

Der folgende Text stellt einen Auszug dar aus

KEMSKI, J., KLINGEL, R., SIEHL, A., STEGEMANN, R., VALDIVIA-MANCHEGO, M. (2002):

Transferfunktion für die Radonkonzentration in der Bodenluft und der Wohnraumluft (Abschlussbericht zu den Forschungsvorhaben St. Sch. 4186 und St. Sch. 4187: Ermittlung einer Transferfunktion für die Radonkonzentration in der Bodenluft und der Wohnraumluft incl. Radonmessungen in Häusern zur Validierung des geologisch induzierten Radonpotenzials. Teil A: Bodenuntersuchungen zum geogenen Radonpotenzial. Teil B: Validierung der geologischen Prognose durch Messungen der Radonkonzentration in Gebäuden).-

Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2002-598, 206 S.

## **Anhang 1**

**Das geogene Radonpotenzial –  
Anleitung zur Messung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft  
im Rahmen einer regionalen Radonkartierung**

**Bonner Arbeitsgemeinschaft „Radon“**

Kemski, J., Klingel, R., Stegemann, R.

Kemski & Partner, Beratende Geologen, Alte Heerstrasse 1, D-53121 Bonn

Siehl, A.

Geologisches Institut der Universität Bonn, Nussallee 8, D-53115 Bonn

## Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung	A 1.1
2	Rechtliche Grundlagen	A 1.1
3	Messgrößen und Maßeinheiten	A 1.2
4	Messverfahren	A 1.3
4.1	Allgemeines	A 1.3
4.2	Anlegen der Probenahmestelle	A 1.3
4.2.1	Messtiefe, Bohrgeräte, Bodenluftsonde	A 1.3
4.2.2	Bodenluftentnahme	A 1.7
4.3	Messung der Radonaktivitätskonzentration	A 1.7
4.4	Rahmenbedingungen der Messungen	A 1.9
4.5	Kalibrierung	A 1.9
5	Fehlerbetrachtung	A 1.9
6	Planung und Durchführung einer regionalen Radonkartierung	A 1.9
6.1	Allgemeines	A 1.9
6.2	Planung der Untersuchungen	A 1.10
6.3	Zahl und Anordnung der Messorte	A 1.10
7	Bewertung der Messergebnisse	A 1.11
8	Dokumentation	A 1.11
9	Darstellung der Ergebnisse	A 1.11
10	Literatur	A 1.13

## **1 Vorbemerkung**

Die Messanleitung zur Ermittlung des geogenen Radonpotenzials soll Hinweise für einen routinemäßigen Einsatz (z.B. in Ingenieurbüros) bei regionalen Radonkartierungen geben.

Im Einzelnen wurde auf folgende Randbedingungen Wert gelegt:

- einfache Handhabung von Probenahme und Messverfahren,
- schnelle und kostengünstige Durchführung sowie rasche Verfügbarkeit der Ergebnisse,
- Repräsentativität im Hinblick auf Größe und spätere Nutzung des Untersuchungsgebietes.

Das geogene Radonpotenzial ist ein naturräumlicher Parameter und beschreibt die Eigenschaft des Untergrundes hinsichtlich der möglichen Auswirkung auf die Radonkonzentration in Gebäuden, unabhängig von einer speziellen Bebauung. Die methodischen Grundlagen zur Ermittlung des geogenen Radonpotenzials in Deutschland beruhen auf Untersuchungen der Radonaktivitätskonzentration des luffterfüllten Poren- und Kluftraumes in Böden und Gesteinen und der Gaspermeabilität des Bodens unter Berücksichtigung von geologischen und bodenkundlichen Charakteristika. Sie sind in zahlreichen Veröffentlichungen ausführlich dargestellt worden (KEMSKI, KLINGEL, SIEHL 1995, 1996 a, 1996 b, 1996 c, jeweils mit weiterführender Literatur; KEMSKI, SIEHL, VALDIVIA-MANCHEGO 1998; KEMSKI et al. 1999, 2000).

Radonangebot und Radonnachlieferung im Untergrund steuern das geogene Radonpotenzial, d.h. die zum Eintritt in Häuser zur Verfügung stehende Radonmenge. Parameter, die Angebot und Nachlieferung beschreiben, werden auf die kartierte Verbreitung geologischer Gesteinskörper sowie strukturgeologische Gegebenheiten bezogen. Diese Vorgehensweise ist vor allem dann notwendig, wenn - wie in Deutschland - keine flächendeckenden Messungen zur Radonraumluftbelastung vorliegen und die geologischen Verhältnisse kleinräumig variieren. Hierbei ist zwischen Prognosen für den regionalen und den lokalen Maßstab zu unterscheiden. Großflächige Radonkartierungen über Areale von  $10^2$  bis  $10^3$  km<sup>2</sup> haben zum Ziel, regionalgeologische Einheiten oder Verwaltungseinheiten hinsichtlich ihres geogenen Radonpotenzials für Planungszwecke zu charakterisieren. Für diese Zwecke ist die Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft der bestimmende Parameter. Lokale Untersuchungen in kleineren Arealen von einigen 100 m<sup>2</sup> Ausdehnung können zusätzlich die Gasdurchlässigkeit und strukturgeologische Wegsamkeiten einbeziehen, wobei auch Charakteristika der örtlichen Bauweise zur Prognose von Radonbelastungen in der Raumluft betrachtet werden müssen.

