

BAUABLAUF UND RADONMESSUNGEN / EMPFEHLUNGEN FÜR BAUHERRN

CONSTRUCTION EXPIRY AND RADON MEASUREMENTS / RECOMMENDATIONS FOR CONSTRUCTORS

Hartmut Schulz

René Baumert

IAF - Radioökologie GmbH, Radeberg

Zusammenfassung

Für eine belastbare Bewertung des Radonrisikos eines Baugrundstücks ist neben der Bestimmung der Radonkonzentration in der Bodenluft, die Messung der Gaspermeabilität des Bodens zwingend notwendig. Auch bei einem niedrigen Radonkonzentrationsniveau im Baugrund kann bei einer entsprechend hohen Gaspermeabilität des Bodens ein erhöhtes Radonrisiko auf dem Grundstück bestehen, das erweiterte bauliche Radonschutzmaßnahmen bedingen kann, um das Eindringen von radonhaltiger Bodenluft in das Gebäude zu unterminieren. Letztlich legt aber die Qualität der baulichen Ausführung, insbesondere die Dichtheit der Mediendurchführungen und die der Schnittflächen von Bausegmenten fest, wie viel Radon in ein Gebäude eindringen kann. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass neben der Beurteilung der Baugrundsituation, die Überprüfung der Qualität der Bauausführung durch Dichtheitsmessungen eine wichtige Voraussetzung für einen umfassenden Radonschutz darstellt.

Summary

For a loadable assessment of the radon risk of a building plot is beside the regulation of the radon concentration in the ground air, the measurement of the gas-permeability of the ground compelling inevitably. Also with a low radon concentration level in the development site a raised radon risk on the property can exist with an accordingly high gas-permeability of the ground, the enlarged architectural radon preventive measures can cause to undermine the penetration of radon-containing ground air in the building. However, in the end, fixes the quality of the architectural implementation, in particular the density of the media-bushing and those of the cut surfaces of construction segments how much radon can penetrate into a building. This means in the reverse that beside the judgement of the development site situation, the examination of the quality of the execution of construction with density measurements shows an important condition for a comprehensive radon protection.

1 Vorbemerkung zum Sach- und Kenntnisstand

Die "Bauqualität" eines neu errichteten Hauses übt den größten Einfluss darauf aus, ob letztlich ein erhöhtes Radonrisiko für die Hausbewohner zu besorgen ist oder nicht. Ist das Haus praktisch radondicht gebaut, spielt die Radonverfügbarkeit des Baugrunds keine Rolle. Baumängel begünstigen im starken Maße das Eindringen von radonhaltiger Bodenluft in das Wohngebäude und können zu nicht tolerierbaren Radonbelastungen führen, ohne dass dabei die Radonkonzentrationen in der Bodenluft besonders hohe Werte erreichen müssen [1], [2].

Wichtig ist auch festzustellen, dass vor allem in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz ΔT zwischen einzelnen Hausräumen oder zwischen der Innenraumluft und der Außenatmosphäre konvektive Luftströmungen induziert werden, die jahres- und tageszeitliche Charakteristika aufweisen und auch für das Verständnis der Infiltration von radonhaltiger Bodenluft aus dem Baugrund in ein Haus von signifikanter Bedeutung sind. Das Haus selbst übt aufgrund seiner vergleichsweise hohen mittleren Innentemperatur von $\geq 20^\circ\text{C}$ den größten Einfluss auf das Radontransportverhalten zwischen dem Haus und den umgebenden Baugrund aus.

In Wohngebäuden, die in den letzten 20 - 30 Jahren gebauten wurden, werden oft die Keller auch als Wohn- oder Arbeitsräume genutzt bzw. beim Bau als solche konzipiert, so dass aufgrund der bestehenden Temperaturdifferenzen praktisch in jeder Jahreszeit das Haus auf die umgebende Bodenluft des Baugrunds einen permanenten Unterdruck ausübt. Beim Vorhandensein von Leckagen leistet der damit verknüpfte Saugeffekt dem Eindringen von radonhaltiger Bodenluft in das Haus Vorschub. Die Situation ist völlig analog bei Häusern ohne Keller, da immer ein starkes Temperaturgefälle zwischen dem Hausinnenraum und der Bodenluft unterhalb der Bodenplatte besteht.

Vor allem bei öffentlichen Gebäuden, wie z.B. Schulen und Kindergärten, ist das Nutzen von Kellerräumen als Werkräume, Klassenräume, Speiseräumen üblich, so dass in vielen Fällen wegen des Saugeffekts die nicht radondichten Medieneinbindungen die Hauptursache für erhöhte Radoninnenraumkonzentrationen sind [**Fehler! Textmarke nicht definiert.**].

