

2. SÄCHSISCHER RADONTAG

4. TAGUNG RADONSICHERES BAUEN

30. SEPTEMBER 2008

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND
WIRTSCHAFT DRESDEN (FH)

veranstaltet durch:

SMUL - Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft



**KORA e.V. - Kompetenzzentrum für
Forschung und Entwicklung zum
radonsicheren Bauen und Sanieren**

unterstützt durch:

HTW Dresden (FH)
Hochschule für
Technik und Wirtschaft Dresden



ZAFIT ZAFT - Zentrum
für angewandte
Forschung und Technologie e.V.

INHALT

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig Grußwort des Vorstandsvorsitzenden von KORA e.V.	5
---	---

Dr. Jürgen Staupe Grußwort des Staatssekretärs des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft	7
---	---

Prof. Dr.-Ing. Hannes Neumann Grußwort des Rektors der HTW Dresden (FH)	9
---	---

BAUKLIMATIK UND RADONEXPOSITION

Prof. Dr.-Ing. John Grunewald Grundlagen der freien Lüftung in Wohngebäuden	11
---	----

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig Zusammenhang zwischen Luftwechsel und Radonexposition	23
--	----

Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke Technische Lösungen für Lüftungsanlagen – Stand und Entwicklung	39
--	----

RECHTLICHE FRAGEN DES RADONSICHEREN BAUENS

Prof. Dr. med. Hajo Zeeb Das internationale Radonprojekt der World Health Organization (WHO)	49
--	----

Regierungsdirektor Frank Wachnow Baurecht und Radon – öffentlich-rechtliche und zivilrechtliche Aspekte	55
---	----

RADONMESSUNG UND RADONEXPOSITION

Dr. Bernd Hoffmann Radon in Baumaterialien	69
--	----

Dr. rer. nat. habil. Hartmut Schulz Neue Aspekte der Radonmessung in Gebäuden	75
---	----

BEISPIELE

Dipl.-Ing. Bettina Gabriel Radon in der öffentlichen Bauverwaltung des Freistaates Sachsen	83
Dipl.-Ing. Architekt T. Maschke Umbau des Wohnheimes V der HTW Mittweida zum Institutsgebäude	89
Dr. rer. nat. Joachim Kemski, Dr. rer. nat. Ralf Klingel Kommunale Radonschutzmaßnahmen – Planung, Kommunikation, Einzelobjekt	95
Dr. Dipl.-Ing. Dietmar Häßler Bauwerksabdichtung und Radonschutz – ein Fallbeispiel	101
Prof. Dr. rer. nat. habil. Bernd Leißring Erfahrungen bei der Radonsanierung einer Schule	109
Dipl.-Ing. Bernd Liebscher Entwicklung von radondichten Holzbauteilen	115
Referentenverzeichnis	127



Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig
Vorsitzender Kompetenzzentrum für
radonsicheres Bauen e.V.
und
Lehrgebiet Baukonstruktion an der
Hochschule für Technik und Wirtschaft
Dresden (FH)

Begrüßung

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich begrüße Sie sehr herzlich zum **zweiten sächsischen Radontag – der vierten Tagung Radonsicheres Bauen**. Veranstaltet wird diese wiederum durch das *Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft - SMUL* gemeinsam mit dem *Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen und Sanieren – KORA e.V.* In nun schon fast altbewährter Form wird unsere heutige Veranstaltung durch die HTW Dresden sowie das ihr angeschlossene Forschungszentrum ZAFT e.V. unterstützt.

Auf der diesjährigen Tagung stehen wiederum aktuelle Fragestellungen zum radonsicheren Bauen und Sanieren im Mittelpunkt der Beiträge: So werden wir der Frage nachgehen, welche **Zusammenhänge zwischen Bauklimatik, dem Einsatz technischer Lösungen der Lüftungstechnik und der Radonexposition** bestehen. Bekanntlich ist die Reduzierung des Energieverbrauchs von Gebäuden sowohl für Neubauten als auch Sanierungsvorhaben eine der großen aktuellen Bauaufgaben. Neben der sehr guten Wärmedämmung der Gebäudehülle sind eine optimierte Energiebereitstellung sowie die Reduzierung des Luftwechsels die grundlegenden Möglichkeiten, den Primärenergieverbrauch zu vermindern. Verringerter Luftwechsel führt aber unweigerlich zur Erhöhung der Feuchte- und Schadstoffbelastung in der Raumluft und somit auch zur Erhöhung der Radonkonzentration. Insbesondere nach Abschluss von Sanierungsmaßnahmen sind häufig deutlich erhöhte Radonkonzentrationen in der Raumluft gemessen worden. Wie diese „Nebenwirkungen“ energetischer Sanierungen vermieden werden können, welchen Beitrag hierzu die Gebäudetechnik leisten kann, soll in den ersten drei Tagungsbeiträgen erörtert werden. Dichte Gebäudehüllen erhöhen nachgewiesenermaßen auch den Einfluss des **aus den Baustoffen freigesetzten Radons** auf die Raumluft. Hierauf wird im Zusammenhang mit Fragen der **Radonmessung** in einem weiteren Themenkomplex eingegangen. Immer wieder stehen vor allen Dingen bei Planern und Bauausführenden **rechtliche Fragen des radonsicheren Bauens** im Mittelpunkt des Interesses. Auf diese werden wir mit zwei Vorträgen mit Beiträgen zum geplanten Radonhandbuch der WHO sowie zum aktuellen Baurecht eingehen. Abschließend werden wiederum eine Reihe von **realisierten Bauvorhaben**, bei denen der Radonschutz eine mehr oder weniger große Rolle spielte, vorgestellt.

Mit den hier kurz skizzierten Schwerpunkten unserer Tagung hoffen wir, Ihnen wiederum viele interessante Einblicke in das wichtige Thema des radonsicheren Bauens geben zu können. Neben der inhaltlichen Konzeption der Tagung ist für den Erfolg die organisatorische Vorbereitung nicht minder wichtig. Danken möchte ich in diesem Zusammenhang den vielen fleißigen Helfern, die uns bei der Vorbereitung der Tagung unterstützt haben. Besonderer Dank gilt wiederum der HTW Dresden (FH), ohne deren Unterstützung die Durchführung der Tagung nicht möglich wäre!

Ich wünsche der Tagung einen guten Verlauf und Ihnen viele neue Erkenntnisse!

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig
Vorsitzender KORA e.V.





Dr. Jürgen Staupe
Staatssekretär im Sächsischen
Staatsministerium für Umwelt
und Landwirtschaft

Begrüßung

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich freue mich, Sie in Dresden zu Ihrer Tagung begrüßen zu dürfen, die sich dem unter Umweltschutzaspekten wichtigen und interessanten Thema der Radonkonzentration in Gebäuden widmet. Die Radonthematik wird in der Öffentlichkeit sehr ambivalent wahrgenommen. Einerseits kann Radon als radioaktives Gas Lungenkrebs verursachen, andererseits wird ihm heilende Wirkung zugeschrieben. Auch die Frage nach einem Wert, ab dem Radon schädlich ist und oberhalb dessen Maßnahmen getroffen werden sollen, lässt sich nicht einfach mit einer Zahl beantworten. Zur Eignung und Wirkung von vorsorgenden baulichen Schutzmaßnahmen sowie zu Sanierungsmethoden gibt es eine Vielzahl offener Fragen. Die Grundlage für die Beantwortung all dieser Aspekte sind das Fachwissen und die Erfahrungen der Wissenschaftler, Planer und Sanierer. Ihre heutige Tagung soll helfen, das Zusammenspiel dieser Kenntnisträger durch einen intensiven Erfahrungsaustausch zu verbessern und noch bestehende Kenntnislücken zu schließen.

Der **2. Sächsische Radontag** setzt die Reihe der Veranstaltungen fort, die in den vergangenen Jahren vom Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen und Sanieren (KORA e. V.) sowie vom Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft durchgeführt wurden. Der Erfolg des gemeinsamen 1. Radontages im letzten Jahr bestätigt, dass wir mit der Zusammenführung unserer Veranstaltungen und damit der Bündelung fachlicher Kompetenz einen richtigen Weg eingeschlagen haben.

Die Schwerpunkte des 2. Sächsischen Radontages, die vom Themenkomplex Energieeinsparung und Radon über die Bewertung des Radonrisikos bis zu Transportprozessen und Fragen zum radonsicheren Bauen und Sanieren reichen, unterstreichen, dass der Sächsische Radontag vor allem eine Plattform zum fachlichen Austausch zu praktischen Aspekten des Radonschutzes ist. Die Ergebnisse Ihrer Diskussionen sind eine wichtige Grundlage für die zukünftige Arbeit der Strahlenschutzbehörden, insbesondere der sächsischen Radonberatungsstelle. Eine qualifizierte Aufklärung und Information auf hohem fachlichen Niveau sehe ich als den geeigneten Weg für eine nachhaltige Verbesserung der Radonsituation an. Hierzu tragen Ihre fachlichen Anregungen maßgeblich bei.

Für Ihre Tagung wünsche ich Ihnen nutzbringende Diskussionen und viele Denkanstöße, die Sie in Ihrer weiteren wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und administrativen Arbeit erfolgreich einsetzen können, sowie einen angenehmen Aufenthalt in Dresden.

Dr. Jürgen Staupe
Staatssekretär im Sächsischen Staatsministerium
für Umwelt und Landwirtschaft





Prof. Dr.-Ing. Hannes Neumann
Rektor der Hochschule für
Technik und Wirtschaft Dresden (FH)

Grußwort zum 2. SÄCHSISCHEN RADONTAG

Im Jahr 2005 wurde auf Initiative von Prof. Bernd Leißring gemeinsam mit Prof. Walter-Reinhold Uhlig aus unserem Hause das Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen und Sanieren gegründet. Im gleichen Jahr fand die erste Tagung zum Radonsicheren Bauen im Beisein des heutigen Staatsministers des Inneren, Herrn Dr. Buttolo, statt.

KORA e.V. veranstaltet in diesem Jahr bereits seine 4. Tagung „Radonsicheres Bauen“, die seit dem letzten Jahr gemeinsam mit dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft als „Sächsischer Radontag“ durchgeführt wird. Diese Tagung wird unterstützt von unserer Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden – der HTW – und dem Zentrum für angewandte Forschung und Technologie e.V. (ZAFT) – dem Forschungszentrum an der HTW Dresden.

Als Hausherr freue ich mich natürlich, die Teilnehmer der Tagung hier in unserer Hochschule nunmehr bereits zum dritten Mal begrüßen zu können. Ich halte es für eine unseres Hochschultyps entsprechende wesentliche Aufgabe, den wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch zu pflegen und zu befördern.

Die HTW Dresden ist jedoch nicht nur Gasgeber der alljährlichen Tagung: die enge Verbindung zwischen KORA e.V. und der HTW Dresden hat sich in den letzten Jahren sehr fruchtbar entwickelt. So bietet der FB Bauingenieurwesen/Architektur seit drei Jahren eine Vorlesung „Radonsicheres Bauen“ an, in der neben Mitarbeitern der Hochschule Experten aus verschiedenen Wissensgebieten Lehrveranstaltungen übernommen haben, die Mitstreiter in KORA e.V. sind. Inzwischen sind auch eine Reihe von Themen in Diplomarbeiten bearbeitet worden, die sich mit dem Radonsicheren Bauen befassen. Eine Übersicht zu diesen Themen kann in der Posterausstellung besichtigt werden. In den Diplomarbeiten sind zum Teil wichtige Grundlagen für weitere Forschungsthemen gelegt worden, die in Kooperation von KORA e.V., dem ZAFT und der HTW Dresden bearbeitet werden sollen.

Damit werden wir unserer Verpflichtung gerecht, angewandte Forschung als zweites Standbein zu betreiben und damit gleichzeitig die Ausbildung von jungen Ingenieuren den Erfordernissen des Standes der Technik entsprechend anzupassen.

Das Programm der Tagung bietet wieder interessante Beiträge neuerer Untersuchungen zu Fragen der Radonexposition, zur Messtechnik zu rechtlichen Fragen und zu Anwendungsbeispielen.

Mein Dank gilt den Organisatoren und den Referenten, die diese Tagung erfolgreich vorbereitet und mit gestaltet haben. Ich wünsche ihnen einen interessanten Verlauf und einen persönlichen Erfahrungsaustausch, der bestimmt für weitere gemeinsame Projekte im Rahmen des sich gestaltenden Netzwerkes „Radonsicheres Bauen“ von großem Vorteil ist.

Prof. Dr.-Ing. Hannes Neumann
Rektor der Hochschule für
Technik und Wirtschaft Dresden (FH)



GRUNDLAGEN DER FREIEN LÜFTUNG IN WOHNGBÄUDEN

BASICS OF NATURAL VENTILATION IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Jürgen Roloff¹⁾

John Grunewald¹⁾

¹⁾ Institut für Bauklimatik, Fakultät Architektur, Technische Universität Dresden

Zusammenfassung

Unter Lüftung versteht man den Austausch von Raumluft mit Außenluft bei Räumen und Gebäuden. Freie Lüftung gewinnt im Gegensatz zur Zwangslüftung oder maschinellen Lüftung die Antriebsenergie für den Luftaustausch aus dem freien, natürlichen Kräftespiel der am Gebäude entstehenden Druckdifferenzen. Diese Druckdifferenzen entstehen durch Wind oder thermischen Auftrieb. Klimagerechtes Bauen bedeutet u. a., dass durch überlegte bauliche Entscheidungen diese Druckdifferenzen sinnvoll für die Nutzung der Gebäude eingesetzt werden. Wir sind dadurch in der Lage, den sonst notwendigen Energieeinsatz, den die Zwangslüftung erfordert, zu verringern oder zu vermeiden. Dieser Beitrag vermittelt die physikalischen Grundlagen der freien Lüftung in Wohngebäuden. Kleine Rechenbeispiele dienen zur Demonstration.

Summary

Ventilation means air exchange between internal and external air spaces. Contrary to the forced convection, the natural ventilation receives its energy from the pressure differences due to the free action of forces in and around buildings. These pressure differences can be caused by wind speed and also by buoyancy effects. Climate-adapted construction means exploiting these natural forces by deliberate, well considered decisions in the construction process. This helps to reduce or even to avoid the energy demanded by the ventilation systems and would make a contribution to the reduction of the green house gas emissions. In this paper, the basics of natural ventilation are presented. The equations are applied to small demonstration examples.

1. Der thermische Auftrieb

Der Druck- bzw. der Dichteunterschied der Luft wirkt zwischen zwei unterschiedlich temperierten Luftsäulen als Antrieb für Luftbewegung in Gebäuden. Die auf einen Referenzzustand (z.B. Luftdruck in der Höhe der Erdgeschosses) bezogene Druckdifferenz hängt vom betrachteten Höhenunterschied, beispielsweise der Geschosshöhe, ab. Als weiterer Parameter geht neben der Fallbeschleunigung g die Dichte der Luft ein, die von der Temperatur abhängig ist.

$$\Delta p_i = \rho_{i0} \cdot g \cdot h$$

$$\Delta p_e = \rho_{e0} \cdot g \cdot h$$

Prinzipiell ist im wärmeren Innenraum die Dichte der Luft geringer als im Außenraum, also ist auch der Gradient, d. h. die Abnahme des Drucks mit der Höhe ist im Innenraum geringer als im Außenraum

(Abb. 1). Diese Druckdifferenz zwischen Innen- und Außenraum, die im Prinzip in allen Gebäuden wirkt, also Luftbewegung über alle Öffnungen, Fugen, Fenster und Türen verursacht, kann auch bei der Schachtlüftung ausgenutzt werden.

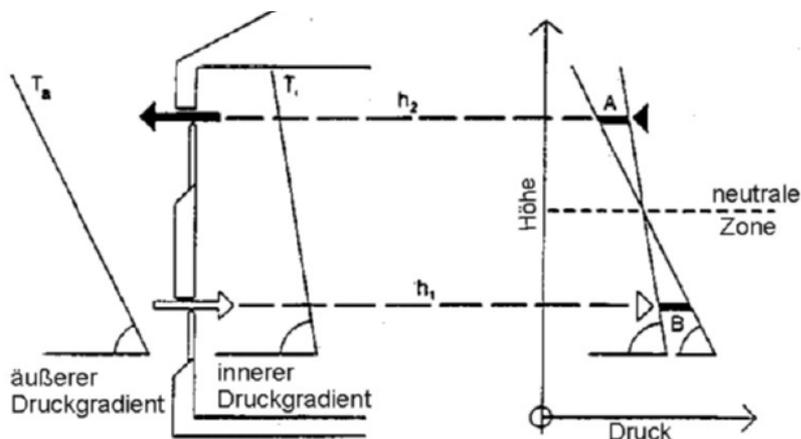


Abb. 1: Druckverlauf infolge Auftrieb zwischen zwei untereinander liegenden Öffnungen

Durch die ideale Gasgleichung der Luft sind Druck und Temperatur über Dichte ρ_L und Gaskonstante R_L verbunden.

$$\rho_L = \frac{p}{T \cdot R_L}$$

Unter Normbedingungen ($T_N=273 \text{ K}$, $p_N=10^5 \text{ Pa}$, $R_L = 288 \text{ J/kgK}$) gilt:

$$\rho_N = \frac{p_N}{T_N \cdot R_L}$$

Für die Dichte $\rho_{i,0}$ kann man daher auch setzen:

$$\rho_{i,0} = \frac{p_{i,0}}{T_i} \cdot \frac{T_N \cdot \rho_N}{p_N}$$

Da der Bezugsdruck $p_{i,0}$ in etwa mit p_N gleichgesetzt werden kann, folgt:

$$\rho_{i,0} \approx \rho_N \cdot T_N \cdot \frac{1}{T_i}$$

analog erhält man:

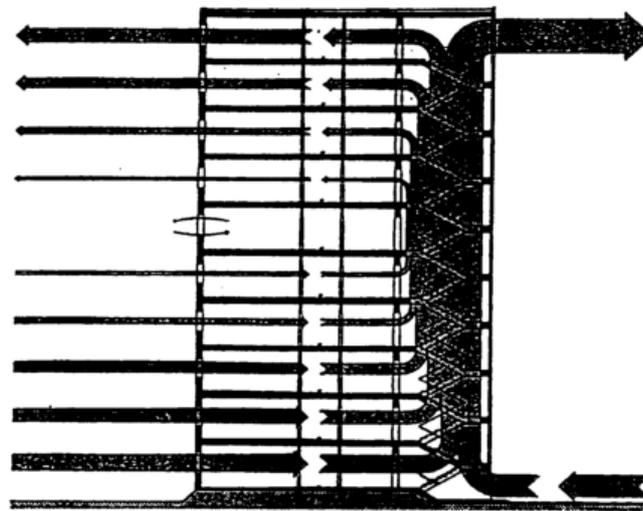
$$\rho_{e,0} \approx \rho_N \cdot T_N \cdot \frac{1}{T_e}$$

Damit ergibt sich für den Unterschied in der Druckabnahme zwischen Innen und Außen:

$$\Delta p(h) = \Delta p_e - \Delta p_i = g \cdot h \cdot \left[\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_e} \right].$$

Die durch den thermischen Auftrieb entstehenden Druckdifferenzen können nur bei großen Höhen- oder Temperaturdifferenzen wirksam sein. Deshalb ist der entstehende Luftwechsel um so größer je kälter die Außenluft gegenüber der Luft im Gebäude ist (also im Winter) und je höher das Gebäude bzw. je länger der Schacht ist. Die Druckdifferenzen wirken an jedem Gebäude ausreichender Höhe.

Inwieweit sich daraus Luftströmungen ergeben, hängt von den Öffnungen ab, die in der Außenhaut des Gebäudes vorhanden sind (Fenster, Türen, Fugen) (Abb. 2).



ohne Schachtlüftung

Abb. 2: Thermischer Auftrieb in einem Gebäude (Treppenhaus mit zu- und abströmender Luft)

1.1 Erforderlicher Luftförderstrom

Bestimmende Größe für alle funktionellen und konstruktiven Folgerungen ist der notwendige Luftförderstrom \dot{V}_L in $[\text{m}^3/\text{h}]$. Der Förderstrom, also die Luftmenge pro Zeiteinheit wird als Transportmittel genutzt, um Schadstoffe, Feuchtigkeit, Sauerstoff und Wärme zu transportieren. Je nach Funktion oder Nutzung des Raumes überwiegt die Notwendigkeit, den Luftförderstrom für den Transport des einen oder anderen Mediums zu bemessen. Normalerweise geht man davon aus, dass die Luft im Innenraum höhere Konzentrationen an Schadstoffen und Feuchtigkeit hat als die Außenluft. Umgekehrt ist es bei dem Gehalt an Sauerstoff. Wärme kann vom Außenraum in den Innenraum transportiert werden und umgekehrt. Da bei der freien Lüftung die Druckdifferenzen sehr gering sind, unterscheiden sich Zuluft und Abluftstrom nicht, sondern liegen in der gleichen Größenordnung.

Bei der Berechnung der freien Lüftung muss man grundsätzlich zwei Gegebenheiten unterscheiden. Die Bestimmung des notwendigen Volumenstroms beruht immer auf einem vorgeschriebenen oder einzuhaltenden Wert (z. B. max. Schadstoffkonzentration im Raum) oder auf einer plausiblen einzuhaltenden Raumklimagröße (z. B. Raumtemperatur, Raumluftfeuchte). Er ergibt sich aus einer Bilanz, die mit der inneren und äußeren Schadstoffkonzentration, dem Feuchtegehalt oder der Temperatur gebildet wird.

Sind mehrere Belastungsgrößen vorhanden, ist der größere erforderliche Luftförderstrom ausschlaggebend. Die baulichen Konsequenzen beziehen sich dann auch wieder auf diesen. Da allerdings der notwendige Förderstrom unter konkreten Bedingungen nicht immer zu realisieren ist, muss man häufig auch den maximal oder minimal vorhandenen Förderstrom bestimmen. Dabei geht es dann darum, ob der durch Winddruckdifferenzen oder thermischen Auftrieb entstehende Luftförderstrom ausreichend bzw. zu groß oder zu klein ist, um die notwendige Transportleistung zu gewährleisten.

Es ist z. B. zu berücksichtigen, dass der Förderstrom zeitweise durch die meteorologischen Gegebenheiten auch gegen Null geht. Wenn diese Phase durch vorübergehende Speicherung, bzw. durch kurzzeitig zulässige Überschreitung der kritischen Werte überbrückt werden kann, ohne dass die Funktion des Raumes darunter merklich leidet, ist freie Lüftung zulässig. Meistens ist dies der Fall in Wohnungen und ähnlich gelagerten Räumen, in denen der Nutzer auf die Situation reagieren kann. Ist der notwendige Förderstrom mit baulichen Mitteln nicht realisierbar, oder nicht gewährleistet, ohne

dass die oben erwähnte Einschränkung zutrifft, muss man auf Zwangslüftung (ständig oder zeitweise) zurückgreifen. Insofern ist eine frühzeitige überschlägliche Berechnung des erforderlichen Luftförderstromes unter Berücksichtigung der baulichen Gegebenheiten wichtig, um schon während der Entwurfsphase abschätzen zu können, ob eine Zwangslüftung mit ihren baulichen Folgerungen (Lüftungszentrale, Kanalführung usw.) notwendig sein wird.

1.2 Schadstoffkonzentration

Ist die Einhaltung einer zulässigen Schadstoffkonzentration (CO₂ oder ein anderes durch Nutzung der Räume freiwerdendes Gas) zu gewährleisten, benötigt man:

- G_s = freiwerdende Schadstoffmenge mg/h
- c_{ab} = zulässige Schadstoffkonzentration im Raum in mg/m³
- c_{zu} = Schadstoffkonzentration im Außenraum in mg/m³

Der notwendige Luftförderstrom lässt sich aus diesen Größen bestimmen und ist damit:

$$V_L = \frac{G_s}{c_{ab} - c_{zu}}$$

1.3 Wasserdampfkonzentration

Ähnlich wie die Schadstoffe wird auch Wasserdampf bei der Nutzung von Räumen frei. Obwohl der Wasserdampf für den Menschen kein schädliches Gas darstellt, darf seine Konzentration im Raum nicht zu hoch sein. Eine hohe Konzentration an Wasserdampf führt sehr häufig zu Taupunktunterschreitung und damit zum Ausfall von flüssigem Wasser. Die zulässige Konzentration von Wasserdampf richtet sich daher überwiegend nach der niedrigsten im Raum vorkommenden Temperatur, die als Taupunkttemperatur eine Grenze angibt.

$$V_L = \frac{M_W}{x_{ab} - x_{zu}}$$

- M_W = freiwerdende Wasserdampfmenge in g/h
- x_{ab} = zugelassene Raumluftheuchte in g/m³
- x_{zu} = Außenluftheuchte in g/m³

Für den Raum kann auch die Notwendigkeit bestehen, eine bestimmte relative Feuchte ϕ einzuhalten (Museumsgüter). Dann wird es notwendig, zunächst den mittleren vorhandenen Lüftungsförderstrom zu bestimmen und dann zu berechnen, ob zur freiwerdenden Wasserdampfmenge noch zusätzlich befeuchtet oder entfeuchtet werden muss.

1.4 Wärmetransport

Wird Luft zwischen Innen- und Außenraum ausgetauscht, handelt es sich in den meisten Fällen auch um unterschiedliche Temperaturbereiche, so dass immer auch mit dem Luftförderstrom Wärme transportiert wird. Dieser Wärmetransport kann sekundär sein, gegenüber dem Schadstoff oder Feuchtetransport. Er kann, wie im Winter, von großer energetischer Bedeutung, aber eigentlich unbeabsichtigt sein. Und er kann, wie im Sommer, absichtlich zur Erwärmung oder zur Kühlung herangezogen werden. Ebenso wie bei der Feuchtebilanz ist das Ziel bei der Berechnung der Wärmebilanz, entweder den Zuluftförderstrom zu ermitteln, der die benötigte Wärmemenge

transportieren kann, oder die Wärmemenge zu bestimmen, die durch den vorhandenen Luftförderstrom ab- oder zugeführt wird.

$$V_L = \frac{\Phi_W}{c_L \cdot \rho_L \cdot (\theta_{ab} - \theta_{zu})}$$

Φ_W = Wärmestrom [W]

c_L = spezifische Wärme der Luft [J/kgK]

ρ_L = Dichte der Luft (= 1,2 kg/m³)

$c_L \rho_L$ = 0,34 J/m³K

θ_{ab} = Temperatur abströmender Raumluft [°C]

θ_{zu} = Temperatur zuströmender Außenluft [°C]

1.5 Der bezogene Luftförderstrom

Der Förderstrom V_L [m³/h] ist als absoluter Wert wenig anschaulich und für Planungszwecke nicht gut handhabbar. Im Allgemeinen bezieht man ihn deshalb auf eine reale für die jeweilige Planung wichtige Größe. Das hat den Vorteil, dass nach einem Vergleich statistisch relevanter Beispiele allgemeine Planungsgrößen gebildet werden können. Wird z. B. der notwendige Förderstrom auf eine Person P bezogen, so kann man diesen allgemein gültigen Wert (z.B. Pettenkofermaßstab) auf jeden hauptsächlich durch Menschen benutzten Raum anwenden

$$\frac{V_L}{P} = V_{LP} \quad [m^3 / h \text{ Person}]$$

Die VDJ-Lüftungsregeln verlangen in Räumen mit Rauchverbot z.B. $V_{LP} = 20$ [m³/ h*Person]. Der Wert gilt als untere Grenze. Empfohlen wird eine Erhöhung um 10 m³/h*Person. Für einen Versammlungsraum mit n=50 Sitzplätzen ist also ein notwendiger Förderstrom von:

$$V_L = V_{LP} \cdot n \quad [m^3 / h]$$

für 20 m³/h*Person: 20*50 = 1000m³/h bzw. für 30 m³/h*Person = 30*50 = 1500m³/h zu planen.

Flächenbezogener Förderstrom: Bei allgemeinen Funktionen in Büro, Industrie oder Gewerbe kann man den Förderstrom auf 1 m² Grundfläche beziehen:

$$\frac{V_L}{A} = V_{LA} \quad [m^3 / h \text{ m}^2]$$

Wenn z. B. der spezifische Wert für einen Bürobau $V_{LA} = 2$ m³/h*m² beträgt, so ist für einen Büroraum mit $A_N = 30$ m² Grundfläche ein Förderstrom von $V_L = V_{LA} \cdot A = 2 \cdot 30 = 60$ m³/h zu planen.

Volumenbezogener Förderstrom: Sehr häufig wird der notwendige Förderstrom, der zur Erfüllung einer bestimmten Raumfunktion (Küche, Bad, Werkstatt, Verkaufsfläche, Garage usw.) benötigt wird, auf den Luftinhalt des betreffenden Raumes bezogen. Der Förderstrom wird dann:

$$\frac{V_L}{V_R} = V_{LR} \quad [m^3 / h \text{ m}^3 \text{ oder } 1/h]$$

Diese sehr häufige Bezogenheit nennt man "Lufrate" oder Luftwechselzahl weil ihr Zahlenwert angibt, wie oft (theoretisch) der Luftinhalt des Raumes pro Stunde gewechselt werden muss. Sie wird oft mit dem Buchstaben n bezeichnet.

$$n = \frac{V_L}{V_R} \quad [1/h]$$

Beispiel Küche: Eine Küche sollte eine Lüfrate von $n = 5 \text{ h}^{-1}$ haben. Eine geplante Küche mit einem Rauminhalt von 100 m^3 benötigt daher einen Luftförderstrom von $V_L = n \cdot V_R = 5 \cdot 100 \text{ m}^3/\text{h}$.

Wegen der Einfachheit der Berechnung im Planungsstadium sind diese bezogenen Luftförderströme sehr häufig in Fachbüchern als Tabellenwerte für viele Raumfunktionen angegeben und leisten dabei gute Dienste. Man muss allerdings bei Gebrauch daran denken, dass es allgemeine Werte sind, die aus allgemein üblichen Bedingungen gewonnen wurden. Eine im Realen abweichende Planung mit größeren oder kleineren Raumabmessungen kann daher zu groben Fehlplanungen führen. Deshalb ist es angebracht, bei der Anwendung von bezogenen Größen das Ergebnis einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen.

2. Erforderlicher Luftförderstrom

Beispielberechnung Garage: Als Beispiel soll eine Wohnhausgarage mit sechs Stellplätzen ausreichend belüftet werden. Abgasmenge (CO) eines Autos im Leerlauf: $0,55 \text{ m}^3\text{CO}/\text{h}$. Die zulässige Abgaskonzentration beträgt $100 \text{ ppm} = 100 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3\text{CO}/\text{m}^3$ Luft gemessen nach der Garagenordnung NRW. Die Außenluftkonzentration für CO beträgt $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3\text{CO}/\text{m}^3$ Luft in Wohnbereichen und $10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3\text{CO}/\text{m}^3$ Luft in Straßen mit durchschnittlichen Verkehr.

G_s (CO-Emission für ein KFZ pro Stunde) = $0,55 \cdot (20/3600 + 15/10000) = 0,00385 \text{ m}^3\text{CO}/\text{h}$

Dabei sind 20sek. Startzeit und 15m Fahrt durch die Garage (10km/h) je Kraftfahrzeug und Stunde zu berechnen. Der notwendige Lüftungsförderstrom pro KFZ:

$$V_L = \frac{0,00385}{100 - 5 \cdot 10^{-6}} = 40,52 \quad [m^3/h]$$

Der erforderliche Aussenluftstrom für sechs Stellplätze beträgt demnach bei 60%iger Auslastung

$$V_L = 40,52 \cdot 6 \cdot 0,6 \approx 150 \quad [m^3/h]$$

Berücksichtigt man den Luftinhalt der Garage mit ca. 300 m^3 , dann beträgt die Luftwechselrate:

$$n = \frac{150}{300} = 0,5 \quad [1/h]$$

Lüftung eines Feuchtraumes: Die freiwerdende Feuchtemenge beträgt $10 \text{ l/h} = 10000 \text{ gw/h}$. Die Raumecken als geometrische Wärmebrücken haben die niedrigsten Temperaturen (8°C). Hier soll eine Raumlufffeuchte von 80% möglichst nicht überschritten werden. Damit wird die zulässige maximale Raumlufffeuchte $x_R = 5,5 \text{ g/kg}$ (h.x- Diagramm). Die Außenluftfeuchte beträgt $x_R = 1 \text{ g/kg}$.

$$V_L = \frac{10000}{1,2 \cdot (5,5 - 1)} = 1851 \quad [m^3/h]$$

Der Förderstrom ist notwendig unter der Annahme, dass die Feuchte kontinuierlich anfällt und keine Speicherprozesse zu berücksichtigen sind. Bei 20°C wird die mittlere relative Raumlufffeuchte damit zu 40% festgelegt.

Lüftung eines Büroraumes: Durch sommerliche Sonneneinstrahlung und innere Wärmeentwicklung beträgt die Wärmelast eines Büroraumes 500 W . Die mittlere zulässige Raumlufftemperatur, die nicht

überschritten werden sollte, beträgt $\theta_R = 26^\circ\text{C}$. Die mittlere Außentemperatur an einem Strahlungstag beträgt $\theta_e = 24^\circ\text{C}$.

$$V_L = \frac{500}{0,34 \cdot (26 - 24)} = 735 \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Unter der Annahme, dass es ausreicht, die mittleren Temperaturbedingungen für den Raum festzulegen, wird ein Förderstrom von 735 m³/h gebraucht, um 26°C Raumlufttemperatur nicht zu überschreiten. Berücksichtigt man die Anzahl der Personen (n=10) in diesem Raum, so ergibt sich ein personenbezogener Luftförderstrom VLP von

$$V_{LP} = \frac{735}{10} = 73,5 \quad [\text{m}^3/\text{h Pers}]$$

3. Lüftungsarten

Die freie Lüftung von Gebäuden wird üblicherweise über die Lüftungsöffnungen, durch die Luft ausgewechselt wird, definiert. Insofern unterscheidet man: Fugenlüftung, Fensterlüftung, Schachtlüftung, Dachaufsatzlüftung. Ermittelt wird immer die real über die Lüftungsöffnungen ausgetauschte Luftmenge VL in m³/h.

3.1 Fugenlüftung

Die Fugenlüftung findet über die Schließfugen der Fenster und Türen im Gebäude statt. Andere Öffnungen sind u. U. auch beteiligt, z. B. Undichtheiten im Fassaden- oder im Dachbereich. Das sollte aber wegen möglicher Schäden vermieden werden. Die Lüftung über die (Fenster-) Fugen ist ein nicht geplanter Nebeneffekt, denn die eigentliche Lüftung sollte über die zu öffnenden Fenster stattfinden. Der Förderstrom wird berechnet:

$$V_L = a \cdot l \cdot \Delta p^{2/3} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

a = Fugendurchlasskoeffizient [m³/h*mPa^{2/3}]

l = Länge der Fugen [m]

Die treibende Druckdifferenz ist zu windstillen Zeiten der thermische Auftrieb, im Allgemeinen aber die am Gebäude entstehende Winddruckdifferenz.

Der Fugendurchlasskoeffizient a richtet sich nach der Beschaffenheit der Fensterfugen. Neuere mit Dichtungsprofilen versehene Fenster haben a-Werte von 0,2...0,3 und kleiner. Je älter die Fenster werden, je mehr nimmt allerdings durch Abnutzung die Durchlässigkeit zu. Ältere Fenster und ungedichtete Fenster können im Bereich von a = 0,5...0,9 liegen.

Die Fugenlänge setzt sich zusammen aus der Summe aller Schließfugen des Fensters. Als Druckdifferenz setzt man bei niedrigen Gebäuden (keine Hochhäuser) eine mittlere, über die Fassade gleichmäßig verteilte Druckdifferenz an.

Vor- und nachteilig ist bei der Fugenlüftung, dass sie vom Nutzer nicht beeinflusst werden kann und über 24 h des Tages wirkt. Der Vorteil daran ist, dass auf diese Weise eine nutzerunabhängige, dauerhafte Lüftung z. B. für die Abführung von Wasserdampf aus der Raumluft erfolgt. Von Nachteil wird diese Lüftung, wenn die Fugendurchlässigkeit groß ist und das Gebäude in freier Lage zu großen Winddruckdifferenzen ausgesetzt wird. Dann wird zwar eine gute Lüftung erzielt, gleichzeitig werden aber mit der Luft im Winter große Wärmemengen abgeführt, was zu einer Erhöhung des Heizenergiebedarfes führt. Eine während der Gebäudeplanung abgestimmte Bemessung, die Gebäudelage (mögliche max. Winddruckdifferenzen), Gebäudehöhe, Himmelsrichtung und Fensterart

verknüpft, kann die Fugendurchlässigkeit in einer guten Näherung an einen möglichen Grundlüftungsbedarf anpassen.

3.2 Fensterlüftung

Die Lüftung über geöffnete Fenster ist die häufigste Art der freien Lüftung. Da sie extrem nutzerabhängig wirkt, ist eine Berechnung mit verbindlichen Folgerungen für das Raumklima nicht möglich. Die Möglichkeiten des Luftaustausches sind auch hier an thermischen Auftrieb und Wind gekoppelt. Bei Windstille und gleichen Temperaturen innen und außen, findet auch bei geöffnetem Fenster kein Luftaustausch statt. Bei geringen Temperaturdifferenzen kann man im Sommer pro m² Fensterfläche mit etwa VL ≈ 200...300 m³/m²h Luftaustausch rechnen, bei Querlüftung etwa das Doppelte. Im Winter sind die Temperaturdifferenzen größer, und es entsteht ein Förderstrom von V ≈ 500 m³/m²h und größer. Bei Windeinfluss werden die Werte um ein Vielfaches vergrößert. Der Nutzer kann daher Öffnungsgröße und Öffnungszeit mit den äußeren Klimabedingungen abstimmen (Windstille, Temperaturdifferenzen) und so gefühlsmäßig die Lüftung steuern.

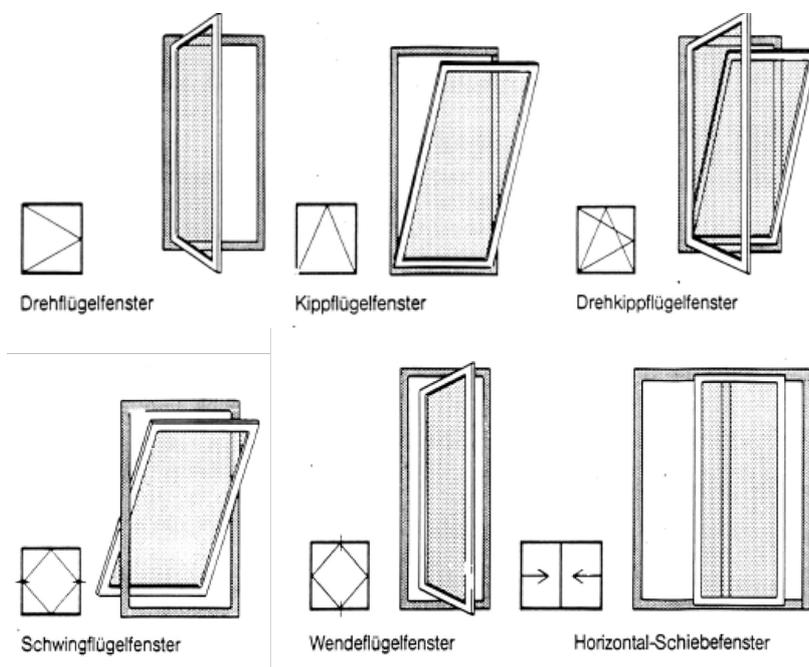


Abb. 3: Übersicht Fensteröffnungsarten

Eine grobe Orientierung über mögliche Luftwechsel bei verschiedenen Fensteröffnungen geben folgende Werte:

- 0,0 ... 0,5 Fenster / Türen geschlossen
- 0,3 ... 1,5 Fenster gekippt
- 5 ... 10 Fenster halb offen
- 10 ... 15 Fenster ganz offen
- bis 40 Fenster-Querlüftung

Üblicherweise ist das zeitweise Öffnen der Fenster gebräuchlich. Damit kann dann mit einem mittleren Lüftungsförderstrom pro m² Fensterfläche von VL = 50...100 m³/m²h gerechnet werden.

3.3 Schachtlüftung

Der thermische Auftrieb wirkt in allen Gebäuden oder in Gebäudeteilen (Flure, Treppenhäuser, Schornsteine, Aufzugsschächte usw.), die eine vertikale Ausrichtung haben. Die genaue Verteilung der Druckdifferenzen hängt jedoch neben der Höhe von der Verteilung der Öffnungen in den Außenwänden ab. Üblicherweise entsteht in den unteren Zonen des Gebäudes ein Unterdruck, der Luft von außen nach innen strömen lässt. Im oberen Teil entsteht Überdruck, der Raumluft nach außen strömen lässt. Im Mittelteil herrscht dabei eine neutrale Zone, in der keine Druckdifferenzen auftreten. Die Hauptströmungsrichtung in Gebäuden ist daher von unten nach oben (Abb. 2).

Diese Druckkräfte nutzt man vor allem bei der Schachtlüftung aus (DIN 1807). Es werden damit Nebenräume (Bäder, Toiletten, Kammern) belüftet, die häufig als sogenannte Dunkelräume, d.h. ohne Fenster, geplant werden. Die Schachtlüftung funktioniert um so besser, je länger der Schacht ist und je größer die Temperaturdifferenz zwischen unterer Einströmöffnung und oberer Ausströmöffnung ist. Infolgedessen funktioniert die Schachtlüftung im Winter besonders gut, im Sommer schlechter. Bei geringen Temperaturdifferenzen werden die geringen Druckkräfte durch Reibungswiderstände aufgezehrt, es kommt zum Stillstand der Lüftung.

Die Innenoberflächen der Schächte müssen daher immer glatt (reibungsfrei) sein. Der Querschnitt (rund oder eckig) muss möglichst strömungsgünstige Abmessungen haben (>2:3). Der Schacht sollte lotrecht sein, maximal kann er einmal verzogen werden (60°). Trotzdem darf Schachtlüftung nur dort angewendet werden, wo auch ein zeitweiser Stillstand verkraftet werden kann, weil eine kontinuierliche Luftförderung nicht zu garantieren ist.

Die Berechnung des Luftförderstromes erfolgt nach:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_L \cdot \left(\frac{1}{d} \cdot \sum \lambda + \sum \zeta \right)}}$$

$\sum \lambda$ = Summe aller Reibungszahlen (glatte Schächte ~0,03)

l = Länge des Schachtes

$\sum \zeta$ = Summe aller Einzelwiderstände (üblicherweise ~ 3,0)

d = Durchmesser des Schachtes (rund)

Für überschlägliche Berechnungen ist die Höhe h der größte Einflussfaktor. Man kann rechnen:

$$v = 0,4 \dots 0,5 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_L}}$$

0,4 für raue Kanäle

0,5 für glatte Kanäle

oder noch einfacher:

$$v = 0,12 \cdot \sqrt{h \cdot (\theta_i - \theta_e)}$$

Für die Ausführung gibt es verschiedene Formen (Abb. 4). Bei den Einzelschachtanlagen ist für jeden zu entlüftenden Raum ein eigener Abluftschacht vorzusehen und über Dach zu führen.

