenpermeabilität k einen nicht unwesentlichen Einfluss. Dieser findet seine Berücksichtigung in der Größe der sogenannten Radonverfügbarkeit R , die gemeinsam mit der Radonaktivitätskonzentration C im Bodengas die Vergleichbarkeit vorgefundener Bodensituationen hinsichtlich Radon ermöglicht. Die Radonverfügbarkeit lässt sich (nach Arbeiten von TANNER und SURBECK aus den Neunzigerjahren) definieren als das Produkt aus Radonaktivitätskonzentration und Bodenpermeabilität:

$$R = C * k \quad [\text{Bq/m}], \quad (1)$$

wobei für die Bodenpermeabilität k [m^2] ein guter Näherungswert k_n mit Hilfe einer geeigneten leichtgängigen Kolbenhandpumpe bestimmt werden kann:

$$k_n = p_k / (T_1 - T_0) \quad [\text{m}^2] \quad (2)$$

Dabei bezeichnen p_k [$\text{s} * \text{m}^2$] eine gerätespezifische Pumpenkonstante und T_1 und T_0 [s] Mittelwerte der Fallzeiten des Pumpenkolbens, die gemessen werden, wenn durch freien Fall des Pumpenkolbens Gas aus dem mit Außenluft befüllten System „Pumpe – Verbindungsleitungen - Packersonde“ in das abgedichtete Bohrloch (Messanordnung) bzw. ungehindert in die Umgebungsluft geleitet wird. Diese Daten werden zweckmäßigerweise erst nach der Radonmessung erhoben, da ansonsten eine verfälschte Radonaktivitätskonzentration ermittelt würde.

Beispiel einer durchaus typischen Situation: Die mit einem Packersystem untersuchte Bodenluft weist eine Radonaktivitätskonzentration von 90.000 Bq/m^3 auf, die aus jeweils 5 Messungen erhalten Durchschnittsfallzeiten T_1 und T_0 betragen $18,8$ bzw. $10,8$ s und die Pumpenkonstante hat einen Wert von $4 * 10^{-12} \text{ sm}^2$. Dann ergibt sich für die Permeabilität k als Näherung $k_n = (4/8) * 10^{-12} \text{ sm}^2 / \text{s} = 5 * 10^{-13} \text{ m}^2$. Für die Radonverfügbarkeit erhält man $R = (90.000 \text{ Bq/m}^3) * (5 * 10^{-13} \text{ m}^2) = 4,5 * 10^{-7} \text{ Bq/m}$.

Messverfahren

Mittels (verlängerbarem) Handbohrsystem (z.B. Eijkelkamp) für schluffig/sandige Böden oder maschinell (Bohrhammer, Rammtechnik usw.) werden i.allg. 1–2 m tiefe Aufschlüsse mit einem Durchmesser von etwa 7 cm hergestellt, wobei bereits das zutage geförderte Bodenmaterial wichtige Zusatzinformationen zu Permeabilität und oberflächennahen Radonquellen geben kann (z.B. Asche- und Schlackereste in Aufschüttungen).

Achtung ! Eine amtliche Schachtgenehmigung, auf Privatgrund zumindest ein Lageplan mit eingezeichneten Strängen der Medien, sollten vorliegen, um Schäden und Unfälle (z.B. an stromführenden Erdkabeln) zu vermeiden.

Die (ggf. mit Zusatzrohren verlängerte) Packersonde wird vorsichtig eingeführt und mit straff gehaltenem Anschlusschlauch der Gummimanschette nachgeschoben. Nach Erreichen der Zielposition wird am oberen Ende der Packersonde zunächst der PVC-Verbinder zur Spezialhandpumpe bzw. zum Radonmonitor angeschlossen. Mittels einer zweiten, handelsüblichen Campingluftpumpe wird die Gummimanschette über den Anschlusschlauch schrittweise so lange aufgefüllt, bis ein fester Sitz der Sonde einen dichten Schluss mit der Innenwand des Aufschlusses signalisiert (Luftdruck an einem etwa vorhandenen Manometer der Pumpe verfolgen, vorsichtige Drehprobe vornehmen).