Die Höhe der Radonkonzentration in Innenräumen wird durch die Höhe des Luftwechsels entscheidend mitbestimmt. Eine Mindestlüftung verfolgt das Ziel der Abwehr von Risiken für Mensch und Bausubstanz, so dass sowohl gesundheitsschädigende Raumluftzustände als auch Tauwasserbeziehungweise Schimmelpilzbildung verhindert werden können. Aus den Recherchen folgte, dass von einer verhältnismäßig geringen Luftwechselrate von etwa $0,2\text{ h}^{-1}$ für ca. 50% des Altbaubestandes sowie von noch geringeren Luftwechselzahlen für Niedrigenergiehäuser und Passivhäuser auszugehen ist [**Fehler! Textmarke nicht definiert.**]. Dieser Tatbestand impliziert, dass sowohl der Radonfreisetzung aus den Baumaterialien als auch der Radondichtheit des Gebäudes zur Vermeidung einer Ankopplung an das "Radonreservoir" Bodenluft im Baugrund besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

Der Kenntnis über den in einem Gebäude herrschenden Luftwechsel kommt somit eine herausragende Bedeutung zu, um die mögliche Radonkonzentrationserhöhung bei Verringerung des Luftwechsels im Zuge von Energiesparmaßnahmen eingrenzen zu können (s. z.B. [3], [4], [5]).

2 Zu den Kenngrößen radiologischer Untersuchungen des Baugrunds

Bevor ein Haus geplant wird, steht oftmals erst die Auswahl des Grundstücks und die anschließende Bewertung der Baugrundsituation im Vordergrund. Bei den Baugrunduntersuchungen hinsichtlich der Beurteilung eines möglichen Radonrisikos muss generell berücksichtigt werden, ob das Haus mit oder ohne Keller errichtet wird. Im Vorschlag der Landeshauptstadt Dresden wird deshalb empfohlen, entsprechende radiologische Messungen für Häuser mit Keller nur nach Errichtung der Baugrube durchzuführen.

Die Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft allein genügt nicht, um das Gefährdungspotential eines Baugrundstücks hinsichtlich der durch Radon und seine Folgeprodukte bedingten Strahlenexposition der Bewohner abschätzen zu können. Wichtiger ist die Kenntnis der Eigenschaften des Baugrunds bezüglich des Radontransports bzw. der Radonverfügbarkeit. Neben den Lüftungsbedingungen sind die zeitlichen Variationen der Radonkonzentrationen in Bauwerken auf den am Interface Gründungsschicht-Bauwerk herrschenden Unterdruck zurückzuführen [6], [7]. Bei solchen konvektiven Prozessen spielt die Darcy-Geschwindigkeit des Bodengases

$$v = -\frac{k}{\eta} \Delta p, \quad (1)$$

die dem Produkt von Gaspermeabilität des Bodens k [m^2] und Druckgradienten Δp am Interface Gründungsschicht-Bauwerk direkt proportional ist, die entscheidende Rolle für den Radontransport. Der Proportionalitätsfaktor in (1) ist durch die dynamische Viskosität der Luft $\eta=1,8 \cdot 10^{-5}$ Pa·s gegeben. Die Radoninfiltrationsrate in das Gebäude ist durch

$$Q = v C_{Rn}, \quad (2)$$

bestimmt, wobei C_{Rn} die Radonkonzentration in der Bodenluft bezeichnet.

In der Tab. 1 sind für ausgewählte Bodenarten die Gaspermeabilitäten zusammengestellt. Sie vermitteln, dass die Variationsbreite von k mindestens je nach Baugrund 2 - 3 Größenordnungen überstreichen kann.

Tab. 1: Gaspermeabilität einiger wichtiger Bodentypen [8]

Bodentyp	Gaspermeabilität k [m^2]
Ton, nass	10^{-16}
schluffiger Ton, feucht	10^{-15}
schluffiger Sand	10^{-13}
Schluff	$2 \cdot 10^{-13}$
kiesiger, sandiger Lehm, Gew. Proz. Wasser	4 10^{-12}
gleichförmiger feiner Sand, Gew.-proz. Wasser	17 10^{-11}
gleichförmiger, mittlerer Sand	$2 \cdot 10^{-9}$
reiner Kies	$10^{-9} - 10^{-7}$

Die effektive Gaspermeabilität k hängt im starken Maße von der Porosität und der Wassersättigung des Bodens ab. Aus diesem Grund ist eine Parametrisierung des Gefährdungspotentials, das durch die Migration von Radon in die Häuser bedingt ist, hauptsächlich in Abhängigkeit von

- der Gaspermeabilität k ,
- der Radonkonzentration in der Bodenluft C_{Rn} ,
- des durch das Haus verursachten Unterdrucks Δp und der
- Luftwechselrate L_w

zu erfassen.