Liegen zwei Räume einer Wohnung nebeneinander, können sie einen gemeinsamen Schacht haben. Die Zuluft muss von einem benachbarten Raum derselben Wohnung (mit Fenster) durch eine unverschließbare Öffnung nahe am Fußboden mit mindestens 150 cm² freiem Querschnitt zuströmen können (Berliner Lüftung).

Eine bessere Strömung im Schacht und damit Lüftung des Raumes bekommt man, wenn der zu lüftende Raum einen eigenen Zuluftschacht, von unten hochgeführt erhält. Diese Zuluftschächte

stehen unten mit einem durchgehenden Querkanal in Verbindung, dessen Außenöffnungen sich an zwei entgegengesetzten Gebäudeseiten befinden (Kölner Lüftung).

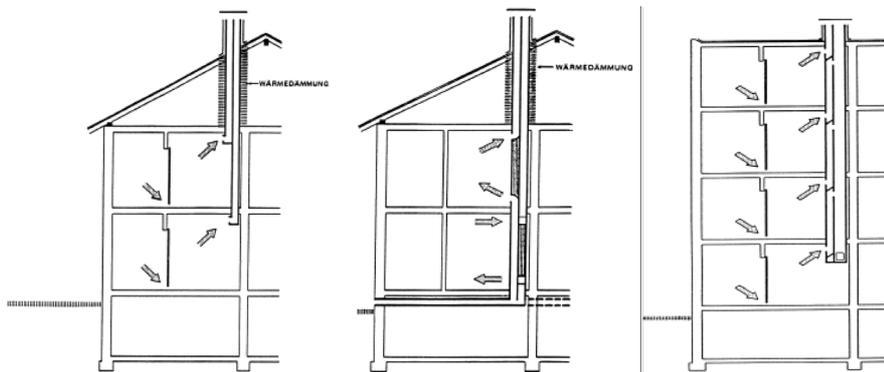


Abb. 4: Schachtlüftungssysteme (Berliner, Kölner und Sammelschachtanlagenlüftung)

Bei Sammelschachtanlagen werden eine größere Anzahl von Räumen durch einen einzigen Schacht (Haupt- o. Sammelschacht) entlüftet. Jeder zu entlüftende Raum erhält einen eigenen quadratischen oder rechteckigen Nebenschacht von $>140 \text{ cm}^2$ Querschnitt, der bereits unter der Decke des nächsthöheren Geschosses in den Sammelschacht eingeleitet wird. Die lichte Querschnittsfläche des Sammelschachtes muss mindestens 200 cm^2 , darf jedoch höchstens 500 cm^2 groß sein. Jeder Nebenschacht muss mindestens 2.20 m hoch sein (gemessen von Mitte Lüftungsöffnung im Raum bis Mitte Einmündung in Sammelschacht). Gegenüberliegende Nebenschachtmündungen sind in der Höhe um mindestens 25 cm zu versetzen. Die Zuführung der Zuluft erfolgt wie bei den Einzelschachtanlagen von einem benachbarten Raum aus.

3.4 Dachaufsatzlüftung

Eine Lüftung, die den Gebäudetyp bestimmend formt, ist die Dachaufsatzlüftung. Sie wirkt über den thermischen Auftrieb und wird dort eingesetzt, wo infolge der Funktion (Stahlwerke, Glasschmelzwannen) sehr große Wärmemengen frei werden, die zu hohen Raumlufttemperaturen im Aufenthaltsbereich des Personals führen. Bei der Dachaufsatzlüftung wirkt der zu lüftende Raum als Schacht. Auf dem abschließenden Dach werden Lüftungsaufsätze installiert, die mit Stellklappen und Vorrichtungen zur Regulierung dieser Klappen versehen sind. Zahl und Größe richtet sich nach dem erforderlichen Luftwechsel. Die Zuluft strömt im unteren Bereich der Gebäude durch geöffnete Türen, Fenster oder große Lüftungsöffnungen ein (im Winter Zugfahrt).

Die Luftgeschwindigkeit an der oberen Öffnung A_2 lässt sich in guter Näherung berechnen:

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot h \cdot \frac{\Delta\theta}{T_1}}{1 + \frac{A_2^2}{A_1^2}}}$$

A_1 = untere Öffnung [m^2]

A_2 = obere Öffnung [m^2]

T_1 = Lufteintrittstemperatur [K]

$\Delta\theta$ = Temperaturdifferenz

H = Hallenhöhe [m]



ZUSAMMENHANG ZWISCHEN LUFTWECHSEL UND RADONEXPOSITION

CONNECTION BETWEEN AIR EXCHANGE RATE AND RADON EXPOSITION

Walter-Reinhold Uhlig

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), FB Bauingenieurwesen/Architektur

Zusammenfassung

Für die Radonexposition in Räumen ist eine Vielzahl von Faktoren verantwortlich. Neben der Radonkonzentration in der Bodenluft sind vor allen Dingen Undichtheiten in der an das Erdreich angrenzenden Gebäudehülle, Druckunterschiede zwischen dem Erdreich und den angrenzenden Räumen, die Radonexhalation aus den Baustoffen sowie die Luftwechselrate der Raumluft für die Radonkonzentration in Gebäuden verantwortlich. Eine sichere und gleichzeitig die kostengünstige Lösung zur Reduzierung der Radonkonzentration ist dabei die Optimierung der Luftwechselrate.

In diesem Beitrag werden nach einer Übersicht über die möglichen Maßnahmen zur Begrenzung der Radonexposition in der Raumluft die Mechanismen des natürlichen und künstlichen Luftwechsels erläutert und wird anhand von Beispielen auf Probleme beim Einsatz von Lüftungssystemen eingegangen.

Summary

A huge number of factors are responsible for the radon exposition in rooms. Beside the radon concentration in the ground air leakages in the building shell covering soil are primarily responsible, pressure differences between the ground soil and the adjoining rooms, the radon exhalation from the building materials as well as the aerial change council of the compartment air for the radon concentration in buildings. Besides, a secure and at the same time the cost-efficient solution for the reduction of the radon concentration is the optimisation the air exchange rate.

In this article the mechanisms of the natural and artificial air exchange rate are explained after an overview of the possible measures to the limitation of the radon exposition in the compartment air and becomes on the basis of examples on problems by the application of airing systems.

1 Radonexposition in Gebäuden

Der Mensch ist ständig einer Exposition aus natürlichen und künstlichen Strahlenquellen ausgesetzt. Insbesondere in Böden, Gesteinen und Baumaterialien sind natürliche radioaktive Stoffe, z.B. Uran, Thorium und Radium enthalten, wobei aus Radium das besonders mobile radioaktive Edelgas Radon entsteht. Radon und seine Zerfallsprodukte werden vom Menschen mit der Atemluft aufgenommen. Während das Edelgas Radon zum größten Teil wieder ausgeatmet wird, können seine Zerfalls-

produkte (Polonium-218, Wismut-214, Blei-214, Polonium-214) im Atemtrakt angelagert werden, dort zu Zellumbildungen beitragen und damit das Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken, erhöhen.

Die Radonkonzentration in der Luft wird in Bq/m^3 gemessen. Der Wert sagt dabei aus, wie viel Atome des radioaktiven Edelgases Radon in einer Sekunde zerfallen. Der Jahresmittelwert der Radonkonzentration in Wohnräumen beträgt in Deutschland etwa 50 Bq/m^3 (zum Vergleich: Der Mittelwert der Außenluftbelastung liegt bei etwa 20 Bq/m^3). In Einzelfällen liegt aber der Wert weit über 10.000 Bq/m^3 ! Insbesondere Radonkonzentrationen über 1.000 Bq/m^3 bringen für die Bewohner ein erheblich erhöhtes Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken, mit sich.

Für die Einschätzung der gesundheitlichen Gefährdung des Menschen durch Strahlung wird im Allgemeinen die in Sievert [Sv] angegebene effektive Dosis herangezogen. In diesen Wert gehen neben der über einen Zeitraum (i. d. R. ein Jahr) summierten Exposition natürlicher und künstlicher Strahlung die unterschiedliche biologische Wirkung von Alpha-, Beta- und Gammastrahlen sowie Wichtungsfaktoren für die Strahlungsempfindlichkeit der menschlichen Organe ein. Die effektive Dosis stellt somit einen guten Vergleichswert für das Strahlungsrisiko dar. In Abb. 1 ist für Deutschland die mittlere effektive Jahresdosis für das Jahr 1994 dargestellt (nach [1]). Weitere Untersuchungen, u.a. vom Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg [2] oder eine durch das Bundesamt für Strahlenschutz in Auftrag gegebene Studie [3] kommen zu ähnlichen Ergebnissen.

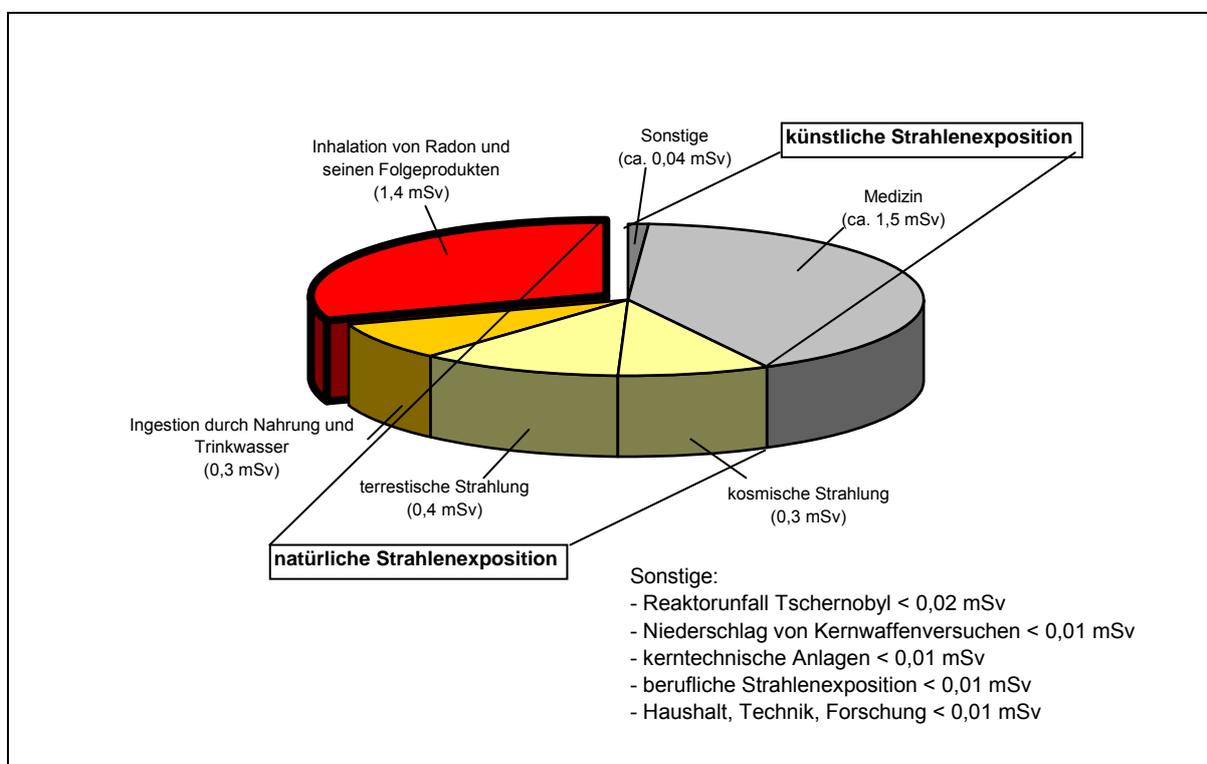


Abb. 1: Mittlere effektive Dosis der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland (nach [1])

Wie Bild 1 zeigt, ist der mittlere Anteil von Radon und seinen Folgeprodukten an der Gesamtstrahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland nach der Medizin der zweithöchste Faktor. Die Darstellung in Bild 1 geht von mittleren Werten aus. In Gebieten mit erhöhter Konzentration von Radon in der Bodenluft kann deshalb dieser Anteil deutlich steigen und zum dominierenden Faktor werden.

Das radioaktive Edelgas Radon ist – wie erwähnt - im Grunde genommen für den Menschen ungefährlich. Vielmehr sind seine Zerfallsprodukte nahezu ausschließlich für die Erhöhung des Risikos, an Krebs zu erkranken verantwortlich (s. u.a. [4]). Die Erfassung der Zerfallsprodukte ist allerdings relativ aufwändig. Es wird deshalb für die Praxis des radongeschützten Bauens von der Messung der Radonkonzentration in der Raumluft ausgegangen.

Im Ergebnis einer Reihe von Gesundheitsstudien der letzten Jahre, die durch Darby et al. in [5] zusammengefasst und ausgewertet worden sind, kann davon ausgegangen werden, dass eine Erhöhung der Radonbelastung in Räumen um 70 bis 100 Bq/m^2 zu einer etwa 10%-igen Erhöhung des

Lungenkrebsrisikos führt. Von den jährlich ca. 40.000 Neuerkrankungen an Lungenkrebs in Deutschland werden etwa 3.000 auf eine erhöhte Radonbelastung zurückgeführt. Damit stellt die Radonbelastung nach dem Rauchen die häufigste Ursache für die Erkrankung an Lungenkrebs dar.

Das gasförmige Radon gelangt aus dem Erdreich über Porenräume in die Freiluft bzw. löst sich im Grundwasser. Über Undichtheiten der Gebäudehülle oder direkt aus den verwendeten Baustoffen gelangt es in die Raumluft. In geringerem Maße kann es auch über Diffusion durch die an das Erdreich grenzenden Baukonstruktionen in die Raumluft gelangen. Radon ist also in allen Wohn- und Aufenthaltsräumen als auch der Außenluft in unterschiedlicher Konzentration messbar. Die Bodenradonkonzentration direkt unterhalb bzw. neben dem Gebäude ist die wichtigste Ursache für die Radonbelastung im Gebäude. In einer ersten, sehr groben Annäherung kann davon ausgegangen werden, dass die Radonkonzentration in der Raumluft gegenüber der in der Bodenluft um etwa zwei Dimensionen niedriger liegt, allerdings mit einem außerordentlich großen Streubereich. Neben den hier kurz skizzierten Quellen hat der Luftwechsel sowohl zwischen den Räumen eines Gebäudes als auch zwischen Innen- und Außenluft einen großen Einfluss auf die Radonkonzentration in einem Gebäude.

Zusammenfassend sind die folgenden Faktoren für die tatsächlich vorhandene Radonexposition der Innenluft verantwortlich:

- Radonbelastung der Bodenluft
- (Radon aus Grundwasser)
- Dichtheit der an das Erdreich grenzenden Gebäudehülle
- Radonbelastung aus den eingesetzten Baustoffe
- Radonbelastung in der Außenluft
- Lage des betrachteten Raumes im Gebäude
- Luftwechselrate im Gebäude

In Abb. 2 sind die wesentlichsten Einflussfaktoren auf die Radonkonzentration in der Raumluft zusammengefasst dargestellt.

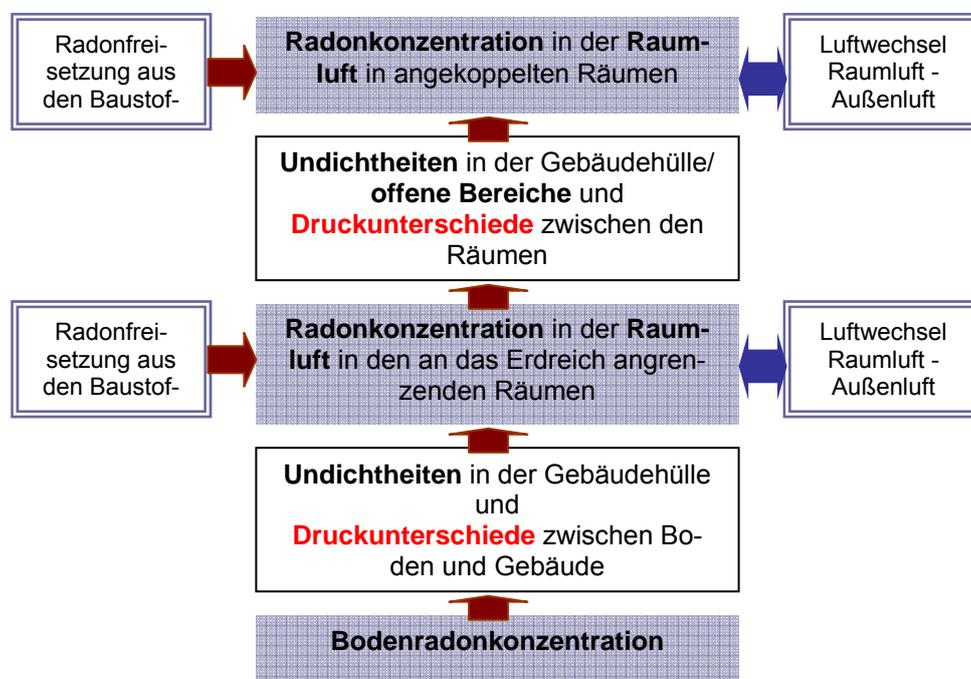


Abb. 2: Einflussfaktoren auf die Radonexposition in der Raumluft

Zusammenfassend können die Maßnahmen, die Radonkonzentration in der Raumluft zu begrenzen, auf zwei Strategien verdichtet werden:

- Reduzierung der Radonzufuhr (aus dem Erdreich, aus den Baustoffen) durch Abdichtung und entsprechende Baustoffwahl
- Abführung des eingetretenen Radons und seiner Zerfallsprodukte durch verstärkte Gebäudelüftung

In Abb. 3 sind in einer stark vereinfachten Form die grundsätzlichen Ursachen und Wirkmechanismen für die Radonkonzentration in einem Raum für ein Einraummodell zusammengefasst.

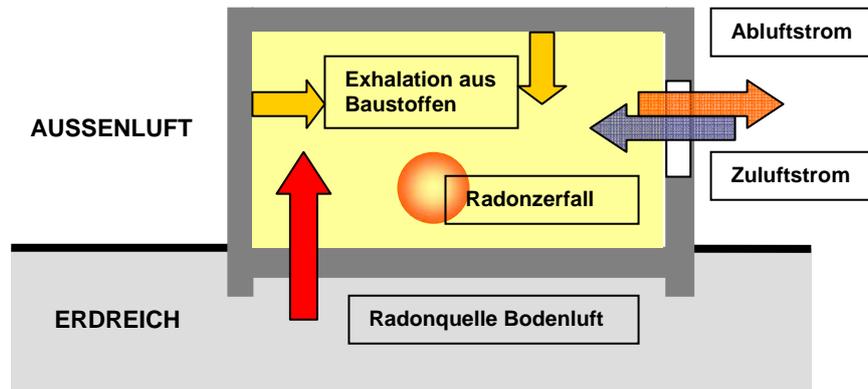


Abb. 3: Prinzipdarstellung der für die Radonbelastung maßgeblichen Radonquellen in einem Einraummodell

Tab. 1: Anhaltswerte für den Beitrag der Radonquellen zur Radonbelastung in Gebäuden (nach [3] und [6]):

Radonquelle	Radonkonzentration im Gebäude [Bq/m ³]
Boden	bis 100 (200)
• Diffusion	bis einige 1.000 (100.000)
• Konvektion	
Baumaterialien (Beispiele)	
• Ziegel	5 ... 15
• Beton	20 ... 40
• Gips	10 ... 70
• Alaunschiefer	400 ... 700
Wasser (Durchschnitt verschiedener Länder)	5 ... 23
Umgebungsluft	5 ... 80

Die Zusammenstellung in Tabelle 1 zeigt, dass in erster Linie die Radonbelastung aus der Bodenluft maßgeblich zur Belastung der Raumluft beiträgt, in bestimmten Fällen kann die Exhalation aus den Baustoffen einen relevanten Beitrag zur Belastung der Raumluft beitragen. Die weiteren Quellen (Wasser, Umgebungsluft) tragen dagegen kaum zur Radonbelastung in Gebäuden bei, weswegen diese i. A. vernachlässigt werden.

2 Radonschutzmaßnahmen

Im Grunde lassen sich die Radonschutzmaßnahmen auf vier Gruppen zusammenfassen:

1. Abdichtung gegen Radon aus der Bodenluft
2. Umkehrung des Druckgefälles zwischen Bodenluft und Raumluft
3. verstärkte Raumlüftung (mit oder ohne mechanische Lüftungssysteme).
4. Wahl von Baustoffen mit geringer Exhalation

Ein Überblick über die baulichen und Lüftungstechnischen Möglichkeiten zur Reduzierung der Radonzufuhr ist u.a. in [7] gegeben worden. Im Folgenden soll auf einige ausgewählte Aspekte eingegangen werden:

Bautechnische Maßnahmen:

Abdichtung der erdberührten Außenhülle des Gebäudes mittels Folien und Bahnenbelägen:

Hierbei ist insbesondere die saubere Abdichtung von Durchführungen in den Wänden und der Bodenplatte von größter Bedeutung. Wie in der Diplomarbeit von C. Funke nachgewiesen [8] ergibt sich selbst bei einer vergleichsweise geringen Leckage in der Außenhülle von insgesamt ca. 5 cm² und bei normaler Dicke der Bodenplatte von ca. 20 cm ein etwa 30 mal größerer konvektiver Luftstrom gegenüber der Diffusion durch die Bodenplatte. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind auf dem 1. Sächsischen Radontag [9] und [10] ausführlich vorgestellt worden.

Die große Bedeutung der Abdichtung von Anschlüssen und Durchführungen in der erdberührten Gebäudehülle muss zu saubereren bautechnischen Detaillösungen führen, wie sie z.B. in der Diplomarbeit von D. Marz [11] für die Gebäudesanierung entwickelt worden sind. In Abb. 4 ist aus dieser Arbeit beispielhaft eine Lösung für die saubere Gestaltung eines Bodeneinlaufs wieder gegeben.

Die Untersuchungen von T. Klink [12] bestätigen die Feststellung, dass eine etwa 20 cm dicke (rissfreie) Betonplatte auch bei vergleichsweise hoher Bodenradonbelastung vollkommen ausreichend ist, um die Radonkonzentration im angrenzenden Raum auf ein vertretbares Maß zu reduzieren (Abb. 5).

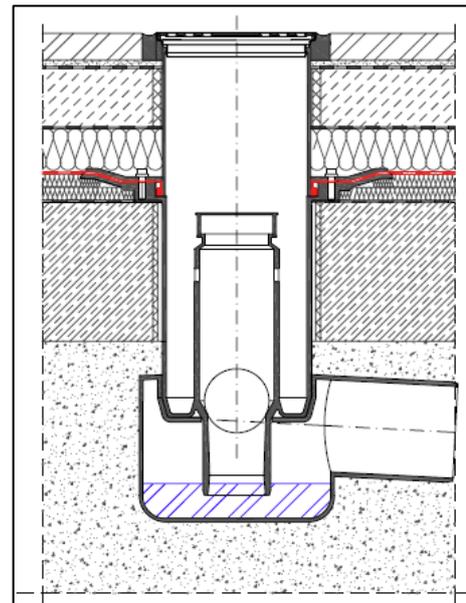


Abb. 4: Radondichter Bodeneinlauf

Innenabdichtung von Gebäuden: Eine Innenabdichtung wird in verschiedenen Veröffentlichungen als Ersatz für eine nicht realisierbare Außenabdichtung im Sanierungsfall vorgeschlagen. Diese ist aber, wie bereits u.a. in [7] dargestellt, abzulehnen, da dies zu einer erhöhten Durchfeuchtung des Kellermauerwerks führt.

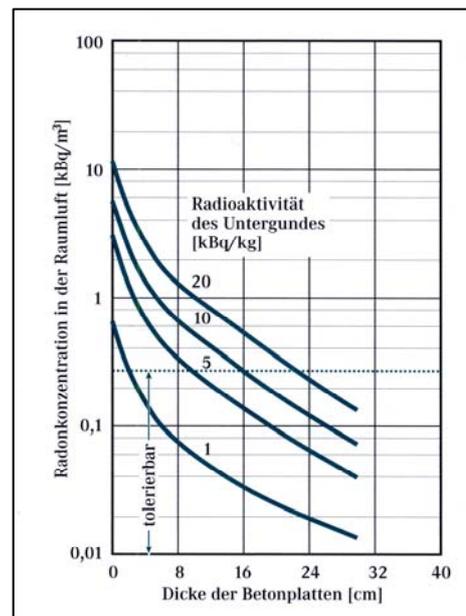


Abb. 5: Abhängigkeit der Radonkonzentration im Raum von der Dicke der Bodenplatte [12], zitiert nach [13]

Lüftungstechnische Maßnahmen:

Vor allen Dingen im Sanierungsfall werden unterschiedliche Lüftungstechnische Maßnahmen angewandt, deren Ziel die Umkehr des konvektiven Luftstroms zwischen Boden- und Raumluft (s. Abb. 3) ist. Im Einzelnen können die folgenden Wirkprinzipien zum Einsatz kommen:

- **Eliminierung des Unterdruckes im Keller**, durch
 - Schaffung oberirdischer Nachströmöffnungen,
 - Direkte Zuluftführung zu Öfen und Heizungsanlagen,
 - Einbau dichter Rauchrohrklappen
 - Aufbau eines Unterdruckes im Boden, u.a. durch
 - Entlüftung von Hohlräumen unter der untersten Geschossdecke
 - Einbau einer Bodendränge
 - Absaugen der Bodenluft über Einzelschächte
 - Einsatz von Radonbrunnen.

Für den Erfolg der hier genannten Lösungen zum Aufbau eines Unterdruckes im Erdreich sind die Permeabilität des Bodens sowie der Feuchtegehalt von entscheidender Bedeutung. Des Weiteren ist zu klären, ob die Luftabführung über den natürlichen Auftrieb ausreicht oder aber technisch unterstützt werden muss.

Die hier genannten Lösungen sind in verschiedenen Veröffentlichungen (u.a. [3], [7] und [9]) in prinzipiellen Darstellungen vorgestellt worden. Auch hier ist auf eine saubere Ausführung aller baulichen Details zu achten. Beispielhaft soll hier aus der Diplomarbeit D. Marz [11] eine Lösung für eine Bodenluftdränge wiedergegeben werden (Abb. 6).

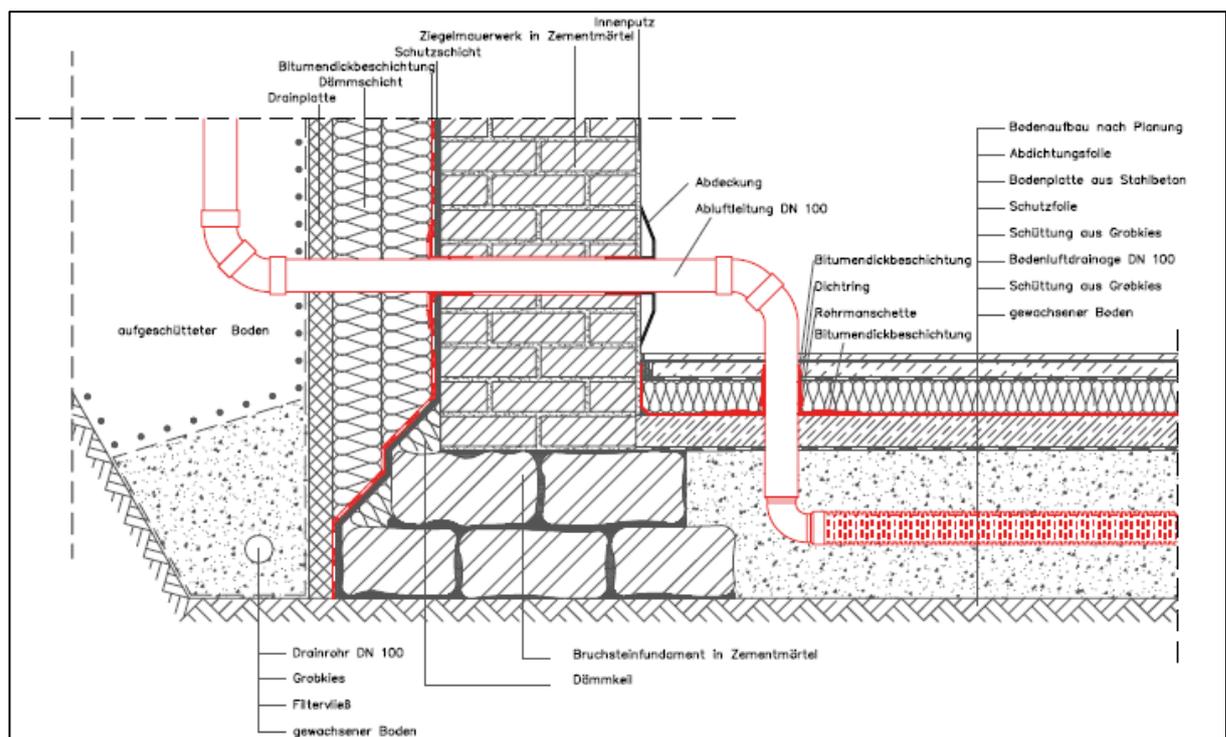


Abb. 6: Beispiel für den Einbau einer Bodenluftdränge mit Flächenabdichtung des Kellerfußbodens in einem bestehenden Gebäude (nach [11])

- **Natürlicher Luftaustausch durch gezielte Lüftung der Räume**
- **Aufbau eines Überdruckes im Gebäude**

Diese Strategie wird vor allen Dingen dann verfolgt, wenn Lüftungsanlagen eingebaut werden, da diese bei entsprechender Konzeption leicht mit einem geringen, aber für die Unterbindung des Radontransportes vom Erdreich ins Gebäude ausreichenden Überdruck betrieben werden können.

Auf den Zusammenhang zwischen Luftaustausch und der Radonbelastung wird in den Abschnitten 3 und 4 näher eingegangen.

- **Radonexhalation aus den Baustoffen**

Bisher existieren lediglich sporadische Angaben zur Radonexhalation aus Baustoffen. Auch sind die Messmethoden nicht standardisiert, weswegen in der Literatur angegebene Werte nicht vollständig vergleichbar sind. Da aber die Freisetzung von Radon aus den Baustoffen vor allen Dingen bei geringen Luftwechselraten – wie sie auf Grund energetischer Ziele im heutigen Bausehen angestrebt werden – zu erhöhten Radonkonzentrationen führen kann, ist die Kenntnis über die Freisetzung von Radon aus Baustoffen eine wichtige umfassend zu lösende Frage. In einem weiteren Beitrag dieser Tagung wird auf Radon aus Baumaterialien noch näher eingegangen.

Kosten und Wirksamkeit von Radonschutzmaßnahmen:

Leider fehlen immer noch verlässliche Angaben zur Wirksamkeit sowie zu den Kosten der verschiedenen Radonschutzmaßnahmen. Über die im Radonhandbuch Deutschland zusammengestellte, sehr pauschale Aussage (s. Abb. 7) hinausgehend konnten nur sehr wenige Quellen herangezogen werden, die sich mit der Frage der Wirksamkeit sowie der Kosten befassen.

Sanierungsmaßnahme	Erreichbare Reduzierung der Radonkonzentration	Kostenrahmen	Bemerkungen
	0 % 100 %		
Einfache Abdichtungsmaßnahmen	0... 25 % 	gering	bis max. 1000 Bq/m ³ anwendbar
Aufwändige Abdichtungsmaßnahmen im Fußboden	30 ... 80 % 	mittel	
Aufwändige Abdichtungsmaßnahmen im Fußboden und an Wänden	50 ... 90 % 	hoch	
Kellerentlüftung	50...80% 	gering	
Unterdruck unter Gebäude	10...95% 	hoch	Abh. von Bodenpermeabilität und Lage der Dränage
Aufwändige Isolierung und Unterdruck unter Gebäude	bis 99 % 	sehr hoch	

Abb. 7: Einschätzung der Erfolgsaussichten von Radonschutzmaßnahmen (Anhaltswerte) nach [3]

Eine britische Untersuchung aus dem Jahre 1995 [14] kommt zusammengefasst zu folgendem Ergebnis:

- Die Abdichtung von Rissen in den Bodenplatten sowie die Einrichtung eines Überdruckes bringt sehr gute Ergebnisse
- Der Erfolg von mechanischen Zu- und Abluftsysteme in den Räumen führt lediglich bei etwa 50% zu einem spürbaren Erfolg.

Weitere Untersuchungen sind u.a. in Schweden sowie den USA durchgeführt worden.

Unstrittig ist aber, dass die Reduzierung der Radonkonzentration in Räumen durch die sinnvolle Erhöhung des Luftwechsels außerordentlich kostengünstig – auch unter Berücksichtigung einer eventuellen geringfügigen Erhöhung der Heizungskosten – erreicht werden kann.

3 Einfluss des natürlichen Luftwechsels auf die Radonbelastung in Räumen

Auf die Radonbelastung in Räumen hat die Luftwechselrate einen sehr großen Einfluss. Beispielhaft sei dies anhand der Ergebnisse einer Langzeitmessung von Schulz und Möser, u.a. vorgestellt in [10], verdeutlicht:

Gemessen wurde über einen längeren Zeitraum die Radon-belastung in einem Bürogebäude. In Abbildung 8 sind für einen beispielhaften Raum die Einzelmesswerte so geordnet, dass den Werten, die an Wochenenden sowie an Wochentagen erfasst wurden jeweils unterschiedliche Farben zugeordnet sind. Es zeigt sich sehr deutlich, dass die Radonbelastung an den Wochenenden sowie den Tageszeiten der Wochentage außerhalb der Arbeitszeit deutlich höher liegt als in der Arbeitszeit. Diese Unterschiede sind darauf zurückzuführen, dass in der Arbeitszeit Türen benutzt und Fenster geöffnet werden und damit ein deutlich größerer Luftwechsel entsteht. Die Unterschiede der Radonkonzentration zwischen den betrachteten charakteristischen Nutzungssituationen sind deutlich, sie liegen in diesem Beispiel im Verhältnis von 1:3 bis 1:4.

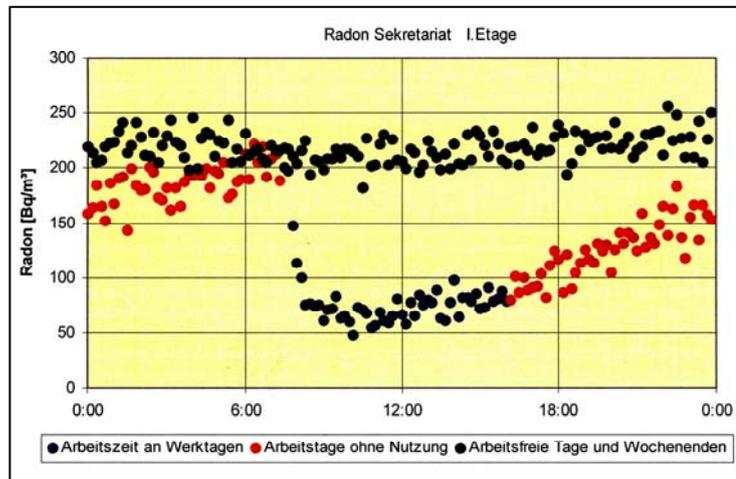


Abb. 8: Mittlerer Tagesgang der Radonkonzentration an Arbeitstagen und am Wochenende in einem Büroraum

Die Radonbelastung kann für das in Abb. 3 dargestellte Einraummodell nach [8] durch eine Differenzialgleichung (s. Gl. 1) beschrieben werden mit:

$$\frac{\partial C(t)}{\partial t} = -\lambda \cdot C(t) + \frac{1}{V_0} \left[J_0 F_0 + C_B Q_B^{\text{in}} + C(t) Q_{\text{Abluft}}^{\text{out}} + C_A Q_{\text{Luft}}^{\text{in}} \right] \quad (1)$$

Im ersten Term $\lambda \cdot C(t)$ der Gleichung wird der Radonzerfall erfasst, V_0 beschreibt das Raumvolumen. Die Terme der eckigen Klammer erfassen in der aufgeführten Reihenfolge die Exhalationsrate aus den Baustoffen, den Volumenstrom aus dem Erdreich, die Radonkonzentration des Abluftvolumenstromes sowie den Zuluftvolumenstrom mit der Außenluft radonkonzentration C_A . Ausführlich ist die Herleitung und Anwendung der Differenzialgleichung in der Arbeit von C. Funke [8] beschrieben. Auch ist dort nachgewiesen worden, dass das hier skizzierte Einraummodell grundsätzlich in ein Mehrzonenmodell, bei dem mehrere Räume miteinander durch konvektive und (in geringerem Maße) diffusive Ströme verkoppelt sind, anwendbar ist.

Die Kenntnisse zur Beschreibung diffusiver und konvektiver Vorgänge, der Radonexhalation sowie der Radonzerfallsgesetze lassen bei Anwendung der Differenzialgleichung Simulationsrechnungen zu, welche die Radonbelastung in den Räumen bei gegebenen Randbedingungen beschreiben. Im Rahmen dieses Beitrags soll mit den folgenden Ergebnissen von Simulationsrechnungen die große Bedeutung der Luftwechselrate verdeutlicht werden.

Im ersten Beispiel (Abb. 9) wird ein konvektiver Lufteintritt aus der Bodenluft in einen Kellerraum betrachtet. Alle weiteren möglichen Quellen, wie die Exhalation sowie Diffusion wurden für diese Berechnung auf 0 gesetzt.

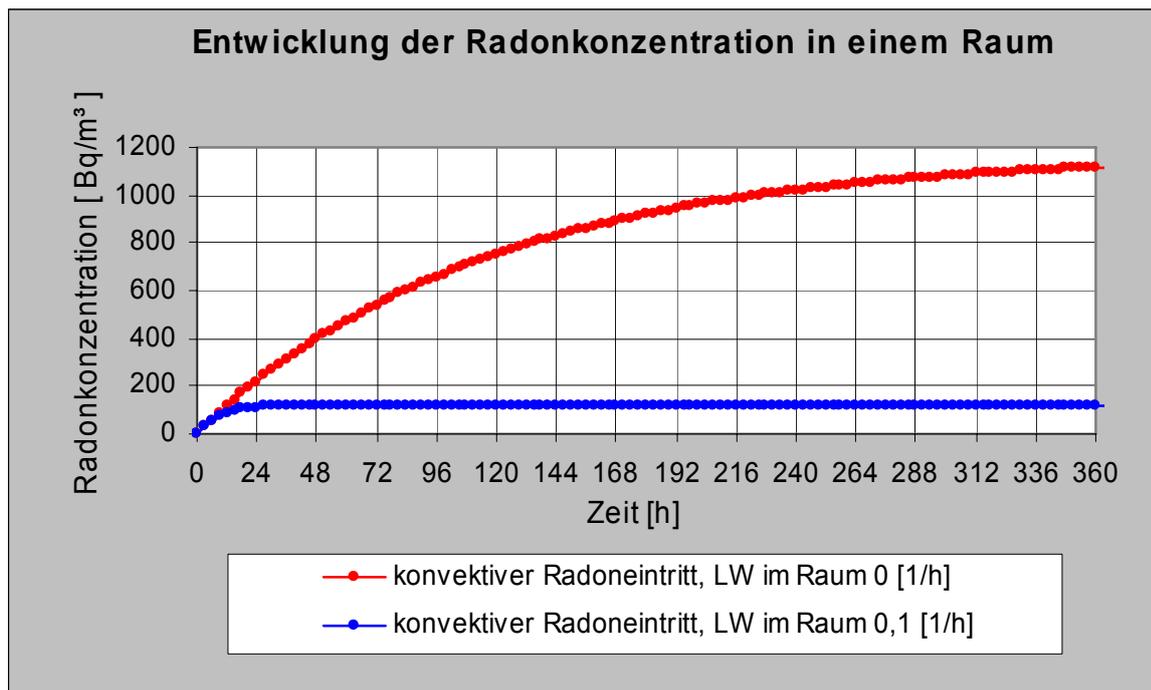


Abb. 9: Simulation der Radonkonzentration in einem Kellerraum in Abhängigkeit vom Luftwechsel bei konvektivem Eintritt radonhaltiger Bodenluft

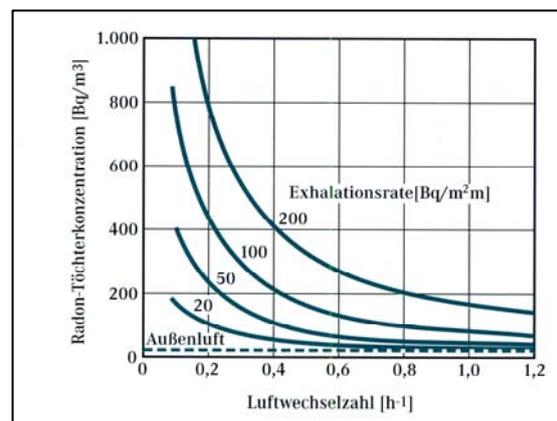
Für die Simulationsrechnung sind dabei die folgenden Ausgangswerte zugrunde gelegt worden:

- Radonkonzentration in der Bodenluft: 10.000 Bq/m³
- Volumenstrom von außen nach innen 0,05 m³/h (der z.B. bei einer Leckagefläche von ca. 3,15 cm² und einer Temperaturdifferenz zwischen innen und außen von ca. 6 K entsteht)
- Raumgröße 50 m³
- Luftwechselrate 0 bzw. 0,1 [1/h].

Während bei vollkommen fehlendem Luftwechsel die Radonkonzentration im Raum trotz vergleichsweise geringer Bodenradonkonzentration auf Werte von weit über 1000 Bq/m³ steigen würde, ergibt bereits ein recht geringer Luftwechsel von 0,1 h⁻¹ eine Radonbelastung für den betrachteten Raum von etwa 150 Bq/m³, die damit für einen Kellerraum im akzeptablen Bereich liegt.

M. P. Jansson [15] hat für verschiedene Exhalationsraten aus den Wandbaustoffen die Radonkonzentration in Abhängigkeit von der Luftwechselrate dargestellt (Abb. 10). Das Beispiel zeigt, dass die Radonexhalation aus den Wandbaustoffen durchaus zu einer relevanten Belastung in der Raumluft führen kann, wenn die Luftwechselraten niedrig sind.

Abb. 10: Darstellung der Radonkonzentration in Abhängigkeit von der Exhalation aus den Wandbaustoffen und der Luftwechselrate (nach [15])



In einem weiteren Beispiel wird ein Raum betrachtet, der an einen hoch belasteten Kellerraum angekoppelt ist (Abb. 11). Auch in diesem von C. Funke [8] untersuchten Beispiel zeigt sich sehr deutlich der Einfluss der Luftwechselrate auf die Radonkonzentration.