## **2 Rechtliche Grundlagen**

In Deutschland existieren zur Zeit keinerlei verbindliche Regelungen, die Radonmessungen in der Bodenluft vorschreiben. Nationale und internationale Strahlenschutzbehörden beschäftigen sich seit vielen Jahren mit der Bewertung von Radonaktivitätskonzentrationen in Gebäuden und erarbeiten entsprechende Empfehlungen, die z.B. in den USA, in der Schweiz, in Österreich oder in Großbritannien als Eingreif-, z.T. sogar als Grenzwerte bereits

umgesetzt sind. Hierbei wird auch stets die Notwendigkeit betont, die regionale Verteilung der Radonkonzentrationen zu untersuchen. Die EU fordert in ihren Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden „Kriterien auszuarbeiten, anhand derer Regionen, Orte und Gebäudemerkmale bestimmt werden können, bei denen mit hohen Radonkonzentrationen in Wohngebäuden zu rechnen ist“ (EG 1990). Die internationale Strahlenschutzkommission ICRP empfiehlt in ihrer Publikation 65 „Protection against Radon-222 at home and at work“, sogenannte „radon-prone areas“ zu identifizieren, in denen die Radonkonzentrationen in Gebäuden höher als im Landesdurchschnitt sind (ICRP 1994). Für diese Einstufung sollen auch geologische Informationen herangezogen werden. Die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) weist ausdrücklich auf den Einfluss des geologischen Untergrundes - insbesondere der Radonkonzentration in der Bodenluft - für die Radonkonzentrationen in Gebäuden hin. Sie empfiehlt, „in der Bundesrepublik Deutschland solche Gebiete unter Beachtung sowohl der geologischen Gegebenheiten als auch der Ergebnisse von Radon-Meßprogrammen in bestehenden Gebäuden schrittweise im einzelnen festzulegen“ (SSK 1994).

In der deutschen Strahlenschutzverordnung wird in Teil 3 (Schutz von Mensch und Umwelt vor natürlichen Strahlungsquellen bei Arbeiten) auf eine Radonbelastung an verschiedenen Arbeitsplätzen Bezug genommen (BMU 2001). In diesem Zusammenhang können ebenfalls Fragen über die Bewertung des geogenen Untergrundes hinsichtlich seines Radonpotenzials auftauchen.

### **3 Messgrößen und Maßeinheiten**

Messgröße ist die Zählrate des Messgerätes, das zur Bestimmung alphastrahlender Radionuklide Verwendung findet. Anhand der gerätespezifischen Zählhausbeuten und Kalibrierfaktoren werden aus den gemessenen Zählraten Aktivitätskonzentrationen des  $^{222}\text{Rn}$  errechnet.

Die Maßeinheit der Aktivitätskonzentration in der Bodenluft ist Becquerel (SI-Einheit: 1/s) pro Volumeneinheit, meist wird bei Messungen in der Bodenluft  $\text{kBq/m}^3$  angegeben. Bezugszeitpunkt für die Aktivitätsberechnung ist der Zeitpunkt der Probenahme.

Aufgrund der hohen Variabilität der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft muss ein Messbereich abgedeckt werden, der von wenigen  $\text{kBq/m}^3$  bis zu mehreren  $\text{MBq/m}^3$  reicht. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass Radonkonzentrationen in der Bodenluft von weniger als  $2 \text{ kBq/m}^3$  in natürlichen Substraten sehr selten vorkommen. Die Nachweisgrenze des verwendeten Messgerätes sollte unterhalb dieses Wertes liegen, niedrigere Messwerte sind als  $< 2 \text{ kBq/m}^3$  anzugeben.

## **4 Messverfahren**

### **4.1 Allgemeines**

Das geogene Radonpotenzial wird primär durch die Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft gesteuert und darüber hinaus saisonal durch die unterschiedliche, von der Durchfeuchtung des Bodens abhängige Emanationsrate und Gasdurchlässigkeit moduliert. Bei vereinfachten, regional orientierten Untersuchungen kann man allein die Radonkonzentrationen als Anhaltspunkte für eine Bewertung heranziehen, bei Baugrunduntersuchungen kann zusätzlich eine Messung der Gasdurchlässigkeit des Bodens notwendig sein.

Zur Ermittlung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft werden Kurzzeitmessungen im Gelände (z.B. Ionisationskammer, Szintillationszähler mit LUCAS-Zellen, elektrostatisches Abscheideverfahren) an entnommenen Bodenluftproben empfohlen. Diese „aktiven“ Verfahren haben den Vorteil, schnell und einfach durchführbar zu sein und das Ergebnis unmittelbar vor Ort liefern können. Als Beispiel wird auf die von der Bonner Arbeitsgemeinschaft „Radon“ verwendete Messanordnung verwiesen (Abb. A1.1).

Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft mittels „passiver“ integrierender Langzeitmessverfahren (z.B.: Kernspurdetektoren) werden für die vorliegende Fragestellung üblicherweise nicht eingesetzt. Die so gewonnenen Ergebnisse können nur bei einem sehr hohen Kalibrieraufwand, der die relevanten meteorologischen und bodenphysikalischen Kenngrößen berücksichtigt, mit denen der aktiven Verfahren verglichen werden. Aufgrund des in der Regel hohen Material- und Zeitaufwandes sowie der Probleme bei der praktischen Durchführbarkeit für Routineuntersuchungen sind aktive Messverfahren vorzuziehen.

### **4.2 Anlegen der Probenahmestelle**

#### **4.2.1 Messtiefe, Bohrgeräte, Bodenluftsonde**

Die Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft nimmt im oberflächennahen Bereich mit der Tiefe zu. Für eine vereinfachende pauschale Betrachtung der Tiefenverteilung geht man von homogenen Böden aus; die in der Realität vorhandene Horizontausbildung sowie lokal auftretende vertikale Wegsamkeiten im Boden (z.B.: Risse, Grabgänge) wird unberücksichtigt gelassen. Unter diesen Annahmen ist eine Abschätzung des Tiefengradienten mit Hilfe des Diffusionskoeffizienten möglich. Mit Ausnahme von hochpermeablen Böden (Sande und Kiese) kann davon ausgegangen werden, dass in 1,00 m Tiefe eine Beeinflussung des Messwertes durch die jeweils herrschenden meteorologischen Bedingungen der Atmosphärenluft gering ist, so dass bei repräsentativer Beprobung wie unten beschrieben keine Gefahr einer gravierenden Unterschätzung der Radonkonzentrationen besteht.