Die Abb. 1 illustriert dies für die am häufigsten vorkommenden Bodenarten. Die Zeit für das Ansaugen von $1 m^3$ Bodenluft vergrößert sich jeweils um eine Größenordnung bei entsprechender Verringerung der Gaspermeabilität. Somit wird bei konvektiven Transportprozessen, induziert durch das Druckgefälle am Übergang Haus-Baugrund, die Größe k selbst zum bestimmenden Element für die Höhe der konvektiven Radoninfiltrationsrate in das Haus.

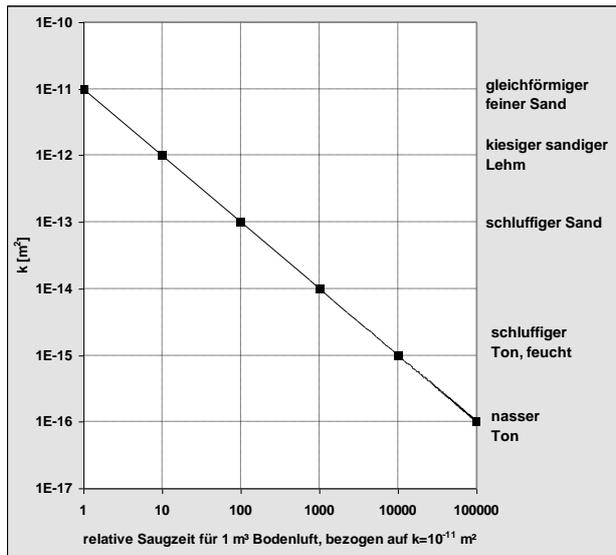


Abb. 1: Relative Saugzeit für 1 m³ Bodenluft, normiert auf die für gleichförmigen feinen Sand mit einer Gaspermeabilität von $k=10^{-11}$ m²

Aus der gleichzeitigen Messung von Gaspermeabilität k und der Radonkonzentration in der Bodenluft C_{Rn} wird die Radonverfügbarkeit bzw. der Radonverfügbarkeitsindex (RVI) [9] des Baugrunds durch das Produkt von $k \cdot C_{Rn}$ bestimmt. Die Radoneintrittsrate in ein Haus wird dann nachhaltig vom Druckgefälle Δp zwischen Haus und Bodenluft im Baugrund beeinflusst und kann sehr genau durch entsprechende Messungen im Keller direkt erfasst werden [Fehler! Textmarke nicht definiert.], [Fehler! Textmarke nicht definiert.], [Fehler! Textmarke nicht definiert.].

In der Abb. 2 ist dieser Sachverhalt anhand eines vereinfachten Beispiels untersetzt. Es illustriert, dass ein Baugrund aus gleichförmig feinem Sand ($k=10^{-11}$ m²) und einer Radonbodenluftkonzentration von nur 10 kBq/m³ aufgrund seiner vergleichsweise hohen Gaspermeabilität ebenso viel Radonaktivität in ein Haus liefern könnte wie ein Baugrund, bestehend aus einem kiesigen sandigen Lehm ($k=10^{-12}$ m²) mit einer deutlich höherer Radonbodenluftkonzentration von 100 kBq/m³. Dieses Beispiel veranschaulicht, dass nicht die Radonkonzentration in der Bodenluft, sondern die Radoneintrittsrate in das Haus die entscheidende Größe ist, um das Radonrisiko belastbar abzuschätzen.

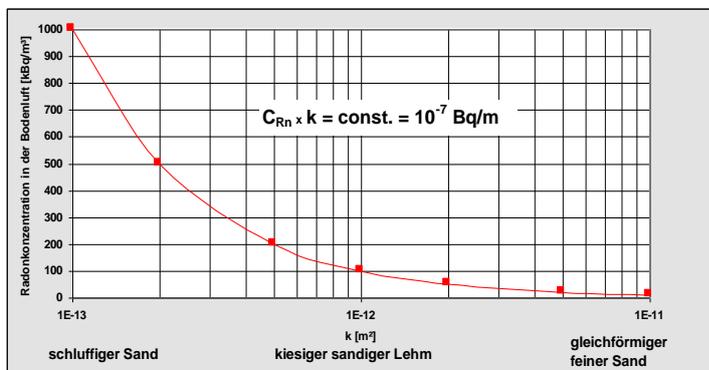


Abb. 2: Radonkonzentration in der Bodenluft in Abhängigkeit von der Gaspermeabilität k bei konstanter Radonverfügbarkeit $k \cdot C_{Rn}$

Würde eine Bodenluft radonkonzentration von $C_{Rn} = 100 \text{ kBq/m}^3$ allein ins Kalkül gezogen, um das Radonrisiko abzuschätzen, könnte im Sinne einer konservativen Bewertung ein hohes Radonrisiko abgeleitet werden. Die Berücksichtigung der Gaspermeabilität relativiert jedoch solche Pauschalaussagen und führt zu einer realistischeren Beschreibung, die auch letztlich zu einer Reproduktion der komplexen und zeitlich variierenden Innenraumradonkonzentrationen eines Hauses führt [**Fehler! Textmarke nicht definiert.**], [10].