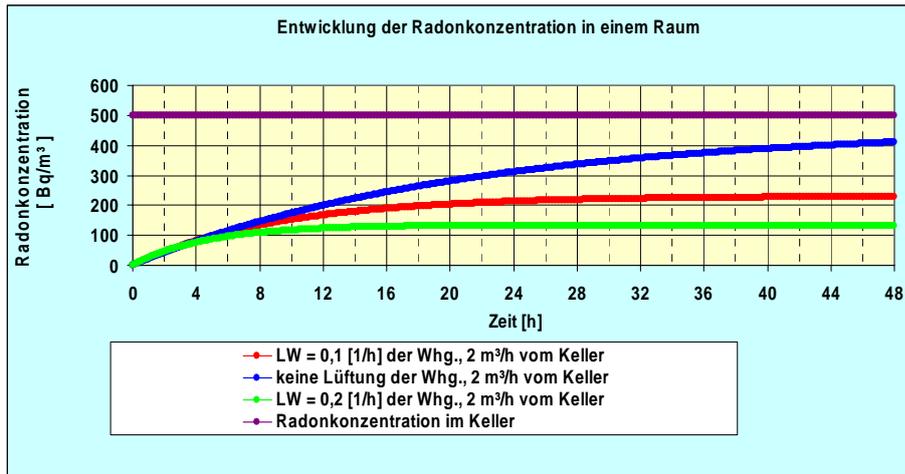
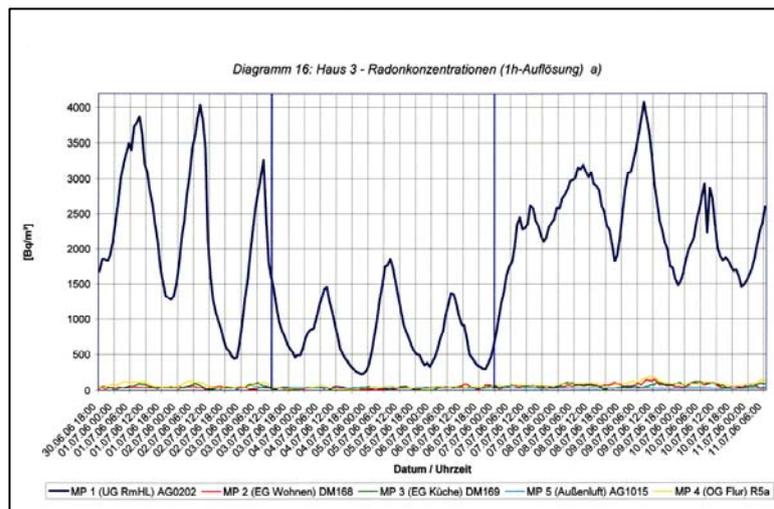


Abb. 11: Simulation der Radonkonzentration in einem an einen hoch belasteten Keller angekoppelten Raum in Abhängigkeit unterschiedlicher Luftwechselraten

Die drei hier vorgestellten Berechnungen verdeutlichen den hohen Stellenwert des Luftwechsels für die Radonkonzentration in der Raumluft. Allerdings, das zeigen die Beispiele auch, kann nicht ohne weiteres ein anzustrebender Wert für die Luftwechselrate angegeben werden, der zu einer akzeptablen Radonkonzentration in der Raumluft führt. Nach Gertis [13] sollte diese aber immer größer $0,5 \text{ h}^{-1}$ sein, um ein akzeptables Niveau der Radonbelastung in der Raumluft zu erreichen. Für sehr hohe Radonbelastungen aus der Bodenluft oder den Baustoffen können aber auch Luftwechselraten bis 1 h^{-1} sinnvoll sein.

Die in Abb. 12 wiedergegebenen Messergebnisse aus der Arbeit von Bergmann [16] zeigen eindrucksvoll die Auswirkung eines undichten Kellers auf die Radonkonzentration. Die starken tageszeitlichen Schwankungen sind auf die Druckunterschiede zwischen Erdreich und Raum zurückzuführen.

Abb. 12: Schwankung der Radonkonzentration im Keller eines Passivhauses (nach [16]); der Kellerraum ist nicht in das Lüftungskonzept des Gebäudes (s. MP 2 bis 4) integriert!



Im Folgenden sollen die für Wohnräume formulierten Luftwechselraten vergleichend den Werten gegenüber gestellt werden, die sich aus den Anforderungen des energetischen Bauens ergeben. Diese haben sich seit der ersten Energiekrise in den 70-er Jahren des 20. Jahrhunderts bis heute ständig verschärft. Die damals eingeführte Wärmeschutzverordnung legte für Deutschland erstmals verbindliche Werte für energetisches Bauen fest. Im Jahre 2002 wurde mit der Energieeinsparverordnung eine neue qualitative sowie quantitative Zielstellung an das energetische Bauen definiert, die aktuelle Fassung der EnEV 2004 [17] legt wiederum höhere Ziele fest. Neben der immer besseren Dämmung der Gebäudeaußenhülle sind die Anforderungen an die Gebäudedichtheit ständig erhöht bzw. konkretisiert worden. Mit Blick auf die Energiebilanz der Gebäude macht dies auch durchaus Sinn, werden doch die Lüftungswärmeverluste bei sehr guter Dämmung der Gebäudeaußenhülle zunehmend zum bestimmenden Faktor für die Höhe des Energieverbrauchs eines Gebäudes, wie die Beispielrechnung in Abb. 13 zeigt.

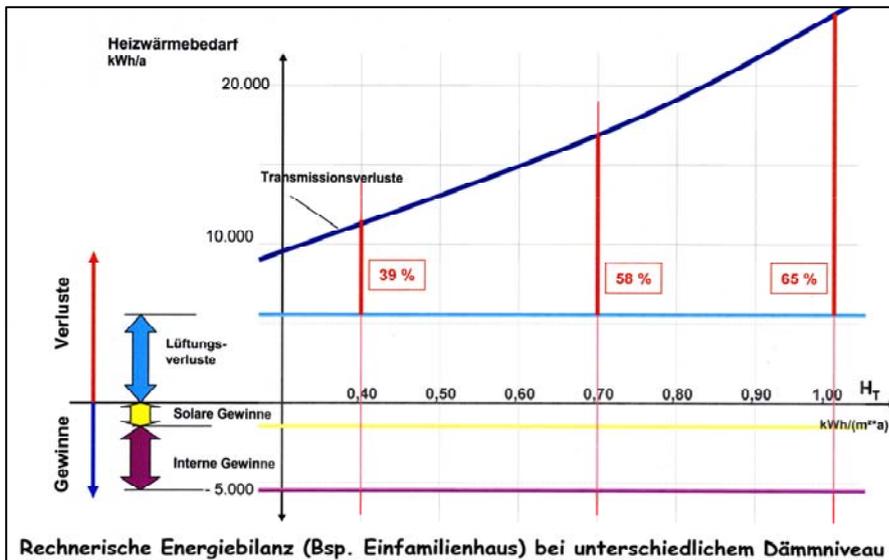


Abb. 13: Beispielhafte Darstellung der Anteile an den Energieverlusten und -gewinnen eines Gebäudes bei unterschiedlichem Dämmniveau der Gebäudeaußenhülle

Die Entwicklung der Luftwechselrate n_{50} vom unsanierten Altbau bis zum Passivhaus zeigt Abb. 14.

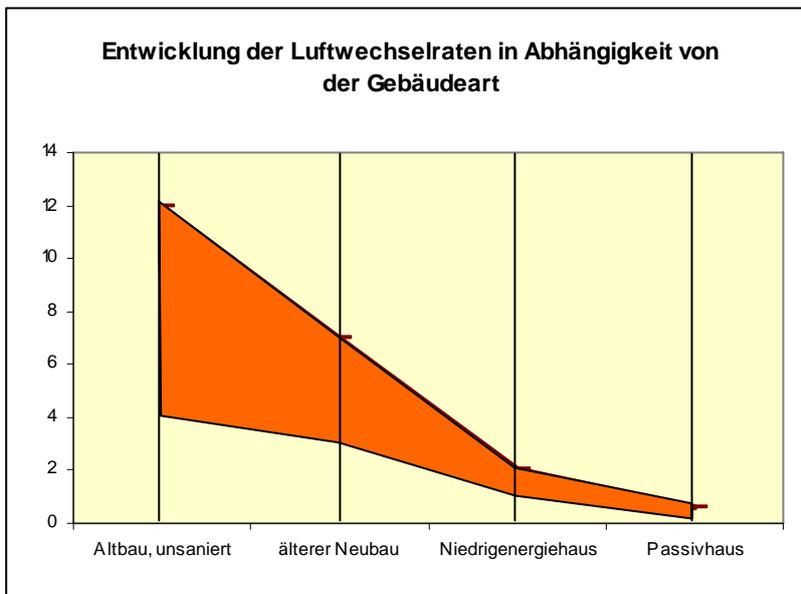


Abb. 14: Entwicklung der Luftwechselraten n_{50} in Wohngebäuden

Im § 6 der EnEV 2007 werden die Anforderungen an die Dichtheit von Fenster und Fenstertüren geregelt. So wird in Abschnitt (1) gefordert:

„Die Fugendurchlässigkeit außen liegender Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster muss den Anforderungen der Anlage 4, Nr. 1 genügen. Wird die Dichtheit nach den Sätzen 1 und 2 überprüft, sind die Anforderungen nach Anlage 4 Nr. 2 einzuhalten.“

Die zitierte Anlage 4 fordert für die angesprochenen Fenster in Satz 1 die Einhaltung der Fugendurchlässigkeit nach DIN EN 12207. Danach sind die in der Tabelle 2 zusammengestellten Werte einzuhalten:

Tab. 2: Anforderungen an die Fugendurchlässigkeit nach DIN EN 12207

Anzahl der Vollgeschosse des Gebäudes	Referenzdurchlässigkeit nach DIN EN 12207	Fugendurchlässigkeit - umgerechneter Wert aus DIN EN 12207
	$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$ bei 100 Pa	$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$ bei 10 Pa
bis zu 2 Fensterklasse 2)	6,75	1,454
Mehr als 2 (Fensterklasse 3)	2,25	0,485

Wird eine Überprüfung der Luftdichtheit nach § 6, Abs. 1 vorgenommen, so darf der maximal zulässig Luftstrom von innen nach außen bei einer Druckdifferenz von 50 Pa die folgenden Werte nicht überschreiten:

- ohne raumluftechnische Anlagen: 3 h^{-1}
- mit raumluftechnischen Anlagen: $1,5 \text{ h}^{-1}$

Die Überprüfung erfolgt mittels Blower-Door-Test, bei dem im zu untersuchendem Gebäude oder Gebäudeteil über ein in eine Türöffnung eingebautes Gebläse ein konstanter Überdruck von 50 Pa erzeugt wird. Über die Messung des Volumenstromes im Verhältnis zum Gebäudevolumen wird der Luftwechsel bei 50 Pa Überdruck (im Allgemeinen mit n_{50} bezeichnet) ermittelt. Das Verfahren ist in DIN EN 13829 geregelt. Die mit diesem Verfahren gemessenen Luftwechselraten sind mit den sich tatsächlich einstellenden nicht vergleichbar. Näherungsweise muss der gemessene Wert durch 3 bis 4 geteilt werden, um einen den natürlichen Bedingungen vergleichbaren Wert zu erhalten. C. Funke hat in ihrer Diplomarbeit umfangreiche Auswertungen der Fachliteratur hinsichtlich des Mindestluftwechsels durchgeführt. Danach kann für die nach EnEV errichteten Gebäuden von folgenden Luftwechselraten ausgegangen werden:

- Gebäude ohne Nachweis der Luftdichtheit: $\leq 0,7 \text{ h}^{-1}$
- Gebäude mit Nachweis der Luftdichtheit: $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

Die Mindestluftwechselraten, die erreicht werden müssen, um Schimmelpilzbefall sicher zu vermeiden, liegen zwischen $0,15$ und $0,45 \text{ h}^{-1}$ in Neubauten sowie zwischen $0,20$ und $0,70 \text{ h}^{-1}$ im Altbau. Tatsächlich vorhandene Luftwechselraten wurden für unsanierte Altbauten zwischen 4 bis 12 h^{-1} gemessen, für Passivhäuser zwischen $0,1$ bis $0,6 \text{ h}^{-1}$.

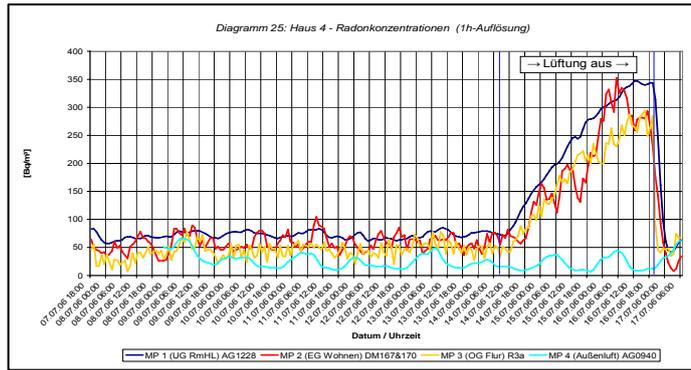
Diese Werte liegen an der Grenze der bzw. deutlich unter den für den Radonschutz angestrebten Mindestluftwechselraten. Insbesondere in der Altbausanierung kann dies, da hier die vollständige Abdichtung des Baukörpers zum Erdreich häufig nicht möglich ist (s. u.a. die Messergebnisse in Bild 12) und auch nicht angestrebt wird, zu sehr hohen Radonbelastungen der Raumluf führen (s. u.a. die Berechnungen in [18]). Für sehr dicht ausgeführte Gebäude, wie beim Passivhauskonzept zwingend vorgeschrieben, bei Sanierungen sowie Neubauten nach den Anforderungen der EnEV gelegentlich in Verkennung der Wirkmechanismen realisiert, ist deshalb zwingend eine künstliche Lüftung erforderlich.

4 Künstliche Lüftung und Radonbelastung

Die verschiedenen technischen Möglichkeiten der künstlichen Belüftung werden im Beitrag von U. Franzke [19] vorgestellt. Für die Reduzierung der Radonkonzentration in den betrachteten Räumen ist es wichtig, dass gegenüber der aus dem Erdreich nachströmenden Luft ein – wenn auch geringer – Überdruck aufgebaut wird. Wird die Lüftungstechnik in Verbindung mit einer Wärmerückgewinnungsanlage betrieben, kann dies sowohl zu einer hohen Energieeffizienz beitragen als auch die Schadstoffbelastung in der Raumluf deutliche reduzieren.

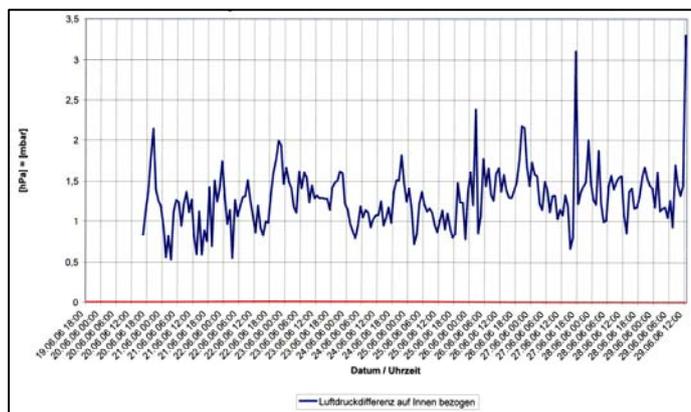
Im Folgenden soll anhand von Messwerten in Passivhäusern, die von F. Bergmann [16] durchgeführt wurden, die Wirksamkeit von Raumklimaanlagen hinsichtlich der Radonkonzentration in der Raumluf betrachtet werden. Abb. 15 verdeutlicht eindrucksvoll die Wirksamkeit einer Raumklimaanlage in einem Passivhaus. Ist die Lüftungsanlage in Betrieb, werden Radonkonzentrationen in der Raumluf erreicht, die nahe der Radonkonzentration in der Außenluft und damit deutlich unter den anzustrebenden Grenzwerten liegen. Sobald die Lüftungsanlage abgeschaltet wird, steigt die Radonbelastung in der Raumluf auf ein deutlich höheres Plateau. Da angenommen werden kann, dass die Dichtheit der Gebäudehülle sehr hoch ist, ist zu vermuten, dass hier vor allen Dingen die Radonexhalation aus den Baustoffen für den erhöhten Wert verantwortlich ist.

Abb. 15: Radonbelastung in einem Passivhaus bei Regelbetrieb (Lüftungsanlage in Betrieb) und abgeschalteter Lüftungsanlage [16]



In Abb. 16 wird die Messung der Druckunterschiede zwischen Innenraum und Außenluft in einem weiteren Passivhaus gezeigt. Die Bodenradonkonzentration ist mit ca. 100 kBq/m³ relativ hoch. Das Gebäude ist in ein Untergeschoss mit Zugangsbereich sowie verschiedenen Nebenräumen (Messpunkte 1 bis 3) sowie ein Obergeschoss mit allen Wohnräumen (Messpunkt 4) gegliedert. Die Lüftungsanlage arbeitet, wie aus Bild 16 ersichtlich, mit einem geringen Überdruck.

Abb. 16: Luftdruckdifferenz zwischen Raum- und Außenluft in einem Passivhaus [16]



In Abb. 17 und 18 sind die Messergebnisse der Radonkonzentration in den Räumen wieder gegeben

Abb. 17: Radonbelastung in einem Passivhaus. Der Eingangsbereich ist nicht in das Lüftungsregime integriert

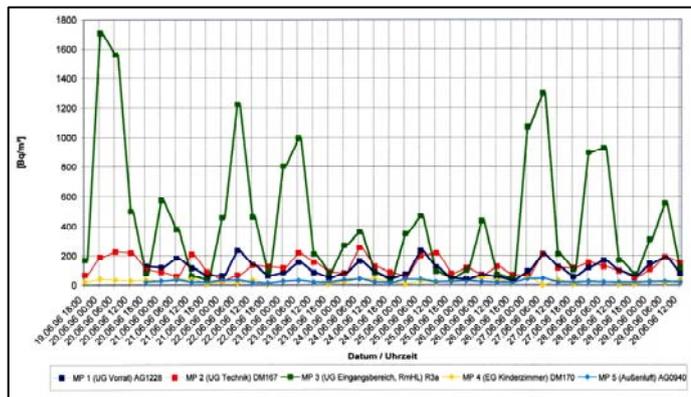
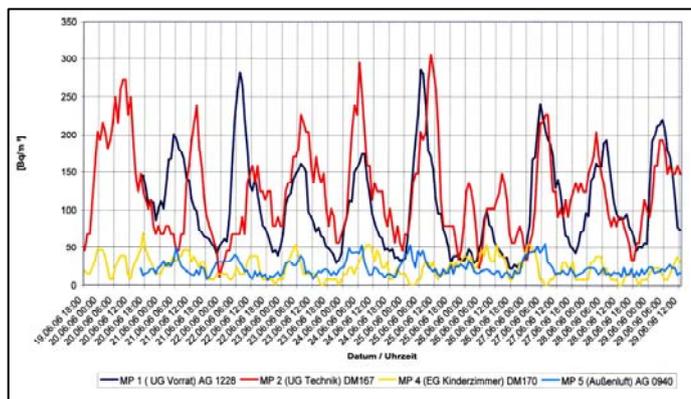


Abb. 18 Radonbelastung im gleichen Gebäude wie Bild 17 ohne Messpunkt 3



Die Ergebnisse des Messpunktes 4 (Abb. 18) zeigen, dass der gemessene Überdruck ausreicht, um die im Beispiel hohe Bodenradonkonzentration ohne Auswirkungen auf die Radonkonzentration in der Raumluft zu begrenzen. Dagegen werden im Untergeschoss starke Schwankungen der Radonkonzentration in der Raumluft beobachtet. Hierzu ist anzumerken, dass der Eingangsraum in das Gebäude (MP 3) nicht in das Lüftungsregime eingebunden ist. Zusätzlich sind in dem Eingangsbereich alle Hausanschlüsse mit den erforderlichen Wand- und Deckendurchbrüchen für die Anschlüsse eingeordnet. Offensichtlich sind hier Undichtheiten in der Gebäudehülle vorhanden, die ein direktes konvektives Einströmen der Bodenluft ermöglichen (Abb. 17). Dass diese großen Schwankungen im Eingangsraum des Gebäudes auf die weiteren Räume des Untergeschosses „durchschlagen“, obwohl diese in das Lüftungsregime eingebunden sind, liegt sowohl an den weniger dichten Anbindungen der Räume an den Eingangsbereich sowie an dem Betriebsregime der Lüftungsanlage. Diese wird hier mit einem gestaffelten Lüftungsprogramm betrieben. Im Regelfall arbeitet die Anlage mit einer geringen Grundstufe, die dreimal am Tag durch eine Phase mit verstärkter Lüftung (analog der Stoßlüftung von Fenstern) unterbrochen wird. Offensichtlich ist diese Betriebsart nicht in der Lage, die aus dem Eingangsbereich nachströmende radonhaltige Luft vollständig abzuführen. Da das Obergeschoss vom Erdgeschoss baulich wesentlich deutlicher abgekoppelt ist, kann dort die hier beschriebene Abhängigkeit nicht mehr beobachtet werden.

Das Beispiel zeigt, dass eine exakte, auf den konkreten Anwendungsfall abgestimmte Lüftungsplanung erforderlich ist, um zu einem auch hinsichtlich der Radonbelastung zufrieden stellenden Ergebnis zu kommen. Indirekt wird mit diesem Fall die Aussage in [14] bestätigt, wonach der Einsatz von Raumklimaanlagen nicht immer zu einem befriedigenden Ergebnis führt.

5 Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg): Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 1994, Bonn 1995. Drucksache – Deutscher Bundestag 13/2287
- [2] Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg): Radioaktivität in Baden-Württemberg; Karlsruhe, 1994
- [3] Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg): Radon-Handbuch Deutschland; Bonn, 2001
- [4] Schmidt, M.: Grenzwertpolitik am Beispiel radioaktiver Niedrigstrahlung. Ökologische Konzepte 15(1989), Nr. 30
- [5] Darby, S. et al., Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies; British Medical Journal; December 2004
- [6] Ringer, W.: Bestimmende Faktoren für die Radonkonzentration in Gebäuden;
- [7] Uhlig, Walter-Reinhold: Baulicher Radonschutz im Neubau und Sanierungsmaßnahmen an bestehenden Gebäuden; Tagungsband 1. Tagung radonsicheres Bauen, Dresden 2005
- [8] Funke, Claudia: Beitrag zur Bestimmung der Radondichtheit von Baustoffen und Baukonstruktionen; HTW Dresden (FH), 2007
- [9] Uhlig, Walter-Reinhold: Bauliche Grundlagen des radonsicheren Bauens und Sanierens; Tagungsband 1. sächsischer Radontag, Dresden 2007
- [10] Schulz, H.: Aktueller Kenntnisstand zu Radon in Gebäuden; Tagungsband 1. sächsischer Radontag, Dresden 2007
- [11] Marz, D.: Beitrag zur Konzeption radondichter Baukonstruktionen; HTW Dresden (FH) 2007
- [12] Klink, T.: Der Transport des radioaktiven Isotops Radon-222 in Abhängigkeit von der Mikrostruktur zementgebundener Mörtel; Universität Essen, Diss. 1996
- [13] Gertis, K.: Radon in Gebäuden; Fraunhofer IRB Verlag, 2008
- [14] Stephen, R. K.: Positive pressurisation: a BRE guide to radon remedial measures in existing dwellings. Building Research Establishment, 119 (BRE report; 281)
- [15] Jansson, M. P.: Modeling ventilation and radon in new dutch dwellings; International Journal on Indoor Air 13(2003), Nr. 2

- [16] Bergmann, Frank: Untersuchungen zur Radonsituation in Passivhäusern; Diplomarbeit HTW Dresden (FH), 2006
- [17] Energieeinsparverordnung EnEV 2004, Bundesgesetzblatt vom 7.12.2004
- [18] Conrady, Jürgen, Andreas Guhr, Bernd Leißring, M. Nagel: Modellösung für die Vermeidung erhöhter Werte von Wohnungsradon durch bauliche Energiesparmaßnahmen, Abschlussbericht Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2004
- [19] Franzke, U.: Technische Lösungen für Lüftungsanlagen – Stand und Entwicklung; Tagungsband 2. Sächsischer Radontag, 2008



TECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR LÜFTUNGSANLAGEN – STAND UND ENTWICKLUNG

TECHNICAL SOLUTIONS FOR VENTILATION SYSTEMS – STATE OF THE ART AND NEW DEVELOPMENTS

Uwe Franzke

Institut für Luft- und Kältetechnik
Gemeinnützige Gesellschaft mbH
01309 Dresden

Zusammenfassung

Lüftungstechnische Systeme sind für moderne Gebäude hinsichtlich einer effektiven Wärmerückgewinnung, einer guten Luftqualität aber vor allem auch hinsichtlich der zuverlässigen Druckhaltung unverzichtbar. Die Fensterlüftung ist nicht geeignet, den Eintrag von Radon sicher zu vermeiden.

Erst die Fähigkeit von Lüftungsanlagen, die Differenzdrücke gegenüber Kellerräumen definiert zu regeln, schafft die Möglichkeit, den Eintrag von Radon in die Gebäude zu verringern.

Im Vortrag werden die einzelnen Möglichkeiten der Lüftung von Gebäuden dargestellt und hinsichtlich der zu erwartenden Probleme analysiert.

Summary

In modern buildings ventilation systems are necessary due to an efficiency heat recovery, a good air quality and to achieve defined pressure conditions. The air infiltration through the window is not able to avoid the supply of radon.

It should be mentioned, that especially the capability to control the pressure difference against basement is significant to avoid the supply of radon into the building.

The presentation will give an overview about the different possibilities of the ventilation of buildings. A short evaluation of the expected problems is given.

1 Einleitung

Nach der Weltgesundheitsdefinition (WHO) von 1946 gilt:

"Gesundheit ist ein Zustand vollkommenen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens und nicht allein das Fehlen von Krankheit und Gebrechen."

Raumlufttechnische Anlagen (RLT-Anlagen) haben die Aufgabe, die Raumluftqualität und die Bedingungen für den thermischen Komfort und die Feuchte im Raum so zu regeln, dass die vereinbarte Nutzung der Räume ohne Einschränkungen möglich ist. Sie sollen Lasten (Stoffe, Gerüche, Feuchte, Wärme) abführen und helfen, die anwesenden Personen gegen die Einwirkung von gesundheitlich nachteiligen und belästigenden Stoffen und Einflüssen zu schützen. RLT-Anlagen leisten damit einen direkten Beitrag zur Gesunderhaltung.

Gegenwärtig wird allerdings nur die Energieeinsparung an Gebäuden diskutiert. Die Energieeinsparverordnung EnEV 2007 beschreibt den energetischen Standard der gegenwärtigen Gebäude und Gebäudetechnik. Es heißt im § 3:

„Zu errichtende Wohngebäude sind so auszuführen, dass der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung und Lüftung sowie der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust die Höchstwerte in Anlage 1 Tabelle 1 nicht überschreitet.“

Die Radonthematik ist nicht Gegenstand der EnEV.

Dazu muss die EN 13779 [1] herangezogen werden. Auch wenn diese Norm nicht für Wohngebäude gilt, können viele Aspekte übertragen werden. Es lautet in der Einleitung:

„Diese Norm bietet Planern, Gebäudeeigentümern und Nutzern Leitlinien für Lüftungs- und Klimaanlage, um bei akzeptablen Installations- und Betriebskosten ein zu allen Jahreszeiten behagliches und gesundheitlich unbedenkliches Innenraumklima zu schaffen.“

Im Anhang A.10.2 wird Bezug genommen auf die Vermeidung des Radoneintrages. Es heißt:

„In Gebieten, in denen mit hoher Außenluftverunreinigung gerechnet werden muss (Kategorien ODA 2 bis ODA 3) oder wenn Unterdruck eine Zunahme der Radon-Konzentration verursachen kann, sollten der Unterdruck im Raum minimiert werden. Als Alternative kann das Gebäude für einen leichten Überdruck ausgelegt werden.“

2 Definitionen

In Gebäuden mit Lüftungstechnischen Anlagen gibt es per Definition unterschiedliche Qualitäten der Luft. Die **Abb. 1** zeigt die verschiedenen Luftqualitäten. Die Abkürzungen entsprechen den englischen Bezeichnungen.

Die **Abb. 2** zeigt die Struktur der RLT-Anlagen. Aufgrund der Vielfalt der unterschiedlichen Anforderungen in Gebäuden hat sich in den vergangenen Jahren eine enorme Breite unterschiedlicher Systeme ergeben.

Für die Sicherstellung geeigneter Druckverhältnisse (Überdruck gegenüber dem Keller) gehen nur Systeme, die von außen dem Gebäude Luft über Ventilatoren zuführen. Klassische Umluftkühlssysteme werden daher auch nicht weiter betrachtet.

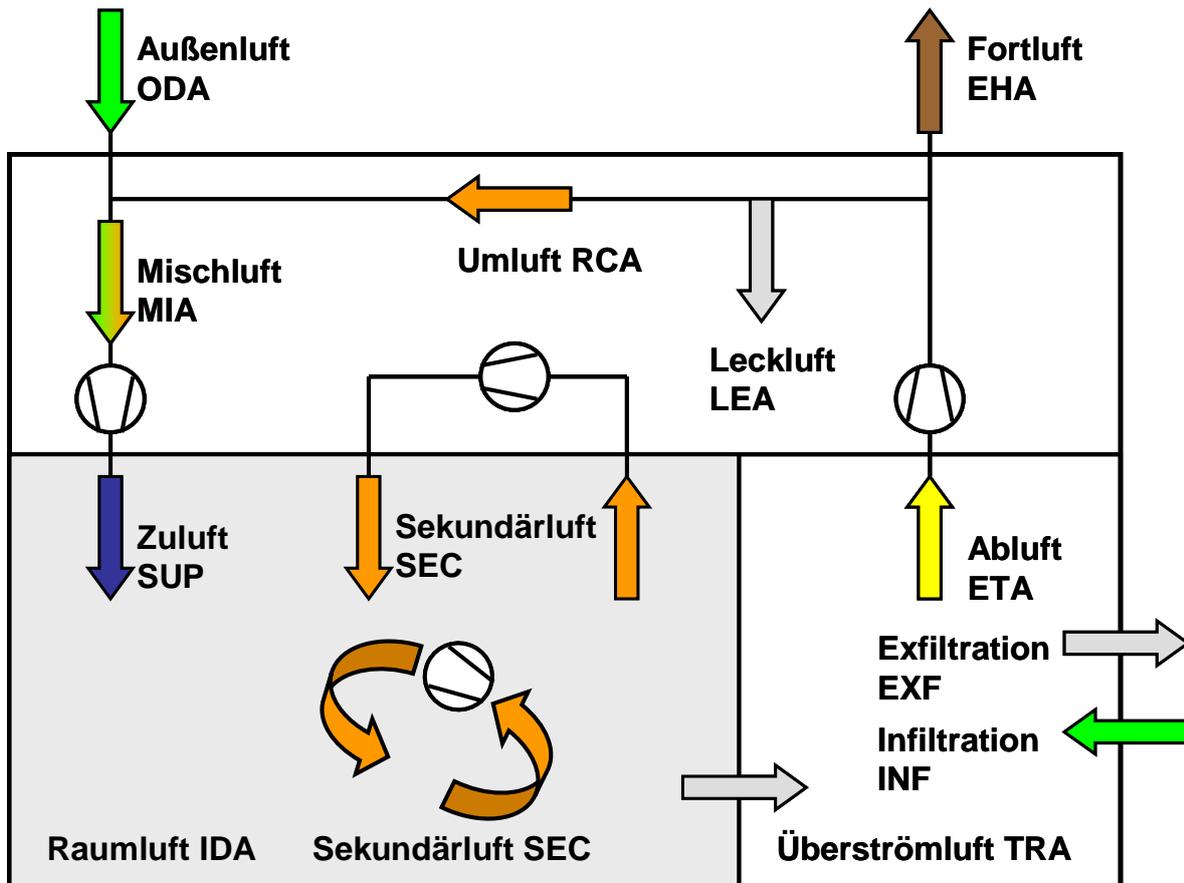


Abb. 1: Definitionen gemäß EN 13779

Bei der Auslegung der Anlage ist die Qualität der Außenluft um das Gebäude herum bzw. der vorgesehene Standort des Gebäudes zu berücksichtigen. Die Qualität der Außenluft (ODA) ist für die Raumluftqualität (IDA) von entscheidender Bedeutung.

Es gibt zwei Möglichkeiten, die Auswirkungen schlechter Außenluft im Innenraum in der Auslegung zu mildern:

- Installation der Außenluft an Stellen, an denen die Außenluft am wenigsten verunreinigt ist
- Reinigen der Luft

Während Partikel mit klassischen Luftfiltern abgeschieden werden können, bestehen bei gasförmigen Verunreinigungen erhebliche Probleme. Gasfilter sind zwar prinzipiell bekannt (Aktivkohlefilter); deren Einsatz in bezug auf Radon bringt jedoch keinen Effekt.

Die Klassifizierung der Außenluft ist in **Tab. 1** angegeben. Diese Kategorien geben Auskunft darüber, ob eine Reduzierung der Außenluft-Verunreinigungen erforderlich ist. Folgende Definitionen werden vereinbart:

- ODA 1 gilt, wenn die WHO-Richtlinien (1999) und alle nationalen Normen oder -vorschriften zur Qualität der Außenluft eingehalten werden
- ODA 2 gilt, wenn die Verunreinigungskonzentration die WHO-Richtlinien oder nationale Normen oder -vorschriften zur Qualität der Außenluft um einen Faktor bis zu 1,5 überschreiten
- ODA 3 gilt bei einer Überschreitung von mehr als 1,5

Tab. 1: Klassifizierung der Außenluft gemäß DIN EN 13779

Kategorie	Beschreibung
ODA 1	saubere Luft, die nur zeitweise staubbelastet sein darf (Pollen)
ODA 2	Außenluft mit hoher Konzentration an Staub oder Feinstaub und / oder gasförmigen Verunreinigungen
ODA 3	Außenluft mit sehr hoher Konzentration gasförmigen Verunreinigungen und / oder an Staub oder Feinstaub

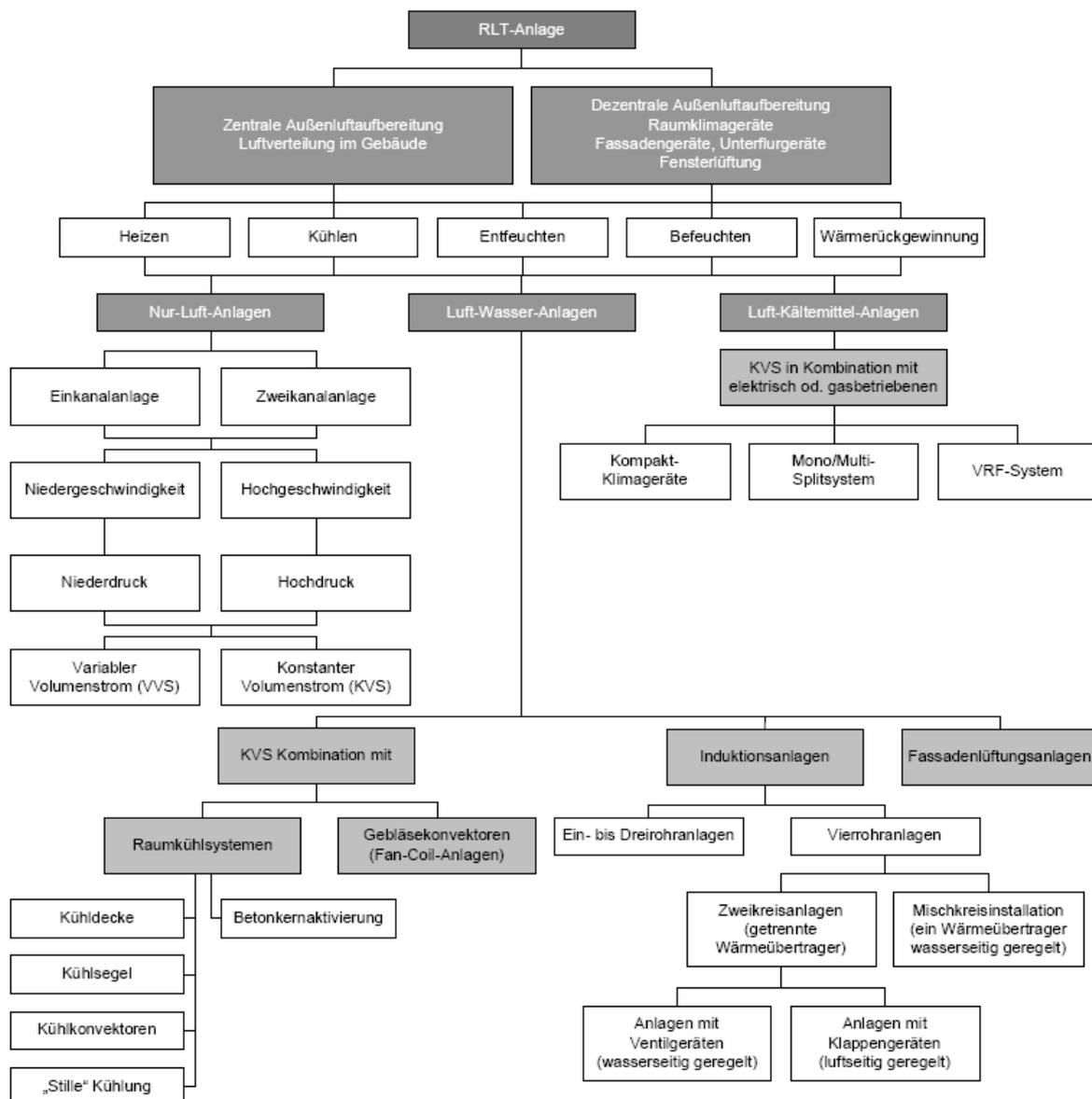


Abb. 2: Struktur der RLT-Anlagen

Die **Tab. 2** gibt einen Überblick der Außenluftklassifizierung anhand von ausgewählten Städten. Unabhängig von der Beschaffung des entsprechenden Datenmaterials zeigt sich die deutliche Abhängigkeit der Qualität der Aussagen von der direkten lokalen Anordnung der jeweiligen Messstation.

Tab. 2: Zusammenfassung der Außenluftklassifizierung anhand von Beispielen der DIN EN 13779

	Grenzwert / Richtwert	Stuttgart	London	Madrid
SO ₂	Jahresmittel 50 µg/m ³	5	8	11
	Maximum 24 h 125 µg/m ³	23	38	37
	Tage über 125 µg/m ³	0	0	0
	Faktor über Grenzwert	<1	<1	<1
O ₃	Jahresmittel	63	52	55
	Maximum 8 h 120 µg/m ³	178	134	123
	Tage über 120 µg/m ³	31	4	1
	Faktor über Grenzwert	< 1,5	<1,5	<1,5
NO ₂	Jahresmittel 40 µg/m ³	80	62	52
	Maximum 1 h 200 µg/m ³	244	176	216
	Stunden über 200 µg/m ³	21	0	1
	Faktor über Grenzwert	< 1,5	< 1	< 1,5
PM ₁₀	Jahresmittel 40 µg/m ³	34	27	29
	Maximum 24 h 50 µg/m ³	109	78	109
	Tage über 50 µg/m ³ 35 Tage	42	20	44
	Faktor über Grenzwert	< 1,5	<1	<1,5
	ODA Klasse	4	2	4

Die notwendigen Außenluftvolumenströme sind der **Tab. 3** beispielhaft zu entnehmen. Es fällt auf, dass der Bereich der Wohngebäude (trotz längerer Expositionszeit) geringere Außenluftvolumenströme erfordert als der Bereich der Nichtwohngebäude. Gemäß DIN 1946 Teil 6 gilt für die Grundlüftung von Wohnungen, dass bei der planmäßig anzunehmenden Personenzahl pro Nutzfläche mindestens 30 m³/h pro Person zur Verfügung stehen. Den Werten ist eine Raumhöhe von 2,5 m zugeordnet. Auch bei einer höheren als nicht planmäßigen Personenzahl pro Nutzfläche müssen mindestens 20 m³/(h · Person) zur Verfügung stehen.

Aufgabe der RLT-Anlagen ist es, diese Außenluftvolumenströme so aufzubereiten, dass eine behagliche und gesundheitlich zuträgliche Raumluft entsteht.

Tab. 3: Notwendige Außenluftvolumenströme gemäß DIN EN 15251 [2]

Kategorie	Wohn- und Schlafzimmer		Fläche	schadstoffarmes Einzelbüro		Fläche
	m ³ /h Person	m ³ /h m ²	m ² /Person	m ³ /h Person	m ³ /h m ²	m ² /Person
I	36	5.04	7	72	7.2	10
II	25.2	3.6	7	50.4	5.04	10
III	14.4	2.16	7	28.8	2.88	10

3 Technische Lösungsmöglichkeiten

Die Hauptquelle für den Eintrag von Radon liegt im Erdreich, siehe **Abb. 3**. Demzufolge muss durch eine entsprechende Druckgestaltung im Gebäude sichergestellt werden, dass möglichst permanent Überdruck gegenüber dem Keller besteht.

Unter Nutzung der allgemeinen Gasgleichung, siehe Gl. 1, kann für einen exemplarischen Raum der sich einstellende Differenzdruck zwischen Raum und Umgebung in Abhängigkeit der technisch möglichen Einstellung der Zu- und Abluftvolumenströme berechnet werden. Es zeigt sich, dass Abweichungen von 10 % zwischen beiden Luftvolumenströmen bereits zu Differenzdrücken von etwa 15 Pa führen. Daraus wird ersichtlich, welche Bedeutung die geordnete Zuführung der Luftvolumenströme für die Druckhaltung eines Gebäudes hat.

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad (1)$$

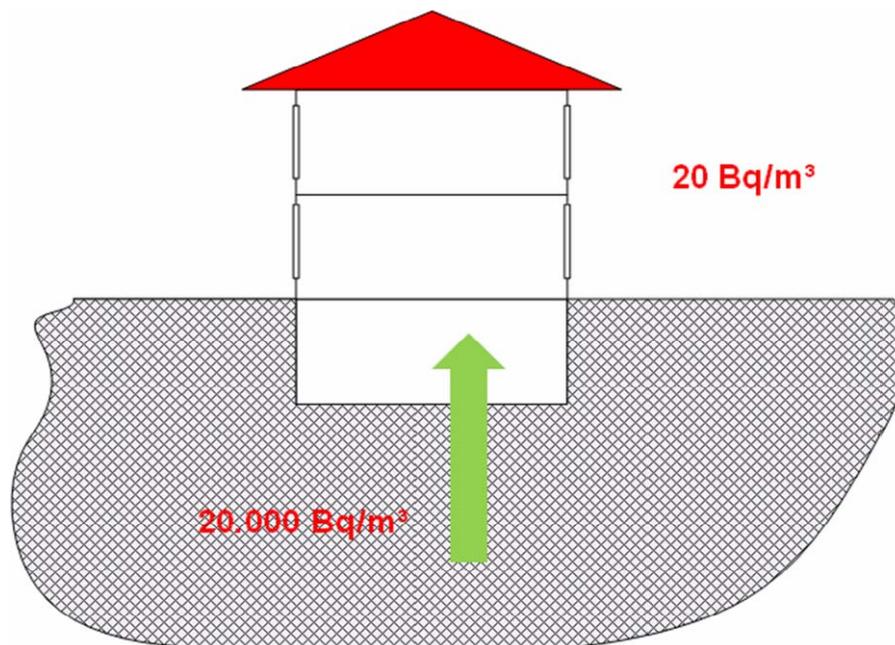


Abb. 3: Aufgabe der Lüftungstechnik – Vermeidung des Eintrages von Radon in das Gebäude

Die **Abb. 5** zeigt die Situation der Fensterlüftung. Die neutrale Zone liegt in der Regel in etwa in der Mitte des geöffneten Fensters. Unter der Annahme, dass keine weiteren Öffnungen am Gebäude bestehen, würde sich für diesen Raum eine ausgeglichene Volumstrombilanz ergeben. Die aufgrund der Dichteunterschiede zwischen Innen und Außen geförderten Luftvolumenströme sind in **Abb. 6** für ein Drehflügel Fenster (1 x 1 m) exemplarisch berechnet.