Vorsicht ! Auf Grund von bislang ohne Auswirkungen gebliebenen Vorschäden oder durch im Abdichtungsbereich vorhandene scharfkantige Gesteinskörper kann es zu einem schlagartigen Riss der Gummimanschette kommen, was je nach gewähltem Luftdruck einen mitunter abschussähnlichen Auswurf der Packersonde zur Folge hat. Man vermeide daher jeglichen Aufenthalt über der Sonde.

Mit der über den PVC-Verbinder angeschlossenen Spezialhandpumpe wird zwei- bis dreimal Bodenluft gezogen und ausgeblasen, um noch vorhandene Umgebungsluft aus dem so installierten Bodengas Probenahme System zu entfernen. Mit einem weiteren PVC-Verbinder erfolgt der Anschluss des Radonmonitors an die Spezialhandpumpe, und die Messkammer des Radon-Monitors kann entsprechend des Messprogramms befüllt werden.

Achtung ! Falls der Radonmonitor zusätzlich eine interne Pumpe besitzt, so ist diese jeweils synchron zur Leerung der Spezialhandpumpe ein- und auszuschalten, um Schäden am Monitor zu vermeiden. Die Leerungsgeschwindigkeit der Spezialhandpumpe sollte ggf. per Hand an die Pumpkapazität im Monitor angepasst werden.

Die Dauer der Beprobung und der Messung richten sich nach dem Charakter der Aussagen, die getroffen werden sollen, und nach den allgemeinen Grundsätzen für Radon-Messungen (vgl. AN 002 Messprinzip).

Bei sehr steinigem Böden misslingt mitunter der Versuch, hinreichend tiefe Aufschlüsse mittels Handbohrern herzustellen. Will oder muss man auf Maschineneinsatz verzichten, bietet sich der Einsatz sogenannter Schlagsonden an. Hierbei wird ein durch Aufsatz geschütztes, ca. 1cm starkes und ca. 1m langes Metallrohr mit locker eingesetztem Kegel als Spitze in den Boden geschlagen. Nach Abnahme des Aufsatzes wird ein ca. 1,15m langer Metallstab in das Rohr eingeführt. Mit einigen Schlägen auf die Stange lässt sich die Spitze aus dem Rohr treiben, so dass Bodengas angesaugt werden kann. Die hierzu notwendige Verbindung zu einem PVC-Schlauch wird durch eine flexible, durchmesserreduzierende Muffe ermöglicht, die auf das Rohr aufgesetzt wird.

Sinngemäß sind alle oben beschriebenen Arbeiten (mit Ausnahme der Bestimmung der Bodenpermeabilität) auch mit einer Schlagsonde durchführbar. Die Abdichtung zur Umgebungsluft ergibt sich automatisch durch die Presspassung beim Einschlagen der Sonde.

Geeignete Radonmonitore

Das beschriebene Messverfahren stellt einige Forderungen an den verwendeten Radonmonitor, die hier erläutert werden sollen.

Zunächst kann nur ein Monitor mit einem geschlossenen Gaskreislauf (d.h. gedichtete Kammer mit Schlauchanschlüssen) verwendet werden. Vorteilhaft ist eine interne Pumpe. Auch diese muss dicht sein. Gut eignen sich Membranpumpen während Drehschieberpumpen in der Regel zu große Leckraten erzeugen.

Um eine hinreichend kurze Messzeit (Abklingen der Aktivierung) zu erhalten, ist ein spektroskopisch (Alpha-Spektroskopie) arbeitender Monitor unerlässlich. Das interne Volumen des Radonmonitors muss möglichst gering sein, da dieses sowie die Sensitivität des Monitors entscheidend für die Nachweisgrenzen des Verfahrens sind.