Für regionale Untersuchungen soll eine Bodenluftprobenahme generell aus 1,00 m Tiefe erfolgen. Für Probenahmetiefen zwischen 0,80 und 1,00 m wird unter den o.g. Annahmen entsprechend der Bodenart und dem davon abhängigen effektiven Diffusionskoeffizienten der Messwert auf die Radonaktivitätskonzentration in 1,00 m Tiefe normiert (Abb. A1.2).

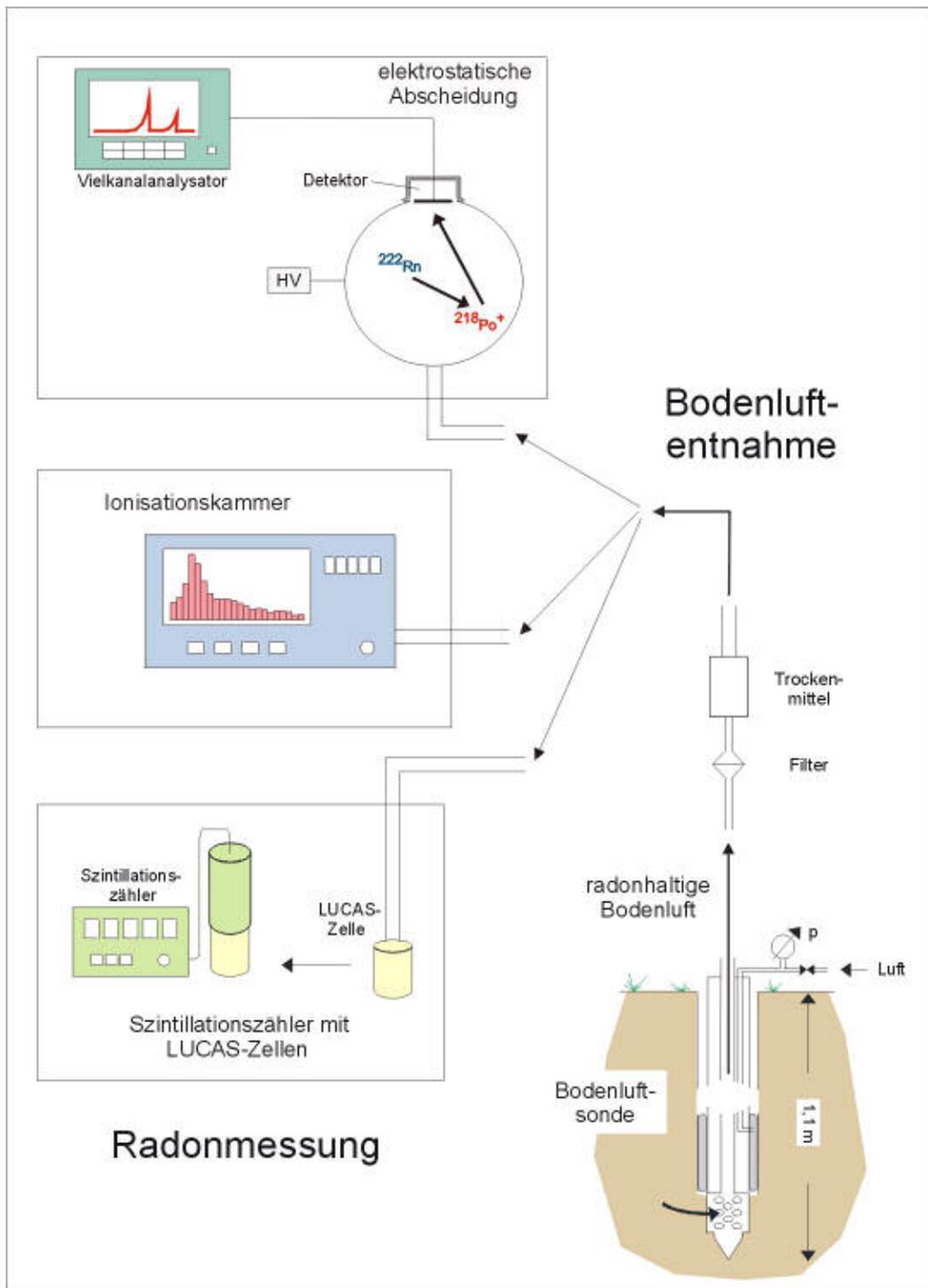


Abb. A1.1  
 Schema von Bodenluftentnahme und anschließender Radonmessung mit  
 verschiedenen Kurzzeitmessverfahren

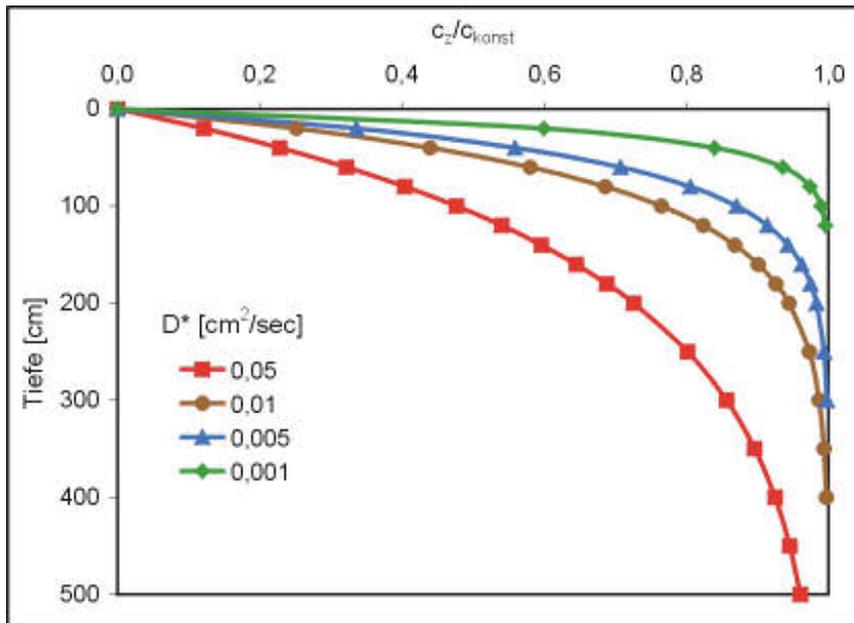


Abb. A1.2

Relative Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft in Abhängigkeit vom effektiven Diffusionskoeffizienten  $D^*$ . Es gelten folgende Randbedingungen: An der Erdoberfläche ist die Radonaktivitätskonzentration  $c = 0$ , und in großer Tiefe ist  $c = \text{konstant}$ .