Zu beachten ist, dass es im Winter zunächst bei einer Verringerung der Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen zu einer Reduzierung des Luftvolumenstromes kommt. Sobald sich im Sommer die Temperaturverhältnisse ändern, kommt es erneut zu einem Anstieg der Luftvolumenströme.

Sobald weitere Öffnungen am Gebäude vorhanden sind, kommt es zu einer Verschiebung der neutralen Zone. Je nach Anordnung der Öffnungen im Gebäude kann sich speziell im Kellerbereich ein nennenswerter Unterdruck einstellen, siehe **Abb. 7**.

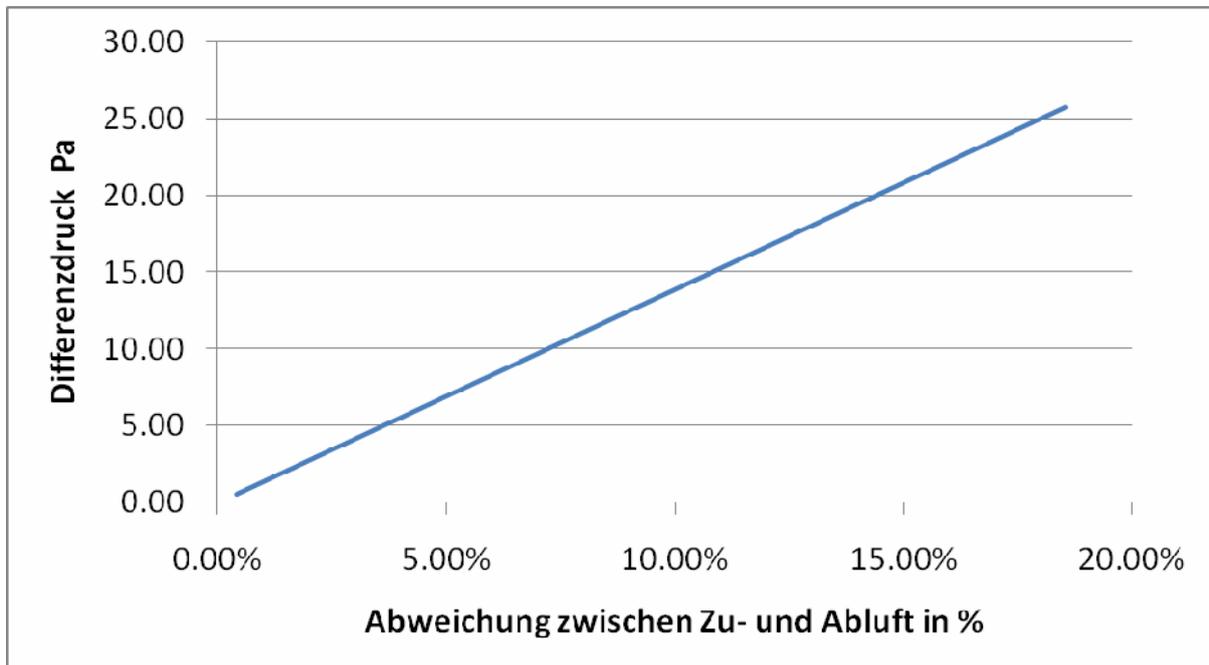


Abb. 4: Aufgabe der Lüftungstechnik – Vermeidung des Eintrages von Radon in das Gebäude

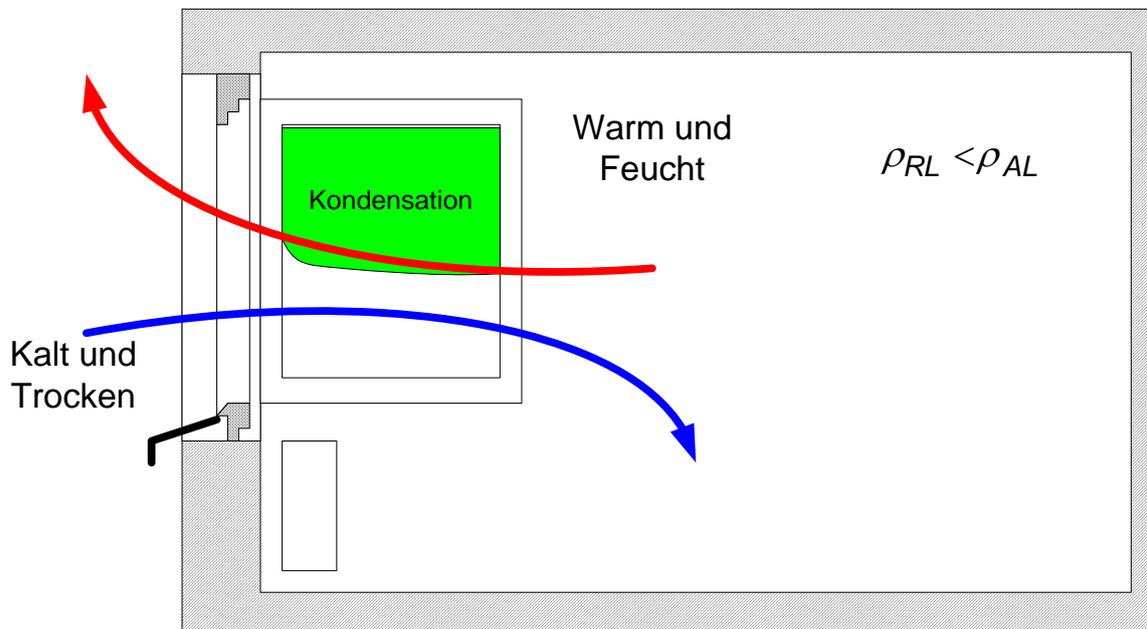


Abb. 5: Fensterlüftung

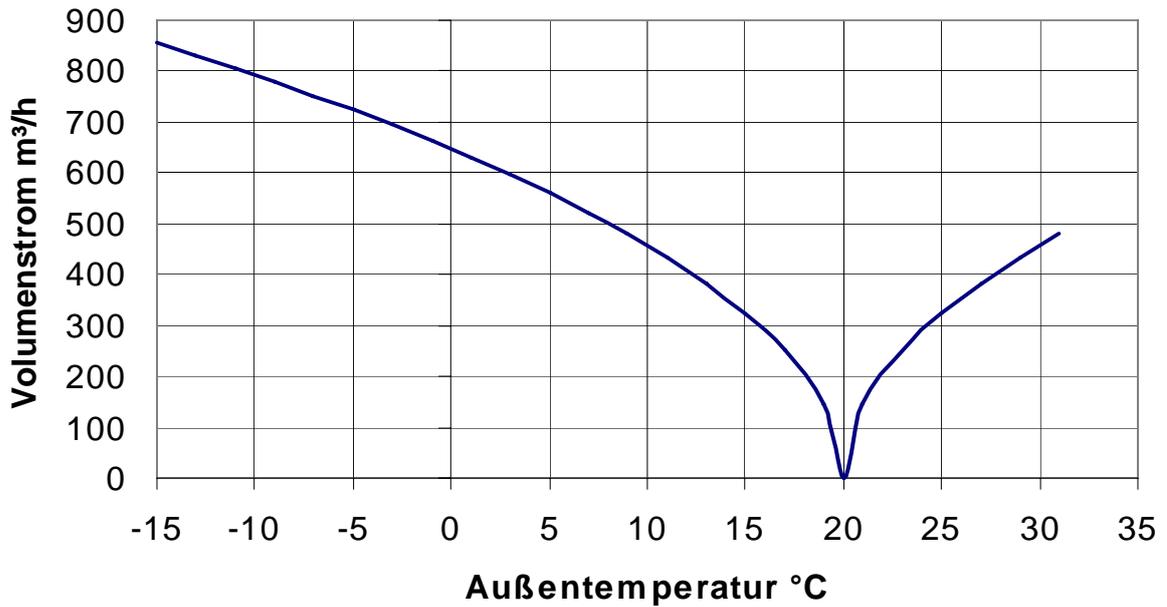


Abb. 6: Volumenströme bei Fensterlüftung

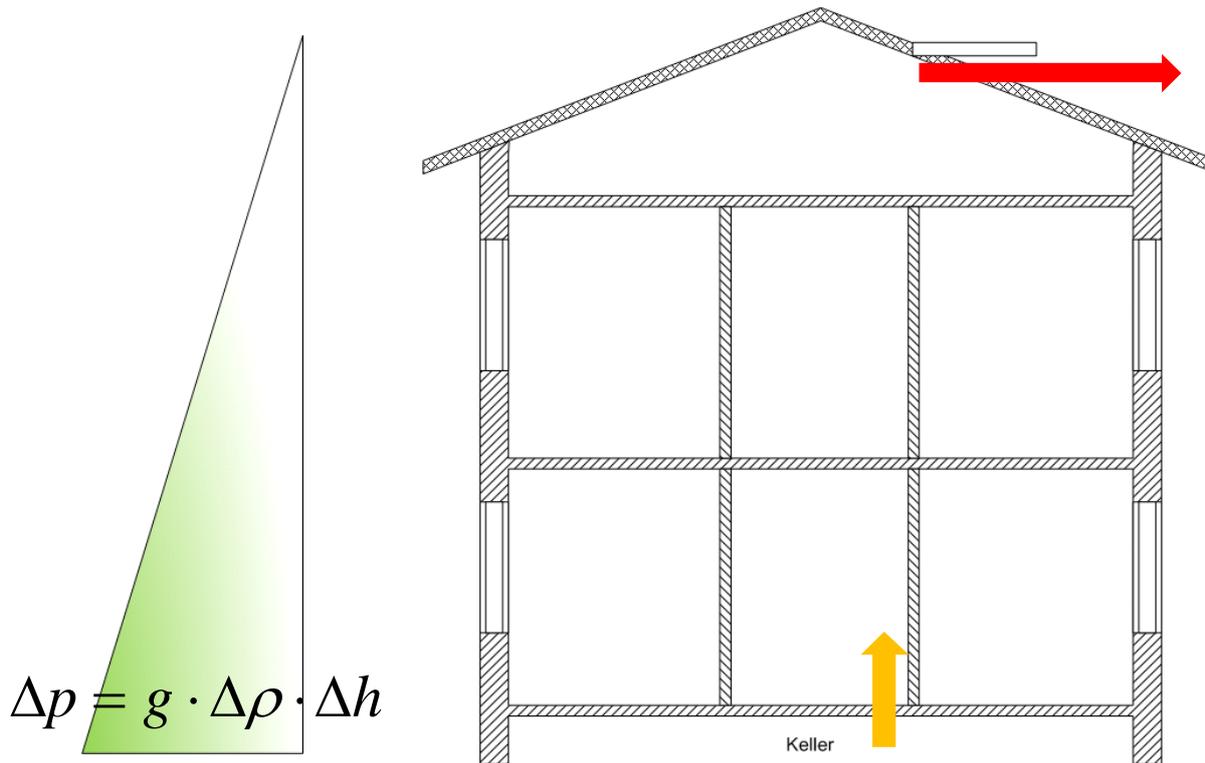


Abb. 7: Druckaufbau in einem Gebäude

Ein Beispiel für eine mechanische Abluftanlage zeigt die **Abb. 8**. Diese Anordnung ist typisch für die Installation der Küchenabluft bzw. auch der Abluft bei fensterlosen Bädern (nach DIN 18017 vorgeschrieben). Das Nachströmen der Außenluft erfolgt über die nach DIN 1946 Teil 6 vorgeschriebenen Außenluftdurchlässe bzw. wird den vorhandenen Leakageflächen überlassen. Bei dichten Gebäuden stellt sich dadurch bereits ein nennenswerter Unterdruck ein. Es gelten die

analogen Beziehungen gemäß Gl. (1) bzw. **Abb. 6**. Hinzu kommt immer der Einfluss der Windkräfte. Auf der dem Wind zugewandten Seite entsteht Überdruck und auf der Abströmseite Unterdruck. Je nach Situation kann es damit zu einem Anstieg des Abluftvolumenstromes kommen. Infolge des daraus resultierenden Unterdruckes im Raum kann es zu einer Übertragung von Radon aus dem Keller kommen.

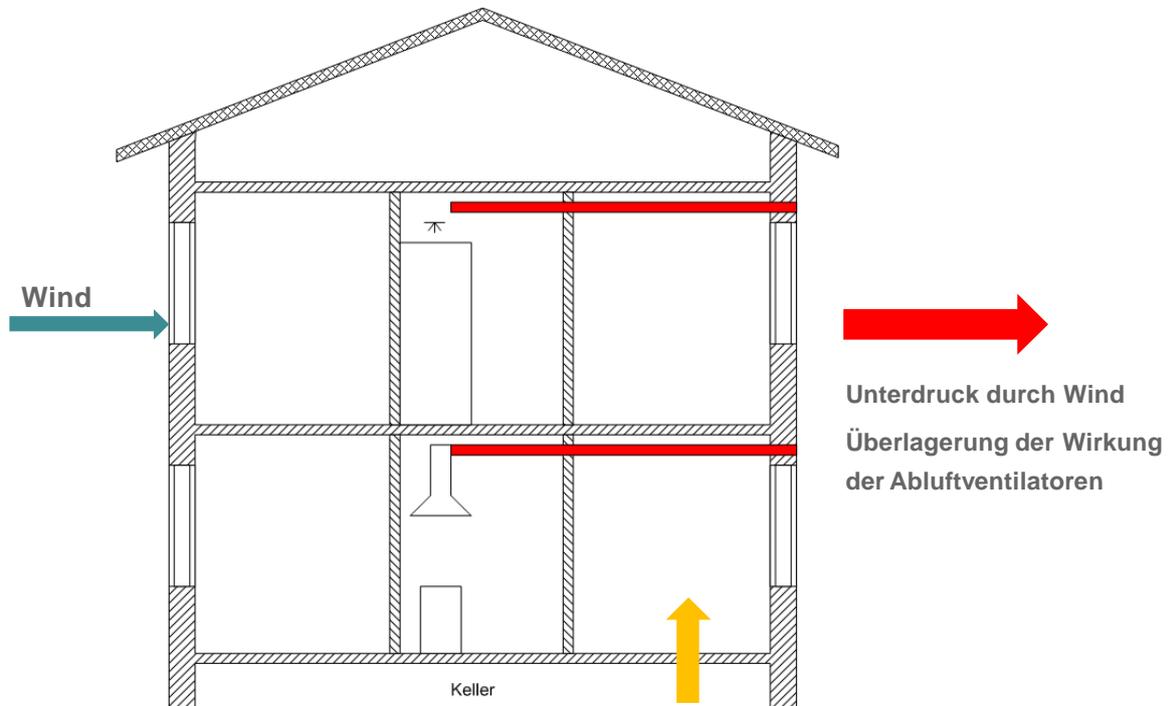


Abb. 8: Überlagerung des Windeinflusses auf die Lüftungsanlage

Die **Abb. 9** zeigt ein Beispiel für eine Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftventilatoren. Prinzipiell kann der Überdruck im Raum durch eine Differenzdruckregelung im Regelfall sichergestellt werden. Durch die Anordnung der Zu- und Abluftseite auf verschiedenen Seiten des Gebäudes kann der Einfluss des Windes zu einer nicht ausgeglichenen Volumenstrombilanz führen.

Durch die Anordnung der Ansaugung und der Fortluftöffnung gemeinsam auf einer Seite des Gebäudes kann eine weitere Stabilität erreicht werden. Dadurch wird auch die Integration einer Wärmerückgewinnung möglich, die wesentliche Voraussetzung für die Verbesserung der energetischen Effizienz ist.

Erst durch die Verwendung von Ventilatoren bestehen die Voraussetzungen, um eine effektive Filterung der Außenluft vornehmen zu können. Die ungeordnete Nachströmung der Außenluft ist unter dem Aspekt der Gesundheit und der Hygiene nicht anzuraten.

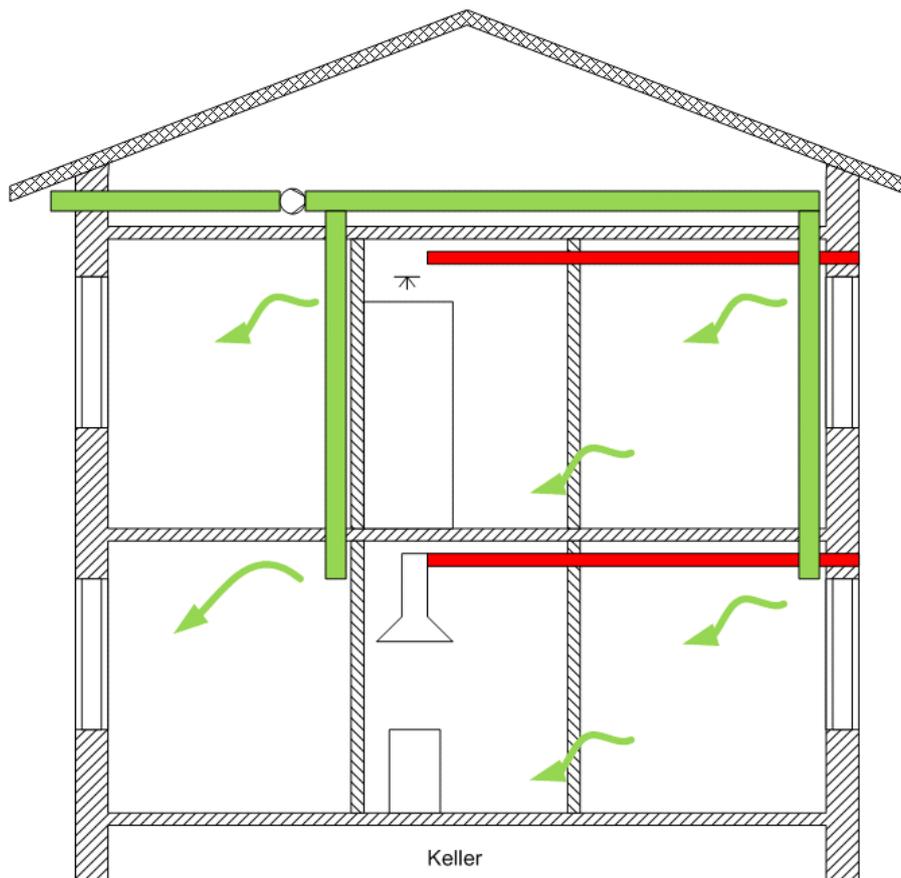


Abb. 9: Mechanische Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftventilator

4 Zusammenfassung

Die Lüftung von Gebäuden ist für die Schaffung hygienischer und behaglicher Raumluftzustände unabdingbar. Der Versuch, die notwendigen Außenluftvolumenströme allein über die freie Lüftung zu realisieren, schafft in der Regel unkontrollierbare Druckverhältnisse in den Gebäuden, so dass ein Eindringen von Radon in Wohnbereiche nicht ausgeschlossen werden kann.

Auch der Einsatz von mechanischen Abluftanlagen zur Entlüftung fensterloser Küchen und Bäder kann bei unsachgemäßer Ausführung der Außenluftdurchlässe zu einem Unterdruck und damit zu einer Übertragung von Radon aus dem Keller/Erdreich-Bereich in die Wohnbereiche führen. Erst durch die Verwendung von Zu- und Abluftanlagen entstehen die Voraussetzungen für geordnete Druckverhältnisse. In Kombination mit einer Wärmerückgewinnung können dann auch energetische Vorteile geltend gemacht werden.

5 Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 13779. Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme. 2007
- [2] DIN EN 15251. Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. 2007

DAS INTERNATIONALE RADONPROJEKT DER WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO)

THE WORLD HEALTH ORGANIZATION INTERNATIONAL RADON PROJECT

Hajo Zeeb

Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik, Johannes Gutenberg – Universität Mainz

Zusammenfassung

Neuere epidemiologische Studien haben bestätigt, dass innerhäusliches Radon ein ernstzunehmender Risikofaktor für Lungenkrebserkrankungen ist. Die WHO hat daher im Jahr 2005 mit internationalen Partnern das Internationale Radon Projekt (IRP) entwickelt, das sich mit den verschiedenen Komponenten des Radonproblems befasst. Als Kernziele des Projekts wurden definiert: a) die Identifikation effektiver Strategien zur Verminderung der gesundheitlichen Folgen von Radon b) die Förderung von geprüften politisch-regulatorischen Optionen sowie Präventions- und Sanierungsprogrammen (einschließlich des Monitoring und der Evaluation solcher Programme) c) Die Förderung der öffentlichen, politischen und ökonomischen Aufmerksamkeit bezüglich der Folgen der innerhäuslichen Radonexposition (unter Einbeziehung von Finanzinstitutionen als Zielgruppe) und d) die Schätzung der globalen gesundheitlichen Folgen der Exposition mit Radon unter Nutzung der weltweit vorhandenen Studiendaten. Die Ergebnisse der WHO - Projektarbeitsgruppen werden im demnächst erscheinenden WHO Radon Handbuch präsentiert.

Summary

Recent epidemiological studies of people exposed to indoor radon have confirmed that radon in homes is a serious health hazard. To address the issue at an international level, the World Health Organization (WHO) established the International Radon Project (IRP) in 2005. The project's scope and the key objectives were defined as: a) to identify effective strategies for reducing the health impact of radon; b) to promote sound policy options, prevention and mitigation programmes (including monitoring and evaluation of programmes); c) to raise public, political and economical awareness about the consequences of exposure to radon (including financial institutions as target group), and d) to estimate the global health impact of exposure to residential radon using available data on radon worldwide. The results of the different WHO working groups will be presented in the upcoming WHO Radon Handbook.

1 Einleitung

Die Verminderung der mit Umwelteinflüssen verbundenen Gesundheitslast ist ein Kernanliegen der Weltgesundheitsorganisation WHO. Innerhalb der WHO beschäftigt sich das „Department of Public Health and Environment“, und hier besonders das „Radiation and Environmental Health Team“, mit allen Aspekten von Strahlung und Gesundheit. Im Vordergrund stehen Risikoabschätzungen und die Erstellung von Politik – und Richtlinienentwicklung in diesem Bereich, aber auch die Organisation medizinischer Unterstützung bei Strahlenunfällen im Rahmen internationaler Netzwerke.

Beim Radon handelt es sich um die bedeutsamste Quelle natürlicher Strahlung in vielen Ländern der Welt [1]. Im Jahr 2005 wurden die Ergebnisse der gemeinsamen Auswertungen europäischer [2] sowie nordamerikanischer [3] epidemiologischer Studien zu innerhäuslichem Radon und Lungenkrebs publiziert; die gemeinsame Analyse der beiden chinesischen Studien war schon im Vorjahr veröffentlicht worden [4]. Die Risikoschätzungen aus diesen Studien liegen recht nahe beieinander und legen einen linearen Anstieg des Lungenkrebsrisikos bei ansteigender innerhäuslicher Radonkonzentration nahe. Ebenso stehen die Ergebnisse auch recht gut mit den Daten aus den Studien bei beruflich exponierten Bergarbeitern im Einklang. Schätzungen gehen davon aus, dass zwischen 3 und 14% aller Lungenkarzinome weltweit durch Radon hervorgerufen werden, und diese Zahlen unterstreichen die Bedeutung des Radons als wichtiges Umwelt-Lungenkarzinogen. Im Gegensatz dazu haben WHO Mitgliedstaaten allerdings festgestellt, dass sowohl die Öffentlichkeit als auch politisch Verantwortliche sich des Problems nicht ausreichend annehmen, obwohl es klar beschriebene und zumeist auch vergleichsweise einfach umzusetzende Maßnahmen des Radonschutzes bei Bau und Sanierung von Gebäuden gibt. Die WHO hat daher im Jahr 2005 das Internationale Radon-Projekt (IRP) ins Leben gerufen und sich dabei ihrer Möglichkeiten als internationaler Institution bedient, Wissenschaftler, Regulatoren und andere Akteure mit Interesse am Radon zusammenzubringen und gemeinsam Ansätze zur Verminderung von gesundheitlichen Problemen zu entwickeln [5].

2 Aufgabenbereiche und Ziele des WHO IRP

Das WHO-IRP wurde als offenes internationales Projekt unter Teilnahme von erfahrenen Schlüsselpartnern geplant. Vorgesehen war, das IRP zu einer Plattform des Austausches zu gestalten, so dass Ländern mit etablierten Radonprogrammen und solche, die erst am Anfang ihrer Aktivitäten zum Komplex Radon stehen, in intensiven Erfahrungsaustausch treten können. Deutschland war von Beginn an durch Experten des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vertreten.

Das übergeordnete Ziel des Projektes ist die Verringerung der gesundheitlichen Auswirkungen von innerhäuslichem Radon; damit ist auch die Abgrenzung von eher auf berufliche Expositionen oder andere Aspekte des Radonproblems ausgerichteten Initiativen sowie reinen Forschungsprojekten deutlich. Bei dem ersten Treffen von IRP – Interessierten in Genf im Januar 2005 nahmen Experten aus 17 Ländern teil und schlugen eine vorläufige Liste von Projektzielen vor, die im Verlauf diskutiert und umformuliert wurden. Diese Ziele sind:

- Die Identifikation effektiver Strategien zur Verminderung der gesundheitlichen Folgen von Radon
- Die Förderung von geprüften politisch-regulatorischen Optionen sowie Präventions- und Sanierungsprogrammen (einschließlich des Monitoring und der Evaluation solcher Programme)
- Die Förderung der öffentlichen, politischen und ökonomischen Aufmerksamkeit bezüglich der Folgen der innerhäuslichen Radonexposition (unter Einbeziehung von Finanzinstitutionen als Zielgruppe)
- Die Schätzung der globalen gesundheitlichen Folgen der Exposition mit Radon unter Nutzung der weltweit vorhandenen Studiendaten

Teilnehmer aus mehr als 30 Ländern sind im Projektverlauf in das Projekt involviert gewesen. Dabei sind europäische Länder sowie die USA und Canada stark repräsentiert, aber auch eine Reihe asiatischer sowie südamerikanischer Länder. Internationale Einrichtungen wie die EU (Joint Research Center in Ispra), die IAEA und UNSCEAR haben Beobachter entsandt und zum Teil aktiv an den Diskussionen bei den jährlichen Projekttreffen teilgenommen.

3 Arbeitsweise und Finanzierung des WHO - IRP

Aktivitäten des Internationalen Radon-Projekts wurden weitgehend von freiwilligen Zahlungen einzelner WHO-Mitgliedsländer, darunter Deutschland, finanziert. Das Projekt hat sein Sekretariat bei der WHO in Genf. Thematische Arbeitsgruppen bilden das Rückgrat des Projektes. Die WHO koordiniert den Informationsfluss (z.B. mit Newsletter, Webseiten), hat einen Survey durchgeführt sowie das jährliche Projekttreffen vorbereitet und koordiniert. Drei internationale Projekttreffen haben stattgefunden, zwei in Genf in Januar 2005 und März 2006 sowie ein weiteres im März 2007 im Deutschen Museum in München. Weiterhin fanden mehrere Treffen des Redaktionskomitees für das WHO Radon Handbuch statt.

4 IRP Arbeitsgruppen

Sechs Arbeitsgruppen zur Bearbeitung des umfangreichen inhaltlichen Programms wurden eingerichtet. Die thematischen Schwerpunkte der Arbeitsgruppen sind: Gesundheitliche Risikoabschätzung, Radonmessung, Prävention und Sanierung, Kosten-Nutzenaspekte des Radonschutzes und Leitlinien für nationale Radonprogramme. Die Frage von Referenzwerten für Radon wurde besonders in dieser letzten Gruppe diskutiert. Ein wichtiges Ziel war die Erstellung eines themenspezifischen Berichtsabschnitts für die gemeinsame Projektpublikation.

4.1 Gesundheitliche Risikoabschätzung

Aufgrund der kürzlich veröffentlichten neuen gepoolten epidemiologischen Studien zu innerhäuslichem Radon und Lungenkrebs konnte das Projekt auf einer sehr guten Evidenzbasis aufbauen. Die Haupt- und eine Reihe der Koautoren dieser Studien (aus USA und Kanada, Europa und China) wurden auch zu Partnern im WHO-IRP. Die Arbeitsgruppe beschäftigte sich mit den zentralen Aussagen und der Interpretation der vorhandenen Daten. Aufgrund der Einschätzung, dass absolute Risikoangaben (etwa: das Lebenszeitrisiko für einen Lungenkrebs bei Exposition mit 400 Bq/m^3 beträgt für Raucher 16%) für das Verständnis der epidemiologischen Daten oft hilfreicher als relative Risikoangaben sind (per 100 Bq/m^3 steigt das Risiko um 16%), ist eines der zentralen Themen die Quantifizierung der dem Radon zuschreibbaren Todesfälle. Zusammen mit der wissenschaftlichen UN - Kommission UNSCEAR hat die Arbeitsgruppe außerdem eine umfangreiche Datenbasis weltweiter Informationen zum innerhäuslichen Radon zusammengestellt. Eines der wichtigen Ergebnisse der Arbeit dieser Gruppe ist die empirisch belegbare Aussage, dass es bei der Radonkontrolle nicht ausschließlich um Häuser mit hohen Radonkonzentrationen gehen kann, sondern auch die Verminderung mittlerer Radonkonzentrationen in allen Häusern bedeutsam ist, da Expositionen unter 100 Bq/m^3 den größten Anteil aller radonassoziierten Lungenkrebserkrankungen und Todesfälle bedingen. Klar wird aufgrund der epidemiologischen Analysen, dass die Reduzierung der Radonkonzentration quer über den Häuserbestand einer Region oder gar eines Landes im Sinne einer Verminderung der Lungenkrebsfälle das größte Potential aufweist.

Für die laufende Untersuchung zur weltweiten Radon-Krankheitslast wird die methodologische Erfahrung aus den Pooling-Projekten mit der gesamten verfügbaren Information über weltweite Radonkonzentrationen und Lungenkrebsraten verbunden. Neben dem WHO Radon Handbuch soll die „Radon Burden of Disease Study“ ein Produkt der Arbeit des WHO-Projektes werden.

4.2 Radonmessung

Weltweit besteht umfangreiche Expertise für Radonmessungen unter vielen verschiedenen Umständen und Bedingungen. Die entsprechende WHO-Arbeitsgruppe entwickelte eine ausführliche Übersicht zur derzeitigen Messpraxis in den verschiedenen Teilnehmerländern und stellte Empfehlungen und Anwendungshinweise in Bezug auf aktuelle Messproblematiken zusammen. Allgemein wird davon ausgegangen, dass die Messung der Konzentration von Radongas einen angemessenen, einfachen und kosteneffektiven Ersatz für die Messung von Radonzerfallsprodukten darstellt. Die Arbeitsgruppe bestätigte auch, dass für die Abschätzung der mittleren jährlichen Radonkonzentration in einem Gebäude Langzeitmessungen über mindestens 3 Monate geboten sind.

Die Arbeitsgruppe nutzte u.a. einen im Rahmen des Projektes durchgeführten internationalen WHO Survey zu Radon [7], um Informationen zu den üblicherweise genutzten Messmethoden und -instrumenten zu erhalten. Am häufigsten werden Kernspurdetektoren, Elektret-Ionisationskammern und Aktivkohledetektoren verwendet. Die verschiedenen Detektoren und ihre Anwendungsbereiche wurden dann für das Radon – Handbuch beschrieben und begutachtet. Ein wichtiges Thema bei Radonmessungen ist die Qualitätssicherung. Die Arbeitsgruppe hat hierzu Informationen und Leitlinien formuliert und verschiedene Komponenten qualitativ hochwertiger Radonmessprogramme beschrieben. Eine Einigung auf internationaler Ebene über standardisierte Messprotokolle wäre hier ein wichtiger erster Schritt in Richtung einer verbesserten Vergleichbarkeit von internationalen Radondaten.

4.3 Prävention und Sanierung

Prävention und Sanierung sind die zentralen Aktivitäten in der praktischen Arbeit, um Radonkonzentrationen zu verringern. Die Prävention bezieht sich auf neu gebaute Häuser und den dort zu implementierenden Radonschutz, während Sanierung in bestehenden Gebäuden mit erhöhten Radonkonzentrationen zum Tragen kommt. Für beide Bereiche gibt es eine Reihe technischer Lösungsansätze, mit denen sich die entsprechende Arbeitsgruppe beschäftigte. Sanierungsansätze umfassen recht einfache Barrierelösungen und verbesserte Ventilation wie auch technisch anspruchsvollere Ventilations- und Druckumkehr- bzw. Überdruckverfahren. Radonmessungen sind vor und auch nach der Installation entsprechender Systeme nötig, um die Effektivität der Maßnahmen zu prüfen. Die Bedeutung einer entsprechenden Bauforschung sowie der Aus- und Weiterbildung für mit Radonschutz befasste Beschäftigte der Bauindustrie wird im WHO Radon Handbuch hervorgehoben.

4.4 Kosteneffektivität von Radonkontrollmaßnahmen

Mit der ökonomischen Evaluierung alternativer Radonkontrollstrategien befasst sich eine weitere IRP-Arbeitsgruppe um Alastair Gray von der Universität Oxford. In dem von der Arbeitsgruppe präferierten Kosteneffektivitätsansatz werden Kosten gesundheitlicher Folgen von Radon in Bezug zu dem gesundheitlichen Gewinn durch Prävention oder Sanierung (also z.B. dem Gewinn an Lebensjahren bei entsprechender Radonreduktion) gesetzt; diese Berechnung wird für eine Reihe verschiedener Radonkontrollansätze und Ausgangsbedingungen durchgeführt. Daraus lassen sich ein Index und eine Rangliste für die Priorisierung verschiedener Aktivitäten erstellen. Frühere Analysen weisen darauf hin, dass präventive Maßnahmen in allen Häusern kosteneffektiv sind, wenn mehr als 5% aller Häuser

Radonkonzentrationen über 200 Bq/m^3 aufweisen. In einigen Regionen mit sehr niedrigen Radonrisiken können die Messkosten die Sanierungskosten übersteigen, da sehr viele Messungen durchgeführt werden müssen, um die wenigen Häuser mit erhöhten Messwerten zu identifizieren.

Die ökonomischen Analysen beruhen auf einer Reihe von Annahmen und bedürfen sehr klarer Vorgaben über die zu verwendenden Rahmenbedingungen. Es bestehen viele Unsicherheiten bei den gesundheitsökonomischen Abschätzungen, die offen diskutiert werden müssen. Ein derartiges Vorgehen kann aber eine pragmatische Basis für die ökonomische Beurteilung von Radonkontrollmaßnahmen ergeben.

4.5 Risikokommunikation

Ebenso wie in Bezug auf Radonmessung und Sanierung existieren weltweit erhebliche Erfahrungen zur offensichtlich recht schwierigen Risikokommunikation zu Radon. Die hierzu tätige Arbeitsgruppe stellte fest, dass weltweit eine Vielzahl von verschiedenen Kommunikationsansätzen zum Einsatz gekommen ist, allerdings oft nur mit mäßigem Erfolg. Die verschiedenen Ansätze wurden von der Gruppe zusammengetragen und analysiert, um zu praktischen und grundlegenden Empfehlungen zur Risikokommunikation zu gelangen. Einige Ergebnisse aus dem WHO Survey legen nahe, dass zu einer erfolgreichen Risikokommunikation eine kleine Zahl von klaren und eindeutigen Aussagen gehört, die sowohl Risiken als auch die Möglichkeiten zur Risikominimierung für Einzelpersonen und deren Familien benennen.

Eine besondere Herausforderung für die Kommunikation ist die Beziehung zwischen Radon und Rauchen. Für Nichtraucher mit ihrem gegenüber Rauchern deutlich erniedrigten Lebenszeitrisiko für Lungenkrebs ist Radon einer der wichtigsten Risikofaktoren. Absolut betrachtet treten die meisten Lungenkrebsfälle und auch der Großteil der radonassoziierten Krebsfälle unter Rauchern auf. Andererseits sind die relativen Risikoerhöhungen per 100 Bq/m^3 bei Rauchern und Nichtrauchern den neueren Daten zufolge nicht unterschiedlich [2,3]. Insofern erscheint es sinnvoll, die Risikokommunikation mit einem integrierten Ansatz zu betreiben, der die kombinierten Risiken von Rauchen und Radon betont.

4.6 Nationale Radonprogramme

Ziele, Aufgaben und Komponenten eines nationalen bzw. regionalen Radonprogramms waren Thema einer weiteren Arbeitsgruppe, die aktuelle Programme untersuchte und Vergleiche durchführte.

Zur Charakterisierung des Radonproblems in einer Region oder Land sind repräsentative Radonsurveys ein zentrales Werkzeug. Sofern sich daraus Handlungsbedarf ergibt, wird die Entwicklung und Umsetzung eines strukturierten, mehrere Sektoren umspannendes Radonprogramms empfohlen. Neben der Fortsetzung von Surveys zur Radonmessung unter definierten Rahmenbedingungen soll ein solches Programm den Rahmen für die Risikoabschätzung, Radonmessungen samt Qualitätssicherung, Radonprävention und -sanierung sowie für die Risikokommunikation entwickeln.

Referenzwerte für innerhäusliche Radonkonzentrationen sollen einen Wert benennen, bei dessen Erreichung oder Überschreitung Maßnahmen zur Verminderung der Radonkontrolle ergriffen werden sollen. Die epidemiologischen Daten zeigen, dass ein Referenzwert nicht als eindeutig abgrenzender Wert zwischen Schaden und Schutz interpretiert werden kann. Daher können protektive Maßnahmen durchaus auch unterhalb des Referenzwertes berechtigt sein. Das entspricht dem ALARA-Prinzip (ALARA = as low as reasonably achievable) und trägt zur Verminderung der mittleren Radonkonzentration in Häusern bei.

Radon-Referenzwerte werden normalerweise auf nationaler Ebene erlassen. Das WHO Projekt hat die bestehenden Empfehlungen für Referenzwerte in einer größeren Zahl von Ländern geprüft und diskutiert [7]. Ein Wert von 100 Bq/m^3 wird als orientierender Referenzwert vorgeschlagen, wobei je

nach jeweiligen Prioritäten und Umständen auch Werte bis $<400 \text{ Bq/m}^3$ als Referenzwert akzeptabel sein können. Diese Vorschläge sind insgesamt konsistent mit den aktuellen Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP (mittlere Jahresdosis durch Radon $< 10 \text{ mSv}$) [8], insbesondere wenn der von UNSCEAR vorgeschlagene Konversionskoeffizient angewendet wird ($40 \text{ Bq/m}^3 = 1 \text{ mSv}$) [9]. Allerdings ist festzuhalten, dass Referenzwerte nur eine Komponente einer umfassenden Strategie zur Verminderung der Gesundheitslast durch Radon darstellen, die auch z.B. mit Nichtraucherschutz und Anti-Tabak-Programmen abgestimmt werden sollten. Diese Sichtweise berücksichtigt, dass der Großteil aller mit Radon zusammenhängenden Lungenkrebsfälle bei Personen auftritt, die gegenüber Radonkonzentrationen unterhalb des Referenzwertes exponiert sind.

5 Abschlußbemerkung

Die weltweiten Erfahrungen mit Ansätzen zur Kontrolle des innerhäuslichen Radon legen die Einschätzung nahe, dass nachhaltige und erfolgreiche Aktivitäten in diesem Bereich eine erhebliche Herausforderung bedeuten. Dies rührt unter anderem daher, dass der gesundheitliche Gewinn von Radonkontrollmaßnahmen, nämlich eine Verringerung des Lungenkrebsrisikos, erst nach einer langen Zeitspanne und grundsätzlich nicht für eine Einzelperson demonstrierbar ist. Diese langfristigen Trends werden zudem erheblich von der Entwicklung des Hauptrisikofaktors für Lungenkrebs, dem Rauchen, beeinflusst.

Noch sind viele Fragen offen, etwa zur Vergleichbarkeit von Radondaten oder in Bezug auf die besten Messverfahren in verschiedenen Situationen. Ein besonderes Problem stellt die Umsetzung der Erkenntnisse zu Radonrisiken in praktikable und Erfolg versprechende Programme dar. Das Internationale Radonprojekt der WHO strebt an, zur Lösung dieser Probleme beizutragen, indem es als Ressource für alle WHO Mitgliedsstaaten Wege aufzeigt, wie mit Radon als Umweltrisikofaktor umgegangen werden kann. Die WHO möchte Länder in ihren Bemühungen um eine Verminderung radonassoziierter Gesundheitsrisiken unterstützen und mit internationaler Zusammenarbeit zu diesem Ziel beitragen. Das neue WHO Radon Handbuch soll hierbei eine wichtige Rolle spielen.

6 Literaturverzeichnis

- [1] BEIR VI. Health Effects of Exposure to Radon - BEIR VI. Washington, D.C.:National Academy Press, 1999
- [2] Darby, S., et al.: Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies, *BMJ* 330:223, 2005
- [3] Krewski, D., et al.: A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer. *J.Toxicol.EnvIRON.Health.A*, 69: 533-597, 2006.
- [4] Lubin JH; Wang ZY; Boice JD, et al: Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. *Int J Cancer* 109, 132-137, 2004
- [5] Zielinski, J.M.; Carr Z.; Krewski D.: World Health Organization's International Radon Project, *J. Toxicol. Environ. Health* 69, 759, 2006
- [7] WORLD HEALTH ORGANISATION. WHO International Radon Project Survey on Radon Guidelines, Programmes and Activities. Geneva: World Health Organization, 2007
- [8] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP*, 37(2-4), 1-332, 2007
- [9] UNSCEAR 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, Vol I: Sources. New York: United Nations, 2000

BAURECHT UND RADON – ÖFFENTLICH-RECHTLICHE UND ZIVILRECHTLICHE ASPEKTE

CONSTRUCTION LAW AND RADON – RELATIONSHIPS TO ADMINISTRATIVE AND PRIVATE LAW

Frank Wachno

Landesdirektion Chemnitz

Zusammenfassung

Die Instrumente der kommunalen Bauleitplanung sind strukturell nicht geeignet, einen wirksamen Beitrag zum Radonschutz von Gebäuden zu liefern. Möglich sind hier lediglich unverbindliche Hinweise mit Warnfunktion zu Flächen mit besonderen Radonbelastungen.

Weder in der Sächsischen Bauordnung noch in untergesetzlichen Rechtsnormen oder eingeführten Technischen Baubestimmungen finden sich Bestimmungen, aus denen sich zum Zweck der Begrenzung von Radonkonzentrationen in der Raumluft konkrete Zielvorgaben oder Verpflichtungen zum Treffen baulich-technischer Schutzvorkehrungen ableiten lassen.

Solche Detailvorschriften sind jedoch notwendig, um Radonschutz „vollziehbar“ zu machen, denn allein die baupolizeiliche Generalklausel ist nicht geeignet, hinreichend konkretisierte Verpflichtungen für den am Bau beteiligten Personenkreis sowie die Baubehörden zu begründen.

Unzureichender Radonschutz kann zivilrechtliche Einstandspflichten für Planer, Bauunternehmer und Wohnraumvermieter hervorrufen. Solange eine obergerichtliche Rechtsprechung fehlt, lässt sich angesichts der Bandbreite der in der Diskussion befindlichen Empfehlungen nicht sicher einschätzen, welche Schutzstandards einzelne Untergerichte als jeweils vertraglich geschuldet ansehen werden.

