

PRAKTISCHE VORGEHENSWEISE BEI DER SANIERUNG VON ALT- UND NEUBAUTEN

PRACTICAL APPROACH WITH THE REHABILITATION OF OLD AND NEW BUILDINGS

Hartmut Schulz

René Baumert

IAF - Radioökologie GmbH, Radeberg

Zusammenfassung

Summary

1 Vorbemerkung zum Sach- und Kenntnisstand

Die "Bauqualität" eines 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, spielt die Radonverfügbarkeit des Baugrunds keine Rolle. Baumängel begünstigen jedoch 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].

Vor allem in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz ΔT_i bzw. der Druckdifferenz Δp_i zwischen einzelnen Hausräumen i oder zwischen der Innenraumluft und der Außenatmosphäre werden konvektive Luftströmungen induziert, die jahres- und tageszeitliche Charakteristika aufweisen. Diese sind auch für die Infiltration von radonhaltiger Bodenluft aus dem Baugrund in ein Haus von signifikanter Bedeutung. Das Haus selbst übt aufgrund seiner vergleichsweise hohen mittleren Innentemperatur von ≥ 20 °C den größten Einfluss auf das Radontransportverhalten zwischen dem Haus und dem umgebenden Baugrund aus.

In Wohngebäuden, die in den letzten 20 - 30 Jahren gebaut 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.

Die Höhe der Radonkonzentration in Innenräumen wird auch 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 Tauwasserbeziehungsweise 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 [3]. 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 z.B. die mögliche Radonkonzentrationserhöhung bei Verringerung des Luftwechsels im Zuge von Energiesparmaßnahmen eingrenzen zu können (s. z.B. [3], [4], [5]).

2 Zur Bestimmung des Radonquellterms eines Hauses

Die Bestimmung des Radonquellterms eines Hauses beruht auf der Prämisse [2], die zeitgleiche Entwicklung der Radonkonzentration in allen Räumen des Hauses aufzuzeichnen und über das Produkt von Raumgröße, multipliziert mit der Radonkonzentration, eine zeitliche Entwicklung der Radonquellstärke in allen Räumen und damit auch der Gesamtquellstärke abzuleiten.

Einen modellhaften Überblick über mögliche lufttechnische Kopplungen unterschiedlicher Radonquellen und -reservoirs sowie des Radontransports in zwei Kellerräumen, in zwei Zimmern des Erdgeschosses und einem Zimmer in der 1. Etage gibt die Abb. 1. Zur Vereinfachung der Gesamtsituation hinsichtlich des Radontransfers ist angenommen, dass die mittlere Radonkonzentration in einem Raum durch einen bestimmten Farbton charakterisiert ist. Somit ist der Radontransfer in andere Räume bzw. in die Außenatmosphäre durch die jeweilige Radonkonzentration durch den jeweiligen Farbton in Form von Pfeilen dargestellt.