Die Radonverteilung für unterschiedliche Tiefen berechnet sich nach  $c_z = c_{\text{konst}} (1 - e^{-z/l})$  mit  $z = \text{Tiefe [cm]}$ ,  $l = \text{Diffusionsweite [cm]}$  und  $e = 2,718$ .

Hierzu ist es notwendig, im Bohrstock in der tatsächlichen Probenahmetiefe die Bodenart gemäß DIN 4 022 Teil 1 zu bestimmen. Es ist ausreichend, lediglich eine Unterscheidung zwischen den Gruppen „Kies und Sand“, „sandiger Lehm“, „Lehm“ sowie „lehmiger Ton und Ton“ zu treffen. Die entsprechenden Umrechnungsfaktoren sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tiefe [m]	Kies, Sand	sandiger Lehm	Lehm	lehm. Ton, Ton
0,80	1,18	1,12	1,08	1,02
0,85	1,13	1,08	1,06	1,02
0,90	1,08	1,05	1,03	1,01
0,95	1,04	1,03	1,02	1,01

Tab. 1

Faktoren, mit denen in der angegebenen Tiefe gemessene Radonaktivitätskonzentrationen multipliziert werden müssen, um eine Normierung auf 1,00 m zu gewährleisten

Nur in Ausnahmefällen kann die Beprobungstiefe auf 0,80 m verringert werden; diese Messwerte sind im Messprotokoll entsprechend zu kennzeichnen. Eine Beprobung in noch geringerer Tiefe ist nicht zu empfehlen, da keine verlässliche Abschätzung der die Radonkonzentrationen in der Bodenluft beeinflussenden Faktoren möglich ist.

Vor Ort wird eine Rammkernsondierung (z.B.: 22 bis 28 mm Durchmesser) bis in 1,10 m Tiefe niedergebracht. In diese wird eine Bodenluftsonde abgelassen. Der Einsatz einer Bodenluftsonde mit einem Packersystem ist zu empfehlen, da hierdurch der Entnahmeraum definiert abgegrenzt werden kann (Abb. A1.3).

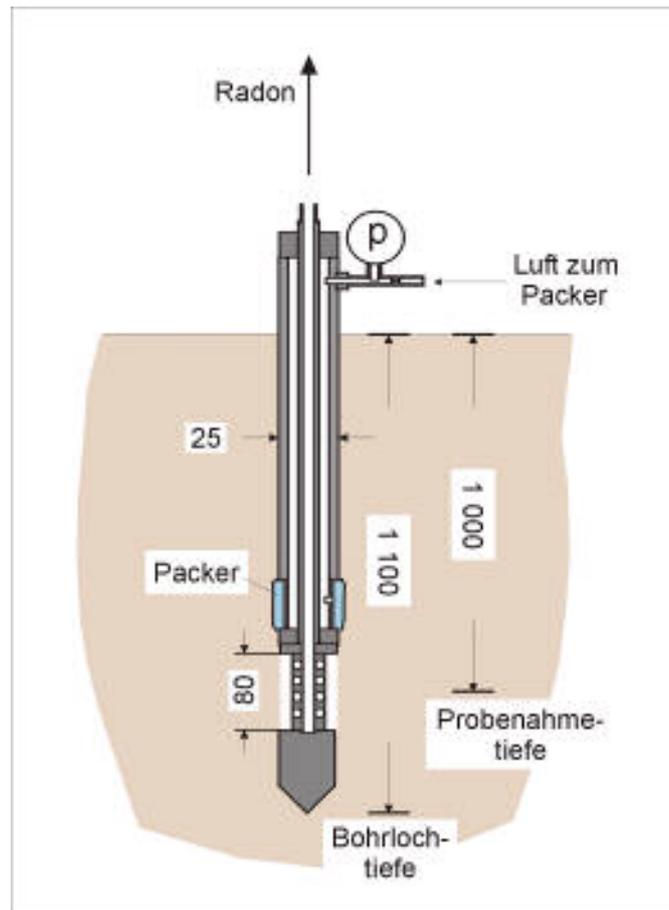


Abb. A1.3

Skizze einer Bodenluftsonde (nicht maßstabsgerecht, Bemaßung in Millimeter)

Dieses Verfahren orientiert sich an die VDI-Richtlinie 3 865, Blatt 2, Tab. 1, Variante 2. Die Dichtigkeit des Packersystems muss während der gesamten Probenahme gewährleistet sein; sie kann beispielsweise mit Hilfe eines Manometers kontrolliert werden. Unterhalb des Packers sollte ein Hohlraum von maximal 20 cm Länge existieren, aus dem Bodenluft abgesaugt wird. Als Entnahmetiefe gilt die mittlere Tiefe des vom Packer abgedichteten Hohlraumes. Bei einer Sondierungstiefe von 1,10 m und einem Hohlraum von 20 cm erfolgt die Probenahme der Bodenluft bei einer Entnahmetiefe von 1,00 m aus einem näherungsweise zylindrischen Raum zwischen 0,90 und 1,10 m Tiefe.