Unterdrücke von ca. -5 bis -20 Pa am Interface Gründungsschicht-Bauwerk sind dabei als eine realistische Größenordnung anzusehen. Die Ergebnisse in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** veranschaulichen den Einfluss des Unterdrucks am Interface Gründungsschicht-Bauwerk auf die mittlere Radonmigrationslänge im Baugrund (s.a. [11], [12]).

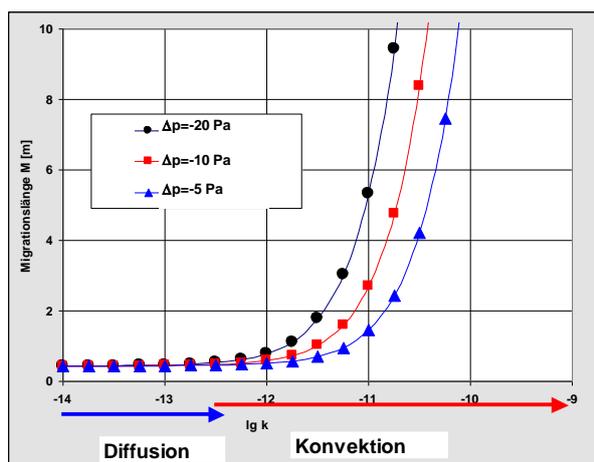


Abb. 3: Infiltrationsraten Q in Abhängigkeit von der Gaspermeabilität bei Berücksichtigung verschiedener Unterdrücke am Interface Gründungsschicht-Bauwerk

Es ist offensichtlich, dass bei Böden, charakterisiert durch Gaspermeabilitäten von $k \geq 10^{-12} \text{ m}^2$, die Gaspermeabilität der entscheidende Zustandsparameter ist, der die Radontransporteigenschaften des Mediums Boden bestimmt. Bei weniger gaspermeablen Böden im Bereich von $10^{-13} \text{ m}^2 < k < 10^{-12} \text{ m}^2$ bestimmt ein Zusammenwirken von diffusiven und konvektiven Radontransportprozessen die Radoneintrittsrate in ein Gebäude. Bei gering gaspermeablen Böden mit $k < 10^{-13} \text{ m}^2$ ist die Radoneintrittsrate Q proportional zu $\sqrt{D} \cdot C_{Rn}$ und wird durch diffusive Transportprozesse bestimmt, wobei neben der Radonkonzentration in der Bodenluft die Größe der Diffusionskonstante D eine entscheidende Rolle spielt. Sehr gering gaspermeable Böden sind durch sehr kleine Radonmigrationslängen ($< 10 \text{ cm}$) charakterisiert und stellen somit einen guten Radonschutz dar.

3 Auswahl eines Grundstücks bzw. Abschätzung des Radonrisikos bei einem Hausbau

Bei der Auswahl eines Grundstücks bzw. bei der Abschätzung des Radonrisikos für die Bewohner eines zu errichtenden Hauses ohne Keller sind gemäß den oben dargestellten Ergebnissen die nachfolgend aufgelisteten radiologischen Messungen von Bedeutung:

- (1) Messung der Radonkonzentration C_{Rn} in der Bodenluft in ca. 1 m Tiefe (ca. 5 Messpunkte auf der Hausaufstandsfläche)
- (2) Messung der Gaspermeabilität k in ca. 1 m Tiefe (an den gleichen Messpunkten wie (1))
- (3) Messung der Ortsdosisleistung der Gammastrahlung in ca. 1 m Höhe über der Baufläche (im Raster 3 m x 3 m)
- (4) Entnahme von Bodenproben und Bestimmung der Aktivität relevanter Radionuklide (Ra-226, Rn-222, Pb-210) (an 1 - 2 Messpunkten in unterschiedlichen Tiefen, z.B. 0,1 - 0,3 cm, 0,7 - 1,0 m)

(5) Messung der Radonexhalation an der Oberfläche der Baugrubensohle (optionale Messung)

Die Messungen der Radonkonzentrationen in der Bodenluft und der Gaspermeabilität des Bodens dienen der Bestimmung der Radonverfügbarkeit des Bodens und erlauben, das Radonrisiko belastbar abzuschätzen. Ein Bewertungsschema ist z.B. in [13] und [14] gegeben, wobei das Radonrisiko für den Baugrund bei bindigen Böden mit Permeabilitätswerten von $k < 10^{-12} \text{ m}^2$ über die Radonaktivitätszahl R_{na} nach [15] und bei Böden mit Permeabilitätswerten von $k > 10^{-12} \text{ m}^2$ über den Radonverfügbarkeitsindex RVI nach [Fehler! Textmarke nicht definiert.] bewertet werden kann.