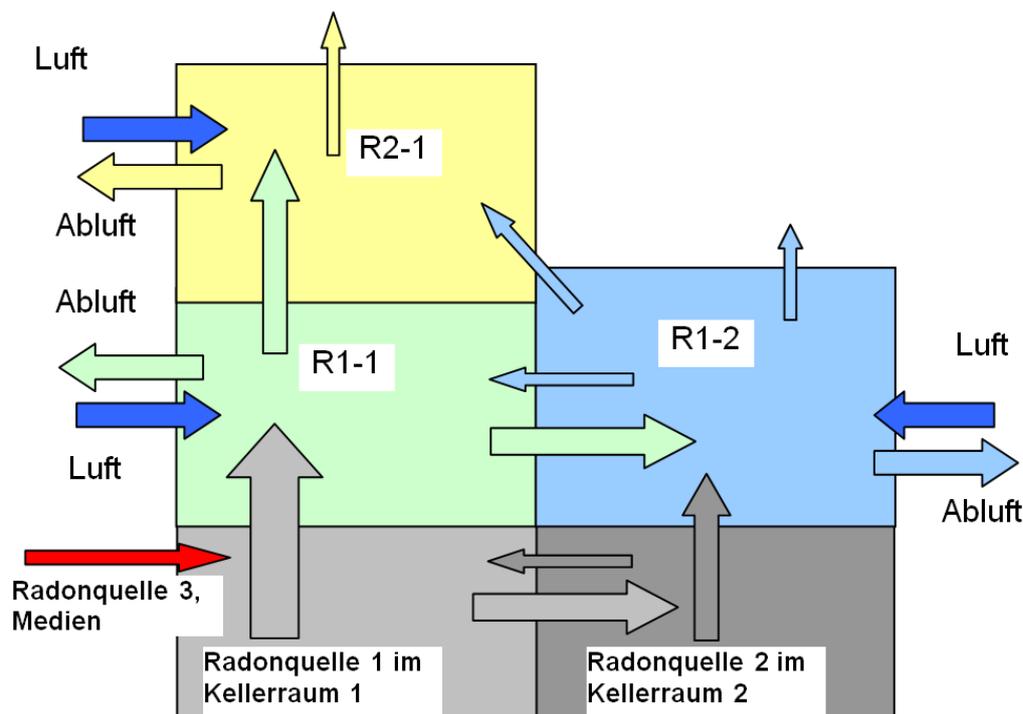


Abb. 1: Schematische Darstellung der Kopplungen unterschiedlicher Radonquellen und -reservoirs sowie des Radontransports in zwei Kellerräumen, in zwei Zimmern des Erdgeschosses und einem Zimmer in der 1. Etage. Die farbliche Unterlegung schematisiert die unterschiedlichen Radonkonzentrationen in den Räumen.

Ein wichtiges Element der zeitabhängigen Beschreibung des Radontransports in einem Haus ist die Berücksichtigung der Erhaltungssätze für den Luftaustausch in allen Räumen des Hauses. Es gilt allgemein:

$$\sum_i q_i^{\text{in}} = \sum_j q_j^{\text{out}} \quad (1)$$

wobei q_i^{in} alle in einen Raum hineinkommenden Luftströme und q_j^{out} alle aus einem Raum austretenden Luftströme bezeichnet. In q_i^{in} sind gemäß Abb. 1 für den Raum R1-1 die Radonquelle im Keller, die Frischluftzufuhr aus der Atmosphäre und die angenommene Radonzufuhr aus dem Raum R1-2 enthalten, während q_j^{out} alle aus dem Raum austretenden Luftströme (Abluft in die Atmosphäre, Transfer in den Raum R1-2, Transfer in die 1. Etage etc.) erfasst. Die obige Gleichung kann auch in das folgende System umgeschrieben werden

$$\sum_i Q_i^{\text{in}} - \sum_j Q_j^{\text{out}} = 0 \quad (2)$$

$$\sum_k T_k^{\text{in}} - \sum_l T_l^{\text{out}} = 0 \quad (3)$$

wobei Q_i^{in} und Q_j^{out} die in das gesamte Haus von außerhalb (Atmosphäre bzw. Untergrund) eintretenden bzw. austretenden Luftströme (Atmosphäre) enthalten, während T_k^{in} und T_l^{out} die innerhalb des Hauses ausgetauschten Luft- bzw. Radonströme einbeziehen. Beide Gleichungen (2) und (3) müssen deshalb immer gleichzeitig erfüllt sein.