Die Probenahme mit einer Sonde, die unmittelbar in das Erdreich geschlagen und bei der ein Hohlraum zur Bodenluftentnahme an der Sondenspitze durch Nachstoßen bzw. Hochziehen eines Innenrohres erzeugt wird, ist aus folgenden Gründen nicht geeignet:

- Es existiert keinerlei Information über das Substrat, aus dem die Bodenluftprobe entnommen wurde; diese ist für die Abschätzung der Bodenart für eine eventuelle Tiefennormierung des Messwertes jedoch notwendig.
- Vor allem in stärker sandigen, nicht-bindigen Böden besteht die Gefahr einer Kontamination der Bodenluftprobe durch Atmosphärenluft, weil eine vollständige Abdichtung über die gesamte Sondenlänge nicht gewährleistet ist.
- Die genaue Bestimmung der Probenahmetiefe ist schwierig, da eine integrierende Bodenluftentnahme über die gesamte Länge der Sonde erfolgen kann.

#### **4.2.2 Bodenluftentnahme**

Grundsätzlich sind bei der Probenahme keinerlei Materialien einzusetzen, die Radon adsorbieren. Aus diesem Grund ist beispielsweise Silicagel als Trockenmittel ungeeignet, und es sollten PVC-Schläuche Silicon-Schläuchen vorgezogen werden.

Das Niederbringen und Ziehen des Bohrgestänges stören den Bodenlufthaushalt und führen zu einer kurzfristigen Einströmung von Atmosphärenluft. Unmittelbar vor jeder Probenahme ist daher durch Vorpumpen sicherzustellen, dass einheitliche und konstante Bedingungen hergestellt werden. Hierfür ist eine Menge von 10 l Bodenluft ausreichend, die durch die gesamte Messkonfiguration hindurchgeleitet werden muss. Der Einsatz eines Gasprobennehmers mit frei wählbarer Durchflussmenge ist zu empfehlen. Bei kontinuierlich messenden Geräten ist so lange Bodenluft durch die Messkammer zu pumpen, bis über mindestens 10 Minuten ein konstanter Wert („Plateaubereich“) erreicht worden ist.

Es muss sichergestellt sein, dass Radonzerfallsprodukte nicht in die Messkammer gelangen. Diese sind beispielsweise durch Filter mit einer Porenweite von höchstens 5 µm zurückzuhalten, auch ist eine Trocknung der Bodenluft vor Einleitung in die Messkammer notwendig. Hierfür eignen sich beispielsweise Diphosphorpentoxid ( $P_2O_5$ ) oder Calciumchlorid ( $CaCl_2$ ).

#### **4.3 Messung der Radonaktivitätskonzentration**

Bei der Messung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft besteht grundsätzlich die Gefahr einer Verdünnung durch Atmosphärenluft und somit einer systematischen Unterschätzung der tatsächlichen Gehalte. Um den u.U. kleinräumig schwankenden bodenphysikalischen Eigenschaften eines Messortes gerecht zu werden, hat sich die Charakterisierung durch drei einzelne Bohrpunkte bewährt. Für die Bewertung des Messortes wird der Maximalwert dieser drei Bohrpunkte als repräsentativer Messwert herangezogen (Abb. A1.4).