Summary

The instruments of the municipal urban land-use planning are not likely structurally to deliver an effective contribution to the radon protection of buildings. Merely non-binding tips with warning function to surfaces with special radon charges are possible here.

Neither in the Saxon building code nor in non-legislative rules or introduced technical building regulations are found the regulations from which for the purpose of the limitation of radon concentrations in the space air concrete objectives or liabilities can be derived to the meeting of architectural-technical protective precautions.

Nevertheless, such detailed regulations are necessary to make radon protection "executable", because only the construction-police general clause is not likely to justify enough concretised liabilities for the circle of acquaintances involved in the construction as well as the building authorities.

Insufficient radon protection can cause civil deuce duties for planners, building contractors and living space renters. As long as a super judicial jurisprudence is absent, does not make in view of the fluctuation margin of the recommendations located in the discussion certainly estimate which protective standards look at single sub courts as in each case contractual owed.

1 Radonschutz und Bauleitplanung

Das Bauplanungsrecht als ein Kernbestandteil des öffentlichen Baurechts eröffnet unseren Städten und Gemeinden einen breiten Spielraum zur Steuerung des Baugeschehens auf ihrem Hoheitsgebiet. Das Grundgesetz garantiert in Art. 28 die kommunale Selbstverwaltung, worunter als zentraler Bereich die gemeindliche Planungshoheit fällt, zu deren Ausfüllung das Baugesetzbuch (BauGB) die bauleitplanerischen Handlungsmöglichkeiten der Kommunen näher ausgestaltet hat.

Den Gemeinden stellt das Baugesetzbuch (BauGB) zur Steuerung des Baugeschehens auf ihrem Hoheitsgebiet zur Verfügung den Flächennutzungsplan (§ 5 BauGB), den „klassischen“ Bebauungsplan (§§ 8, 9 BauGB), den vorhabenbezogenen Bebauungsplan, auch als Vorhaben- und Erschließungsplan bezeichnet (§ 12 BauGB), die Innenbereichssatzungen nach § 34 Abs. 4 BauGB sowie die Außenbereichssatzung gemäß § 35 Abs. 6 BauGB. Da Innen- und Außenbereichssatzungen im Kern den Zweck verfolgen, lediglich Klarheit über die generelle Bebaubarkeit einzelner Grundstücke herbeizuführen bzw. diese zu erleichtern, ohne nähere Anforderungen an die Art der Ausführung des einzelnen Bauvorhabens zu normieren, wird auf diese Satzungen in der Folge nicht mehr eingegangen.

1.1 Der Flächennutzungsplan

Nach § 5 BauGB hat der Flächennutzungsplan die Aufgabe, die sich aus der beabsichtigten städtebaulichen Entwicklung ergebende Art der Bodennutzung für das gesamte Gemeindegebiet in den Grundzügen darzustellen. Seine Funktion besteht dabei insbesondere darin, die unterschiedlichen Arten der in der Kommune vorhandenen und zukünftig vorgesehenen Bodennutzung (z.B. Wohnbau, Gewerbe, Landwirtschaft) eher grobmaschig aufzunehmen und im Grundsätzlichen einander so zuzuordnen, dass städtebauliche Konflikte (etwa lärmintensive Industrie unmittelbar neben einem Wohngebiet) vermieden werden.

Als sog. vorbereitender Bauleitplan stellt der Flächennutzungsplan das planerische Grundkonzept der Gemeinde dar, welches auf weitere Ausdifferenzierung namentlich in Gestalt einzelner Bebauungspläne angewiesen ist. Er verpflichtet die Gemeinde, seine Darstellungen künftigen Bebauungsplänen zugrunde zu legen (Entwicklungsgebot, § 8 Abs. 2 BauGB), stellt aber keine Rechtsnorm dar [1] und entfaltet insbesondere von ganz wenigen, hier nicht interessierenden Ausnahmen keine unmittelbare rechtliche Außenwirkung gegenüber dem Bürger. Schon von daher ist er nicht geeignet, Bauwillige zum Ergreifen bestimmter bautechnischer Schutzvorkehrungen zu verpflichten.

Allerdings enthält § 5 Abs. 3 BauGB einen Kennzeichnungsauftrag zu bestimmte Areale. So sollen etwa besonders gekennzeichnet werden Flächen, bei deren Bebauung besondere bauliche Vorkehrungen und Sicherungsmaßnahmen gegen äußere Einwirkungen und Naturgewalten erforderlich werden (Abs. 3 Nr. 1) sowie für eine bauliche Nutzung vorgesehene Flächen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind (Abs. 3 Nr. 3).

Zu den äußeren Einwirkungen und Naturgewalten zählen indes nur solche Phänomene, die unmittelbar auf den Bestand der baulichen Substanz einwirken wie z.B. ein potentieller Berggrutsch, Lawinen, Steinschlag oder Hochwasser [2]. Natürliche Ausgasungsvorgänge des Bodens werden hiervon nicht erfasst. Radon absondernde Flächen stellen auch keine erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belasteten Böden im Sinne von § 5 Abs. 3 Nr. 3 BauGB dar. Mit der Kennzeichnungspflicht für solche Flächen hat ebenso wie bei der Parallelvorschrift zum Bebauungsplan (§ 9 Abs. 5 Nr. 3 BauGB) die Altlastenproblematik Eingang in das BauGB gefunden. Erfasst werden lediglich Bodenbelastungen, zu deren näherer begrifflicher Konkretisierung auf das Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) zurückgegriffen werden kann, welches in § 2 Abs. 3 und 5 BBodSchG schädliche Bodenveränderungen sowie Altlasten gesetzlich definiert. Voraussetzung ist dabei, dass die Bodenbelastungen auf anthropogenen Eingriffen in die natürliche Bodenfunktion beruhen, was bei der natürlichen Bodenausgasung gerade nicht der Fall ist.

Möchte eine Gemeinde in ihrem Flächennutzungsplan gleichwohl auf besondere Radonbelastungen hinweisen, kann sie dies lediglich in rein informeller Weise tun, etwa im Rahmen der obligatorischen Planbegründung

1.2 Der „klassische“ Bebauungsplan

Der aus dem Flächennutzungsplan zu entwickelnde „klassische“ Bebauungsplan enthält gemäß § 8 Abs. 1 Satz 1 BauGB die rechtsverbindlichen Festsetzungen für die städtebauliche Ordnung. Er wird als Satzung beschlossen (§ 10 Abs. 1 BauGB) und entfaltet als ortsrechtliche Regelung unmittelbare rechtliche Außenwirkungen für die von der Planung Betroffenen.

Für die Inhalte des Bebauungsplanes gilt allerdings das Prinzip der Formstrenge, d.h. es können nur solche Festsetzungen getroffen werden, die gesetzlich ausdrücklich vorgesehen sind, namentlich in dem 26 Punkte umfassenden Katalog des § 9 Abs. 1 BauGB.

Gedankliche Anknüpfungsmöglichkeiten für Regelungen zum Radonschutz bietet hier allein § 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB. Nach dieser Vorschrift können aus städtebaulichen Gründen festgesetzt werden

die von der Bebauung freizuhaltenen Schutzflächen und ihre Nutzung, die Flächen für besondere Anlagen und Vorkehrungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstigen Gefahren im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sowie die zum Schutz vor solchen Einwirkungen oder zur Vermeidung oder Minderung solcher Einwirkungen zu treffenden baulichen und sonstigen technischen Vorkehrungen.

Zulässige Festsetzungen auf dieser Grundlage erfordern allerdings zwingend, dass sie zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstigen Gefahren im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) erfolgen.

Das BImSchG indes erfasst nur solche Emissionen und Immissionen, die im weitesten Sinne auf technischen Vorgängen, sei es durch den Betrieb von Anlagen oder die Verwendung von Stoffen, beruhen [3]. Die Einwirkungen von Radon als Ergebnis eines natürlichen Ausgasungsvorganges der Erdoberfläche fallen insoweit nicht in den Regelungsbereich des BImSchG. Daher ermöglicht es auch § 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB der Gemeinde nicht, in einem Bebauungsplan die Durchführungen von Maßnahmen zum Radonschutz verbindlich anzuordnen.

Unabhängig hiervon ermächtigt die Öffnungsklausel in § 9 Abs. 4 BauGB die Länder, durch Rechtsvorschriften zu bestimmen, dass auf Landesrecht beruhende Regelungen in den Bebauungsplan als Festsetzungen aufgenommen werden können. Damit ist zwar grundsätzlich ein Einfallstor geschaffen, durch welches theoretisch auch bauordnungsrechtliche Anforderungen an den Radonschutz Eingang in den Bebauungsplan finden könnten.

Von den Möglichkeiten dieser Öffnungsklausel macht die Sächsische Bauordnung (SächsBO) in ihrem § 89 Gebrauch. § 89 Abs. 1 SächsBO benennt einen Katalog von Gegenständen, zu denen die Gemeinden örtliche Bauvorschriften erlassen dürfen, welche gemäß § 89 Abs. 2 SächsBO auch in einen Bebauungsplan aufgenommen können. Inhaltlich ist den Gemeinden hier die Befugnis eingeräumt worden, durch ortsrechtliche Vorschriften im Wesentlichen bestimmte gestalterische Anforderungen an bauliche Anlagen stellen zu können. Regelungen zu bautechnischen Sicherheitsvorkehrungen zur Abwehr gesundheitlicher Gefahren sind nicht Bestandteil dieser Ermächtigung.

Hinsichtlich möglicher Kennzeichnungspflichten für besonders Radon belastete Flächen auf der Grundlage von § 9 Abs. 5 BauGB gilt das bereits zur Parallelvorschrift des § 5 Abs. 3 BauGB für den Flächennutzungsplan Ausgeführte. Mangels einer unmittelbaren Bauwerksschädigung durch Radon handelt es sich bei den einschlägig betroffenen Flächen nicht um solche, bei deren Bebauung besondere bauliche Vorkehrungen gegen äußere Einwirkungen oder bei denen besondere bauliche Sicherungsmaßnahmen gegen Naturgewalten erforderlich sind (Abs. 5 Nr. 1). Da die Radonausgasung weiterhin nicht auf Eingriffen des Menschen in die natürliche Bodenfunktion beruht, liegen auch keine Flächen vor, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet im Sinn von Abs. 5 Nr. 3 sind.

Auch ohne Verpflichtung zu einer Kennzeichnung bleibt es den Kommunen wiederum unbenommen, im Bebauungsplan zu Warnzwecken in geeigneter Weise auf hohe anzutreffende Radonkonzentrationen hinzuweisen, sowohl in der textlichen Begründung als auch durch Kennzeichnungen im zeichnerischen Teil des Planes.

1.3 Der vorhabenbezogene Bebauungsplan

Gemäß § 12 Abs. 1 BauGB kann die Gemeinde durch einen vorhabenbezogenen Bebauungsplan die Zulässigkeit von Vorhaben bestimmen, wenn der Vorhabenträger auf der Grundlage eines mit der Gemeinde abgestimmten Plans zur Durchführung der Vorhaben und der Erschließungsmaßnahmen (Vorhaben- und Erschließungsplan) bereit und in der Lage ist und sich zur Durchführung innerhalb einer bestimmten Frist ... verpflichtet (Durchführungsvertrag). Obwohl der Vorhaben- und Erschließungsplan (VEP) lediglich einen Teil des als Satzung zu beschließenden vorhabenbezogenen Bebauungsplanes bildet, werden in der Praxis beide Begriffe oftmals in synonyme Weise verwendet.

Im Gegensatz zum „klassischen“ Bebauungsplan als einer Angebotsplanung (bestimmt wird die zulässige Nutzung der Planflächen ohne Verpflichtung des Grundstückseigentümers, auch tatsächlich zu bauen) steht beim vorhabenbezogenen Bebauungsplan die tatsächliche Realisierung eines konkreten städtebaulichen Projektes durch einen leistungsfähigen Investor im Vordergrund. Zu diesem Zweck hat der Gesetzgeber hier den Kommunen weitergehende Regelungsmöglichkeiten eingeräumt und in § 12 Abs. 3 BauGB ausdrücklich bestimmt, dass im Bereich eines VEP die Gemeinde bei der Bestimmung der Zulässigkeit der Vorhaben nicht an den Festsetzungskatalog des § 9 BauGB und der Vorschriften der Baunutzungsverordnung (BauNVO) gebunden ist.

Damit hat es die planende Gemeinde in der Hand, z.B. bei der Neuausweisung eines Wohngebietes auf der Grundlage eines vorhabenbezogenen Bebauungsplanes für den Vorhabenträger auch bauplanungsrechtlich eine Verpflichtung zu begründen, nur solche Gebäude zu errichten, die einen festzulegenden Standard hinsichtlich des Radonschutzes einhalten.

2 Radonschutz und Bauordnungsrecht

Im Gegensatz zum Bauplanungsrecht, welches vereinfacht ausgedrückt regelt, *was wo* gebaut werden kann, befasst sich das Bauordnungsrecht mit der Frage, *wie* zu bauen ist. Dabei ist die Ermächtigung des Gesetzgebers, Anforderungen an das *Wie* der Bauausführung zu stellen, allerdings eingeschränkt. Unter der Geltung der Grundrechte ist der Staat nicht befugt, umfassende baugestalterische Vorgaben zu machen oder eigene bauästhetische Vorstellungen für verbindlich zu erklären. Reglementierungen zum *Wie* des Bauens sind im Kern nur zulässig, soweit dies der Abwehr von Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung dient. Als Gefahrenabwehrrecht handelt es sich beim Bauordnungsrecht um klassisches Polizeirecht, wie schon seine frühere Bezeichnung als *Baupolizeirecht* zum Ausdruck bringt.

2.1 Der normative Befund

Seine rechtliche Ausformung findet das Bauordnungsrecht in den Landesbauordnungen der Bundesländer, im Freistaat Sachsen also in der Sächsischen Bauordnung (SächsBO), den auf ihrer Grundlage erlassenen untergesetzlichen Vorschriften sowie sonstigen von der SächsBO in Bezug genommenen Normen.

2.1.1 Die „Generalklausel“, § 3 Abs. 1 SächsBO

Die zentrale Vorschrift des Bauordnungsrechtes, aus der sich letztlich alle spezielleren Anforderungen ableiten, ist die materielle Grundsatznorm des § 3 Abs. 1 SächsBO:

Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden.

Für viele Gefahrenbereiche finden sich in der SächsBO diese Generalklausel ausfüllende detaillierte Vorgaben. Den Begriff Radon indes sucht man dort vergeblich. Einen Anknüpfungspunkt bildet allein § 13 Abs. 1 SächsBO im Abschnitt „Allgemeine Anforderungen an die Bauausführung“ Unter der Überschrift „Schutz gegen schädliche Einflüsse“ wird bestimmt, dass bauliche Anlagen so angeordnet, beschaffen und gebrauchstauglich sein müssen, dass durch Wasser, Feuchtigkeit, pflanzliche und tierische Schädlinge sowie andere chemische, physikalische oder biologische Einflüsse Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen. Hieraus lässt sich lediglich ableiten, dass bauliche Anlagen so beschaffen und gebrauchstauglich sein müssen, dass durch die Einwirkung von Radon keine Gefahren entstehen. Dies geht kaum über das hinaus, was schon die Generalklausel verlangt.

Eine derart abstrakte Pflichtenumschreibung gewinnt praktische Relevanz nur dann, wenn aus ihr im Einzelfall spezifische Konsequenzen erwachsen (können), konkrete und auch durchsetzbare Handlungspflichten für den am Bau beteiligten Personenkreis begründet werden. Dazu muss zunächst Klarheit über das Vorliegen einer Gefahr bestehen. Unter diesem Zentralbegriff des allgemeinen Ordnungsrechtes ist ein Zustand zu verstehen, der bei ungehindertem Ablauf des objektiv zu erwartenden Geschehens zum Entstehen eines Schadens an den maßgeblichen Schutzgütern führt. Der Schadenseintritt muss dabei hinreichend wahrscheinlich sein; eine allgemeine Vermutung genügt demgegenüber ebenso wenig wie ein bloßer Schadensverdacht [4]. Der *Vorsorgegrundsatz* wird von der baurechtlichen Generalklausel nicht umfasst [5].

Die Annahme einer (bau-)polizeilichen Gefahr erfordert insoweit zunächst eine prognostische Entscheidung hinsichtlich des denkbaren Schadens. Dabei sind an den Grad der Wahrscheinlichkeit eines Schadenseintritts unterschiedliche Anforderungen zu stellen, abhängig von der Bedeutung des jeweiligen Schutzgutes. Je höherwertiger das betroffene Schutzgut erscheint und je größer der Umfang eines möglichen Schaden ist, desto geringere Anforderungen sind an die Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts zu stellen.

Zu unterscheiden ist weiterhin zwischen einer abstrakten und einer konkreten Gefahr. Eine abstrakte Gefahr liegt vor, wenn bestimmte Umstände und Verhaltensweisen nach der Lebenserfahrung generell mit einer hinreichenden Wahrscheinlichkeit zu einem Schaden führen können. Dies reicht aus, um zum Schutz vor möglichen Schäden z.B. Rechtsvorschriften auf der Grundlage von § 88 Abs. 1 SächsBO zu erlassen, die auch dann zu beachten sind, wenn im konkreten Einzelfall die jeweilige Gefahr nicht zu befürchten wäre.

Bauaufsichtliche Einzelanordnungen erfordern hingegen das Vorliegen einer konkreten Gefahr. Voraussetzung ist hier die prognostische Feststellung, dass im konkreten Einzelfall bei ungehindertem Geschehensablauf in absehbarer Zeit ein Schaden mit hinreichender Wahrscheinlichkeit eintreten wird.

2.1.2 Rechtsverordnungen

Auf der Grundlage von § 88 Abs. 1 Nr. 1 SächsBO ist die oberste Bauaufsichtsbehörde (das Sächsische Staatsministerium des Innern) befugt, im Wege einer Rechtsverordnung nähere Bestimmungen zu den allgemeinen Anforderungen an bauliche Anlagen zu treffen. Von dieser

Ermächtigung, eine denkbare Ausführungsverordnung zu § 13 SächsBO (Schutz gegen schädliche Einflüsse) zu erlassen, wurde bisher kein Gebrauch gemacht.

2.1.3 Eingeführte Technische Baubestimmungen

Auch für bestimmte technische Regeln unterhalb der Ebene von gesetzlicher Regelung und Rechtsverordnung gilt eine Verpflichtung zur Beachtung, nämlich für solche Regeln, die als Technische Baubestimmungen von der obersten Bauaufsichtsbehörde durch öffentliche Bekanntmachung förmlich eingeführt worden sind (§ 3 Abs. 3 S. 1 SächsBO).

Gerade im Bereich der Schadstoffeinwirkungen finden sich markante Beispiele für entsprechend eingeführte technische Regeln. Zu nennen hier etwa die Richtlinie für die Bewertung und Sanierung Pentachlorphenol(PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCP-Richtlinie), die Richtlinien für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden (Asbest-Richtlinie) oder die Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden, die Regelungen mit zum Teil enormer Detailschärfe zu Anwendungsbereichen, Arbeits- und Messverfahren sowie einzelnen Grenzwerten enthalten.

Für den Bereich Radon ist der Entwurf einer entsprechenden Richtlinie erarbeitet worden, welchen die Bauministerkonferenz im Dezember 2003 auch zustimmend zur Kenntnis genommen hat. Eine Einführung als Technische Baubestimmung ist es allerdings bis heute in keinem Bundesland erfolgt.

2.1.4 Die allgemein anerkannten Regeln der Technik

Allgemein anerkannte Regeln der Technik erfassen die technischen Regeln für den Entwurf und die Ausführung baulicher Anlagen, die in Wissenschaft und Praxis bekannt und als richtig und notwendig anerkannt sind. Es handelt sich hierbei um den wissenschaftlich-technischen Anforderungen genügende Festlegungen, welche von der herrschenden Meinung der in der Praxis tätigen Fachleute als richtig erkannt und angewandt werden [6].

Besondere formale Anforderungen werden an die allgemein anerkannten Regeln der Technik nicht gestellt, doch haben sie ganz überwiegend ihren schriftlichen Niederschlag in bestimmten Regelwerken erfahren wie z.B. den VdI-Richtlinien oder den DIN-Normen.

Rechtsnormcharakter kommt diesen Vorschriften als solchen nicht zu. Unmittelbare rechtliche Verbindlichkeit und das Erfordernis, sie zu beachten, erlangen sie nur aufgrund der förmlichen bauaufsichtlichen Einführung als Technische Baubestimmungen (§ 3 Abs. 3 SächsBO). Eine generelle Beachtungspflicht aller allgemein anerkannten Regeln der Technik, wie sie noch die SächsBO 1992 vorsah, wurde vom Gesetzgeber ersatzlos gestrichen.

Abgesehen davon ist auch inhaltlich zu Fragen des Radonschutzes, namentlich mit Blick auf anzuwendende Grenzwerte, kein solcher Konsens in allen beteiligten Fachkreisen erkennbar, der es erlauben würde, hier eine allgemein anerkannte Regel der Technik festzustellen.

2.1.5 Sonstige Vorschriften

Das Problemfeld Radon wird Arbeitsstättenrecht von den §§ 95, 96 der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) aufgegriffen. Die dortigen Regelungen haben allerdings keine baulich-technischen Schutzvorkehrungen oder Obergrenzen einer zulässigen Radonkonzentration in der Raumluft zum Gegenstand, sondern

limitieren lediglich die maximal zulässige Einwirkdosis für die einzelne beruflich strahlenexponierte Person bezogen auf einen bestimmten Zeitraum.

Auf Bundesebene wurden im Juli 2004 der Entwurf eines Gesetzes zum Schutz vor Radon beim Aufenthalt in Gebäuden (Radonschutzgesetz) sowie der Entwurf einer Verordnung zum Schutz vor ionisierenden Strahlen durch Radon beim Aufenthalt in Gebäuden (Radonschutzverordnung) vorgelegt, deren Regelungen Neubauten und die Sanierung von Gebäuden erfassen. Im überarbeiteten Entwurf des Radonschutzgesetzes vom März 2005 war vorgesehen, dass für Neubauten oder für Gebäude, die in ihrer Bausubstanz wesentlich geändert werden, ein Zielwert von 100 Bq/m^3 in der Raumluftkonzentration eingehalten werden muss. Die Einführung dieser Rechtsvorschriften ist bisher am einhelligen Widerstand der Länder gescheitert.

2.2 Die Vollzugsebene

Die Betrachtung der in Frage kommenden normativen Grundlagen hat ergeben, dass verbindliche Pflichten zum Treffen von Radonschutzvorkehrungen rechtstechnisch derzeit allein aus der bauordnungsrechtlichen Generalklausel ergänzt um die allgemeinen Anforderungen nach § 13 SächsBO (Schutz gegen schädliche Einflüsse) resultieren können. Fraglich ist nun, auf welchen Ebenen der Rechtsanwendung sich hieraus welche konkreten Schlussfolgerungen ziehen lassen.

2.2.1 Das Baugenehmigungsverfahren

Bei erstem Hinsehen scheint es nahe zu liegen, dass – sofern bei einem zur Genehmigung anstehenden Vorhaben Radon in gefährlichem Ausmaß auftreten kann – dies Auswirkungen auf die Baugenehmigung haben muss. Gleichwohl kommt der Frage hinreichenden Radonschutzes im Baugenehmigungsverfahren nur untergeordnete Bedeutung zu. Das „klassische“ Baugenehmigungsverfahren, innerhalb dessen die Baubehörde die vollumfängliche Übereinstimmung des beantragten Vorhabens mit allen Anforderungen des öffentlichen Rechts prüft, findet nur noch bei Sonderbauten statt (und selbst hier mit Einschränkungen, vgl. den begrenzten Prüfumfang gemäß § 64 SächsBO). In allen anderen Fällen ist – sofern ein Genehmigungsverfahren überhaupt noch ansteht und nicht die Genehmigungsfreistellung nach § 62 SächsBO greift – lediglich das sog. vereinfachte Baugenehmigungsverfahren gemäß § 63 SächsBO durchzuführen. Dieses ist, abgesehen von Hochhäusern, insbesondere für alle Wohngebäude einschlägig.

Das Charakteristikum des vereinfachten Baugenehmigungsverfahrens besteht in seinem eingeschränkten Prüfungsumfang, der im Wesentlichen allein die Einhaltung des Bauplanungsrechts zum Gegenstand hat. Ob das Vorhaben den bauordnungsrechtlichen Anforderungen entspricht, hat die Baubehörde hingegen nicht zu prüfen. Und was nicht zu prüfen ist, darf auch nicht in die Entscheidung über die Baugenehmigung einfließen. Der Baubehörde ist es damit insbesondere verwehrt, Vorgaben zu einer radongeschützten Bauweise zwecks Durchsetzung der bauordnungsrechtlichen Generalklausel etwa als Nebenbestimmung in eine Baugenehmigung aufzunehmen.

Als Anknüpfungspunkt bei Bauvorhaben innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile (dem sog. unbeplanten Innenbereich) kommt insoweit allein § 34 Abs. 1 Satz 2 BauGB in Betracht, wonach die Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse gewahrt bleiben müssen.

Hier ist aber zu berücksichtigen, dass diese Zulässigkeitsvoraussetzung allein städtebaulicher Art ist und nicht auch andere Belange mit umfasst, wie sie etwa das Bauordnungsrecht hinsichtlich technisch-konstruktiver Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse abdeckt [7]. Dem Erfordernis der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse kommt im Rahmen des § 34 BauGB nicht die Funktion zu, auch ohne weitergehenden städtebaulichen Bezug den Ausschluss jedweder mit

einer Gebäudenutzung möglicherweise verbundenen Gefährdungssituation zur bauplanungsrechtlichen Zulässigkeitsvoraussetzung zu erheben.

Um städtebauliche Missstände im engeren Sinn (also z.B. das unvermittelte Aufeinanderprallen von stark emittierenden Industriebetrieben mit benachbarter Wohnnutzung) handelt es sich bei unserer Fragestellung jedoch nicht. Denn es geht hier weniger um die Zulässigkeit von Wohnbauvorhaben am jeweiligen Standort aufgrund ihres städtebaulichen Kontextes, sondern vornehmlich darum, ob und welche technisch-konstruktiven Vorkehrungen notwendig sind, damit bestimmte Radonkonzentrationen in der Raumluft nicht überschritten werden. Dies betrifft vorrangig die Gewährleistung bauordnungsrechtlicher Sicherheitsanforderungen für das jeweilige Gebäude, im Kern aber nicht die Verhinderung eines städtebaulichen Missstandes. Insoweit gehört im Genehmigungsverfahren die Frage, ob bei der Verwirklichung des beantragten Vorhabens hinreichende bautechnische Standards zum Schutz vor Radon eingehalten sind, regelmäßig nicht zum auf das Bauplanungsrecht beschränkten Prüfprogramm der Behörde.

2.2.2 Bauaufsichtliches Tätigwerden

Hat der Gesetzgeber den Bauaufsichtsbehörden in den zurückliegenden Jahren die Möglichkeit, im Baugenehmigungsverfahren die Einhaltung bauordnungsrechtlicher Anforderungen präventiv zu kontrollieren, erheblich eingeschränkt, so ist hierdurch die Notwendigkeit stärker in den Vordergrund gerückt, rechtmäßige baurechtliche Zustände durch (nachträgliches) repressives bauaufsichtliches Tätigwerden herzustellen.

Denn nach wie vor haben die Bauaufsichtsbehörden darüber zu wachen, dass bei der Errichtung und Nutzung von baulichen Anlagen die öffentlich-rechtlichen Vorschriften eingehalten werden. Zur Wahrnehmung dieser Aufgabe sind sie befugt, die erforderlichen Maßnahmen zu treffen (§ 58 Abs. 2 SächsBO). Erhalten die Baubehörden Kenntnis von einem Verstoß gegen die einschlägigen öffentlich-rechtlichen Vorschriften, haben sie nach pflichtgemäßem Ermessen gegen diesen Verstoß vorzugehen und die Herstellung eines rechtmäßigen Zustandes zu verlangen.

Um auf dieser Grundlage tätig werden zu können, bedarf es zunächst der Feststellung eines Verstoßes gegen öffentlich-rechtliche Vorschriften. Wie wir gesehen haben, existieren keine speziellen Rechtsnormen, die Vorgaben zur Radonsicherheit von Gebäuden machen, so dass als Voraussetzung eines bauaufsichtlichen Einschreitens nur eine Verletzung der bauordnungsrechtlichen Generalklausel in Betracht kommt, also eine Gefahr für Leben und Gesundheit im Sinne von § 3 Abs. 1 SächsBO abgewehrt werden muss.

Aufgrund einer Vielzahl vorliegender epidemiologischer Studien kann heute als wissenschaftlich gesichert gelten, dass mit steigender Radonkonzentration in Wohnungen ein klarer Anstieg des Lungenkrebsrisikos für die Bewohner verbunden ist. Ihrer auf diesen Studien fußenden Risikobewertung legt die Deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) die Annahme einer linearen Expositions-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert zugrunde und geht dabei von einer Steigerung des Lungenkrebsrisikos um etwa 10% je 100 Bq/m³ Radonkonzentration in der Raumluft aus [8].

Diesen Ansatz stringent zu Ende gedacht hieße, dem Auftreten jedweden Radons, selbst im Rahmen der in Deutschland in Wohnungen durchschnittlich anzutreffenden Konzentration von etwa 50 Bq/m³ oder sogar unterhalb dieser Schwelle, eine Gesundheitsgefahr beizumessen. Dass dies nicht die Grundlage für die Annahme einer Polizeigefahr i.S.d. § 3 Abs. 1 SächsBO sein kann, liegt auf der Hand. Vorkehrungen zum Fernhalten jeglichen Radons aus der Raumluft sind allenfalls unter Laborbedingungen denkbar, sind im alltäglichen Baugeschehen schlichtweg nicht praktikabel und werden auch von niemandem gefordert. Die SSK selbst hält es nicht für sinnvoll, auch unter Annahme einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung isolierte Angaben zu Mortalitätsrisiken für Expositionen zu machen, die wesentlich unterhalb der Signifikanzgrenze der vorliegenden Studienergebnisse liegen [9]. Die untersten Signifikanzgrenzen liegen dabei bei etwa 100 Bq/m³.

Damit wird deutlich, dass das Vorliegen einer Gefahr im Rechtssinne, die weitergehende Pflichten für Planer und Bauherren sowie Eingriffsbefugnisse der Bauaufsichtsbehörden zu begründen vermag, erst oberhalb einer bestimmten Radonkonzentration einsetzen kann. Wo eine solche Grenze exakt zu

ziehen wäre, ist derzeit allerdings nicht allgemeinverbindlich feststellbar, wie eine kurze Umschau belegt.

Auf EU-Ebene sind Standardwerte genannt in der Empfehlung der Kommission vom 21. Februar 1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden [10]. Unterschieden wird zwischen bestehenden und neu zu errichtenden Gebäuden. Als Referenzwert, bei dessen Überschreitung Gegenmaßnahmen zur Verringerung der Radonwerte veranlasst seien, wird eine jährliche durchschnittliche Radonkonzentration von 400 Bq/m^3 angeführt. Als Planungswert, der mitgliedstaatlichen Regelungen für neu zu errichtende Gebäude zugrunde gelegt und nicht überschritten werden sollte, wird ein jährlicher durchschnittlicher Radonwert von 200 Bq/m^3 genannt.

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) hat 1994 für den Wohnungsbereich als Veranlassung zu Schutzmaßnahmen eine Spanne zwischen $200 - 600 \text{ Bq/m}^3$ angeführt. In ihren Empfehlungen von 2007 hält sie ausdrücklich die Benennung eines oberen Referenzwertes von 600 Bq/m^3 für ausreichend und stellt es den zuständigen nationalen Institutionen anheim, für ihr Land unter Berücksichtigung der jeweiligen gesellschaftlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen Optimierungen vorzunehmen [11].

Die SSK geht in ihren Empfehlungen aus dem Jahr 1994 [12] für den Wohnbereich, ohne zwischen Bestands- und Neubauten zu differenzieren, von einem „Normalbereich“ aus, welcher keine Maßnahmen erforderlich mache, der bei einer Radonbelastung im jährlichen Mittel von 250 Bq/m^3 endet. Der Bereich zwischen 250 und 1.000 Bq/m^3 gilt als „Ermessensbereich“, innerhalb dessen „einfache Maßnahmen“ zur Reduzierung der Exposition durch Radon angezeigt sind. Im Bereich oberhalb von 1.000 Bq/m^3 (Sanierungsbereich) sollte die Radon-Konzentration reduziert werden sollte, auch wenn dazu aufwendigere Maßnahmen notwendig werden. Bei Konzentrationen oberhalb von 15.000 Bq/m^3 ist eine Sanierung schnellstmöglich, längstens innerhalb eines Jahres, durchzuführen. Mittlerweile empfiehlt die SSK in ihrer Stellungnahme von 2005, bei der Entscheidung über konkrete Maßnahmen zur Reduzierung von Radonkonzentrationen in Wohnungen auch den Bereich unterhalb von 250 Bq/m^3 „zu berücksichtigen“ [13], ohne jedoch andere Werte konkret zu benennen.

Der Bund hat in seinem Entwurf eines Radonenschutzgesetzes für Neubauten und die wesentliche Änderung von Bestandsgebäuden eine Verpflichtung vorgesehen, solche Maßnahmen zu ergreifen, dass in Aufenthaltsräumen ein „Zielwert“ für die Raumluftkonzentration von 100 Bq/m^3 erreicht wird. Zweck des Gesetzes sollte sowohl der Schutz wie auch die Vorsorge gegen eine erhöhte Strahlenexposition der Menschen durch Radon beim Aufenthalt in Gebäuden sein. Der Widerstand der Länder gerade gegen die Grenzziehung 100 Bq/m^3 hat bisher eine Verabschiedung des Gesetzentwurfes verhindert.

Bauaufsichtliches Tätigwerden setzt eine konkrete Gefahr im Rechtssinne voraus, also einen Zustand, der im Einzelfall den Eintritt eines Schadens in überschaubarer Zukunft mit hinreichender Wahrscheinlichkeit erwarten lässt. Die vorliegend umrissenen epidemiologischen Befunde und die Bandbreite der hieraus entwickelten Empfehlungen, verbunden mit den divergierenden Vorstellungen des Bundes und der Länder über rechtlich gebotene Grenzwertsetzungen lassen es hier einfach nicht zu, im Wege der schlichten Begriffssubsumtion durch den Rechtsanwender dem Umschlagen eines abstrakten gesundheitlichen Gefährdungspotentials hin zur konkreten Polizeigefahr einen exakten Schwellenwert zuzuordnen. Die Festschreibung eines solchen Grenzwertes ist jedoch erforderlich, um wünschenswerte Radonenschutz-Standards auch vollziehbar zu machen. Die vor Ort handelnden Verwaltungsbehörden sind weder in der Lage noch kompetenzrechtlich überhaupt berufen, selbständig festzulegen, wo die Grenze verlaufen soll zwischen gesundheitsschützenden Maßnahmen, die Ausfluss des Vorsorgegrundsatzes sind, und solchen, die der unmittelbaren Gefahrenabwehr dienen. Hierzu bedarf es vielmehr einer rechtsnormativen Entscheidung, einer Festlegung allgemein-verbindlicher Standards durch die zuständigen staatlichen Institutionen (Gesetzgeber bzw. oberste Landesbehörden), wie sie bereits für nicht wenige anderweitige Schadstoffe in der Raumluft getroffen wurde. Damit werden auch sinnvolle Differenzierungen in den Anforderungen beispielsweise an Bestandsgebäude und neu zu errichtende Baulichkeiten denkbar, die bei einer ausschließlichen Anknüpfung an den Gefahrenabwehrbegriff nicht möglich wären. Denn die Schadensgeneigtheit einer bestimmten Radonkonzentration lässt sich nicht unterschiedlich beurteilen, je nach dem, ob sie in einem bestehenden oder in einem noch zu errichtenden Gebäude auftritt.

Schließlich sollte auch nicht außer Acht gelassen werden, dass das repressive bauaufsichtliche Instrumentarium bereits strukturell nur sehr bedingt geeignet erscheint, fehlende konkret-normative Schutzstandards zu kompensieren. Die baubehördlichen Aufsichts- und Eingriffsbefugnisse zielen im Kern weniger darauf ab, dem Bauherrn bestimmte Baumaßnahmen positiv vorzugeben, vielmehr steht zunächst nur die Unterbindung rechtswidrigen Bauens und einer rechtswidrigen Nutzung im Vordergrund. So beschränken sich die speziellen baubehördlichen Eingriffsermächtigungen in den §§ 79, 80 SächsBO auf die Befugnisse, die Einstellung der Bauarbeiten anzuordnen, die Baustelle zu versiegeln, Arbeitsgeräte wegzunehmen und die Beseitigung schon errichteter Anlagen oder das Verbot ihrer Nutzung zu verfügen.

Tritt nun eine überhöhte Radonkonzentration nur in wenigen Räumen eines Gebäudes auf, kann es zur Abwehr der damit verbundenen Gefahr ausreichen, ein Verbot der Nutzung dieser Räumlichkeiten zu dauerhaften Aufenthaltszwecken auszusprechen. Wegen der Vorrangigkeit der speziellen Eingriffsbefugnisse scheidet dann ein Rückgriff auf die Generalermächtigung in § 58 Abs. 2 SächsBO aus und es besteht keine Möglichkeit, positive technisch-konstruktive Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration zu verlangen. Auch insoweit ermöglicht das Bauordnungsrecht derzeit keine umfassende Durchsetzung einer radongeschützten Bauweise.

3 Zivilrechtliche Berührungspunkte

Da der am Bau beteiligte Personenkreis durchweg auch in privatrechtlichen Beziehungen miteinander steht, ist nun zu fragen, ob sich hieraus Verpflichtungen zum Treffen weitergehender Schutzmaßnahmen ergeben. Dabei ist zunächst festzuhalten, dass das Zivilrecht wesentlich vom Grundsatz der Vertragsfreiheit geprägt wird. Die vertragsschließenden Parteien haben es zu allererst selbst in der Hand, die wechselseitig zu erfüllenden Pflichten exakt festzulegen. Ein für die Radonproblematik sensibilisierter Bauherr wird es dabei nicht versäumen, schon beim Abschluss eines Architektenvertrages oder dem Eingehen eines Werkvertrages mit einem Bauunternehmen zur Errichtung seines Wohnhauses in die Vereinbarung Vorgaben zur Einhaltung hinreichenden Radonschutzes aufzunehmen.

Vertragsinhalt können konkret bezeichnete bauliche Vorkehrungen werden, aber auch eine Einstandspflicht des Architekten oder Bauunternehmers für die Einhaltung der Empfehlungen bestimmter Institutionen, etwa der Deutschen Strahlenschutzkommission. Diese Empfehlungen, die aus sich heraus noch keine unmittelbaren Rechtsbindungen entfalten, werden in einem solchen Fall allein durch die Einbeziehung in den Vertrag für die Vertragspartner rechtsverbindlich.

Schwieriger wird die Situation, wenn konkrete vertragliche Regelungen fehlen. Es stellt sich dann die Frage, ob sich aus den für das zivile Vertragsrecht maßgeblichen gesetzlichen Vorschriften Anforderungen hinsichtlich des Radonschutzes ableiten lassen. Die explizite Benennung von Radon wird man auch im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) oder in der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) vergeblich suchen.

Die Radonproblematik weist jedoch Bezüge zu verschiedenen bürgerlich-rechtlichen Vertragstypen auf. Ein Anknüpfungspunkt ist der Werkvertrag, durch den sich ein Bauunternehmer zur Herstellung eines Gebäudes verpflichtet. Zu nennen ist weiterhin als Unterfall des Werkvertrages der Architekten- oder Ingenieurvertrag mit dem Schwerpunkt ordnungsgemäße Planung, ggfls. Ausführung und Überwachung des Bauvorhabens. Betroffen kann schließlich auch der Mietvertrag sein, wenn Radon in vermieteten Wohn- oder Gewerberäumen auftritt.

Für den Werkvertrag gilt, dass der Unternehmer nach §§ 631 Abs. 1, 633 Abs. 1 BGB das herzustellende Werk dem Besteller frei von Sach- und Rechtsmängeln zu verschaffen hat. Was einen Sachmangel darstellt, bestimmt der Gesetzgeber nach Art eines Ausschlussverfahrens, indem er definiert, wann kein Sachmangel vorliegt. Das Werk ist gemäß § 633 Abs. 2 BGB frei von Rechtsmängeln, wenn es die vereinbarte Beschaffenheit hat oder es sich - soweit eine Beschaffenheit nicht vereinbart ist - für eine ggfls. vertraglich vorausgesetzte, ansonsten gewöhnliche Verwendung eignet und eine Beschaffenheit aufweist, die bei Werken der gleichen Art üblich ist und die der Besteller nach der Art des Werks erwarten kann.

Für das Mietverhältnis bestimmt § 535 Abs. 1 BGB, dass der Vermieter dem Mieter die Mietsache in einem zum vertragsgemäßen Gebrauch geeigneten Zustand zu überlassen und sie während der Mietzeit in diesem Zustand zu erhalten hat. Besitzt die Mietsache einen Mangel, der ihre Tauglichkeit zum vertragsgemäßen Gebrauch ganz oder teilweise aufhebt, wird der Mieter in entsprechendem Maße von der Mietzahlung frei (§ 536 Abs. 1 BGB), eventuell ergänzt um die Möglichkeit zur fristlosen Kündigung aus wichtigem Grund (§ 543 BGB).

Mithin schulden nach den gesetzlichen Vorgaben Architekt, Bauunternehmer und Vermieter jeweils die Planung, die Errichtung und das Zur-Verfügung-Stellen von Gebäuden bzw. Räumen in einem solchen Zustand, der die Räumlichkeiten als zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen tauglich und geeignet erscheinen lässt.

Die Einhaltung welcher Standards notwendig ist, um einem Bauwerk die Geeignetheit und Tauglichkeit zum dauerhaften Aufenthalt zuerkennen zu können, lässt sich den einschlägigen zivilrechtlichen Vorschriften nicht entnehmen. Zwar kann noch – auch ohne ausdrückliche Anordnung in einer Rechtsnorm – als gesichert gelten, dass Wohngebäude und Arbeitsstätten jedenfalls dann nicht geeignet und tauglich zur Erreichung des jeweiligen Vertragszweckes sind, wenn der Aufenthalt in ihnen mit nachweislichen Gefahren für Leib, Leben und Gesundheit verbunden ist. Damit ist wenig gewonnen, denn es stellt sich nun die gleiche Frage wie bereits zum Bauordnungsrecht, nämlich anhand welcher Kriterien ein abschließendes Urteil über das Vorliegen einer relevanten gesundheitlichen Gefährdung und damit die Ordnungsgemäßheit der in den Vertragsbeziehungen erbrachten Leistungen gefällt werden soll.

Zur Beantwortung kann auch auf Regelungen aus anderen Rechtsgebieten, die sich auf den Gegenstand der vertraglichen Pflichten auswirken, zurückgegriffen werden. Bauplanungs- und bauordnungsrechtliche Vorgaben wären hier grundsätzlich beachtlich, doch lassen sich derzeit dem öffentlichen Baurecht gerade keine verbindlichen Standards zum Radonschutz entnehmen.