Zusätzliche Informationen über die radiologische Situation werden über die Messung der Ortsdosisleistung der Gammastrahlung in ca. 1 m Höhe über der Baufläche und die Radionuklidanalyse von Bodenproben gewonnen. Die Messung der Gammastrahlung dient hauptsächlich der Feststellung und Konturierung von Arealen erhöhter Aktivität und Lokalisierung von Aufschüttungen mit unterschiedlichem Aktivitätsniveau. Anhand der Ergebnisse der Radionuklidanalyse von Bodenproben kann über die Bestimmung der Ra-226-Aktivität und des Emanationskoeffizienten die gemessene Radonkonzentration in der Bodenluft validiert und über das Aktivitätsverhältnis von Pb-210/Ra-226 die potenzielle Langzeitradonfreisetzung im Baugrund prognostiziert werden [16], [17].

Die direkte Messung der Radonexhalation an der Oberfläche kann auch optional durchgeführt werden und liefert zusätzliche Information darüber, ob erhöhte Radonfreisetzungen zu besorgen sind. Insbesondere ist diese Methode zu favorisieren, wenn z.B. bei Gebäuden mit Keller die Gründungsschicht so beschaffen ist, dass z.B. wegen des anstehenden Felsgesteins eine Bodenluftnahme nur eingeschränkt möglich ist. Besonders wichtig ist auch, die Radonverfügbarkeit der senkrechten Wände der Baugrube zu bestimmen, da deren Gesamtfläche die der Baugrubensohle deutlich übertreffen kann. Die bei IAF - Radioökologie GmbH vorliegenden Erfahrungen belegen, dass oftmals nicht Leckagen in der Bodenplatte, sondern Baumängel und/oder nicht radondichte Medieneinbindungen in den Kellerwänden die Ursachen für erhöhte Radonkonzentrationen in den Kellerräumen sind.

4 Verifizierung der Radonschutzmaßnahmen

4.1 Häufig auftretende Baumängel

Radonschutzmaßnahmen sind z.B. im Radonhandbuch [18] beschrieben und werden nicht näher erläutert. Im Vordergrund steht hier die Verifizierung des Erfolgs von Radonschutzmaßnahmen. Es ist eingangs bemerkt worden, dass die Bauqualität eines neu errichteten Hauses den größten Einfluss darauf ausübt, ob letztlich ein erhöhtes Radonrisiko für die Hausbewohner zu besorgen ist oder nicht.

Die etwa in 20-jähriger Tätigkeit gesammelten Erfahrungen der Firma IAF - Radioökologie GmbH auf diesem Gebiet zeigen, dass nicht eine unzutreffende Einschätzung der Radonsituation vor Baubeginn, sondern vor allem Baumängel und zu geringe Luftwechselraten die Ursachen von hohen Radonbelastungen in einem neu errichteten Haus sind. Das gilt insbesondere auch für Häuser in Gebieten mit einem vernachlässigbaren Radonrisiko. Bei gravierenden Baumängeln können nicht tolerierbare Radonkonzentrationen in jedem Haus auftreten, ohne dass dabei die Radonkonzentrationen in der Bodenluft besonders hohe Werte annehmen müssen.

In der Abb 4 ist dies anhand eines Beispiels untersetzt, wobei die maximal erreichbare Radonkonzentrationen in einem Kellerraum von 100 m^3 Luftvolumen in Abhängigkeit von der Gaspermeabilität und verschiedenen großer Leckageflächen, bezogen auf die Gesamtfläche von Grundplatte und der der Kellereitenflächen, dargestellt sind. Für den Unterdruck am Interface Baugrund-Keller und die Radonkonzentration in der Bodenluft sind -10 Pa bzw. 20 kBq/m^3 gewählt worden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass bei Permeabilitäten $k > 10^{-12} \text{ m}^2$ je nach Leckagegröße die Radonkonzentrationen stark ansteigen, so dass der wichtigste Radonschutz in der Unterminierung von Leckagen besteht, die ein Eindringen von Bodenluft begünstigen.

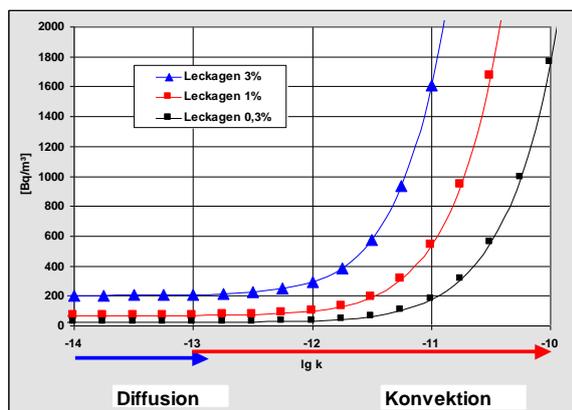


Abb 4: Maximal erreichbare Radonkonzentrationen in einem Keller ohne Luftwechsel in Abhängigkeit von der Gaspermeabilität und der Größe der Leckageflächen, bezogen auf die Gesamtfläche in %. Der Unterdruck am Interface Gründungsschicht-Bauwerk ist -10 Pa/m, die Radonkonzentration in der Bodenluft beträgt 20 kBq/m³.