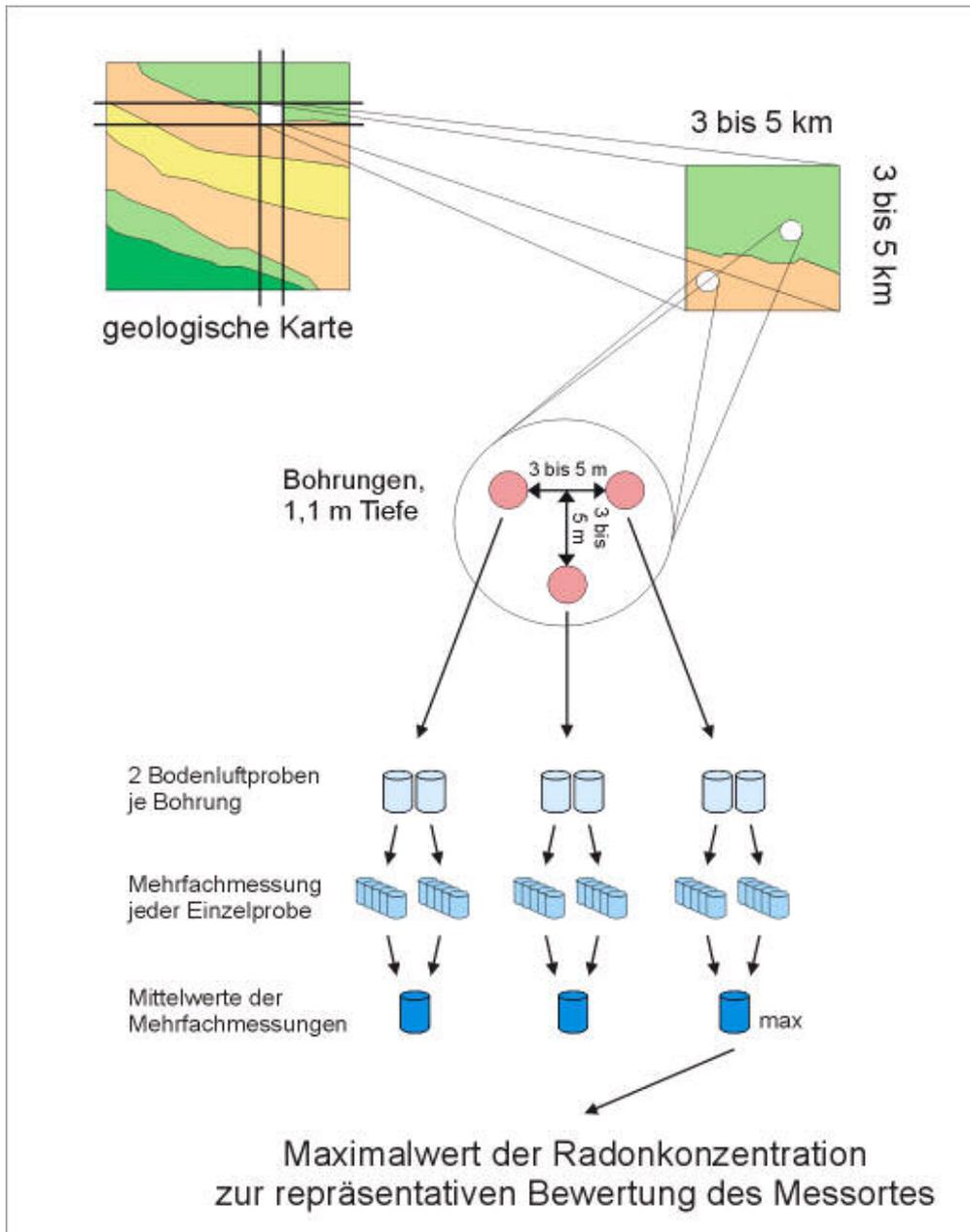


Abb. A1.4

Beispiel der Festlegung eines Messortes mit Radonmessungen (Szintillationszähler mit LUCAS-Zellen)

Die drei Bohrungen werden bis jeweils 1,10 m Tiefe niedergebracht. In Abhängigkeit vom eingesetzten Messverfahren ist folgende unterschiedliche Vorgehensweise angebracht:

- Bei Einzelmessungen (z.B.: Szintillationszähler mit LUCAS-Zellen, elektrostatische Abscheidung) werden pro Bohrung zwei Bodenluftproben entnommen. Um den zählstatistischen Fehler, der bei der Erfassung des radioaktiven Zerfalls berücksichtigt werden muss, zu minimieren, ist eine auf das jeweilige Messverfahren abgestimmte Wahl von Messdauer und Anzahl von Messwiederholungen zu treffen. Anschließend werden die Einzelmessergebnisse je Bohrung gemittelt, um eventuelle Ausreißer eliminieren zu können.

- Bei kontinuierlichen Messverfahren wird der konstante Wert im Plateaubereich als Messergebnis für jede Bohrung dokumentiert.

Eine Beeinflussung des Messwertes durch Thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) in der Bodenluft muss ausgeschlossen sein. Dies kann beispielsweise dadurch gewährleistet werden, dass zwischen Probenahme und Messung mindestens 5 Minuten vergehen. Von der ursprünglichen Thoronkonzentration sind wegen dessen sehr kurzer Halbwertszeit (ca. 55 Sekunden) dann bereits mehr als 95 % zerfallen.

#### **4.4 Rahmenbedingungen der Messungen**

Alle Messungen sollten möglichst unter vergleichbaren Bedingungen erfolgen, um eine einheitliche Bewertung durchführen zu können. Dem Zustand des Bodens kommt hierbei eine entscheidende Bedeutung zu. Die Messungen sollen grundsätzlich nicht bei Bodenfrost und starker Bodendurchfeuchtung durchgeführt werden. In wassergesättigten Böden und im Festgestein ist keine Bodenluftentnahme möglich. Günstig sind die Übergangszeiten im Frühjahr und Herbst mit durchschnittlicher Bodendurchfeuchtung.

#### **4.5 Kalibrierung**

Es sind jährliche Kalibrierungen der Radonmessgeräte in einer Radonkammer nachzuweisen. Diese sollten mit Radonkonzentrationen stattfinden, wie sie normalerweise auch in der Bodenluft auftreten (10, 50, 100 kBq/m<sup>3</sup>).

### **5 Fehlerbetrachtung**

Erfahrungsgemäß unterliegen die Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft auch in 1,00 m Tiefe noch saisonalen, im Wesentlichen witterungsbedingten Schwankungen, die zumeist den Bodenwasserhaushalt betreffen. Aus diesem Grunde ist es wichtig, die o.g. Rahmenbedingungen hinsichtlich Bodendurchfeuchtung zu beachten. Dadurch können die Schwankungen des Radonmesswertes an einem Ort im Laufe eines Jahres auf ca. 20 % minimiert werden.

Die verfahrensbedingten und zählstatistischen Fehler liegen in der Regel unterhalb dieser natürlichen Variationsbreite von ca. 20 %.

## **6 Planung und Durchführung einer regionalen Radonkartierung**

### **6.1 Allgemeines**

Grundsätzlich muss vor Beginn der Untersuchungen eine Sichtung und Bewertung der verfügbaren geologischen, bodenkundlichen und geochemischen Informationen über das Untersuchungsgebiet erfolgen, dazu gehören insbesondere auch Informationen über bergbauliche Tätigkeiten und ihre Hinterlassenschaften. Diese muss durch entsprechend qualifizierte Geowissenschaftler mit Kenntnis der regionalgeologischen Gegebenheiten im Vorfeld der eigentlichen Untersuchungen erfolgen. Von entscheidender Bedeutung ist die

Bewertung der geologischen Einheiten innerhalb des Untersuchungsgebietes hinsichtlich ihrer Radonverfügbarkeit. Von besonderem Interesse sind in diesem Zusammenhang Angaben bzw. Abschätzungen zum Radionuklidgehalt der Böden und Gesteine, zur Gasdurchlässigkeit der Böden und zur Lokalisierung von Verwerfungszonen. Häufig fehlen noch Erkenntnisse über die spezifische Radoncharakteristik der für das Untersuchungsgebiet relevanten Gesteinseinheiten. Hierzu wird auf die in mehreren Forschungsvorhaben in verschiedenen Regionen der Bundesrepublik Deutschland beispielhaft erarbeitete Vorgehensweise verwiesen (KEMSKI, KLINGEL, SIEHL 1996; KEMSKI, SIEHL, STEGEMANN, VALDIVIA-MANCHEGO 1999). Der Maßstab der zu Grunde liegenden geologischen Karte bestimmt hierbei die Genauigkeit der Aussage und muss daher der Gebietsgröße angepasst sein. Als Anhalt kann folgende Faustregel dienen: Für Untersuchungen in einem Bundesland sind geologische Karten im Maßstab 1 : 200 000 ausreichend, Aussagen auf Gemeindeebene sollten auf Karten im Maßstab 1 : 25 000 basieren.