Im Regelfall gehört zu den vertraglichen Pflichten des Werkvertrages die Beachtung der anerkannten Regeln der Technik (im Einzelnen nicht ganz unstrittig, jedenfalls für den VOB-Vertrag ausdrücklich angeordnet in § 4 Nr. 2 Abs. 1 VOB/B). Jedoch weist der aktuelle Diskussionsstand in Wissenschaft und Praxis keinen solchen Konsens auf, der es erlauben würde, die Nichtüberschreitung einer exakt quantifizierten Radonmenge in der Raumluft als anerkannte Regel der Technik einzustufen.

Im Zusammenhang mit der Errichtung von Gebäuden wird der Architekt oder Bauingenieur regelmäßig mit der Erstellung einer Genehmigungsplanung beauftragt. Ihm obliegt es dabei, eine genehmigungsfähige Planung vorzulegen. Erweist sich die Planung als dauerhaft nicht genehmigungsfähig, ist das Werk unabhängig von einem Verschulden des Entwurfsverfassers mangelhaft. Auch dieser Aspekt führt jedoch nicht weiter, da fehlender Radonschutz - wie schon erörtert – in aller Regel keine Versagung der Baugenehmigung zur Folge hat.

Kommt es wegen des Auftretens von Radon in Gebäuden zu werk- oder mietvertraglichen Rechtsstreitigkeiten, verfügt der Zivilrichter mithin ebenso wenig wie der Verwaltungsrechtler über vollziehbare Rechtsnormen, denen sich konkrete Anforderungen an Radonschutzvorkehrungen entnehmen lassen.

Obergerichtliche Rechtsprechung zu Fragen eines zivilrechtlich geschuldeten Radonschutzes liegt bis heute ersichtlich nicht vor. Auf unterer Ebene ist eine unveröffentlichte Entscheidung des LG Zwickau - Az. 2 O 43/05 - aus dem Jahr 2005 bekannt, das sich mit der fristlosen Kündigung eines Mietvertrages über Gewerberäume wegen der dort aufgetretenen Radonkonzentration zu befassen hatte. Messungen des gerichtlich bestellten Sachverständigen ergaben in den Räumlichkeiten der Gewerbehalle eine Radonbelastung zwischen 1200 und 1700 Bq/m³. Unter Hinweis auf die Aussagen der SSK aus dem Jahr 2004, dass ein zusätzliches Lungenkrebsrisiko bereits im Bereich einer Radonkonzentration größer 140 Bq/m³ bestehe und oberhalb 250 Bq/m³ mit einer relativen Erhöhung des Lungenkrebsrisikos von mehr als 20% gerechnet werden müsse, hat das Gericht eine erhebliche Gesundheitsgefährdung angenommen, die zur sofortigen Kündigung berechtige.

Ohne die Entscheidung trotz der unbesehenen Übertragung von Risikobewertungen zu Wohnräumen auf Arbeitsstätten im Ergebnis in Frage stellen zu wollen, steht sie allerdings im Einklang mit einer Herangehensweise, die in der veröffentlichten Judikatur - auch wenn Radon hier bisher keinen Platz hat - zu anderen Schadstoffen in der Raumluft anzutreffen ist.

Da das Gericht regelmäßig über keine eigene vertiefte Sachkenntnis zur Gesundheitsschädlichkeit der jeweiligen Fremdstoffe verfügt, wird hierüber prozessual Beweis erhoben durch Gutachten eines bestellten Sachverständigen. Dieser nimmt sodann gerade für Bereiche, zu denen keine rechtsnormativen Vorschriften vorliegen, Bezug auf „Empfehlungen“ oder sonstige Hinweise, „Richtwerte“ oder „Zielwerte“ einschlägig befasster Institutionen wie zum Beispiel dem Umweltbundesamt, die nun wiederum das Gericht seiner Entscheidung zugrunde legt.

Hierdurch werden solche „Empfehlungen“ faktisch zu beachtungspflichtigen anerkannten Regeln der Technik, ohne dass immer sauber danach differenziert würde, ob der jeweils empfohlene Standard zur Abwehr einer nachweislichen Gesundheitsgefährdung konkret erforderlich ist oder es sich um fachlich durchaus wünschenswerte, aber letztlich allein aus dem Vorsorgegedanken herrührende Anforderungen handelt.

Damit ist die Bandbreite richterlicher Spruchpraxis aber noch nicht ausgeschöpft. Auch ohne Nachweis einer konkreten Gesundheitsgefährdung hat das OLG Oldenburg einen Werkmangel angenommen, wenn die Raumluft fünf Monate nach dem Einbau von Parkett noch in einem Maß mit Ethylacetat und n-Butanol belastet ist, wie es üblicherweise in Haushalten nicht vorkommt, da allein ein begründeter Gefahrenverdacht zur Bejahung eines Sachmangels ausreiche [14].

Noch weiter ging das Landgericht Lübeck. Die zu entscheidende Mietstreitigkeit betraf einen PCP-Fall vor Einführung der PCP-Richtlinie. Das Gericht führte aus, zwar sei in Wissenschaft, Rechtsprechung und Lehre bisher streitig, ab welchem Grenzwert in der Raumluft eine Gesundheitsschädlichkeit anzunehmen sei. Weder hierauf noch darauf, ob überhaupt PCP in der Raumluft vorhanden sei, komme es aber nicht an. Denn für die Annahme eines Sachmangels sei es ausreichend, dass die Behandlung von Holzteilen in der Wohnung mit PCP und Lindan feststehe [15].

Auf der anderen Seite hat das Landgericht Berlin angenommen, dass eine nachgewiesene Belastung der Raumluft mit PAK, die unter Berücksichtigung von Empfehlungen des Bundesumweltamtes erst mittelfristig Maßnahmen erforderlich werden lässt, keinen zur Mietminderung berechtigenden Sachmangel darstellt [16].

Vor der Hintergrund dieser wenig konsistenten richterlichen Spruchpraxis kann nicht ausgeschlossen werden, dass gerade die unterinstanzliche Zivilrechtsprechung in Fällen, bei denen Radon nennenswert über den durchschnittlich anzutreffenden Konzentrationen auftritt und insbesondere die von der SSK empfohlenen Richtwerte überschreitet, das Vorliegen eines Sachmangels im Sinne des Werkvertrags- und Mietrechts bejahen wird. Dies muss nicht grundsätzlich verwundern, da ein zivilrechtlicher Sachmangel auf einer Abweichung der Ist-Beschaffenheit von der vertraglich geschuldeten Soll-Beschaffenheit beruht. Dass dabei die im Einzelfall geschuldete Soll-Beschaffenheit einen höheren Sicherheitsstandard beinhalten kann als das Nichtbestehen einer konkreten Polizeigefahr im Sinne des Bauordnungsrechts, erscheint eher selbstverständlich.

Gerade für den verantwortlichen Planer eines Wohngebäudes ist dabei ein gewisses wirtschaftliches Risiko, wegen unzureichenden Radonschutzes in Anspruch genommen zu werden, nicht ausgeschlossen, das er durch eine eingehende Beratung im Vorfeld minimieren kann. Dass allerdings insoweit das Zivilrecht generell einen höheren Sicherheitsstandard als das Bauordnungsrecht verlangt, kann ebenso wenig festgestellt werden wie sich aus dem bisherigen Stand der Zivilrechtsprechung auch keine weitergehenden allgemeingültigen Maßstäbe zur Bewältigung der Radonproblematik ableiten lassen.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Söfker, in Ernst/Zinkahn/Bielenberg, BauGB, Kommentar, § 5 Rdnr. 7
- [2] Löhr, in Battis/Krautzberger/Löhr, BauGB, Kommentar, 10. Aufl., § 5 Rdnr. 38
- [3] Dietlein, in Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Kommentar, Bd. 1, BImSchG, § 2 Rdnr. 30
- [4] vgl. Jäde in Jäde/Dirnberger/Böhme, Bauordnungsrecht Sachsen, SächsBO, § 3 Rdnr. 13
- [5] Lechner in Simon/Busse, Bayerische Bauordnung, Art. 3 Rdnr. 151
- [6] Jäde in Jäde/Dirnberger/Böhme, Bauordnungsrecht Sachsen, SächsBO, § 3 Rdnr. 62

- [7] Söfker, in Ernst/Zinkahn/Bielenberg, BauGB, Kommentar, § 34 Rdnr. 66
- [8] Lungenkrebsrisiko durch Radonexpositionen in Wohnungen, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 199. Sitzung (www.ssk.de/werke/w2005.htm)
- [9] Attributives Lungenkrebsrisiko durch Radon-Expositionen in Wohnungen, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 208. Sitzung (www.ssk.de/werke/w2006.htm)
- [10] Amtsblatt Nr. L 080 vom 27/03/1990 S. 0026 – 0028
- [11] ICRP 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103
- [12] Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 124. Sitzung (www.ssk.de/werke/w1994.htm)
- [13] siehe Nachweis bei [8]
- [14] OLG Oldenburg, Urt. v. 14.10.1998 – 2 U 179/98 –, zit. nach juris
- [15] LG Lübeck, Urt. v. 06.11.1997 – 14 S 135/97 –, zit. nach juris
- [16] LG Berlin, Urt. v. 17.08.2004 – 64 S 368/03 –, zit. nach juris

RADON IN BAUMATERIALIEN

RADON IN BUILDING MATERIALS

Bernd Hoffmann

Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

Zusammenfassung

Aus allen mineralischen Baumaterialien tritt Radon aus. Gerade bei den Wandbildnern stellt sich die Frage nach der Relevanz dieser Emission als Zulassungskriterium. Es werden verschiedene Messmethoden hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile diskutiert. Ergebnisse repräsentativer Messungen des BfS bestätigen, dass der Anteil der Baustoffe an der Radonbelastung gegenüber dem geogenen Radons in deutschen Häusern meistens gering ist.

Summary

Radon emanates from all mineral building materials. Especially for the bulk wall materials the question of relevance of the emission as a criterion for approval is of general interest. Different measurement methods are discussed in view of their respective advantages and disadvantages. Results of representative measurements of the BfS confirm the minor contribution of building material to the exposure to radon in German houses compared to the geogenic radon.

1 Hintergrund

Aufgrund ihrer geologischen Entstehung enthalten alle zur Herstellung von Baumaterialien verwendeten Rohstoffe einen bestimmten Anteil an natürlicher Radioaktivität, insbesondere an Kalium-40 und den Radionukliden der Uran-238- und der Thorium-232-Zerfallsreihe. Dies führt sowohl zu einer externen Exposition der in den Häusern lebenden Menschen durch Gammastrahlung als auch zu einer Abgabe von Radon und somit einer inneren Exposition durch Inhalation der Radonzerfallsprodukte.

Im Jahr 1989 wurde die europäischen „Bauproduktenrichtlinie“ (BPR) [1] verabschiedet, die die wesentlichen Anforderungen an die Brauchbarkeit eines Produktes definiert und das Vorgehen zur CE-Kennzeichnung regelt. Sie enthält in Artikel 7 die Forderung zur Erarbeitung harmonisierter Normen. Im Anhang I (Wesentliche Anforderungen) dieser Richtlinie ist unter Punkt 3 (Hygiene, Gesundheits- und Umweltschutz) u.a. der Schutz vor „Emissionen gefährlicher Strahlen“ genannt, wobei im Sinne des Strahlenschutzes darunter sowohl die äußere Exposition als auch die Inhalation von Radon zu verstehen ist. Die Umsetzung der BPR in deutsches Recht erfolgte 1992 mit dem Bauproduktengesetz (BauPG) [2].

Daraus folgend wurde ein Auftrag an das Europäische Komitee für Normung (CEN) zur Erarbeitung einer harmonisierten Norm für Emissionen von gesundheitsgefährdenden Stoffen aus Baumaterialien

erteilt. Eine Expertengruppe, das sog. Technical Committee (TC) 351 „Bewertung der Freisetzung gefährlicher Substanzen aus Bauprodukten“ mit fünf Arbeits- und dazu gehörenden Beratungsgruppen wurde gebildet, diesen Auftrag umzusetzen. Die AG Radioaktivität hat den primären Auftrag, bis 2011 einen „State of the art-report“ zu erarbeiten.

Im Jahre 1999 publizierte die Europäischen Kommission einen Bewertungsansatz hinsichtlich des Strahlenschutzes, die Radiation Protection 112 „Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials“ [3]. In einigen europäischen Länder, wie z. B. Polen [4], Österreich [5] und den Niederlanden [6], existieren mittlerweile Normen und Regelungen, die eine Begrenzung der Radionuklidkonzentration und implizit und/oder explizit der Radonexhalation als Zulassungsgrundlage für Bauprodukte beinhalten oder eine Messmethode zur Ermittlung der Radonexhalation vorschreiben.

In Deutschland fehlen bisher verbindliche Regeln zur Bewertung der von Bauprodukten ausgehenden Strahlenexposition und zu Messverfahren für deren Ermittlung, im Besonderen der Radonexhalation. Diese sind jedoch für die vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) zu erteilenden bauaufsichtlichen Zulassungen entsprechend der Musterbauordnung [7] und der Landesbauordnungen notwendig, sobald der Strahlenschutz als Zulassungskriterium aufgenommen werden sollte.

Des Weiteren fehlt es an einer systematischen Erhebung von in Deutschland aktuell eingesetzten mineralischen Baustoffen. Die bisher durchgeführten und publizierten Werte umfassten im Wesentlichen Messungen im Auftrag der Industrie zur Eignungsprüfung industrieller Zuschlagsstoffe (z.B. Flugaschen oder Hochofenschlacken) sowie Fertigbaustoffe mit oftmals nur ungenau bekannter Zusammensetzung [z.B. 8].

Im Rahmen einer Untersuchung in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (bbs) wurden in den letzten beiden Jahren durch das BfS eine Reihe von aktuellen Baustoffen untersucht, mit dem Ziel, eine repräsentative Erhebung der Konzentration natürlicher Radionuklide und der Radonexhalationsraten und damit eine Abschätzung der zu erwartenden Belastung der Bevölkerung zu ermitteln. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.

Hier sollen die vom BfS verwendeten Messmethoden vorgestellt und erste Ergebnisse präsentiert werden.

2 Messmethoden zur Bestimmung der Exhalation

2.1 Grundlagen

Zur Bestimmung der Radonabgabe eines Baustoffes existieren zahlreiche verschiedener Messmethoden [z.B. 9, 10, 11]. Die Vergleichbarkeit der Resultate verschiedener Messmethoden ist dabei nicht gewährleistet [12]. Auch hängt die Exhalationsrate von verschiedenen Parametern, wie z. B. Probengeometrie, Feuchte, Temperatur und Alter des Materials, ab.

Die in Deutschland bisher überwiegend eingesetzte und von der Industrie akzeptierte Methode ist die Bestimmung der flächenbezogenen Exhalationsrate mittels zeitaufgelöster Spektroskopie der elektrostatisch abgeschiedenen Zerfallsprodukte in einem der Probe aufgesetztem Messvolumen [8, 13]. Vorteil dieser Methode ist die direkte Bestimmung der flächenbezogenen Exhalationsraten von Radon und Thoron unter Kontrolle des zeitlichen Verlaufes und des Spektrums. Des Weiteren ist es möglich, in realitätsnahen und in realen Einbausituationen zu messen. Nachteilig wirken sich die feuchteabhängige Effizienz der elektrostatischen Abscheidung und mögliche Leckraten aus. Auch liegt nur bei größeren Messvolumina in guter Näherung eine freie Exhalation vor [14].

Die niederländische Norm NEN 5699 [6] beschreibt einen anderen Weg. Der ganze Probenkörper wird in ein Messvolumen eingebracht und kontinuierlich mit Luft geregelter Feuchte und Temperatur umströmt. Das austretende Radon wird mit einer Kältefalle gesammelt und z.B. mittels Flüssigszintillationszähler oder gammaspektroskopisch die Zerfallsprodukte quantifiziert. Diese Vorgehensweise, die vergleichbar mit der Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen

(VOC) ist, vermeidet die Nachteile der ersten Methode, lässt aber nur mit größerem apparativen Aufwand im Labor die Bestimmung gewichtsbezogener Exhalationsraten zu.

Bei den laufenden Untersuchungen des BfS werden zu Vergleichszwecken zur Qualitätssicherung zwei unabhängige Messmethoden eingesetzt. Beide Methoden basieren auf der Messung des Emanationskoeffizienten \mathfrak{M} , d.h. dem Anteil des im Material freigesetzten Radons, das durch den Porenraum der Luft außerhalb der Probe zugänglich ist.

Die Exhalationsrate kann aus den Emanationskoeffizienten mit den Parametern

- effektiver Diffusionskoeffizient D^* ,
- Materialdichte ρ ,
- Zerfallskonstante des Radons λ_{Rn} ,
- Materialdicke: d ,
- Radiumaktivitätskonzentration: C_{Ra-226}

über die Gleichung

$$\Phi = R \cdot \rho \cdot \lambda_{Rn} \cdot \varepsilon \cdot C_{Ra-226} \cdot \tanh\left(\frac{d}{2 \cdot R}\right) \quad (1)$$

bestimmt werden [15]. Dabei steht

$$R = \sqrt{D^2 / \lambda_{Rn}} \quad (2)$$

für die sogenannte Diffusionslänge von Radon im porösen Material. Betrachtet man den Fall, dass der Zerfall des Radons innerhalb der Probe keine Rolle spielt, d. h. dass die Diffusionslänge groß gegenüber der Probendicke ist, so vereinfacht sich die Gleichung zu

$$\Phi = \rho \cdot \lambda_{Rn} \cdot \varepsilon \cdot C_{Ra-226} \cdot d / 2 \quad (3).$$

Diese konservative Annahme gilt für den Großteil der gemessenen Baustoffe (siehe z. B. [8]).

Der Emanationskoeffizient kann in einfacher Weise mit gekörntem Material bestimmt werden. Dabei muss gewährleistet sein, dass der Korndurchmesser sehr viel kleiner als die Diffusionslänge R ist. Diese Forderung ist bei einem Korndurchmesser von weniger als 4 mm praktisch immer erfüllt. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, muss die Emanationsrate bei einem definierten Feuchtigkeitsgehalt bestimmt werden.

2.2 Messmethode 1: abgeschlossenes Volumen, Szintillationskammern

Primär wird bei diesem Verfahren die Sättigungskonzentration gemessen, die sich nach dem Einschließen der Pulverprobe in einem gasdichten Volumen einstellt. Die in diesem Luftvolumen enthaltene Radonaktivität beschreibt im Gleichgewicht den Anteil der vom Radium produzierten Radonotope, der in das Luftvolumen übergegangen ist.

Nach standardisierter Vorbehandlung des Materials (Zermahlen, Trocknung) wird eine definierte Menge des gekörnten Materials abgewogen (ca. 200 g), in ein Volumen von ca. 250 ml abgefüllt, dicht verschlossen und für eine definierte Zeit von mehr als 12 Tagen gelagert. Nach Ablauf dieser Zeit wird dem Gesamtvolumen durch Absaugung mittels vorevakuiertes Szintillationskammer ein Teilvolumen entnommen. Aus der Messung der Radon-222-Aktivität in der Szintillationskammer kann

die gesamte im Probenvolumen vorhandene Radon-222-Aktivität bestimmt werden und daraus wiederum der Emanationskoeffizient.

Der Vorteil dieser Methode liegt in der relativ hohen Sättigungskonzentration und der damit verbundenen geringen Messunsicherheit. Problematisch ist die Gewährleistung der Radondichtheit der Probenbehälter und der mit dem Einstellen des Gleichgewichtes verbundenen Lagerungszeit.

2.3 Messmethode 2: offenes Volumen, Zweifiltermethode

Bei dieser Methode wird der Probenbehälter kontinuierlich mit radonfreiem Stickstoff gespült. Das in der Probe gebildete Radon wird dabei mit dem Stickstoff in eine Messkammer überführt. Radonfolgeprodukte, die sich vor der Messkammer gebildet haben, werden durch einen ersten Filter am Einlass der Messkammer zurückgehalten. Die Radonfolgeprodukte, die sich dann innerhalb der Kammer bilden, werden auf einem zweiten Filter abgeschieden und mittels eines Halbleiterdetektors (Oberflächensperrschichtdetektor) alphaspektroskopisch gemessen. Aus der Radonfolgeproduktmessung kann auf die Radonkonzentration im Stickstoffstrom und weiter auf die Emanation in der Probe geschlossen werden.

Im Gegensatz zur ersten Methode ist der Einfluss von Undichtigkeiten bei geeigneten Randbedingungen vollständig auszuschließen. Bei einer Messzeit von 24 Stunden wird eine sehr geringe untere Nachweisgrenze von ca. 0,24 Bq/m³ im Stickstoffstrom erreicht. Nachteilig wirkt sich der hohe Stickstoffverbrauch aus.

3 Ergebnisse

Beide Messverfahren ergaben im Rahmen ihrer Messunsicherheit vergleichbare Werte. Die Unsicherheit des Messverfahrens mit abgeschlossenem Volumen konnte mit konservativen Annahmen zu kleiner als 50% abgeschätzt werden, wobei der größte Einzelbetrag zur Gesamtunsicherheit durch mögliche Leckraten verursacht wird. Die Unsicherheit der offenen Methode wird durch die geringe nachzuweisende Radonkonzentration im Stickstoffstrom bestimmt und liegt noch über der Unsicherheit der ersten Methode. Bei beiden Verfahren laufen derzeit umfangreiche Optimierungsuntersuchungen.

Da die interne Dosis letztendlich von der Innenraumluftkonzentration abhängt, diese wiederum sehr stark mit den baulichen Gegebenheiten und dem Nutzungsverhalten variiert, wird die Bewertung üblicherweise für einen hypothetischen Modellraum vorgenommen. Die durch die Exhalation aus Baustoffen zu erwartende Innenraumkonzentration lässt sich mittels

$$C_{Rn} \approx \frac{A \cdot \Phi}{V \cdot v} \quad (4)$$

aus den Modellraumparametern

- gesamte innere Wandfläche $A = 38 \text{ m}^2$
- Volumen $V = 17,4 \text{ m}^3$
- Luftwechselzahl $v = 0,5 \text{ h}^{-1}$

und der bestimmten Radonexhalationsrate (in Bq/m²h) abschätzen.

Die bisher so ermittelten Radonbeiträge an industriellen Baustoffen liegen ausnahmslos unterhalb von 20 Bq/m³ und damit – verglichen dem durchschnittlichen geogenen Radonbeitrag in Häusern -

auf einem niedrigen Niveau. Die Schwankungsbreiten innerhalb der Produktgruppen sind dabei sehr groß. Fliesen, Gipsprodukte, Kalksandstein, Putze, Mörtel, Estriche und Porenbeton führen zu Radonkonzentrationen von 0 – 4 Bq/m³, Ziegel von 1 – 12 Bq/m³, Zement, Leichtbeton und Beton von 1 – 18 Bq/m³.

Sollen die äußere Exposition und die durch Radon verursachte interne Exposition verglichen werden, ist die Umrechnung der Radonkonzentration in eine effektive Dosis erforderlich. Der dazu notwendige Dosiskonversionsfaktor ist Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen. Bei Verwendung des Koeffizienten lt. UNSCEAR 2000 entspricht - bei einer für die Bevölkerung unterstellten Aufenthaltszeit in Häusern von ca. 7000 Stunden pro Jahr (d. h. 19 Stunden pro Tag) - eine Radonkonzentration von 40 Bq/m³ einer effektiven Dosis von 1 mSv/a. Bei Verwendung des Dosiskoeffizienten gemäß ICRP 65 von 60 Bq/m³ für 1 mSv/a wären die errechneten Dosen um 1/3 geringer. Ziegel führen damit zu einer geschätzten internen Dosis von bis ca. 0,3 mSv/a, Zement, Leichtbeton und Beton bis ca. 0,4 mSv/a.

Die externe Exposition kann mittels RP 112 [3] abgeschätzt werden. Bei Ziegeln, Leichtbeton und Beton wurde eine Dosis zwischen 0,3 und 1 mSv/a ermittelt, für alle anderen Produktgruppen liegt die externe Dosis unter 0,3 mSv/a.

Für die Mehrzahl der Baumaterialgruppen wurde somit eine Gesamtdosis unterhalb von 1 mSv/a abgeschätzt. Dieser Wert kann lediglich bei den letzten drei Produktgruppen, die allerdings die Massenprodukte darstellen, leicht überschritten werden. In keinem Fall wurde eine Gesamtdosis von 2 mSv/a erreicht.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG), geändert durch die Richtlinie des Rates 93/68/EWG vom 22. Juli 1993
- [2] Gesetz über das Inverkehrbringen von und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten zur Umsetzung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte vom 10. August 1992
- [3] Radiation Protection 112 „Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials“, European Commission, Internet: http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/112_en.pdf (besucht am 19. 8. 2008)
- [4] Regulation of the council of ministers of 2 January 2007 on the requirements imposed on the content of natural radioisotopes: potassium K-40, radium Ra-226 and thorium Th-228 in raw materials and materials applied in buildings for the accommodation of people and livestock, and in industrial waste applied in construction, and the control of radioisotope content. Journal of Laws No. 4, Item 29, Internet: <http://www.paa.gov.pl/en/?frame=1.2> (besucht am 19. 8. 2008)
- [5] Österreichisches Normungsinstitut ÖNORM S 5200, Radioaktivität in Baustoffen, 1. 4. 1996
- [6] NEN 5699, Radioactivity measurements – Determination method of the rate of the radon exhalation of dense building materials, Nederlands Normalisatie-instituut, 2001
- [7] Musterbauordnung (MBO), Internet: <http://www.bauordnungen.de/html/musterbauordnung.html> (besucht am 19. 8. 2008)
- [8] G. Keller, B. Hoffmann, T. Feigenspan, Radon permeability and radon exhalation of building materials. The Science of the Total Environment, 272, p. 85-89, 2001
- [9] K. Kovler, Radon exhalation of hardening concrete: monitoring cement hydration and prediction of radon concentration in construction site, Journal of Environmental Radioactivity, 86 p. 354-366, 2006

- [10]C. Ferry, P. Richon, A. Beneito, J. Cabrera, J.-C. Sabroux, An experimental method for measuring the radon-222 emanation factor in rocks, *Radiation Measurements*, 35(6), p. 579 – 583, 2002
- [11]N.D. Chau, E. Chruściel, Ł. Prokólski, Factors controlling measurements of radon mass exhalation rate, *Journal of Environmental Radioactivity*, 82, p. 363-369, 2005
- [12]N.P. Petropoulos, M. J. Anagnostakis, S. P. Simopoulos, Building materials radon exhalation rate: ERRICCA intercomparison exercise results, *The Science of the Total Environment*, 272, p. 109-118, 2001.
- [13]K.-H. Folkerts, Theoretische und experimentelle Untersuchungen über Diffusion und Exhalation der natürlich radioaktiven Edelgase ^{222}Rn (Radon) und ^{220}Rn (Thoron) aus Baustoffen und deren praktische Bedeutung für die Strahlenexposition in Wohnräumen, Dissertation, Universität des Saarlandes, 1983
- [14]C. Samuelsson, H. Pettersson, Exhalation Of ^{222}Rn from Porous Materials, *Radiation Protection Dosimetry*, 7 (1-4), p. 95-100, 1984.
- [15]J. Porstendöfer, Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air, *Journal of Aerosol Science*, 25, p. 219-263, 1994

NEUE ASPEKTE DER RADONMESSUNG IN GEBÄUDEN

NEW ASPECTS OF THE RADON MEASUREMENT IN BUILDINGS

Flesch¹, Hermann², Jobski², Leißring³, Löbner⁴, Schulz¹ in alphabetischer Folge

¹) IAF – Radioökologie GmbH

²) B.P.S. Engineering GmbH

³) Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX

⁴) Wismut GmbH

Zusammenfassung

Durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie wurden die Firmen IAF - Radioökologie GmbH, WISMUT GmbH, Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX und B.P.S. Engineering GmbH mit der Studie „Radon in öffentlichen Gebäuden“ beauftragt. In der Studie wurden 6 Gebäude, d.h. je zwei Rathäuser, Ortsämter und Schulen mit unterschiedlichen Gebäudetypen und Nutzungsarten untersucht. Im Ergebnis der komplexen Untersuchungen wird ein Vorschlag zum Radon-Screening in öffentlichen Gebäuden vorgestellt, der sowohl aktive Messungen mit Radonmonitoren, passive integrierende Langzeitmessungen als auch integrierende Langzeitmessungen in den Zeitfenstern „Arbeitszeit“ und „nicht Arbeitszeit“ integriert. In der Auswertung wird gezeigt, dass die Ergebnisse der integrierenden Langzeitmessungen die Arbeitszeit zu ca. 20 % beinhalten und das Gesamtergebnis durch die restliche Zeit von ca. 80% außerhalb der Arbeitszeit maßgeblich beeinflusst wird. Die Untersuchungen zeigen, dass diese Messungen eine worst-case Situation darstellen und zur Ableitung von Expositionen und möglichen Maßnahmen ungeeignet sind. Das vorgestellte Bewertungsschema bietet die Möglichkeit, diese integrierenden Langzeitmessungen entweder sofort oder durch ergänzende Messungen als Bewertungsgrundlage nutzen zu können. Für zukünftige Radon-Screening-Messungen werden aus den Untersuchungen sinnvolle Methoden abgeleitet. Es wird darauf hingewiesen, dass das Bewertungsschema einen Vorschlag für die weitere Vorgehensweise darstellt, die jedoch durch weitere Untersuchungen an öffentlichen Gebäuden mit anderen Nutzungsszenarien validiert werden muss.

Summary

The companies IAF - Radioökologie GmbH, WISMUT GmbH, Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX and B.P.S. Engineering GmbH were instructed with the study „radon in public buildings“ by the Saxon regional authority for environment and geology. In that study 6 buildings, i.e. two city halls, local offices and schools with different building types and kinds of utilisation were examined. In the result of the complex investigations a proposal is introduced to the Radon-Screening in public buildings which integrates active measurements with radon monitors, passive integrating long time measurements as well as integrating long time measurements in the time windows "working hours" and „non - working hours“. In the evaluation it is shown that the results of the integrating long time measurements the working hours are contained to approx. 20% and the whole result is decisively influenced by the remaining time of approx. 80% beyond the working hours. The investigations show that these measurements display a worst-case situation and are inexpedient for the derivation of expositions and possible measures. The introduced assessment pattern offers the possibility to be able to use these integrating long time measurements either immediately or by complementary

measurements as a basis of evaluation. For future radon screening measurements sensible methods are derived from the investigations. It is pointed out to the fact that the assessment pattern shows a proposal for the other approach which must be validated, nevertheless, by other investigations in public buildings with other scenarios of utilisation.

1 Vorbemerkungen

Die Firmen IAF - Radioökologie GmbH, WISMUT GmbH, Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX und B.P.S. Engineering GmbH wurden als Bietergemeinschaft im Rahmen eines Werkvertrages durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) beauftragt, das Vorhaben "Radon in öffentlichen Gebäuden" zu bearbeiten.

Nachdem in Sachsen schon verschiedene Projekte zur Erfassung der Radonsituation in Wohngebäuden durchgeführt wurden, sollte im Rahmen dieses Vorhabens die Situation in öffentlichen Gebäuden untersucht werden, da sich diese wegen der spezifischen Nutzungsbedingungen von Wohngebäuden unterscheiden. Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie dargestellt.

In der Abb. 1 sind beispielhaft die Ergebnisse für einen Büroraum im 2. Obergeschoss dargestellt. Es ist im linken Bild klar zu erkennen, dass immer mit Beginn der Arbeitszeit die Radonkonzentration im Zimmer stark abfällt, während sie nach Feierabend wieder ansteigt. Dieser Sachverhalt ist in der rechten Abbildung anhand des gemittelten Tagesgangs in prägnanter Weise ablesbar. Zu Beginn der Arbeitszeit (etwa 8 Uhr) fällt die Radonkonzentration im Raum von knapp 200 Bq/m³ auf Werte von ca. 50 Bq/m³. Nach Feierabend, wenn die Türen und Fenster geschlossen sind, steigt die Radonkonzentration wieder an und erreicht zu Arbeitsbeginn den höchsten Wert.

Einen weiteren Einblick in das Systemverhalten des gesamten Gebäudes liefert die mittlere Radonkonzentration an Wochenenden und Feiertagen. Zwei Merkmale dieser Darstellung sind bedeutsam. Zuerst ist zu konstatieren, dass die mittlere Radonkonzentration höher liegt als während der arbeitsfreien Stunden an gewöhnlichen Arbeitstagen. Viel wichtiger ist jedoch die Erkenntnis, dass an den Wochenenden, wenn keine Nutzung besteht, die Radonkonzentration, verglichen zu den Arbeitstagen, annähernd konstant ist. Dies kann nur dadurch entstehen, dass sich ohne die direkte Nutzung im Raum eine Art von Fließgleichgewicht ausbilden kann, dass sich aus dem Radonreservoir des Hauses und den bei geschlossenen Türen und Fenstern bestehenden Luftwechsel einstellt.

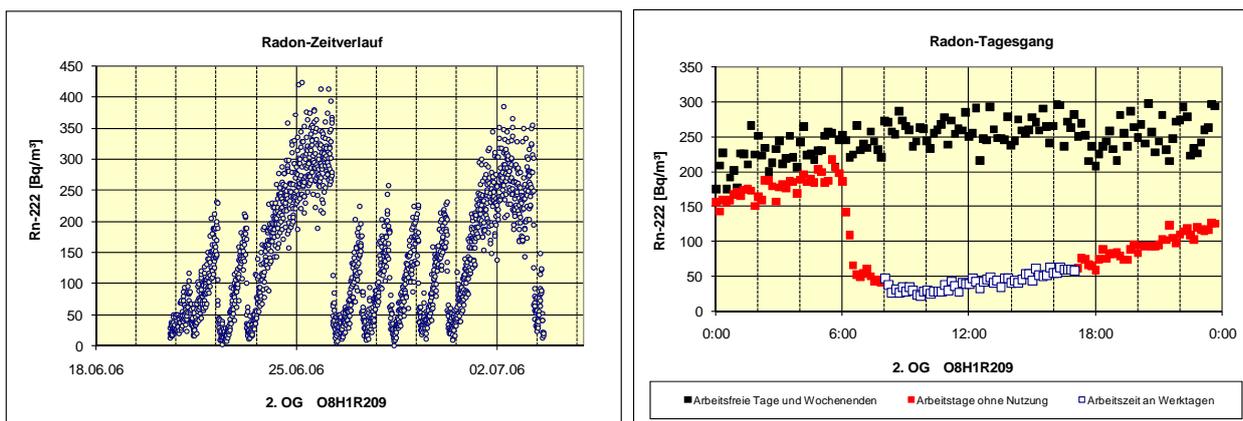


Abb. 1: Beispielhafte Darstellung des Radon-Zeitverlaufes und des Radon-Tagesgangs

Die Durchführung von Radon-Screenings in öffentlichen Gebäuden und der Bewertung der Messergebnisse beruht auf den Ergebnissen zu ausgewählten Gebäudetypen und Nutzungsarten. Es wurden 6 Gebäude, d.h. je zwei Rathäuser, Ortsämter und Schulen untersucht. Es ist vom gegenwärtigen Sachstand denkbar, dass die im Rahmen des Projekts "Radon in öffentlichen

Gebäuden" gewonnenen Erkenntnisse auch auf andere Typen von öffentlichen Gebäuden wie Krankenhäuser, Büro- und Verwaltungsgebäude, Kindergärten etc. verallgemeinert werden können. Diese Verallgemeinerung müsste jedoch durch entsprechende Untersuchungen belegt werden. Im Folgenden wird aufbauend auf den durchgeführten Untersuchungen eine vereinfachte Herangehensweise vorgeschlagen, wie bei Radon-Screenings in öffentlichen Gebäuden und der Bewertung der Messergebnisse vorgegangen werden sollte.

2 Festlegung einer geeigneten Anzahl der Messpunkte

Es ist im Sinne einer Screening-Messung nicht erforderlich, in jedem Raum zu messen. Eine Mindestanzahl der Messpunkte N_{MP} ergibt sich, wenn

- in jeder Etage und im Keller jeweils in 3 Räumen gemessen wird.

Bei großen Gebäuden könnte eine statistische Anpassung an die Gesamtanzahl der Räume N_R zielführend sein:

- Falls mehr als 50 Räume vorhanden sind, kann die Anzahl der Messpunkte nach $N_{MP} = 2\sqrt{N_R}$ abgeschätzt werden, wobei N_R die Anzahl aller Räume des Gebäudes ist.
- Bei $N=36$ Räumen, sollten in etwa 12 Räumen Radon-Screening-Messungen durchgeführt werden, bei $N=100$ etwa in 20 Räumen.

3 Messdauer und Messmethode

Die Messdauer und die Messmethode hängen stark von der Nutzung des Raums ab. Die Raumnutzung sollte im Vorfeld der Messungen durch entsprechende Befragungen oder Recherchen spezifiziert werden. Es werden 4 Varianten diskutiert, die gegenwärtig praktiziert werden, um die Radonsituation in öffentlichen Gebäuden zu erfassen:

- Variante (1) Zeitauflösende Messungen mit Radonmonitoren,
- Variante (2) Passive Messungen der Radonkonzentration mit Hilfe von Kernspurdetektoren,
- Variante (3) Passive Messungen der Radonkonzentration mit Hilfe von Kernspurdetektoren während und außerhalb der Arbeitszeit,
- Variante (4) Kombination der Variante (1) mit den Varianten (2) und (3).

3.1 Variante (1) Zeitauflösende Messungen mit Radonmonitoren

In möglichst vielen Räumen zeitauflösend die Radonkonzentration über einen Zeitraum von ca. 10 Tagen messen, wobei nach Möglichkeit zwei Wochenenden eingeschlossen sein sollten.

Vorteil: Die Variante (1) ist sehr differenziert einsetzbar, kann aber auch wegen der Bereitstellung der Radonmessgeräte und dem damit verknüpften Handling kostenintensiv sein. Es hat sich gezeigt, dass bei Erfassung des Gesamtsystemverhaltens des Gebäudes eine Messung im 10-Minuten- oder 1-Stunden-Rhythmus von ca. 10 Tagen (2 Wochenenden eingeschlossen) ausreichend ist, die tatsächliche Exposition während der Arbeitszeit realistisch abzuschätzen. Diese Methode liefert überdies genaue Aussagen über das Wechselspiel von Radonkonzentration und Nutzungsverhalten und ermöglicht, die Ursachen hoher Radonkonzentrationen zu erkennen und Problemlösungen

anzustreben. Die Aussagekraft dieser Methode wurde im Rahmen des Projekts "Radon in öffentlichen Gebäuden" detailliert untersucht.

Nachteil: Wegen der Kosten für einen Radonmonitor und den Kosten für Auf- und Abbau der Geräte sind zeitauflösende Messungen für ein Radon-Screening in großen öffentlichen Gebäuden nur in Ausnahmefällen finanziell zu vertreten. Für das Verstehen der allgemeinen Radonsituation in einem Gebäude und der Ableitung von Sanierungsmaßnahmen sind sie jedoch unverzichtbar.

3.2 Variante (2) Passive Messungen der Radonkonzentration mit Hilfe von Kernspurdetektoren

In möglichst vielen Räumen die Radonkonzentration über einen Zeitraum von 1 - 3 Monaten mit Hilfe von Kernspurdetektoren messen.

Vorteil: Die Variante (2) ist sehr kostengünstig. Deshalb kann die mittlere Radonkonzentration in vielen Räumen eines Gebäudes gemessen werden.

Nachteil: In öffentlichen Gebäuden oder Schulen sind Räume nur etwa 20% der Zeit genutzt, so dass die Radonsituation in der arbeitsfreien Zeit den weitaus größten Beitrag zum gemessenen Mittelwert liefert. Da jedoch nur zeitgemittelte Radonkonzentrationswerte für die untersuchten Räume für den gesamten Zeitraum zur Verfügung stehen, kann mit der Variante (2) nur eine beschränkte Information über die tatsächliche Expositionssituation während der Raumnutzung gewonnen werden. Keine Aussagen zur Identifikation von Quellen im Sanierungsfall möglich.

Bemerkung: Die Untersuchungen im Rahmen des Projekts "Radon in öffentlichen Gebäuden" zeigten, dass dennoch mit Variante (2) unter Einbeziehung der Nutzungsgewohnheiten eine Relativierung der gemessenen Langzeitmittelwerte der Radonkonzentrationen vorgenommen werden kann (siehe Kap. 5).

3.3 Variante (3) Passive Messungen der Radonkonzentration mit Hilfe von Kernspurdetektoren während und außerhalb der Arbeitszeit

In möglichst vielen Räumen eines Gebäudes die Radonkonzentration über einen Zeitraum von 1 - 3 Monaten separat während und außerhalb der Arbeitszeit mit Hilfe von Kernspurdetektoren in zwei unterschiedlichen Zeitregimen zu messen.

Vorteil: Die Variante (3) ist sehr kostengünstig und erfasst die tatsächliche Exposition sehr sicher, wenn die Expositionszeit mit der vorprogrammierten Schaltzeit übereinstimmt.

Nachteil: Die Kernspurdetektoren müssen in ein batteriegetriebenes Schaltmodul positioniert werden, um eine separate Exposition der Detektoren zu garantieren. Keine Aussagen zur Identifikation von Quellen im Sanierungsfall möglich.

Bemerkung: Die Variante (3) erfasst die tatsächliche Exposition sehr sicher, wenn die Expositionszeit mit der vorprogrammierten Schaltzeit übereinstimmt. Sie ist in vielerlei Hinsicht aus ökonomischen Gründen alternativlos. Die Schaltmodule können wiederverwendet werden.

3.4 Variante (4) Kombination der Variante (1) mit den Varianten (2) und (3)

In ausgewählten Räumen zeitauflösend die Radonkonzentration im 10-Minuten- oder 1-Stunden-Rhythmus über einen Zeitraum von ca. 10 Tagen messen, wobei nach Möglichkeit zwei Wochenenden eingeschlossen sein sollten. Gleichzeitig wird in diesen und anderen Räumen die mittlere Radonkonzentration mit Hilfe von Kernspurdetektoren über den gesamten

Untersuchungszeitraum (Variante (2)) oder mit den Schaltmodulen (Variante (3)) separat während und außerhalb der Arbeitszeit gemessen.

Vorteil: Die Variante (4) ist sehr differenziert einsetzbar. Ihre Aussagekraft hinsichtlich der tatsächlich zu veranschlagenden Radonexposition wurde im Rahmen des Projekts "Radon in öffentlichen Gebäuden" sehr detailliert untersucht und stellt nach den vorliegenden Erkenntnissen die Vorzugslösung dar, die Gesamtradonsituation zu erfassen. Diese Variante liefert wie Variante (1) die erforderlichen Aussagen über das Wechselspiel von Radonkonzentration und Nutzungsverhalten und ermöglicht, Ursachen hoher Radonkonzentrationen zu erkennen und Problemlösungen anzustreben.

Nachteil: Die Variante (4) ist für einen Routinebetrieb und generelles Radon-Screening wegen des möglichen Kostenfaktors (Bereitstellung von Radonmonitoren) weniger geeignet. Für das Verstehen der allgemeinen Radonsituation in einem Gebäude und der Ableitung von Sanierungsmaßnahmen ist ein Vorgehen, wie durch Variante (4) vorgegeben, die Methode der Wahl.