Für die Bodenradonmessung empfiehlt sich deshalb das RTM1688-2 mit einem internen Volumen von nur 130 ml bei einer Sensitivität von mehr als 3 cpm/(kBq/m³) im „Fast-Mode“. Auch das RTM2200 ist geeignet, obwohl das interne Volumen mit 370 ml größer und die nominale Sensitivität (bei der zu erwartenden hohen Feuchte) mit ca. 1,5 cpm/(kBq/m³) im „Fast-Mode“ geringer ist. Beide Monitore arbeiten spektroskopisch und verfügen über eine interne Membranpumpe.

Nachweisgrenzen

Die Nachweisgrenze des Messverfahrens wird im Wesentlichen durch die Messanordnung selbst (Volumina), die Sensitivität des verwendeten Radonmonitors sowie die Dauer des zur Konzentrationsbestimmung verwendeten Messintervalls bestimmt. Da die Nachweisgrenze bzw. der statistische Fehler einer Messung ausschließlich von der Anzahl der innerhalb des gewählten Messzeitraumes registrierten Zerfallsereignisse abhängig ist, gelten folgende Optimierungsregeln:

- Verwendung eines Radonmonitors mit hoher Sensitivität
- Möglichst langes Messintervall für die Bestimmung der Luftkonzentration

Um die Nachweisgrenze für eine beliebige Messanordnung zu berechnen, muss zunächst die Nachweisgrenze des Radonmonitors für das verwendete Messintervall bestimmt werden. Detailliertere Betrachtungen zur Nachweisgrenze, statistischem Fehler sowie Hinweise zur Planung einer Messung finden Sie in der Applikationsschrift AN-002 („Funktionsprinzipien, Zerfallsstatistik und Versuchsplanung“).

Kondensation

Ein Problem bei der Analyse von Bodengasproben ergibt sich aus der möglichen Kondensation von Wasserdampf im Radonmonitor. Da an der Messkammer eine Hochspannung anliegt, führt Kondensation zu Leckströmen, die wiederum einen Spannungseinbruch zur Folge haben. Dadurch wird das Messprinzip gestört, so dass keine gültigen Ergebnisse erzielt werden können. Eine Beschädigung des Monitors erfolgt nicht – nach der Trocknung kann das Gerät wieder verwendet werden. Es ist sinnvoll den am Display ausgegebenen Messwert für die Feuchtigkeit zu beobachten und bei einer relativen Feuchtigkeit größer als 90% das Alpha-Spektrum nach der Messung zu kontrollieren. Bei Kondensation verliert dieses seine charakteristische Form.

Zur Vermeidung von Kondensation sollte die Temperatur der Probe stets etwas unter der des Monitors liegen. Eventuell muss die Probe vor der Analyse gekühlt werden (z.B. in der Handpumpe, denn bei Frostgraden ist die Bodenluft i. allg. wärmer als die Außenluft). In der Regel reicht es allerdings aus, wenn Probe und Monitor einige Zeit am selben Platz gelagert wurden, da sich der Monitor durch seine Leistungsaufnahme immer geringfügig aufheizt. Der Einsatz von Trockenmitteln oder Gas-Trocknern ist nicht zu empfehlen, da u.U. Radon absorbiert wird bzw. undefinierte Volumina (z.B. Porenvolumen) in den Kreislauf eingebracht werden.

Als zusätzliche Sicherheit gegen das direkte Ansaugen von Wasser sollte ein kleines Glasgefäß (keine Kunststoffe oder Metall) zwischen den Lufteintritt des Radonmonitors und die Gaswaschflasche geschaltet werden, falls keine Handpumpe verwendet wird.

Abschlussbemerkungen

Auf Grund der verschiedenen objektiven Einflussfaktoren sowie der stets subjektiven Probenahme kann eine verlässliche und reproduzierbare Bestimmung der Radonkonzentration nur erfolgen, wenn die Messbedingungen möglichst konstant gehalten werden. Bei Feldmessungen sind allerdings erhöhte Ungenauigkeiten einzukalkulieren.