Die nachfolgend aufgelisteten Feststellungen beziehen sich ausschließlich auf neugebaute oder grunderneuerte Häuser und beruhen auf den Erfahrungen, die bei der IAF - Radioökologie GmbH in den letzten 20 Jahren im Bereich des Radonschutzes gesammelt wurden.

- Als eine Hauptursache für erhöhte Radoninnenraumradonkonzentrationen erwiesen sich:
 - "radonundichte" Durchörterungen für Abwasser (Toiletten, Bad, Küche, etc.) der Grundplatte bei Häusern ohne Keller und
 - bei Häusern mit Keller zusätzlich diese Art von funktionalen Durchörterungen in senkrechten Kellerwänden.
- Ein weiteres Problem stellen Leerrohre für Zuführungen von Telekommunikations-, Elektro-, Gas- und Stromleitungen dar, wenn diese nicht radondicht durchgeführt und die in den Leerrohren verbleibenden teils großen Zwischenräume nicht abgedichtet bzw. verfüllt werden.
- Auch trockene Siphons (Geruchsverschlüsse) können als zusätzliche Radoneintrittspfade fungieren, da z.B. in Abwasserkanälen je nach geologischer Situation und der Ankopplung an das Radonreservoir zum teils beträchtliche Radonkonzentrationen bilden können. Dies gilt auch für andere Medienkanäle.
- Die Grundplatten sind nach Erfahrung der IAF - Radioökologie GmbH als ausreichend radondicht zu bezeichnen, zumal die oft zusätzlich als Feuchtigkeitsschutz aufgetragenen Bitumenbahnen mit Radondichtheitszertifikat das Restrisiko durch das Auftreten von kleinsten Rissen bzw. Luftwegsamkeiten weiter reduziert und überdies zu keinen nennenswerten Mehrkosten im Vergleich zu Dichtungsbahnen ohne Radonzertifikat führen.
- Probleme hinsichtlich des wirksamen Radonschutzes können jedoch im Gegensatz zu den gegossenen Grundplatten nicht fachgerecht errichtete senkrechte Kellerwände bereiten. Hier sind z.B. die Übergänge zur Grundplatte und die Fugen zwischen vorgefertigten Wandsegmenten zu nennen.
- Werden Häuser mit weißer Wanne gebaut, so ist dies nach Erfahrungen der IAF - Radioökologie GmbH ein ausreichender Radonschutz, wenn, wie oben beschrieben, die Medieneinbindungen etc. radondicht ausgeführt worden sind.
- Ein Keller, der dauerhaft von Boden mit hohen Wassergehalten umgeben ist, ist zumindest für den Bereich der gesättigten Bodenzone als total radondicht zu bezeichnen, da die Radondiffusionskonstante im Wasser etwa 4 - 5 Größenordnungen niedriger als die für den Bodenlufttransport ist. Auch hier ist für die Medieneinbindungen oberhalb der Grundwasserlinie die Radondichtheit nachzuweisen und die Funktionstüchtigkeit der Siphons zu garantieren. Anderenfalls kann, wie Beispiele gezeigt haben, auch ein Haus mit Keller als

weiße Wanne, umgeben von Bodenwasser, erhöhte Innenraumradonkonzentrationen aufweisen.

4.2 Kontrollmessungen während der Bauphase

Die radiologischen Messungen zum Nachweis der Radondichtheit der Gebäudehülle sollten schrittweise während der Bauphase und nicht erst nach Fertigstellung des Hauses erfolgen. Die Lokalisierung und Beseitigung von Leckagen ist nach Beendigung des Hausbaus oder nach Bezug des neuen Hauses immer mit teils unverhältnismäßig hohen Kosten verbunden.

Es hat sich als günstig erwiesen, zunächst in einem 1. Schritt die Radondichtheit von allen Durchörterungen und diversen anderen Durchführungen zu prüfen, bevor der weitere Aufbau des Fußbodens, d.h. das Verkleben der Bitumenschweißbahnen zum Feuchtigkeitsschutz, des Einbaus der Fußbodendämmung und Aufbringung der Estrichböden realisiert wird. Bereits aufgetragener Estrich und Feuchtigkeitsschutz erweisen sich als sehr hinderlich und kostentreibend, wenn erhöhte Radoninnenraumkonzentrationen bestimmt wurden und Leckagen zu lokalisieren sind. Als Erfahrungswert liegt bei IAF - Radioökologie GmbH vor, dass ca. 3 von 10 Durchörterungen nachgearbeitet werden müssen. Die Radondichtheitsprüfung von fertiggestellten Durchörterungen kann während des weiteren Bauablaufs erfolgen. Werden so viele Radonmonitore eingesetzt, wie Durchörterungen in einem Einfamilienhaus vorhanden sind, entstehen praktisch nur geringe Mehrkosten.