4 Zusatzinformation zu den jeweiligen Räumen

Für die Bewertung der Radonsituation ist eine Reihe von Zusatzinformationen erforderlich, die nachfolgend aufgelistet sind:

- Wie oft wird der Raum genutzt?
 - Regelmäßige Nutzung: ca. 40 Std. pro Woche oder mehr
 - Sporadische Nutzung: < 10 Std. pro Woche
 - Seltene Nutzung: < 2 Std. pro Woche
- Charakterisierung des Raums
 - Fenster werden nachts immer verschlossen,
 - Türen am Tag geöffnet,
 - Fenster am Tage angekippt,
 - Lüftungssysteme vorhanden,
 - sichtbare lufttechnische Anbindungen zu anderen Räumen bestehen,
 - etc.
- Charakterisierung des Gebäudes
 - Alter und Lage des Gebäudes,
 - Aufbau des Gebäudes,
 - etc.

5 Bewertung der Messergebnisse und Handlungsschema

Es wird davon ausgegangen, dass nach Abschluss der Messung mit Hilfe von Kernspurdetektoren (vgl. Variante (2)) von mehreren Wochen oder Monaten ein mittlerer Radonkonzentrationswert C_{Rn} für die Gesamtzeit vorliegt. Diese Radonkonzentration enthält a priori keine Information über die Höhe der Radonkonzentration, die während der Arbeitszeit zu veranschlagen ist und ob tatsächlich ein Radonrisiko besteht. Es wird vorgeschlagen, einen Schwellenwert C_{SW} zu betrachten, der festlegt, ob vertiefende Untersuchungen zur Erfassung der Radonexpositionssituation während der Arbeitszeit erforderlich sind oder nicht.

- Ist $C_{Rn} < C_{SW}$, sind keine vertiefenden Untersuchungen erforderlich, d.h. es ist beim Unterschreiten des Schwellenwerts davon auszugehen, dass auch während der

Arbeitszeit durch die durch die Raumnutzung bedingte Absenkung der Radonkonzentration ein Auftreten eines Radonrisikos nicht zu besorgen ist.

- Ist $C_{Rn} > C_{SW}$, können entweder pauschale oder detailliertere Bewertungen der Radonsituation durchgeführt werden. Grundvoraussetzung ist jedoch in jedem Fall, dass das Systemverhalten des Gebäudes bzw. des betrachteten Raums qualitativ verstanden ist.

Handelt es sich z.B. um einen Typ von Gebäude, über den bereits Erfahrungswerte vorliegen, könnte auf zusätzliche zeitauflösende Kurzzeitmessungen mit Radonmonitoren (ca. über eine Woche) in ausgewählten Räumen verzichtet werden. Falls keine Erfahrungswerte vorliegen, sollten in Abhängigkeit von den Messergebnissen der Langzeitmessungen nachträglich Informationen über das Systemverhalten des Gebäudes hinsichtlich des Radontransports und des Luftwechsels gewonnen werden. Es ist davon auszugehen, dass mit dem Anwachsen der Anzahl der Untersuchungsergebnisse über unterschiedlichste öffentliche Gebäude auch der Grad der Pauschalierung stetig anwachsen kann.

Regelmäßige Nutzung

Eine regelmäßige Raumnutzung liegt vor, wenn der Raum mindestens oder ca. 40 Std. pro Woche genutzt wird. Für die Abschätzung der Radonexposition wird die während der Aufenthaltszeit (Arbeitszeit) zu veranschlagende Radonkonzentration $\langle C_{Rn} \rangle$ im Raum (als Schätzwert) aus dem Ergebnis der Langzeitmessung C_{Rn} wie folgt berechnet:

$$\langle C_{Rn} \rangle = (1 - \alpha) \cdot 30 \frac{Bq}{m^3} + \alpha \cdot C_{Rn} \quad (1)$$

Der erste Term berücksichtigt, dass die Radonkonzentration im Raum nicht unter die der Außenluft fallen kann, für die hier 30 Bq/m³ angenommen wurde. Der Parameter α ist eine empirisch zu bestimmende Größe, die zwischen null und eins variiert. Sie wird durch den während der Arbeitszeit herrschenden Luftwechsel und die Kopplung des Raums an das Radonreservoir des Gebäudes bestimmt. Bei großen Luftwechseln tendiert $\alpha \rightarrow 0$, bei Nichtnutzung des Raums $\alpha \rightarrow 1$, so dass beide wichtigen Grenzfälle erfasst sind. Beispielhaft wird im Folgenden $\alpha \approx 0.5$ betrachtet. Welcher Faktor tatsächlich zu berücksichtigen ist, der auch gleichzeitig ein gewisses Maß an Konservativität enthält, können nur weiterführende Untersuchungen zeigen.

Ist beispielhaft im Langzeitmittel (4 - 12 Wochen) eine Radonkonzentration von $C_{Rn} = 200$ Bq/m³ in einem Raum gemessen worden, wird nach Gl. (1) die während der Aufenthaltszeit zu veranschlagende Radonkonzentration mit $\langle C_{Rn} \rangle \approx 115$ Bq/m³ abgeschätzt. Erst bei einer Langzeitradonkonzentration von ca. 400 Bq/m³ würde bei einem regelmäßig genutzten Raum die für die Arbeitszeit zu veranschlagende Radonkonzentration etwa 200 Bq/m³ erreichen.

Im Ergebnis der hier durchgeführten Abschätzungen könnte ein Schwellenwert von $C_{SW} \approx 400$ Bq/m³ eingeführt werden. Die Fortführung der Untersuchungen und Berücksichtigung weiterer empirischer Daten könnte die Schwankungsbreite des Schwellenwerts, die mit der Raumnutzung eng verknüpft ist, weiter eingrenzen.

Sporadische oder seltene Nutzung

Eine sporadische oder seltene Raumnutzung liegt vor, wenn der Raum weniger als 10 Stunden in der Woche genutzt wird. In dem Fall sollte für die Abschätzung der Radonexposition die zu veranschlagende Radonkonzentration $\langle C_{Rn} \rangle$ während der Aufenthaltszeit (Arbeitszeit) im Raum nach folgender zu Gl. (1) komplementärer Näherung berechnet werden:

$$\langle C_{Rn} \rangle = (1 - \beta) \cdot 30 \frac{Bq}{m^3} + \beta \cdot C_{Rn} \quad (2)$$

Erste Auswertungen zeigen, dass der Parameter β bei 0,8 anzusiedeln ist. Ist z.B. im Langzeitmittel (4 - 6 Wochen) $C_{Rn} = 250 \text{ Bq/m}^3$ gemessen worden, ergibt sich für die Radonkonzentration während der Aufenthaltszeit ein Wert von $\langle C_{Rn} \rangle \approx 200 \text{ Bq/m}^3$. Auch hier wird die Zukunft zeigen, welcher Faktor tatsächlich anzuwenden ist, der auch gleichzeitig ein gewisses Maß an Konservativität enthält. Das höchste Maß an Konservativität wird erreicht, wenn der Langzeitmittelwert berücksichtigt wird. Die Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass bereits sehr kurze Lüftungsmaßnahmen zu einem signifikanten Absenken der während der Arbeitszeit zu veranschlagenden Radonkonzentration führen können. Die dargestellte Vorgehensweise ist schematisch in der Abb. 2 dargestellt.

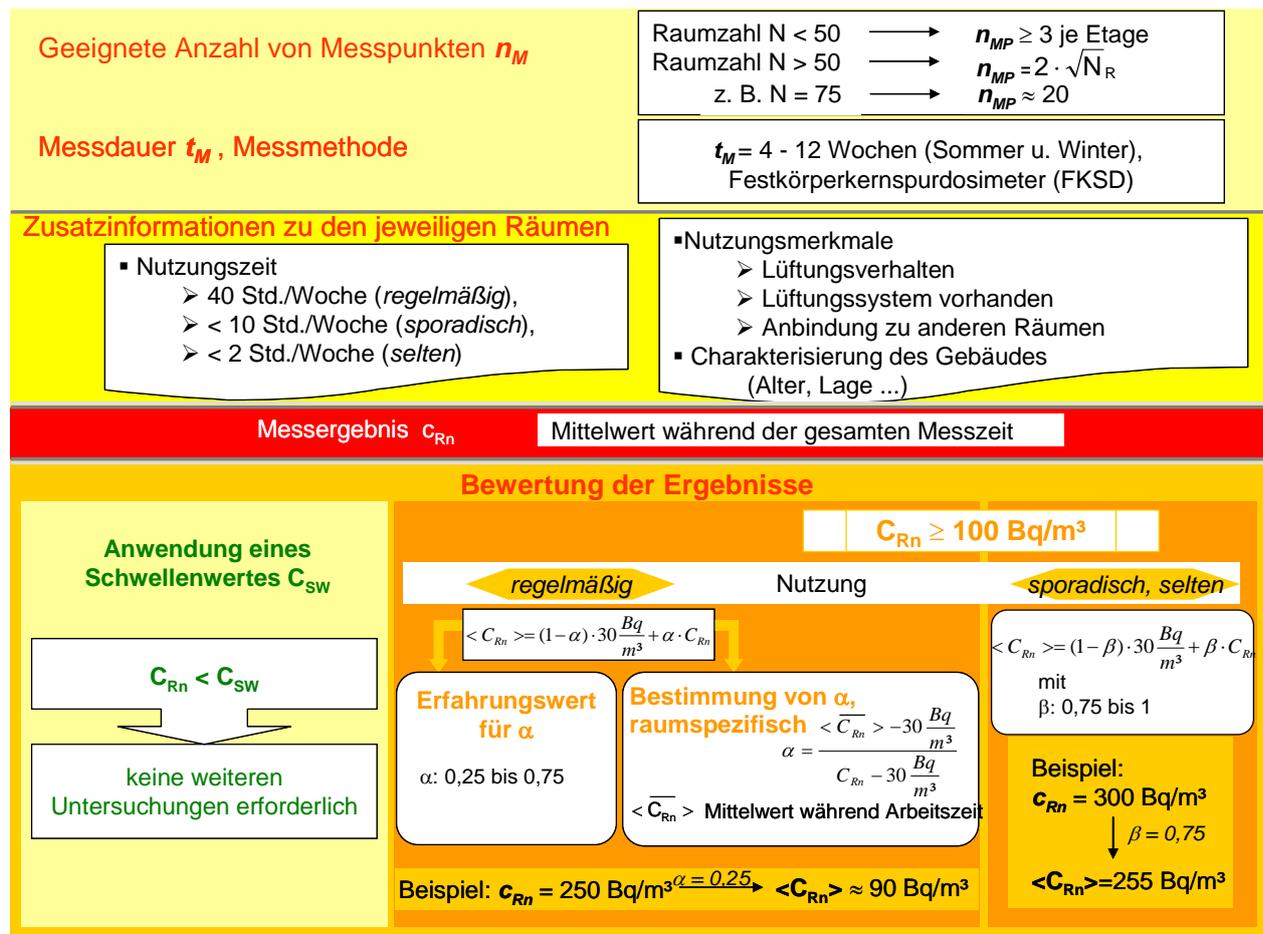


Abb. 2: Vorgehensweise bei der Durchführung von Radon-Screenings in öffentlichen Gebäuden und der Bewertung der Messergebnisse

6 Zusammenfassung/Fazit

Die Untersuchungen im Rahmen des Projekts "Radon in öffentlichen Gebäuden" haben zu dem Tatbestand geführt, dass die Radonkonzentration in einem Raum teils drastisch abgesenkt wird, wenn durch die Nutzung bereits ein geringer Luftwechsel induziert wird. Es wird deshalb vorgeschlagen, einen Schwellenwert C_{SW} für die Langzeitmessungen zu betrachten, der festlegt, ob vertiefende Untersuchungen zur Erfassung der Radonexpositionssituation während der Arbeitszeit erforderlich sind oder nicht. Das hier diskutierte Bewertungsschema ist ein erster Vorschlag, wie eine Bewertung der durch eine Langzeitmessung gewonnenen Radonkonzentrationen unter Berücksichtigung der Nutzungseigenschaften in einfachster Form vorgenommen werden könnte. Die zukünftigen Untersuchungsergebnisse werden zeigen, ob eine einfache Pauschalierung der Langzeitmessergebnisse möglich ist oder nicht.

Wird jedoch die Langzeitradonkonzentration gemäß Variante (3) bestimmt, sind die hier durchgeführten Abschätzungen für eine Pauschalierung nicht erforderlich, da für die zwei Zeitregime, d.h. während der Arbeitszeit und außerhalb der Arbeitszeit, separate Mittelwerte der Radonkonzentration vorliegen. Mit Hilfe dieser Werte kann der Schwellenwert C_{SW} und die Parameter α und β direkt bestimmt werden. Gegenüber der herkömmlichen Methode der Langzeitmessung mit Kernspurdetektoren würden sich in längerer Sicht die Kosten verdoppeln, da die notwendigen Schaltmodule wiederverwendet werden können.

RADON IN DER ÖFFENTLICHEN BAUVERWALTUNG DES FREISTAATES SACHSEN

RADON IN THE PUBLIC ADMINISTRATION OF CONSTRUCTION OF THE FREE STATE OF SAXONY

Bettina Gabriel

Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Zentrale, Dresden

Zusammenfassung

Der Staatsbetrieb SIB als ein kompetenter und fachkundiger Bauherr und als einer der größten Immobilienverwalter im Freistaat Sachsen muss sich bei der Umsetzung der an ihn gestellten Bauaufgaben auch des Themas ‚Radon‘ annehmen. Dabei steht an erster Stelle die gezielte Information und fachliche Auseinandersetzung mit dem Thema, um eventuell bestehende Hemmschwellen abzubauen. Bewährt hat sich dabei die sehr gute Zusammenarbeit mit dem SMUL und der Beratungsstelle für Radongeschütztes Bauen in Bad Schlema. Ein Zusammenwirken der am Planungs- und Bauprozess beteiligten freiberuflich tätigen Architekten und Ingenieure und der bauausführenden Firmen und dem Nutzer ist dabei unerlässlich. Die innerbetriebliche Herangehensweise und der Umgang mit dem Thema soll im Bericht dargestellt werden.

Summary

The state enterprise SIB as a competent and skilled developer and as one of the biggest real estate governors in the Free State of Saxony must take care with the conversion of the construction tasks set to him also of the subject, radon'. Besides, the specific information and technical analysis with the subject stands, firstly to diminish, perhaps, existing inhibition thresholds. Besides, there has proved itself the very good cooperation with the SMUL and the advice centre for radon-protected construction in Bad Schlema. A cooperation in the planning trial and construction trial involved freelance active architect and engineers and the construction-executive companies and the user, besides, is essential. The in-plant approach and the contact with the subject should be shown in the report.

1 Der Staatsbetrieb SIB

Mit der Errichtung des Staatsbetriebes SIB zum 1. Januar 2003 ist er für die Unterbringung der staatlichen Behörden, für die Staatshochbaumaßnahmen des Freistaates, die Hochbaumaßnahmen des Bundes und Dritter und für die Ausübung aller Eigentümerfunktionen, wie Grundstücksverkehr, Grundstücksverwaltung und die Bewirtschaftung zuständig und in gleichem Maße für die Immobilienverwertung landeseigener Liegenschaften und Gebäude.

Mit einem Bauvolumen von ca. 465 Mio. EUR im Landes- und Hochschulbau (Tab. 1) ist der Staatsbetrieb SIB ein kompetenter Bauherr und übernimmt die Aufgabe der Bauherrenfunktion für die Ministerien des Freistaates und ihrer nachgeordneten Einrichtungen.

Tab. 1: Bauausgaben des SIB nach Kategorien in Mio. EUR

Kategorie	Bauausgaben in Mio. EUR
Bildung	193,5
Soziales	22,7
Kulturbau	23,4
Justizvollzugsanstalten	26,6
Gerichte	10,3
Polizei	30,7
Schlösser/Burgen	27,5
Verwaltungsgebäude	71,4
Hochwasser	6,9
Energieeffizienzmaßnahmen	10,0
Bundesbau	41,9

Im Jahr 2007 wurden im Rahmen des Immobilienmanagements ca. 3.400 Gebäude mit ca. 4,2 Mio. m² Nutzfläche verwaltet. Damit ist der Staatsbetrieb SIB einer der größten Immobilienverwalter im Freistaat.

Der Staatsbetrieb ist mit der Zentrale und seinen 7 Niederlassungen flächendeckend über den gesamten Freistaat verteilt (Abb. 1) und kann so seinen Kunden beratend zur Seite stehen und die ihm übertragenden Bauherrenaufgaben effizient erledigen.

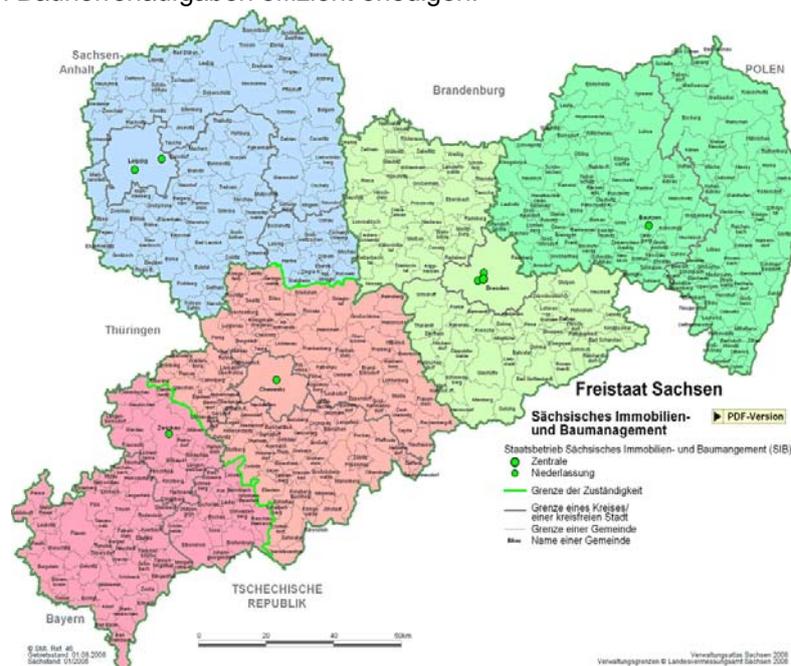


Abb 1: Zuständigkeitsbereich des SIB

In der Funktion als fachkundiger öffentlicher Bauherr übernimmt der Staatsbetrieb SIB auch eine Vorbild- und Leitfunktion, sei es für den Erhalt des kulturellen Erbes, der zeitgenössischen Baukultur oder aber als fairer Partner des Baugewerbes und der freiberuflich tätigen Architekten und Ingenieure. Ein Credo dabei ist die Beachtung normgerechter Bauweisen sowie in diesem Zusammenhang stehend wirtschaftliches und nachhaltiges Bauen.

2 Das Radonpotential in Sachsen und dessen Auswirkung auf den Staatsbetrieb SIB

Wie schon ausgeführt, erstreckt sich der Zuständigkeitsbereich des Staatsbetriebes SIB flächendeckend über ganz Sachsen. Die Radonkarte für den Freistaat Sachsen [1], in der die Radonkonzentration der Bodenluft dargestellt wird (Abb. 2), macht deutlich, dass das Thema ‚Radon‘ auch vom Staatsbetrieb SIB fast flächendeckend in unterschiedlichen Abstufungen und Konzentrationen zu betrachten ist.

Anhand der Karte ist erkennbar, dass speziell in den Niederlassungen Zwickau, Chemnitz, Leipzig und auch Dresden eine intensive Auseinandersetzung und Beschäftigung mit dem Thema ‚Radon‘ erforderlich ist, um die gestellten Bauaufgaben hinsichtlich der sich ergebenden baulichen Radonschutzmaßnahmen erfüllen zu können.

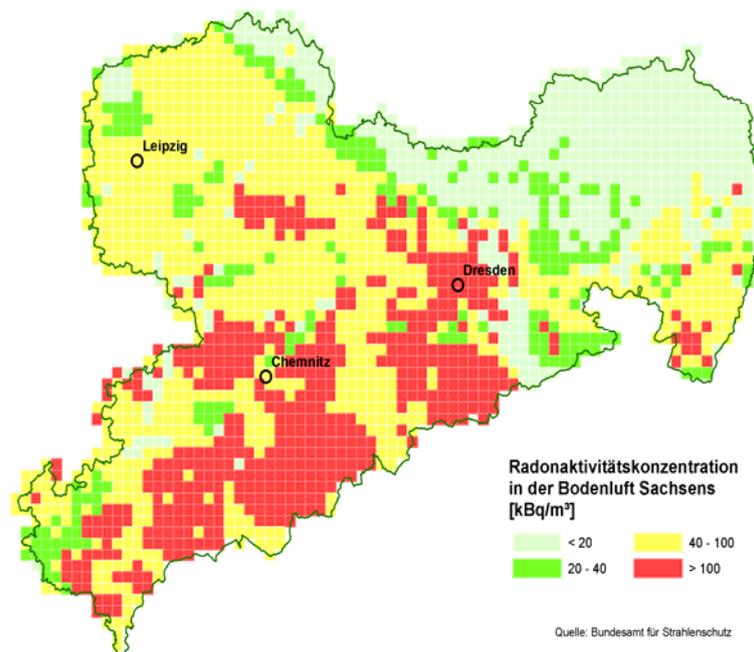


Abb. 2: Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft Sachsens

3 Herangehensweise des SIB an das Thema ‚Radon‘

An erster Stelle des Lösungsweges steht die Information über und die Beschäftigung bzw. fachliche Auseinandersetzung mit dem Thema ‚Radon‘ und die Aneignung von Wissen über sich ergebende bauliche Maßnahmen. Intensiv genutzt werden vom Staatsbetrieb SIB die inzwischen zahlreichen Publikationen und umfangreichen Informationen des SMUL und des LfULG.

So werden Hemmschwellen der Beschäftigten abgebaut und vor allem eine Sensibilisierung für das Thema erreicht.

Sehr konstruktiv zu bewerten ist ebenfalls der direkte Austausch über die ‚Interministerielle Arbeitsgruppe Radon‘ unter Federführung des SMUL.

Ein weiter Baustein der Wissensaneignung und Aneignung von aktuellen Fachkenntnissen auf diesem Gebiet ist die sehr lobenswerte Zusammenarbeit mit der Beratungsstelle für Radongeschütztes Bauen in Bad Schlema. Von den betroffenen Niederlassungen wird die sehr ausführliche und fachkundige Beratung hervorgehoben und erleichtert so wesentlich den Planungs- und Ausführungsprozess der konkreten Baumaßnahme.

Eine sehr große Bedeutung kommt im Planung- und Ausführungsprozess, gerade im Staatsbetrieb SIB als ein bedeutender Auftraggeber der freiberuflich tätigen Architekten und Ingenieure (Abb. 3), die Auswahl eines fachkompetenten Planungsbüros und in der öffentlichen Auftragsvergabe dem fachkundigen Baubetrieb zu. Dabei hat sich bewährt, solche Planungsbüros auszuwählen, die aus der Region kommen und mit dem Thema ‚Radon‘ und den örtlichen Baugrundverhältnissen bestens vertraut sind und somit vor allem wirtschaftliche und angemessene Lösungen anbieten können.

Der Staatsbetrieb Sächs. Immobilien- u. Baumanagement des Freistaates Sachsen hat im Zeitraum **Januar bis Dezember 2007** (Bund + Land)

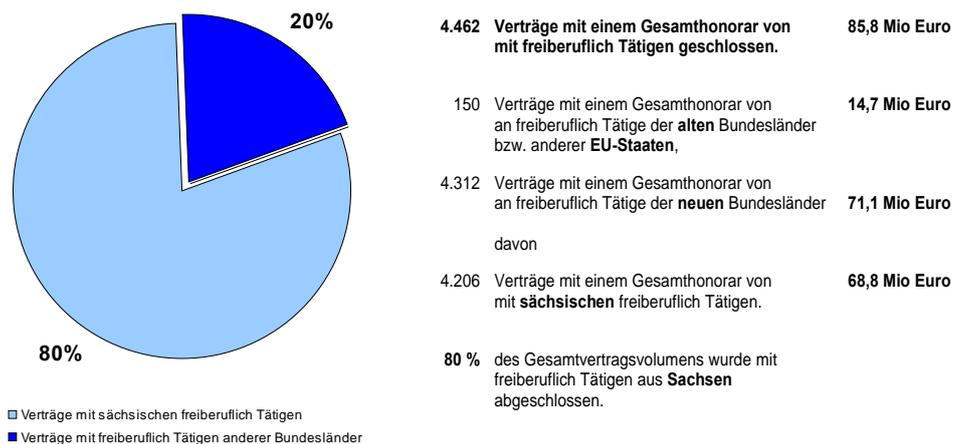


Abb. 3: Verträge des SIB mit freiberuflich Tätigen 2007

Wie bekannt ist, gibt es mit dem Radonhandbuch Deutschland [2] und den Ergebnissen der Untersuchungen zur Radonsituation und Bodenradonsituation in Deutschland [1] Materialien, die bestenfalls für eine Erstbewertung geeignet sind, aber für den weiteren Planungsprozess nicht ausreichend sind. Deshalb ist es unbedingt erforderlich, durch Verdichtungsmessungen und Messungen der Radonkonzentration in Gebäuden ausreichend belastbare, als Planungsgrundlage geeignete Daten zur Auswahl der baulichen Radon Schutzmaßnahmen am konkreten Standort zu erhalten.

Im Staatsbetrieb SIB wurde deshalb festgelegt, bei Radonverdachtsflächen und Radonvorsorgegebieten Verdichtungsmessungen im Zuge von notwendigen Baugrunduntersuchungen durchzuführen. Nur dann können für die Neubaumaßnahmen oder für die zu nutzenden Räume die entsprechenden bautechnisch sinnvollen Maßnahmen festgelegt werden.

In Deutschland und Sachsen sind wir in der Situation, dass es keine gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte der Radonkonzentrationen in der Bodenluft und für Gebäude/Räume gibt, sondern Empfehlungswerte. Daran orientiert und in Abstimmung mit dem SMUL hat der Staatsbetrieb SIB im Juni 2005 für seinen Geschäftsbereich festgelegt, dass für Neubauten bis auf Weiteres die Empfehlungen der EU-Kommission mit einem Planungswert für Neubauten $\leq 200 \text{ Bq/m}^3$ Radonkonzentration zu beachten ist. Die Niederlassungen wurden umfangreich zum Thema informiert und die genannten Kartenwerke sowie Ansprechpartner bekannt gemacht. Weiterhin wurde festgelegt, dass auch bei Baumaßnahmen im Bestand bauliche Vorkehrungen zu treffen sind, die zur Minderung der Radonkonzentration im Gebäude beitragen.

In der Gesamtheit der zur Verfügung stehenden Informationen und innerbetrieblichen Regelungen des Staatsbetriebes SIB sind die Niederlassungen gemeinsam mit den beteiligten Planungsbüros somit in der Lage, konkrete bauliche Maßnahmen zu planen und auszuführen. Dabei sind ebenso die Grundsätze der Sächsischen Haushaltsordnung (SäHO) und die allgemeinen Planungsgrundsätze, wie Sparsamkeit, Wirtschaftlichkeit und Angemessenheit zu beachten.

Auf die verschiedenartigen konkreten baulichen Maßnahmen möchte ich an dieser Stelle nicht eingehen, vielmehr wollte ich die prinzipielle Herangehensweise des Staatsbetriebes SIB aufzeigen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt im gesamten Planungs- und Bauprozess, der auf keinen Fall zu vernachlässigen ist, stellt die Einbeziehung und aktive Kommunikation der Niederlassungen mit dem Nutzer der Gebäude und Räume dar. Auch hier hat sich bewährt, das Thema ‚Radon‘ in der frühzeitigen Planungsphase mit dem Nutzer zu thematisieren und ihn in ausreichendem Maße zu informieren.

Wie hinreichend bekannt ist, hat das Nutzerverhalten Einfluss auf das Raumklima und die Raumluft und das radonsicheres Bauen immer ein Zusammenspiel verschiedenster Einzelmaßnahmen darstellt. Die Praxis hat aber gezeigt, dass der individuellen Fensterlüftung zur Reduzierung der Radonkonzentration nicht zu viel Bedeutung beigemessen werden kann und darf, da sie einer starken Schwankung hinsichtlich des subjektiven Verhaltens des Nutzers unterlegen ist.

Nicht selten von uns als Auftraggeber in ein konzeptionelles und finanzielles Korsett gezwängt, sind Architekten und Ingenieure wenn es gilt, in einem Bestandsgebäude möglichst alle erforderlichen Nutzungen und Flächen optimal und wirtschaftlich unterzubringen. Auch hier ist Überzeugungsarbeit beim Nutzer wichtig und erfolversprechend, z. B. Arbeitsplätze nicht in erdberührten Gebäudebereichen unterzubringen, sondern nach Alternativen zu suchen; auch unter der Maßgabe, Abstriche vom Raumprogramm zu machen.

4 Nachsorge der Baumaßnahmen

Durch die Niederlassungen wird nach Abschluss der Baumaßnahmen in begründeten Einzelfällen eine Langzeitmessung als Erfolgskontrolle durchgeführt. Dies ist abhängig von den gemessenen Ausgangswerten der Radonbelastung und den technischen Lösungen des radonsicheren Bauens.

Wichtig dabei ist, ob der Nachweis erbracht werden kann, dass die Maßnahmen für das radonsichere Bauen erfolgreich waren und vor allem, ob das Zusammenspiel der vielschichtigen Maßnahmen langfristig erfolgreich ist. Auch hier spielt das Nutzerverhalten eine große Rolle. Dabei ist es ebenfalls die Aufgabe des Staatsbetriebes SIB den Nutzer über die Nutzungsdauer des Gebäudes zu begleiten und zu beraten. Dies ist unbedingt erforderlich, aber auch Selbstverständnis für uns als Bauverwaltung. Der technische Ausstattungsgrad der Gebäude, nicht nur im Zusammenhang mit dem radonsicheren Bauen, hat und wird weiter zunehmen. Auch hier ist der Staatsbetrieb SIB zukünftig noch stärker in der Verantwortung.

5 Ausblick

Auch in der Sächsischen Hochbauverwaltung wird sich des Themas ‚Radon‘ in besonderem Maße angenommen, ohne Polemik zu betreiben oder unsere Kunden und Nutzer zu verunsichern.

Es hat sich gezeigt, dass durch eine konsequente Informationsvermittlung und gezielte Beschäftigung mit der Materie gute und wirtschaftliche Lösungen für den Einzelfall erreicht werden können.

Auch in Hinblick auf den Anspruch des Staatsbetriebes SIB innovativ und nachhaltig zu bauen und dem sehr aktuellen Thema der Energieeffizienz bei Neubauten und der energietechnischen Optimierung von Bestandsgebäuden kommt dem interaktiven Zusammenspiel aller Fachrichtungen des Ingenieurwesens eine sehr große Bedeutung zu. Dieses Zusammenspiel gilt es weiter zu entwickeln und zu fördern.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Kemski & Partner; Untersuchungen zur Radonsituation und Bodenradonsituation in Deutschland im Auftrag des BMU; 2003
- [2] Freistaat Sachsen, Staatsministerium für Finanzen, SIB Geschäftsbericht 2007

BAUEN IM BESTAND MIT RADON – AM BEISPIEL DER HTW MITTWEIDA

BUILD IN EXISTENCE – IN EXAMPLPLE OF HTW MITTWEIDA

T. Maschke

Heinle, Wischer und Partner

Freie Architekten

1 Entwurfsansatz

Nach einer 25 jährigen Nutzungszeit als Studentenwohnheim der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Mittweida wurde die Umnutzung des Hauses, zum Institutsgebäude für die Fachbereiche Informations- und Elektrotechnik, Medien mit Fernsehstudio, Mathematik, Physik und Betriebswirtschaft als Wettbewerb im Rahmen eines VHS Verfahrens, ausgeschrieben. Im Rahmen des VHS Verfahrens wurde auch über den kompletten Abriss und Neubau nachgedacht, dies jedoch als deutlich aufwendigere Methode verworfen.

Überdimensional groß, mit einer Rasterfassade, kontrastierte das Haus weithin sichtbar im hügeligen Areal der Hochschule stark mit der umgebenden Bebauung aus der Gründerzeit und den 60er Jahren.

Die wichtigsten Aspekte, die den Entwurf bestimmten, waren die städtebauliche Situation, die Aufwertung des Gebäudes innerhalb des Hochschulareals und die Neuorganisation der Gebäudestruktur entsprechend moderner Lehrmethoden. Dies alles war in einem vorgegebenem Kostenrahmen umzusetzen, der auch die bauliche Sanierung, u. a. von Asbest, Radon und die brandschutztechnische Ertüchtigung des Bauwerkes mit einschloss.

Die Struktur der Neuplanung orientierte sich am Bestand des Wohnheimes. Durch den Rückbau um ein Vollgeschoss und die Zurücksetzung des 4. Obergeschoss zum Staffelgeschoss wurde die Traufkante gesenkt und somit die Dominanz des Gebäudes deutlich zurück genommen. Das ehemalige Kellergeschoss konnte durch Abgrabungen des Geländes als Eingangsebene nutzbar gemacht und gestalterisch den Obergeschossen angeglichen werden.

2 Bestand

Der 5-geschossige unterkellerte Stahlbetonbau mit Fertigteildecken und leichter Vorhangfassade wurde als Versuchsbau für Wohnheime 1973 errichtet und bis 1996 als solches betrieben. Nach Freizug durch das Studentenwerk Freiberg befand sich im Gebäude die Interimslösung für die Mensa der Hochschule.

Durch die intensive Nutzung war die Bausubstanz physisch und moralisch verschlissen. Das Gebäude war außerdem durch den Einbau schwach gebundener Asbestprodukte belastet. Durch die vorhandene Oberflächenversiegelung bestand zwar keine unmittelbare Gefahr für die Umwelt, eine Asbestsanierung war jedoch unabdingbar.

3 Planung

Im Rahmen der Erstellung des Bodengutachtens wurden auch Untersuchungen zur Radonkonzentration in der Bodenluft durchgeführt, die eine Einteilung des Gebäudes in Kategorie E ergaben und die damit dazu führten, dass Maßnahmen zum präventiven Radonschutz bei der Planung des Gebäudes mit einfließen mussten. Diese wurden auch durch den Auftraggeber (SIB Chemnitz) als dringliche Aufgabe erkannt.

Aus dieser Feststellung ergaben sich 2 Hauptbereiche

1. Bestandsbau
2. Neubau

3.1 Bestandsbau

Für den Bestandsbau kam das Entwurfskonzept mit Abgrabung des Geländes und Nutzung des ehemaligen Kellergeschoss als zukünftiges Erdgeschoss dem Radonschutz entgegen, so dass sich die Maßnahmen auf die Bodenplatte und Durchdringungen beschränkte.

Im Rahmen des Abbruchs zeigte sich, dass die vorhandenen Außenwände, in Bereichen, in denen noch Erdreich anstehen sollte, in Folge von Mischbauweisen weder für die spätere Nutzung noch für den Radonschutz (auch bei Aufbringung einer Abdichtung) geeignet waren. Diese Flächen wurden zusätzlich noch rückgebaut und entsprechend neu in Stahlbeton hergestellt. Zusätzlich wurden die Bereiche von außen mit Bitumenschweißbahnen versehen und entsprechend durch Perimeterdämmung geschützt.

Die Abdichtung im Bereich der Bodenplatte erfolgte im Zusammenhang mit der Abdichtung gegen Erdfeuchte als vollflächige Bitumenabdichtung auf der Bodenplatte. Es gab dabei unterschiedliche Anschlusshöhen und Fußbodenaufbauten miteinander zu verbinden (siehe Detail).

Durchdringungen der Abdichtung

Es wurden 3 Arten von Durchdringungen der Bodenplatte erfasst und entsprechend planerisch behandelt

1. für haustechnische Durchdringungen wurde die Ausführung mit Los-Fest-Flansch festgelegt
2. konstruktive Durchdringungen der Abdichtung wurden durch Untermauerungen ausgeschlossen (siehe Detail)
3. Für die Anbindung des Altbaus an den Technikraum im Neubau, wurde ein Medienkanal in WU-Beton und zusätzlicher bituminöser Abdichtung vorgesehen, um die Anzahl der Durchdringungen zu verringern.

3.2 Neubau

Das Erdgeschoss des Neubaus wurde komplett in WU-Beton geplant, da die Technikräume in Folge der größeren Raumhöhen teilweise im Erdreich eingegraben sind. In Folge der Radonbelastung erfolgte die Festlegung zur zusätzlichen Ausführung einer Bitumenschweißbahn auf der Bodenplatte.



Abb.1: Nordansicht des Wohnheimes (1999)



Abb.2: Modell (1999)



Abb.3: Modernisierte Fassade (2002)

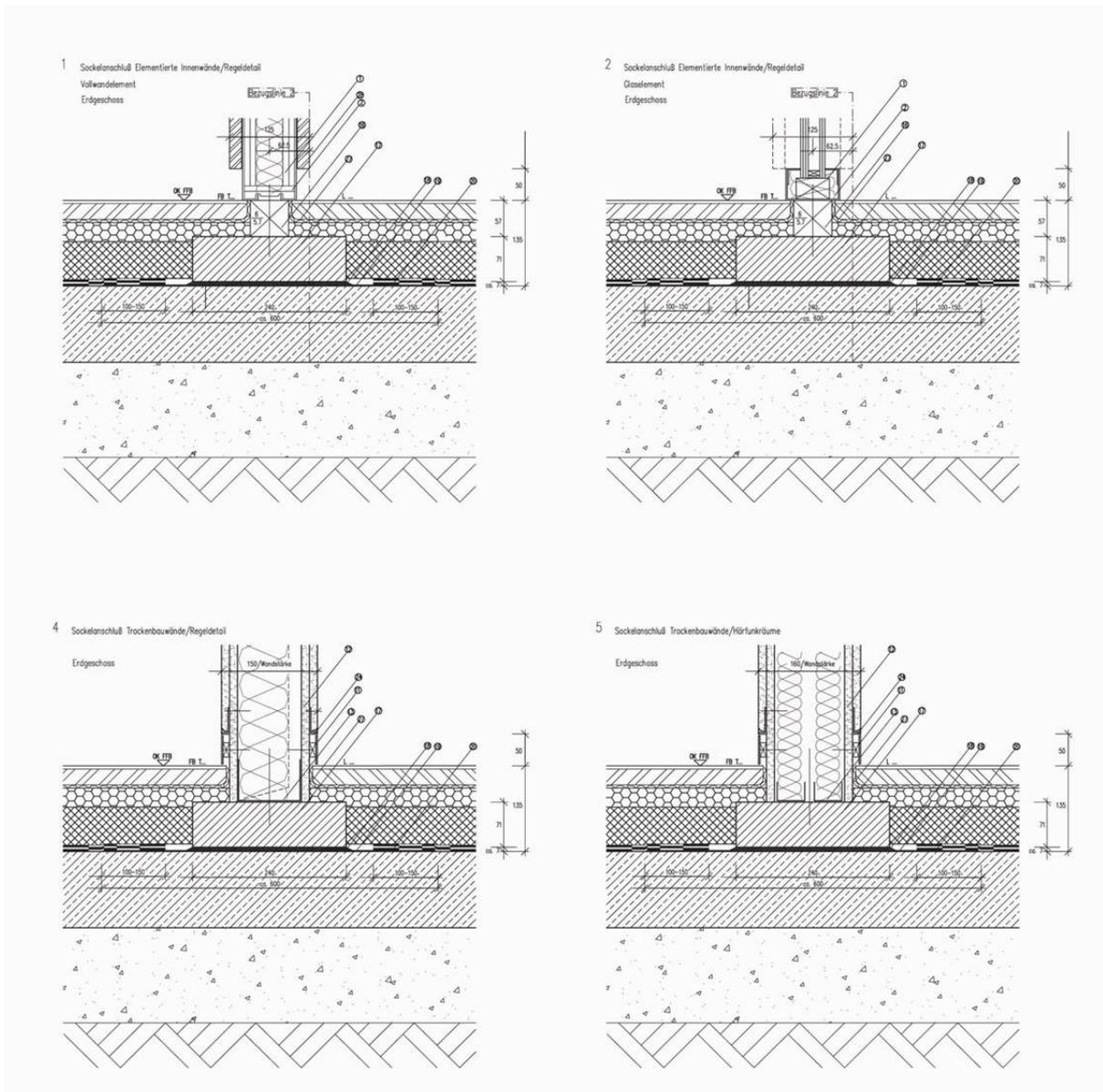


Abb. 6: Fußbodendetail im Anschluss an aufgehende Konstruktionen



Abb. 7: Ansicht Haupteingang

KOMMUNALE RADONSCHUTZMAßNAHMEN – PLANUNG, KOMMUNIKATION, EINZELOBJEKT

MUNICIPAL RADON MITIGATION – STRATEGY, COMMUNICATION, EXEMPLIFICATION

Joachim Kemski

Ralf Klingel

Kemski & Partner, Bonn

Zusammenfassung

Anhand der Ausweisung von Radonvorsorgegebieten im lokalen Maßstab wird eine Herangehensweise vorgestellt, die auf dem vorhandenen Wissen der Deutschlandkarte der Radonaktivitätskonzentration aufbaut und dieses auf den notwendigen Maßstab untersetzt. Neben den wissenschaftlichen Grundlagen und Messungen ist gerade für Städte und Gemeinden die Risikokommunikation mit den Bürgern von entscheidender Bedeutung für die Transparenz von Entscheidungen zur Minimierung eines möglichen Radonrisikos. Die kommunale Beschäftigung mit dem Thema Radon mündet meistens in die Einzelanalyse von Bauobjekten sensibler Nutzung, die skizzenhaft erläutert wird.

Summary

The municipal radon mitigation in Germany is seriously influenced by a lack of information which is not available on a local scale. Based on the German map of radon concentration in the soil gas a top-down strategy was developed to allow local decisions without a strong involvement of money and manpower. The communication of the radon risk is one essential part to bind the citizens in a self intensifying process of knowledge and mitigation. Examples of school buildings are used to demonstrate both the screening method and the detailed investigation of single rooms by advanced technology.

1 Einführung

In vielen Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland wird das Thema Radon in Wohnhäusern nur sehr zögerlich von Seiten der offiziellen Behörden kommuniziert. Es existieren zwar Informationsschriften (z.B. Bayern, Baden-Württemberg oder Rheinland-Pfalz) oder Internetauftritte, der mündige Bürger muss sich aber selbst aktiv um die Informationsbeschaffung kümmern. Offensive Angebote von Seiten der Verwaltung oder Informationsveranstaltungen (wie z.B. in Sachsen) finden äußerst selten statt.

Dementsprechend gering ist das Interesse von Kommunen, sich aktiv mit möglichen Radon-Belastungen sowohl des Baugrundes als auch kommunaler Gebäude auseinander zu setzen. Dabei weist die Deutschlandkarte der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft auch im Westen der Republik umfängliche Gebiete aus, in denen Bodenluftkonzentrationen von mehr als 40 kBq/m³ vorhanden sind und damit statistisch gesehen mit einem erhöhten Prozentsatz an radonbelasteten Wohnräumen oder Arbeitsplätzen zu rechnen ist (Kemski et al. 2004).