Die Summe $\sum_i Q_i^{\text{in}}$ erfasst somit die durch den Luftwechsel bedingten Frischluft- sowie die Radonzufuhr aus den externen Quellen im Untergrund. Die Summe $\sum_j Q_j^{\text{out}}$ beinhaltet die gesamte aus dem Haus in die umgebende Atmosphäre abgegebene radonhaltige Luft. Der Radontransfer innerhalb des Gebäudes, d.h. von einem Raum in einen anderen oder auch wieder zurück in den Ausgangsraum besitzt gemäß Abb. 1 eine sehr einfache Struktur, d.h. $\sum_k T_k^{\text{in}} = \sum_l T_l^{\text{out}}$. Die wichtigen Radonquellterme bzw. Radonfrachtterme, genauer zu bezeichnen als Radonquellstärken bzw. Radonfrachten, ergeben sich aus dem Produkt von $\sum_i Q_i^{\text{in}} \cdot C_i$, wobei C_i die Radonkonzentrationen in den einzelnen Räumen bezeichnen. In Abhängigkeit von den jeweilig angenommenen Kopplungen und den Radonquelltermen, wobei zwischen den konvektiven Strömungen aus den unterschiedlichen Radonreservoirs in das Gebäude und der Radongeneration durch die Baumaterialien unterschieden ist, ergibt sich ein gekoppeltes System von Differentialgleichungen, das die Radonkonzentrationsentwicklung in jedem einzelnen Raum beschreibt. Dieses System kann numerisch gelöst werden [6], wobei die Kopplungen nicht zeitunabhängig und z.B. komplizierte Funktionen der Druck- oder Temperaturdifferenzen zwischen den Räumen oder weiterer meteorologischer Größen, vor allem des anliegenden Windes, sind. Die entsprechenden funktionalen Abhängigkeiten müssen bekannt bzw. in Form von Messwerten vorliegen. Der Grad der Komplexität des Gleichungssystems wird dabei hauptsächlich durch die Anzahl der Räume bestimmt.

3 Vorgehensweise der Firma IAF - Radioökologie GmbH bei der Sanierung von Alt- und Neubauten

Um eine Radonsanierung von Alt- oder Neubauten ins Auge fassen zu können, wird bei der Firma IAF - Radioökologie GmbH eine standardisierte Vorgehensweise angewendet. Sie beruht darauf, zunächst belastbare Informationen über das Systemverhalten eines Hauses hinsichtlich des Radontransports und über die Stärke der Radonquellen zu gewinnen. Dabei werden je nach Hausgröße bis zu 15 Radonmonitore eingesetzt und die Radonkonzentrationen in allen oder nahezu allen Räumen über einen Zeitraum von mehreren Tagen aufgezeichnet. Nur das gleichzeitige Visualisieren der Radonkonzentrationsverläufe in allen Räumen über einen bestimmten Zeitraum manifestiert auf anschauliche Weise, wie der Radontransport innerhalb des Hauses erfolgt und wo letztlich der Radoneintritt in das Haus erfolgt. Ein zusätzlich wichtiges Element für die Einschätzung des Radontransfers im Haus stellt die Berechnung der Gesamtradonaktivität in den einzelnen Räumen und Etagen dar. Diese Größe liefert somit einen direkten Hinweis darauf, welche Radonfrachten z.B. vom Keller in das Haus transportiert werden.

Wichtige zusätzliche Informationen zum Radontransfer innerhalb eines Hauses können z.B. auch gewonnen werden, wenn die Radonkonzentrationen in allen Räumen innerhalb des Hauses durch eine entsprechende Querlüftung auf das Niveau der Außenluft abgesenkt wird und anschließend die zeitliche Entwicklung der Radonkonzentration für mehrere Stunden in allen Räumen "aufgezeichnet" wird. In vielen Fällen liefert bereits auch das Erfassen des Absenkens der Radonkonzentration im Zuge der Querlüftung wichtige Informationen über die Kopplungen und die Stärke der Radoneintrittspfade (Radonquellterme). Durch das gleichzeitige Aufzeichnen der Raumtemperaturen können bereits aus den Temperaturdifferenzen Schlussfolgerungen darüber gezogen werden, wie die

Radonmigration tatsächlich erfolgt. Das Haus als Ganzes wird bei dieser von IAF praktizierten Vorgehensweise wie eine große Exhalationsbox betrachtet, die auf dem Baugrund aufgesetzt ist.

Als sehr praktisch hat sich erwiesen, aus dem Anstieg der Radonkonzentration im Keller nach erfolgter Lüftung den verallgemeinerten Radonquellterm direkt zu bestimmen. Dabei werden die zum Zeitpunkt der Messung herrschenden klimatischen Bedingungen implizit mit berücksichtigt. Durch Wiederholung der Messungen kann z.B. die Abhängigkeit dieses verallgemeinerten Radonquellterms von der Sommer-/Wintersaison und anderen Einflussparametern bestimmt werden. Durch die Messung der Radonkonzentrationsentwicklung in allen anderen Räumen steht ein kompletter Datensatz zur Verfügung, der sofort mit einem von der IAF - Radioökologie GmbH entwickelten Programm ausgewertet werden kann.