Ist die Radondichtheit nachgewiesen, sollte in einem 2. Schritt durch entsprechende Messungen geprüft werden, ob Radon durch noch nicht identifizierte Leckagen in das Haus bzw. in den Keller eindringt. Zweckmäßig und kostengünstig ist auch hier so viele Radonmonitore einzusetzen, wie das Einfamilienhaus Räume hat [**Fehler! Textmarke nicht definiert.**]. Letztere Messungen sind idealerweise über ein Wochenende durchzuführen, um einen durch Begehung und Bauarbeiten induzierten Luftwechsel möglichst völlig auszuschließen. Sind keine Leckagen zu besorgen, quantifizieren die charakteristischen zeitlichen Anstiege der Radonkonzentrationen in den einzelnen Räumen die Radonfreisetzung der Baumaterialien und liefern somit den wichtigsten Hinweis darauf, wie hoch ein Luftwechsel in dem neuen Haus sein muss, damit die Radoninnenraumkonzentration den vorgegebenen Zielwert nicht übersteigt [**Fehler! Textmarke nicht definiert.**], [19].

Da Radon nicht nur vorrangig von unterhalb der Bodenplatte, sondern ebenso von der "Seite" in den Keller eindringen kann, ist dies ist unbedingt bei den Dichtigkeitsprüfungen zu beachten. Das gilt insbesondere, wenn wie oben ausgeführt, senkrechte Kellerwände aus Fertigelementen aufgebaut und auf die Grundplatte aufgesetzt werden und überdies kein besonderer Feuchtigkeitsschutz aufgebracht wird.

Es ist auch günstig, nach der Installation der Heizung bei hohen Innenraumtemperaturen die Messungen über mindestens 2 Tage zu wiederholen. Damit kann überprüft werden, ob durch den durch Temperaturerhöhung induzierten Unterdruck die Radondichtheit gegeben ist (s. Abb 4). Auch bei dieser einfachen Überprüfung ist vorteilhaft und kostengünstig, so viele Radonmonitore einzusetzen, wie das Einfamilienhaus Räume hat [**Fehler! Textmarke nicht definiert.**].

Ist die Radondichtheit der Gebäudehülle nachgewiesen, kann der weitere lagenweise Aufbau der Fußböden erfolgen. Je nach Baufortschritt können die vorgenannten Radonmessungen auch in Etappen für einzelne Räume durchgeführt werden.

4.3 Messungen nach Fertigstellung des Hauses

Ob Kurzzeitmessungen der Radoninnenraumkonzentrationen nach der Fertigstellung eines Hauses im Zuge der Übergabe des Hauses durchgeführt werden sollen, hängt von den Vereinbarungen zwischen Baufirma und Bauherrn ab. Sollte dies gefordert werden, so sind die Messungen bestenfalls in allen Räumen über ca. 1 Woche auszudehnen. Dabei ist jedoch unbedingt darauf hinzuweisen, dass wegen der möglicherweise stark eingeschränkten Nutzung des Hauses und des damit

verknüpften niedrigen Luftwechsels höhere Radonkonzentrationen gemessen werden als bei normaler Hausnutzung.

Zur Überprüfung der Radonkonzentrationen in einem bewohnten Haus ist es üblich, die Radonkonzentrationen durch integrierende Langzeitmessungen zu bestimmen. Dabei wird jedoch die Radonkonzentration in den Räumen unabhängig von der Nutzung ermittelt, so dass diese Mittelwerte nur bedingt Rückschlüsse auf die tatsächliche Exposition liefern können. Man kann deshalb Lang- und zeitaufgelöste Kurzzeitmessungen miteinander kombinieren. Im Ergebnis der Untersuchungen in **[Fehler! Textmarke nicht definiert.]** wurde nachgewiesen, dass die zeitaufgelösten Messungen den entscheidenden Vorteil besitzen, Informationen über das Systemverhalten des gesamten Hauses und die Ursachen von erhöhten Radonkonzentrationen zu gewinnen.