## **6.2 Planung der Untersuchungen**

Die Ergebnisse einer regionalen Radonkartierung, d.h. einer Charakterisierung von Naturräumen hinsichtlich des Radonpotenzials des geologischen Untergrundes, werden in der Regel als Planungsgrundlage für detailliertere Messkampagnen benötigt. Daher sollten prinzipiell alle geologischen Einheiten, die in den geologischen Karten ausgehalten sind, in das Messprogramm einbezogen werden - unabhängig von ihrer Radonverfügbarkeit und vom Grad der Bebauung. Lediglich geologische Einheiten mit einer Ausbissfläche von weniger als 5 km<sup>2</sup> oder weniger als 1 % der Fläche des Untersuchungsgebietes können unberücksichtigt bleiben, es sei denn, ihre erhöhte Radonverfügbarkeit oder andere spezifische Gründe lassen eine Untersuchung angeraten sein.

## **6.3 Zahl und Anordnung der Messorte**

In einem geologisch homogen aufgebauten Untersuchungsgebiet werden in Abhängigkeit von dessen Größe Flächenelemente mit einer Seitenlänge zwischen 3 (Areale bis ca. 1 000 km<sup>2</sup>) und 5 km (Areale von ca. n x 1 000 km<sup>2</sup>) geologisch repräsentativ durch jeweils einen Messort mit je drei Sondierungen beprobt. Dies entspricht Flächenelementen zwischen ca. 9 und 25 km<sup>2</sup>.

In einem geologisch sehr heterogenen Gebiet wird die Anzahl der Messorte pro Flächenelement entsprechend der Zahl der hauptsächlich verbreiteten Gesteinsarten erhöht. Dadurch soll erreicht werden, dass über das gesamte Untersuchungsgebiet gemittelt die Anzahl der Messorte in den verschiedenen Gesteinseinheiten ihrer flächenmäßigen Verbreitung proportional ist. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass geologische Einheiten, deren Gesamtgröße innerhalb eines Untersuchungsgebietes weniger als 30 km<sup>2</sup> beträgt, mit fünf Messorten beprobt werden sollten. Bei flächenmäßig größeren Einheiten sollte je begonnene 10 km<sup>2</sup> ein weiterer Messort hinzukommen. So wäre z.B. eine geologische Einheit mit einer Ausbissfläche zwischen 30 und 40 km<sup>2</sup> mit 6 Messorten oder mit einer Ausbissfläche zwischen 90 und 100 km<sup>2</sup> mit 12 Messorten zu beproben.

Einen Sonderfall stellen Gebiete dar, in denen die Existenz von markanten Trennflächen wie Verwerfungen oder Scherzonen sowie von oberflächennahen lokalen Uran- bzw. Radiumanreicherungen bekannt ist bzw. vermutet wird. Oftmals lassen sich die exakten Probenahmepunkte nur vor Ort nach Begutachtung der geologischen Verhältnisse festlegen. Dazu werden senkrecht zum Streichen der vermuteten Anomalien Bodenluftmesstrassen gelegt. Die Messpunktabstände sollten 25 m betragen; u.U. ist eine Verdichtung auf 10 m-Abstände notwendig. An jedem Messpunkt werden pro Bohrung zwei Bodenluftproben genommen und gemessen bzw. eine kontinuierliche Radonmessung durchgeführt. Linear angeordnete Bodenluftanomalien sollten durch mehrere parallel angelegte Messtrassen bestätigt werden.

## **7 Bewertung der Messergebnisse**

Grundsätzlich sind lediglich Messwerte miteinander zu vergleichen, die in gleicher Tiefe gewonnen bzw. nach der in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Vorgehensweise auf eine einheitliche Tiefe normiert worden sind. Ergebnisse von Kurz- und Langzeitmessungen sind nicht miteinander vergleichbar.

## **8 Dokumentation**

Die Durchführung der Messungen im Feld ist mit allen ermittelten Messgrößen sowie Datum und Uhrzeit auf einem Feldmessblatt zu protokollieren. Neben den Probenahme- und messspezifischen Daten sind auch die Randbedingungen der Messungen zu notieren. Hierbei sind die geologische Einheit, die Bodenart, die Nutzung des Geländes, die morphologische Situation (Hang-, Tal-, Kuppenlage des Messortes) sowie die Witterungsbedingungen unerlässlich. Schwierigkeiten bei der Entnahme der Bodenluftproben sind ebenfalls zu dokumentieren.

Die Lage des Messortes ist auf einer topographischen Karte geeigneten Maßstabes oder mit Hilfe eines GPS in Gauß-Krüger-Koordinaten festzuhalten.

## **9 Darstellung der Ergebnisse**

Die Darstellung der Ergebnisse sollte in jedem Fall auf der Basis geologischer Karten unter Definition radonrelevanter geologischer Einheiten und Nutzung gängiger Geoinformationssysteme erfolgen. Standardmäßig sollten abstandsgewichtete Interpolationen auf Rasterbasis durchgeführt werden, die innerhalb geologischer Einheiten die im Feld erhobenen Messwerte als Stützpunkte verwenden (Abb. A1.5). Über geologische Grenzen darf in keinem Fall interpoliert werden.