4 Radonschutzmaßnahmen

Radonschutzmaßnahmen sind z.B. im Radonhandbuch [7] beschrieben und werden nicht näher erläutert. Im Vordergrund steht hier die Verifizierung des Erfolgs von Radonschutzmaßnahmen bzw. das Erkennen der Radoneintrittspfade und ihrer Relevanz in bereits existierenden Häusern. Die Bauqualität eines Hauses übt den größten Einfluss darauf aus, ob letztlich ein erhöhtes Radonrisiko für die Hausbewohner zu besorgen ist oder nicht. Ist das Haus praktisch als "radondicht" zu bezeichnen, spielt die Radonverfügbarkeit des Baugrunds keine Rolle. Weist das Haus andererseits Leckagen auf, die einen Radoneintritt begünstigen, sind die Größe des summarischen Radon-Eindringfensters und die im Haus herrschenden Druckverhältnisse die entscheidenden Größen, die die Radoneintrittsrate bestimmen und nicht die Höhe der Radonkonzentration in der Bodenluft des Baugrunds.

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 neu errichteten Häusern oder in einem Altbau 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.

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-, Gasleitungen 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 sich z.B. in Abwasserkanälen je nach geologischer Situation und der Ankopplung an das Radonreservoir zum teil 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 reduzieren 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, kann zumindest für den Bereich der gesättigten Bodenzone als total radondicht bezeichnet werden, 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.

Die radiologischen Messungen zum Nachweis der Radondichtheit der Gebäudehülle sollten schrittweise während der Bauphase und nicht erst nach Fertigstellung des Hauses bzw. des sanierten Altbaus erfolgen. Die Lokalisierung und Beseitigung von Leckagen, die den Radoneintritt in ein Haus begünstigen, 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 in Alt- und Neubauten 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 z.B. 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 Haus Räume hat [2].

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 [2], [8].

In diesem Zusammenhang sind jedoch auch zusätzlich direkte Luftwechselfmessungen und Messungen von Differenzdrücken, z.B. zwischen Keller und dem Erdgeschoss zu empfehlen.

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. Ebenso ist bei einer Altbausanierung darauf zu achten, dass oftmals auch die aufgemauerten Ziegelwände der Keller, die mit dem umgebenden Erdreich in einem direkten Kontakt stehen, eine nicht zu unterschätzende "Leckagefläche" sein können. Bei Trockenlegungen von Bauwerken sollte der Radonschutz mit ins Auge gefasst werden, da trockene Wände eine Radonpenetration im Vergleich zu nassen Wänden stark begünstigen können.

Es ist auch zu empfehlen, nach der Installation der Heizung bei hohen Innenraumtemperaturen die Radonmessungen über mindestens 2 Tage auszudehnen. Damit kann überprüft werden, ob durch den durch Temperaturerhöhung induzierten Unterdruck die Radondichtheit gegeben ist. Auch bei dieser einfachen Überprüfung ist vorteilhaft und kostengünstig, möglichst so viele Radonmonitore einzusetzen, wie das Haus Räume hat [2].

Ob Messungen der Radoninnenraumkonzentrationen nach der Fertigstellung eines Hauses im Zuge der Übergabe des Hauses oder des sanierten Altbaus durchgeführt werden sollen, hängt von den Vereinbarungen zwischen Baufirma und Bauherrn ab. Sollte dies gefordert werden, so sind die Messungen mindestens 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 Kurzeitmessungen miteinander kombinieren. Im Ergebnis der Untersuchungen in [2] 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 ist zu bemerken, 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 Literaturverzeichnis

- [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, Modellierung der Radonkonzentrationsentwicklung in einem Haus als Multi-Kompartiment-Problem, IAF - Radioökologie GmbH, Interne Berichte
- [7] R. Lehmann & H. Landfermann & A. Junkers & U. Schöppler (September 2001) Radonhandbuch Deutschland, Braunschweigdruck GmbH Druck Verlag Medien 38112 Braunschweig
- [8] 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