Abschließend sollte bemerkt werden, dass über die Luftwechselzahlen in neu gebauten Häusern in Zusammenhang mit Innenraumradonkonzentrationen praktisch keine Informationen vorliegen. Es sollte deshalb in Zusammenhang von Überprüfungsmessungen diesem Problem besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, d.h. entweder durch direkte Luftwechselfmessungen oder indirekt durch Modellierung von Ergebnissen zeitaufgelöster Kurzzeitmessungen. In jedem Fall ist es wichtig zu ergründen, ob eventuell erhöhte Radonkonzentrationen nur eine Folge einer zu geringen Lüftung sind.

5 Quellenverzeichnis

- [1] "Radon in öffentlichen Gebäuden", IAF, WISMUT, GEOPRAX, BPS im Auftrag des Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, 2005/2006.
- [2] Erarbeitung fachlicher Grundlagen für die Entwicklung zeit- und kosteneffektiver Verfahren zur Bestimmung von Strahlenexpositionen durch Radon in Wohnungen (StSch 4534), IAF - Radioökologie GmbH und B.P.S. Engineering GmbH im Auftrag des BfS, Januar 2010
- [3] H. Schulz, "Aktueller Kenntnisstand zu Radon in Gebäuden", Sächsischer Radontag 2007
- [4] W. Löbner, Luftaustausch in Gebäuden – Bestimmung der Luftwechselraten in Räumen, Vortrag SMUL Dresden, KORA Dresden, September 2006 und Referenzen in diesem Vortrag
- [5] W. Löbner, H. Schulz, Ermittlung des Quellterms durch Kombination von Messungen der Rn-Konzentration und Tracergasmessungen, Radon Workshop des BfS, November 2006, Berlin und Referenzen darin
- [6] H. Schulz, Untersuchung zum Interface Untergrund / Gebäude, IAF - Radioökologie GmbH Dresden unter Mitwirkung des Bergtechnischen Ingenieurbüros GEOPRAX
- [7] B. Leißring, H. Schulz, Erfahrungen aus Sanierungsmaßnahmen mit komplizierten Untergrundverhältnissen, 2. Tagung zum "Radonsicheren Bauen" KORA e.V. September 2006, Dresden
- [8] W. Roßbander, F. Ohlendorf, B. Ullrich, Grundlagen zur Radonrisikobewertung im Stadtgebiet von Dresden mit Kartierung der Verdachtsflächen für Radonklassen VERNACHLÄSSIGBAR bis SEHR HOCH und Handlungsempfehlungen (im Auftrag des Amtes für Umweltschutz der Stadt Dresden), BAUGRUND DRESDEN, Ing. mbH, Dresden 1993
- [9] H. Surbeck, Überlegungen zum Radonrisiko eines Baugrundes, 1993
- [10] H. Schulz, Modellierung der Radonkonzentrationsentwicklung in einem Haus als Multi-Kompartiment-Problem, IAF - Radioökologie GmbH, Interne Berichte
- [11] A. B. Tanner, The Role of Diffusion in Radon Entry into Houses, Proc. of the International Symposium on Radon and Radon Reduction, Atlanta, Georgia 19 - 23 February 1990
- [12] G. M. Reimer, A. B. Tanner, in Nierenberg, W.A. ed., Encyclopedia of Science, Vol 3, San Diego, California, Academic Press, Inc. 705 - 712

- [13] W. Roßbänder, F. Ohlendorf, B. Ullrich, L. Fuhrmann: Bewertung des Radonrisikos eines Baugrundes, Bauingenieur 70 (1995) 41
- [14] H. Schulz, W. Horn, F. Ohlendorf, W. Roßbänder, K. Schönefeld: Bewertung des Radonrisikos eines Baugrundes, Bericht auf der 18. Sitzung des Arbeitskreises "Uranbergbau und radioaktive Altlasten" (AKURA), Johannegeorgenstadt, Oktober 1999
- [15] E. Slunga: Radon Classification of Building Ground. Radiation Protection Dosimetry 24 (1988) 39
- [16] Förderprojekt des BfS "Methode zur parameterfreien Bestimmung der Radonexhalation und Dimensionierung von Abdeckschichten bei der Sanierung bergbaulicher Altlasten", IAF - Radioökologie GmbH, September 1999 - Oktober 2000; Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU-2002-597
- [17] H. Schulz, L. Funke, A. Schellenberger, Study of Long Term Radon Transport by Measuring the Difference of the ^{210}Pb and ^{226}Ra Activity in Soil as a Function of the Depth, Health Physics. Vol. 84,2003, 236
- [18] R. Lehmann & H. Landfermann & A. Junkers & U. Schöppler (September 2001) Radonhandbuch Deutschland, Braunschweigdruck GmbH Druck Verlag Medien 38112 Braunschweig
- [19] R. Gellermann, H. Schulz, "Erhöhte natürliche Radioaktivität in Baugrund und Baustoffen - neue Anforderungen an die Ingenieurplanung Planen und Bauen", Beratende Ingenieure, September 2004, Springer-VDI-Verlag, 26 - 31