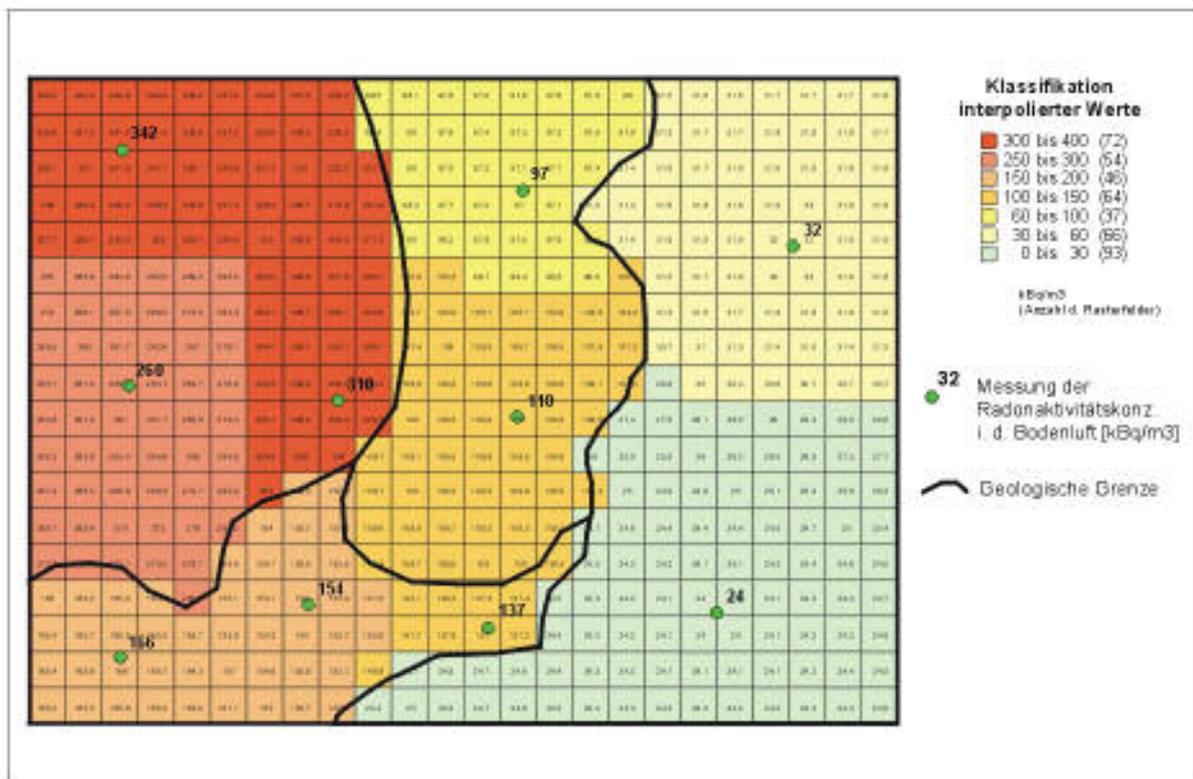


Abb. A1.5

Abstandsgewichtete Interpolation der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft unter Berücksichtigung geologischer Grenzen

Grundsätzlich ist bei kartographischen Darstellungen des regionalen geogenen Radonpotenzials zu berücksichtigen, dass auch in Gebieten mit niedrigem geogenen Radonpotenzial durch kleinräumige geochemische, strukturgeologische oder bodenphysikalische Anomalien ein lokal begrenztes erhöhtes geogenes Radonpotenzial auftreten kann. Die Genauigkeit regionaler Radonpotenzialkarten ist in der Regel nicht ausreichend, um solche lokale Anomalien erfassen zu können. Die örtliche Baugrundsituation kann beim Vorliegen dichter Böden oder Gesteins-schichten eine Gefährdung aber verringern. Für die tatsächlichen Raumluftkonzentrationen spielt ferner der Zustand der Bausubstanz eine entscheidende Rolle, da er den Radonübertritt aus dem Boden ins Gebäude steuert. Auf keinen Fall erlauben somit Karten des geogenen Radonpotenzials allein die Vorhersage der Radonbelastung einzelner Häuser.

## 10 Literatur

- BMU (2001): Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV).– Bundesgesetzblatt, Jg. 2001, Teil I, Nr. 38: 1714-1846.
- DIN 4022 Teil 1 (1987): Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels; Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels.- 20 S.
- KEMSKI, J., KLINGEL, R., SIEHL, A. (1995): Geogene Ursachen der Strahlenexposition durch Radon.- in: DÖRHÖFER, G., THEIN, J., WIGGERING, H. (Hrsg.): Umweltqualitätsziele - natürliche Variabilität - Grenzwerte.- Umweltgeol. heute, 5: 85-89.
- KEMSKI, J., KLINGEL, R., SIEHL, A. (1996 a): Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radon-Potentials (Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St. Sch. 4062).- Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1996-470, 76 S.
- KEMSKI, J., KLINGEL, R., SIEHL, A. (1996 b): Das geogene Radon-Potential.- in: SIEHL, A. (Hrsg.): Umweltradioaktivität.- 179-222, Ernst & Sohn.
- KEMSKI, J., KLINGEL, R., SIEHL, A. (1996 c): Classification and mapping of radon affected areas in Germany.- Environm. Int., 22, Suppl. 1: S789-S798.
- KEMSKI, J., SIEHL, A., VALDIVIA-MANCHEGO, M. (1998): Klassifikation des geogenen Radon-Potentials in der Bundesrepublik Deutschland.- in: Radon-Statusgespräch 1998, Neuharberg, 18./19. Mai 1998.- Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heft 17: 13-24.
- KEMSKI, J., SIEHL, A., STEGEMANN, R., VALDIVIA-MANCHEGO, M. (1999): Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radon-Potentials (Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St. Sch. 4106).- Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1999-534, 133 S.
- KEMSKI, J., SIEHL, A., STEGEMANN, R., VALDIVIA-MANCHEGO, M. (2000): Mapping the geogenic radon potential in Germany.- Proc. Workshop „Radon in the Living Environment, 19-23 April 1999, Athens, Greece“: 645-663.
- VDI-RICHTLINIE 3865, Blatt 2 (1998): Messen organischer Bodenverunreinigungen. Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben.- 57 S.