2 Planung auf kommunaler Ebene

Bei Planung auf kommunaler Ebene stellt sich in der Regel das Problem, dass Detailwissen über die regionale Variation der Radonbelastung nicht oder nur eingeschränkt vorhanden ist. Die oben zitierte Karte der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft ist von ihrer Konzeption her nicht geeignet, Entscheidungen im lokalen Maßstab zu begründen. Die Gitterweite von 3 x 3 km, die der Interpolation zu Grunde liegt [1], der Maßstab von 1:1.000.000 sowie der Abstand der 4240 Messorte erlauben einen grundlegenden Überblick über die Situation in Deutschland und sind für Planungszwecke im regionalen Maßstab konzipiert. Raumluftmessungen in Wohnungen stehen in der Regel, wenn überhaupt, nur in geringem Ausmaße zur Verfügung und können aufgrund der Heterogenität der erhobenen Daten keine flächenbezogene Auswertung stützen. Damit stellt sich die Frage, mit welchem wissenschaftlichen Ansatz, unter Einbeziehung einer Kosten-Nutzen-Analyse, für eine Kommune verlässliche Aussagen zur Radonbelastung möglich sind. Hier erweist es sich als vorteilhaft, dass, von Ausnahmesituationen abgesehen, die Radonaktivitätskonzentration im natürlichen Baugrund den mit Abstand wichtigsten Parameter bei der Abschätzung eines Wohnraumrisikos darstellt [2,3,4]. Die von uns favorisierte Beratung beruht daher in erster Linie auf geowissenschaftlicher Expertise (Abb. 1), wobei je nach Entscheidung der kommunalen Entscheidungsträger entweder der Quellpfad oder der Expositionspfad betrachtet werden können.

Beiden Ansätzen kommt zugute, dass die Eigenschaften von Böden und Gesteinen im Baugrund eines Hauses hinreichend durch vorhandene geologische Karten (Maßstäbe 1:25.000 bis 1:50.000) und Kartenbeschreibungen definiert werden können und dass aus den großen Bodenluftkampagnen des BMU [5] Kenntnisse über die regionale Variation der Bodenluftkonzentrationen vorliegen. Auf dieser Grundlage können, ergänzt durch die Aufnahme lokaler Besonderheiten – Bergbau, anthropogene Aufschüttungen, Karst-Hohlräume, glazial-geologische Erscheinungen etc. – die kommunalen Flächen eingegrenzt werden, auf denen aus geowissenschaftlicher Sicht mit hohen Radonkonzentrationen zu rechnen ist. Innerhalb dieser Flächen werden ergänzende Bodenluft- und/oder Raumluftmessungen durchgeführt und auf einer geeigneten Kartengrundlage visualisiert. Der Maßstab dieser Grundlage hängt im wesentlichen von der Messpunktdichte sowie der lithologischen und petrographischen Variation der vorhandenen geologischen Schichten ab.

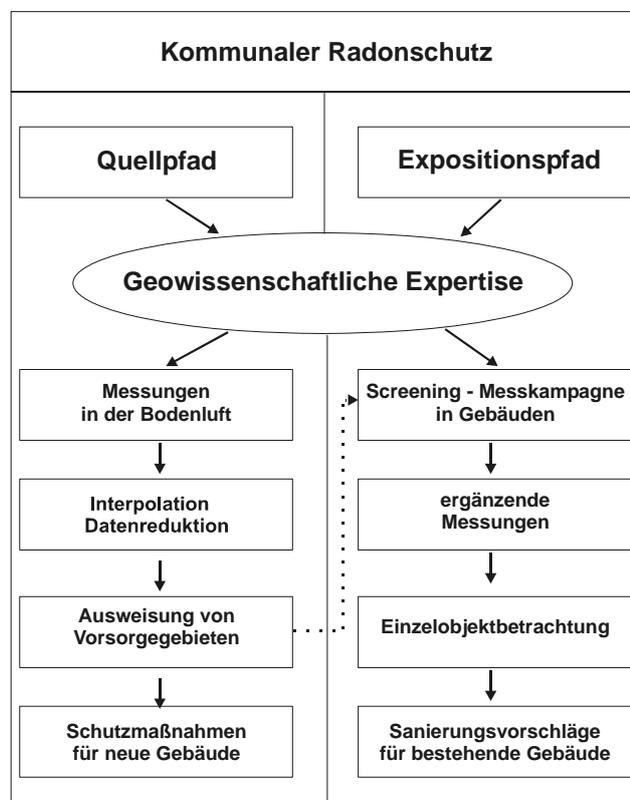


Abb. 1: Ablaufschema zur lokalen Radonkartierung

Diese Top-Down-Strategie hat sich in einigen Kommunen Nordrhein-Westfalens bereits bewährt und die Verwaltungen befähigt, Aussagen zu einer möglichen Radongefährdung von bestehenden oder neu zu bauenden Häusern zu geben. Bei der wissenschaftlichen Interpretation des vorhandenen Datenpools ist stets zu beachten, dass es sich bei der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft um eine logarithmisch normal verteilte Messgröße handelt. D.h., dass unabhängig von der Größe des betrachteten Gebietes kein einheitliches Niveau vorhanden ist, sondern die Messwerte in mehr oder weniger breiter Streuung vorliegen. Dies sei am Beispiel quartärer Ablagerungen mit unterschiedlicher Flächengröße verdeutlicht (Abb. 2).

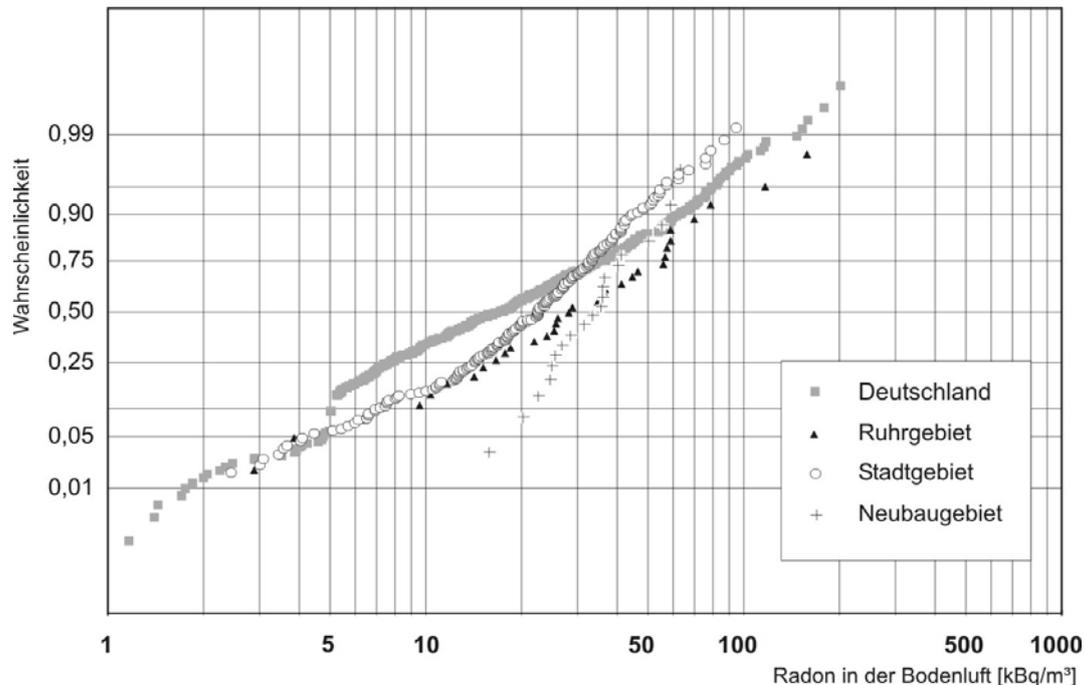


Abb. 2: Messwertverteilungen über Quartär in unterschiedlichen Flächenausdehnung

Es ist klar erkennbar, dass mit zunehmender Beschränkung des Gebietes auf eine kleinere Fläche die Verteilung – wie zu erwarten - schmäler und steiler wird. Aber selbst in einem Neubaugebiet mit einer Ausdehnung von ca. 40.000 m² ist eine Spannbreite von 15 bis 65 kBq/m³ bei einem Median von 35 kBq/m³ vorhanden. Dies zeigt, dass kommunale Flächen nicht über einen einzigen Wert zu definieren sind, sondern die Kenngrößen der Verteilung bei einer Einordnung der möglichen Radongefährdung zu beachten sind. Hierbei machen wir uns das Konzept der Radonvorsorgegebiete zu Eigen, das durch das BfS im Rahmen der Erarbeitung einer möglichen Baurichtlinie vorgestellt wurde. Die hierbei vorgenommene Einstufung in Radonvorsorgegebiete basiert auf der Verteilung der Bodenluftkonzentrationen innerhalb einer geologischen Einheit (Abb. 3).

Einstufung	Median [kBq/m ³]		3. Quartil [kBq/m ³]
vernachlässigbare Radongefährdung	<= 20	und	<= 35
Radonvorsorgegebiet I	< 40	und	<= 70
Radonvorsorgegebiet II	>= 40	oder	> 70
Radonvorsorgegebiet III			> 100

Abb. 3: Matrix zur Einstufung von kommunalen Flächen als Radonvorsorgegebiet

Vom BfS wurden als Grenzen für die Einstufung eines Radonvorsorgegebietes Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft von 20, 40 und 100 kBq/m³ genannt. Hierbei wird aber nicht näher ausgeführt, wie diese Grenzen bei größeren Flächen genau anzuwenden sind. Im Sinne einer konservativen Auslegung, die für die Kommune als Träger der Bauleitplanung in unseren Augen angemessen erscheint, haben wir den Median als zentrales Kennzeichen der Verteilung sowie das 3. Quartil (= 75 %-Quantil) als Kennzeichen der Variationsbreite zur Klasseneinstufung herangezogen. In den unteren drei Klassen dient dabei der Median als das wichtigere Kriterium; die Hinzuziehung des 3. Quartils soll sicherstellen, dass eine sehr große Streubreite, die immer ein Zeichen inhomogener Verhältnisse innerhalb der betrachteten geologischen Schicht darstellt, zur Einordnung dieser Schicht in die nächsthöhere Klasse führt. Die höchste Radonvorsorgeklasse wird erreicht, wenn bereits ein Viertel der Messwerte einer Einheit Radonaktivitätskonzentrationen über 100 kBq/m³ aufweist.

3 Kommunikation

Es hat sich als hilfreich erwiesen, die Ausweisung derartiger Gebiete durch eine zielgerichtete Öffentlichkeitsarbeit zu begleiten. Wesentlich für deren Erfolg ist eine sachorientierte Risikokommunikation (Abb. 4), die Bewohner und Bauherren nicht überfordert, das Problem für jeden einzelnen klar benennt, aber gleichzeitig auch einen möglichst konkreten Ausweg mit Aufwand und Kosten aus einer bestehenden Gefährdungssituation weist. Dies bedeutet, dass zunächst einmal Expertenwissen für die interessierten Bürger transparent aufbereitet werden muss und vor allem Informationen über Art, Ausmaß und Wahrscheinlichkeit eines Risikos bereitgestellt werden. Neben den geowissenschaftlichen Grundlagen, wie Quelle und Migrationsmechanismen des Radon, gehören dazu auch Ausführungen zum Transport des Radons ins Gebäude sowie zu den Eigenschaften des Baukörpers, die letztlich die Höhe der Radonaktivitätskonzentration im Gebäude beeinflussen. Der wichtigste Part ist allerdings die sachliche Darstellung des Kausalzusammenhangs zwischen dem Auftreten von Radon in Wohnräumen und den möglichen gesundheitlichen Folgen für deren Bewohner. Hier gilt es, unterschwellig vorhandene Ängste im Zusammenhang mit Radioaktivität auszuräumen und die Kommunikation auf, auch für den Laien leicht verständlichen, Dosis-Wirkungsbeziehungen und Risikovergleichen (wie Sie in den USA wesentlich stärker im alltäglichen Leben verankert sind) aufzubauen. Der letzte wichtige Argumentationsstrang betrifft die Kontrollierbarkeit des Radonrisikos. Ein zentraler Punkt in der Diskussion ist häufig die Frage: „Und was mache ich, wenn ich weiß, dass ich hohe Radonwerte im Haus habe?“ Hier gilt es, die breite Palette unterschiedlicher Möglichkeiten aufzuzeigen, die zur Reduzierung des Risikos vorhanden sind. Insgesamt erscheint es wichtig, auf die positive Kosten-Nutzen-Bilanz der Beschäftigung mit dem Thema „Radon im Wohnbereich“ einzugehen.

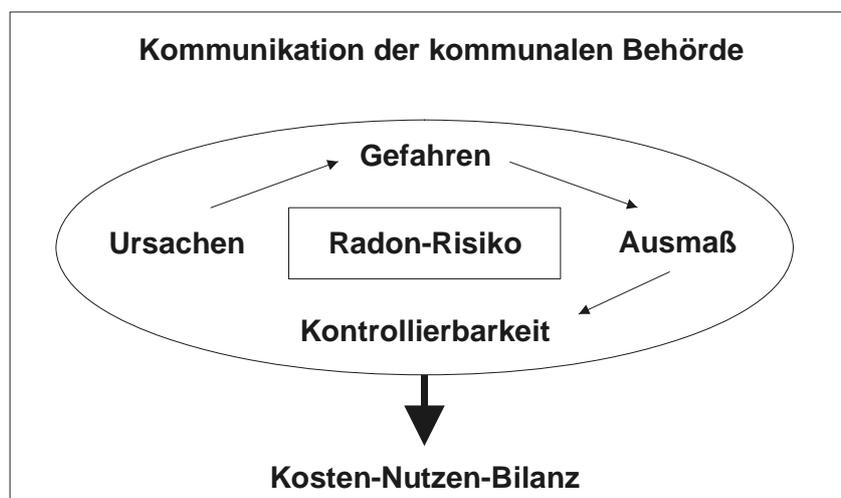


Abb. 4: Risikokommunikation im kommunalen Bereich

4 Einzelobjekt

Mit der Identifizierung möglicher Radonvorsorgegebiete ist das Aufgabenpotential der kommunalen Verwaltung noch nicht beendet. Im Anschluss daran wird regelmäßig die politische Forderung gestellt, im Interesse der Bürger insbesondere in Gebäuden mit sensibler Nutzung wie Schulen und Kindergärten die Radonexposition zu ermitteln. Hier haben sich Screening - Messungen bewährt, die mit geringem materiellen und finanziellen Aufwand auch für eine größere Anzahl von Einzelobjekten durchführbar sind. Hierbei werden in den betreffenden Gebäuden Langzeituntersuchungen (mind. 3 Monate) mit Exposimetern nach DIN 25706, Teil 1 durchgeführt. Es ist klar, dass mit dieser Vorgehensweise im ersten Schritt nicht die tatsächliche Belastung der Kinder und Angestellten festgestellt werden kann, da hier die Belüftungssituation während des Aufenthalts im Gebäude den entscheidenden Einflussfaktor darstellt. Allerdings erlauben Screening - Messungen eine umfassende Bestandsaufnahme in einem Gebäude, wie Abb. 5 exemplarisch zeigt.

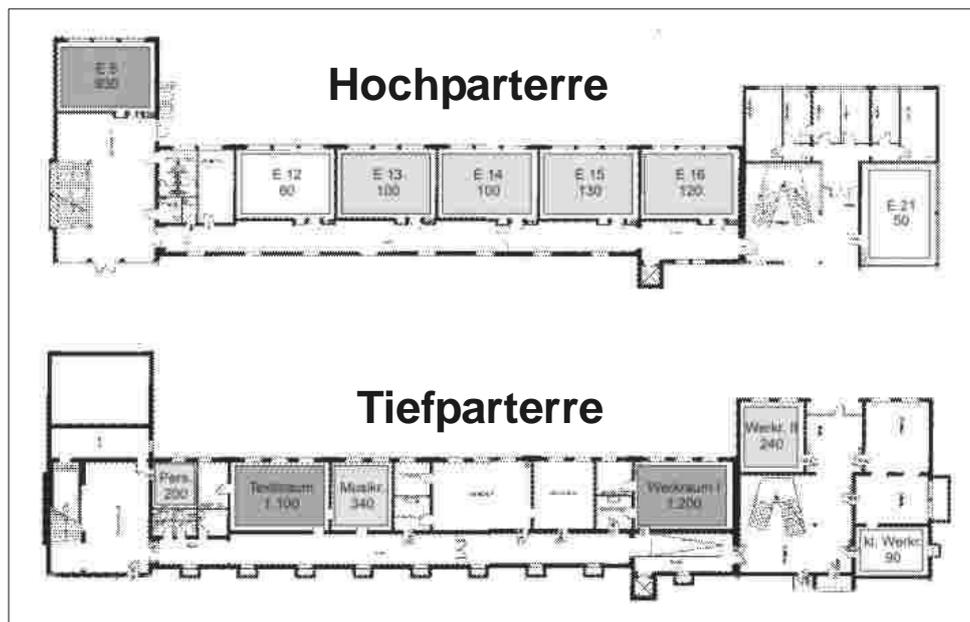


Abb. 5: Radonkonzentrationen innerhalb eines Schulgebäudes in Bq/m^3

In einem zweiten Schritt kann dann nach einem Dringlichkeitsplan Raum für Raum detailliert untersucht werden. Neben zeitauflösenden Messungen (Abb. 6) kommen dabei auch Untersuchungen zum Auffinden der Migrationspfade und der Quellstärke des Radons in Betracht (Messungen bei definiertem Unterdruck, Abb. 7).

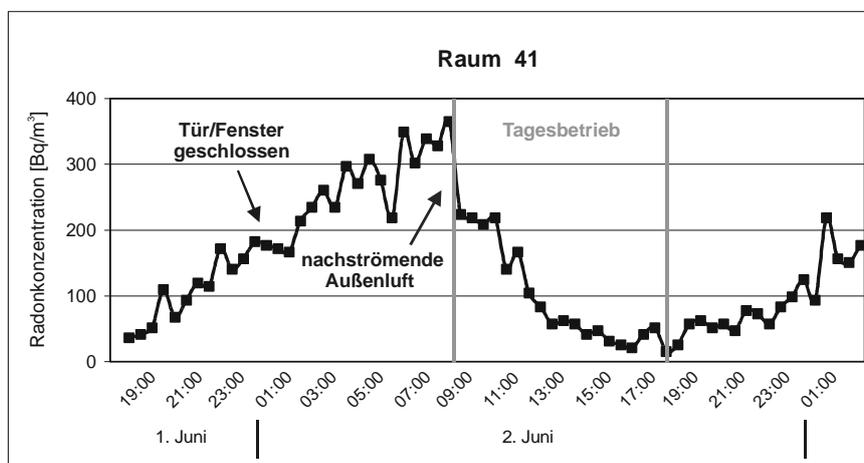


Abb. 6: Typischer Tagesgang mit hohen Nacht- und niedrigen Tageswerten

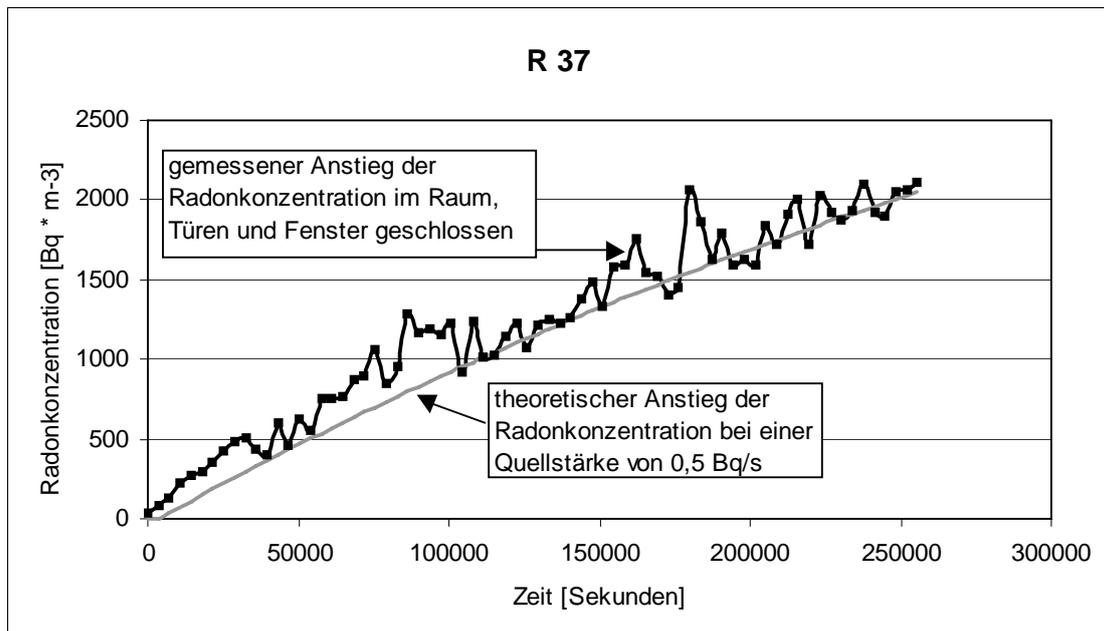


Abb. 7: Anstieg der Radonaktivitätskonzentration in einem geschlossenen Klassenraum

Den Abschluss der Maßnahmen bildet ein Sanierungsvorschlag, der auf die spezielle Situation zugeschnitten und mit dem verantwortlichen Baumanagement abgestimmt ist. Häufig ist es sinnvoll, die Maßnahmen zur Radonreduzierung in einen – bei den meisten Kommunen bestehenden – Sanierungsplan für die Schulgebäude zu integrieren, um Redundanzen zu vermeiden.

5 Ausblick

Die Beschäftigung mit einem möglichen Radonproblem auf kommunaler Ebene kann ausgehend von dem im größeren regionalen Rahmen vorhandenen Wissen auf unterschiedlichen Ebenen und mit unterschiedlichem Aufwand je nach Dringlichkeit und Finanzvolumen geplant und realisiert werden. Zu empfehlen ist in jedem Fall eine offene und transparente Kommunikation des bestehenden Risikos.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Kemski J, Siehl A, Stegemann R, Valdivia-Manchego M (2001): Mapping the geogenic radon potential in Germany. - Science Total Environment, 272: 217-230
- [2] Barnet I, Pacheerová P, Neznal M, Neznal M (2008): Radon in Geological Environment – Czech Experience. Czech geological survey. 70 Seiten. Prague
- [3] Miles JCH, Appleton JD (2005): Mapping variation in radon potential both between and within geological units. - J. Radiol. Prot. 25: 257-276
- [4] Shi X, Hoftiezer DJ, Duell EJ, Onega TL (2006): Spatial association between residential radon concentration and bedrock types in New Hampshire. - Environ. Geol., 51: 65-71
- [5] 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 - Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2002-598

BAUWERKSABDICHTUNG UND RADONSCHUTZ AN EINEM NICHT UNTERKELLERTEN EINFAMILIENHAUS

PROTECTION AGAINST MOISTURE AND RADON ON A BASEMENTLESS SINGLE-FAMILY HOUSE

Dietmar Häßler

Bauplanungs- und Sachverständigenbüro

Zusammenfassung

An nichtunterkellerten Neubauten mit einer horizontalen Bauwerksabdichtung auf der Bodenplatte kann ein Schutz gegen Radon ohne großen Mehraufwand erzielt werden. Eine Planung und Bauausführung der Bauwerksabdichtung gemäß den anerkannten Regeln der Technik ist dafür Voraussetzung. Eine fehlende Normierung des baulichen Radonschutzes in Deutschland erschwert die Durchsetzung der anerkannten Regeln der Technik auf den Baustellen. Nachbarstaaten der Europäischen Union sind in dieser Beziehung fortschrittlicher.

Summary

The horizontal water-proofing on basementless buildings can also protect against radon without additional charge. An accurate planning and building construction is absolutely necessary. Absent standardisation for constructional protection against radon makes the work and controlling on the building site difficult. This standardization exists already in adjacent states of Europe.

1 Vorbemerkungen

Die planerischen und handwerklichen Ausführungen am Bau verhalten sich derzeit kontraproduktiv zu den qualitativen Erwartungen der Auftraggeber. Im Einfamilienhausbau zeichnet sich seit Jahren der Trend der Vergabe des Bauauftrages an Generalübernehmer und / oder Generalunternehmer ab.

Die klassische und seit Jahrzehnten bewährte Dreier-Konstellation von Bauherr, Architekt und Baubetrieb wird auch im Einfamilienhausbau immer mehr durch die Beauftragung „Alles aus einer Hand“ ersetzt.

Der Bauherr als baulicher Laie hat keinen unabhängigen Berater und Fachmann mehr an seiner Seite um die Bauleistungen überwachen und bewerten zu können. Als Ersatz für die fehlende, unabhängige Kontrolle der Bauausführung setzt sich zunehmend die baubegleitende Qualitätsüberwachung durch. Kammern, Vereine und Institutionen, wie beispielsweise der TÜV, die DEKRA und die GTÜ bieten derartige Leistungen an. Eine fachgerechte Qualitätsüberwachung beginnt bereits mit der Durchsicht der Planungsunterlagen vor Baubeginn, bedarf regelmäßiger

Kontrollen wichtiger Bauabschnitte und endet mit der Bauabnahme bzw. der Übergabe aller Dokumentationen und Nachweise durch den Baubetrieb an den Bauherrn.

2 Einführung

Der Neubau eines Einfamilienhauses wird in der Regel als eine simple Bauaufgabe angesehen. In den letzten Jahren sind die Wünsche der Bauherren an Dauerhaftigkeit, Nachhaltigkeit, Gesundheitsschutz, Umweltverträglichkeit und Energieeffizienz jedoch gestiegen. Die gesetzlichen Anforderungen an die Bauqualität haben sich ebenfalls verschärft. (z.B. Energieeinsparverordnung anstelle der Wärmeschutzverordnung)

Die Gebäude sollen aus energetischen Gründen immer luftdichter konzipiert und errichtet werden. Moderne Haustechnik, wie raumluftechnische Anlagen, ermöglichen eine nahezu nutzerunabhängige Steuerung der klimatischen Verhältnisse im Gebäude. In diesem Zusammenhang verändern sich in den Gebäuden oftmals die Luftdruckverhältnisse zur Außenluft. Bei Leckagen an der Gebäudehülle können auch Luft-Konvektionsströme von außen nach innen entstehen. Über diese Luftströme kann bei exponierten Baugründen auch Radongas in das Bauwerk eindringen. Aufenthaltsräume in nicht unterkellerten Einfamilieenhäusern sind dabei besonders gefährdet.

Der Radonschutz bei dieser Art von Einfamilienhäusern ohne Keller kann über eine dichte Stahlbeton-Bodenplatte oder über Dichtungsbahnen erfolgen. Die ohnehin erforderliche horizontale Bauwerksabdichtung für den Feuchtigkeitsschutz unter oder auf bzw. durch die Bodenplatte kann bei entsprechender konstruktiver Herstellung gleichzeitig als Radonschutz fungieren. Für den Bauherrn sind dadurch kostensparende Synergieeffekte möglich. Die Aufwendungen für die horizontale Bauwerksabdichtung betragen in der Regel nur 0,5 Prozent der Bausumme. Eine funktionierende Bauwerksabdichtung hat jedoch große Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit und die Nutzbarkeit eines Gebäudes. Falsch verstandene Sparsamkeit ist bei Bauwerksabdichtungen fehl am Platz.

3 Anerkannte Regeln der Technik für die Bauwerksabdichtung

Für zahlreiche Bauvorhaben wird zwischen dem Auftraggeber und der Baufirma ein Vertrag nach der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) abgeschlossen. Nach Paragraph 4 Punkt 2 Satz 1 der VOB hat der Auftragnehmer als Bauqualitätsstandard die anerkannten Regeln der Technik und die gesetzlichen und behördlichen Bestimmungen zu beachten. Die anerkannten Regeln der Technik (a.R.d.T.) sind kein auf Dauer festgeschriebener Sachverhalt, sondern definieren sich wie folgt:

„Die „anerkannten Regeln der Technik“ sind (schriftliche) technische Festlegungen, deren Inhalt von der Mehrheit der Fachleute als zutreffende Beschreibung des „Standes der Technik“ zum Zeitpunkt der Veröffentlichung anerkannt wird. Dies ist bei technischen Festlegungen zu vermuten, die nach einem Verfahren zustande gekommen sind, dass allen betroffenen Fachkreisen die Möglichkeit zur demokratischen Mitwirkung bietet.“ (W.Prestinari [01])

Die a.R.d.T. zeichnen sich somit u.a. dadurch aus, dass selbige in den Fachkreisen diskutiert und beraten wurden, sowie die Mehrzahl der Fachleute selbige anerkennt. Normenwerke und Veröffentlichungen von Fachverbänden sowie von Fachkreisen können deshalb im Regelfall zu den a.R.d.T. gezählt werden.

Für den Bereich der Bauwerksabdichtungen (BWA) sind für Neubauten als a.R.d.T. anzusehen:

Tab. 1: Auswahl einiger anerkannter Regeln der Technik

DIN 18195/01	BWA –Teil 1: Grundsätze, Defin. , Zuordnung der Abdichtungsarten	08/2000
DIN 18195/02	BWA - Teil 2: Stoffe	08/2000
DIN 18195/03	BWA - Teil 3: Anforderungen an den Untergrund u. Verarbeitung der Stoffe	08/2000
DIN 18195/04	BWA - Teil 4: Abdichtung gegen Bodenfeuchte und nichtstauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden, Bemessung und Ausführung	08/2000
DIN 18195/05	BWA - Teil 5: Abdichtungen gegen nichtdrückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen, Bemessung und Ausführung	08/2000
DIN 18195/06	BWA - Teil 6: Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser und aufstauendes Sickerwasser, Bemessung und Ausführung	08/2000
DIN 18195/07	BWA - Teil 7: Abdichtung gegen von innen drückendes Wasser, Bemessung und Ausführung	06/1989
DIN 18195/08	BWA - Teil 8: Abdichtungen über Bewegungsfugen	03/2004
DIN 18195/09	BWA - Teil 9: Durchdringungen, Übergänge, An- und Abschlüsse	03/2004
DIN 18195/10	BWA - Teil 10: Schutzschichten und Schutzmaßnahmen	03/2004
DIN 18195	Beiblatt 01 – Bauwerksabdichtungen - Beispiele für die Anordnung der Abdichtung bei Abdichtung	01/2006
DIN 18336	VOB Teil C – Abdichtungsarbeiten	12/2002
Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton - DAfSTb-Richtlinie (WU-Richtlinie)		11/2003
Erläuterungen zur DAfSTb-Richtlinie - Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton		2006
BWA-Richtlinien - Heft 01 - Erdberührte Bauwerksflächen oberhalb des Grundwassers Bundesfachabteilung Bauwerksabdichtung im Hauptverband der Dt. Bauindustrie e.V.		2004
BWA-Richtlinien - Heft 02 – Gegen von außen drückendes Wassers Bundesfachabteilung Bauwerksabdichtung im Hauptverband der Dt. Bauindustrie e.V.		2006
* die fett gedruckten Regeln sind auch für den Radonschutz zu beachten		

4 Bauwerksabdichtung und Radonschutz

Bauwerksabdichtungen haben Aufgaben des Bauten- und des Gesundheitsschutzes zu erfüllen. Der hygienische Feuchteschutz soll in erste Linie ein ungesundes Raumklima in den Gebäuden vermeiden. Die Bauwerksabdichtung von Neubauten ist normiert, aber nicht als Technische Regeln für den Bautenschutz oder den Gesundheitsschutz in der Liste der Technischen Baubestimmungen aller Bundesländer enthalten (z.B. nicht im Land Sachsen). Die Anforderungen an die Bauwerksabdichtung als Schutz des Bauwerkes und seiner Bewohner vor Wasser in flüssiger und gasförmiger Form sind je nach der Feuchtebeanspruchung unterschiedlich. Nur die Bauwerksabdichtungen gegen Druckwasser können als korrespondierend mit denen zum Schutz

gegen Radon angesehen werden. Baustoffe für den Radonschutz müssen jedoch noch eine höhere Stufe der Dichtheit (gasdicht) und Dauerhaftigkeit nachweisen, als für den Feuchteschutz. Die Verarbeitung der Baustoffe und die Regeln der Bauausführung für den Feuchte- und den Radonschutz ist weitestgehend gleich. Beide Schutzmaßnahmen erfordern eine Planung und eine Bauüberwachung.

Auszug aus dem Entwurf des Radonschutzgesetzes – Stand 2005 - § 2 Satz 1 + 2 [02]

„Wer ein Gebäude errichtet oder in seiner Bausubstanz wesentlich ändert, hat die nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erforderlichen Maßnahmen zur Vermeidung einer erheblich erhöhten Strahlenexposition durch Radon aus dem Baugrund in Aufenthaltsräumen zu treffen.“

“Diese Maßnahmen sind nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik so zu planen und durchzuführen, dass in Aufenthaltsräumen der Zielwert für die Raumlufkonzentration von 100 Bq/m³ erreicht wird.“

Tab. 2: Anerkannte Regeln für den bautechnischen Radonschutz

Bundesrepublik Deutschland		
Radonhandbuch des Bundesamtes für Strahlenschutz und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit		2001
Merkblätter zur Senkung der Radonkonzentration in Wohnhäusern Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit		2004
Bundesrepublik Österreich		
ÖNorm S 5200	Radioaktivität in Baustoffen	04/1996
ÖNorm S 5280-02	Radon - Technische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden	06/2003
ÖNorm B 7209	Abdichtungsarbeiten für Bauwerke – Verfahrensnorm	07/2002
Tschechische Republik		
ČSN 73 0600	Ochrana staveb proti vodě – Hydroizolace – Záklandni ustanoveni Schutz der Bauwerke gegen Wasser	2000
ČSN 73 0601	Ochrana staveb proti radonu z podloži Schutz des Bauwerkes gegen Radon aus dem Untergrund	2000
ČSN 73 0602	Ochrana staveb proti radonu a zářeni gama ze stavebnich materiálů Der Gebäudeschutz gegen Radon und Gammastrahlung aus den Baustoffen	2000

5 Beispiele für fehlerhafte Planung und Bauausführung der Bauwerksabdichtung an einem nichtunterkellerten Einfamilienhaus

5.1 SOLL – Zustand - Anforderungen

Schutzschichten unterhalb der Abdichtung

- steinfreie, ebene Oberfläche (z.B. 50 mm Magerbeton glatt abgerieben) zur
 - Verhinderung von Perforationen
 - gleichmäßige Auflagerung für die Einpressung bzw. Lastverteilung / Begrenzung der Dehnung
 - Vermeidung von Faltenbildungen in der Abdichtung

Auswahl der Abdichtung

- Nachweis der Eignung der Abdichtung für den Radonschutz (Prüfzeugnis)
 - Bitumenbahn
 - Kunststoffbahn

Verbindung der Abdichtung untereinander

- Bahnenabdichtung
 - Kleben
 - Schweißen

Einbauteile in der Abdichtung / Bauteildurchdringungen

- Verwendung des gleichen Baustoffes wie die Abdichtung oder anderer zugelassener Baustoffe
- Nachweis der Kontaktverträglich bei der Kombination unterschiedlicher Baustoffe
- Formstücke für Außenecken
- Formstücke für Innenecken
- Formstücke für Rohr- und Kabeldurchführungen verschiedener Durchmesser
- Abdichtung zwischen dem Einbauteil und den Medien (Rohre / Kabel u.ä.) mittels
 - Spannbänder
 - Klemmflansche
 - Press-Gummidichtungen

Schutzschichten über der Abdichtungsbahn

- steinfreie, ebene Oberfläche (z.B. 50 mm Estrich glatt abgerieben) zur:
 - Verhinderung von Perforationen durch den Baustellenbetrieb, Bewehrungseinbau u. Ä.
 - gleichmäßige Verteilung von Auflasten und Pressung der Abdichtung

5.2 IST – Zustand - FALLBEISPIEL

(Fotos aus [03])



- unebene Grobkiesschicht als Unterlage
- fehlende feinkörnige, ebene Schutzschicht
- enge Abstände zwischen den Medienrohren

Abb. 1: ungleichmäßig tragfähiger Untergrund durch die nachträgliche Aufschachtung für die Medienrohre



- benötigt Zeit zum Auslegen, um Falten glätten zu lassen
- bedarf genauer Planung von Einbauteilen und Durchdringungen
- lässt sich nur schwer über Rohre und Kabel stülpen

Abb. 2: vorkonfektionierte Kunststoff- Abdichtungsbahn



- die vorkonfektionierte Bahn wird großflächig eingeschlitzt, weil ein Überstülpen der Rohre und Kabel nicht möglich ist
- zu geringe Anstände der Rohre und Kabel ermöglichen keine fachgerechten Abdichtungsanschlüsse
- nicht geprüfte Klebebänder aus dem Baumarkt als Ersatz für Schweißnähte
- ungeklärte Dichtung zwischen den Hüllrohren und den dünneren

Abb. 3: vorkonfektionierte Kunststoff- Abdichtungsbahn



Abb. 4: Reststreifenverklebung

- Perforation der Randaufkantung der Abdichtungsbahn durch Kunststoff-Halterung der Randdämmplatten
- Aufkleben von kleinen Reststreifen der Abdichtungsbahn mittels Silikon an der Innenecke und den Durchdringungen
- „Eindichten“ einer Rohrdurchführung mit faltigen Reststreifen der Bahnenabdichtung, verschiedenen Klebebändern und einem schmalen Spannband



Abb. 5: Rohrdurchführung



- Verlegung der Bewehrungsmatten und Einzelstäbe direkt auf der ungeschützten Abdichtungsbahn
- Bewehrungs-Abstandshalter drücken punktförmig in die Abdichtungsbahn
- scharfe Schnittkanten von Einzelstäbe der Bewehrung reichen bis an die Randaufkantung der Abdichtungsbahn
- engmaschige Bewehrung

Abb. 6: Bewehrungsmatten auf Abdichtungsbahn

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Art und Weise, wie eine Abdichtung als Schutz gegen Radon fachgerecht herzustellen ist, wird in Normenwerken und der Literatur des In- und Auslands ausreichend publiziert. Unter gut ausgebildeten Fachleuten sollten diese Regeln der Technik bekannt sein.

Das Praxisbeispiel aus Deutschland zeigt, dass Bauplaner, Produktlieferer und Bauausführende diese Fachregeln oftmals noch negieren und eine unzureichende Sensibilität für den Gesundheitsschutz der löhnenden Bauherren an den Tag legen. Eine solche Verhaltensweise ist inakzeptabel und schadet dem Ansehen der Bauwirtschaft. Externe Bauüberwachung kann helfen, fehlerhafte Radonabdichtungen zu erkennen und anzuzeigen.

Der Gesetzgeber sollte den Beispielen der benachbarten Länder Deutschlands folgen und den baulichen Radonschutz ebenfalls einer Normierung unterziehen. Die Norm könnte dann als Technische Regel für den Gesundheitsschutz in der Liste der Technischen Baubestimmungen der Bundesländer verankert werden.

7 Literaturverzeichnis

[01] Stand der Technik, Anerkannte Regel der Technik W.Prestinari

BQÜ – Sachverständigen -TAG –Hamburg 2003

[02] Entwurf – Gesetz zum Schutz vor Radon beim Aufenthalt in Gebäuden – Stand 22.03.2005

[03] Bauwerksabdichtung und Radonschutz D. Häßler

Zeitschrift „Der Bausachverständige“ – Heft 02/2008 - Bundesanzeiger Verlag und Fraunhofer IRB Verlag

ERFAHRUNGEN BEI DER RADONSANIERUNG EINER SCHULE

EXPERIENCES AT THE RADON CLEARANCE OF A SCHOOL

Bernd Leißring

Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX, Chemnitz

Zusammenfassung

An einem abstrakten Beispiel werden prinzipielle Fragestellungen, die für die Planung und Ausführung einer Radonsanierung relevant sind, zur Diskussion gestellt. Im Besonderen werden folgende Fragestellungen behandelt:

- *Welcher Zielwert für die Senkung der Radonkonzentration wird herangezogen?*
- *Wie wurde im Gebäude die tatsächliche Radonbelastung in der Raumluft erfasst?*
- *Welchem Systemcharakter unterliegt das Gebäude, wie wirken Lüftungsszenarien in den einzelnen Räumen?*
- *Wie ist das Gebäude nach der Radonsanierung freizumessen?*

Zudem werden praktische Erfahrungen zur Rechtsrelevanz von Messungen und notwendige, für die langfristig sichere Erhaltung der technischen Lösung notwendige, Maßnahmen diskutiert.

Summary

We want to show the fundamental question, which is relevant for planning and realization for a radon clearance, by an abstract example.

Especially the following questions will be dealt:

- *Which target for the lowering of the radon concentration will be called?*
- *How was the real radon load in the air of the rooms recorded?*
- *Which kind of system has the building got, how do the ventilation loopholes work in the rooms?*
- *How can you gange free the building after the radon clearance?*

In addition practical experiences to the legal relevance of measurements and necessary technical solutions for the longtime preservation measures will be discussed.

1 Einführung in die Problematik

Um in die Problematik einer Radonsanierung unter dem Gesichtspunkt eines für die Sanierung Verantwortlichen (Bauherrn) einzuführen, müssen die aktuellen rechtlichen Bedingungen in den jeweiligen Land, hier in Deutschland beachtet werden.

Dazu ist die grundlegende Fragestellung relevant:

Welcher Grenzwert- oder Empfehlungswert ist heranzuziehen?

Um die tatsächliche Situation der Radonkonzentration in Gebäuden einzuordnen, müssen die aktuell vorliegenden staatlichen Vorgaben recherchiert werden. Dabei muss in dem vorliegenden Fall davon ausgegangen werden, dass zur Zeit in der Bundesrepublik Deutschland kein gesetzlicher Grenzwert definiert ist. Es liegen aber Empfehlungswerte von unterschiedlichen Organisationen und Einrichtungen vor.

International sind Grenzwerte für die Radonkonzentration in Gebäuden in einigen Ländern schon längst definiert [1]. Eine Zusammenstellung nach [2] von relevanten Empfehlungswerten ist in nachfolgender Übersicht gegeben.

Tab. 1: Empfehlungswerte verschiedener Institutionen zur Radonaktivitätskonzentration in Gebäuden (Jahresmittelwerte in Bq/m³) (Quelle: Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft Sachsen)

Empfehlende Institution	Empfehlungswert in Bq/m ³	
	bestehende Gebäude	Neubau
Weltgesundheitsorganisation (WHO)		250
Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP), 1993	200 bis 600	-
Deutsche Strahlenschutzkommission (SSK), 1994		250
Kommission der Europäischen Union (EU), 1990	400	200

Zudem wird vom Bundesumweltministerium und vom Bundesamt für Strahlenschutz ein Zielwert von 100 Bq/m³ dringend empfohlen.

Nur für bestimmte Berufsgruppen existieren in Deutschland gesetzliche Grenzwerte für die Exposition durch natürliche terrestrische Strahlenquellen. In Anlage XI der Strahlenschutzverordnung [3] werden folgende Arbeitsfelder mit erhöhter Radon-222 Exposition genannt.

Tab. 2: Arbeitsfelder, bei denen erheblich erhöhte Expositionen durch natürliche terrestrische Strahlenquellen auftreten können (entsprechend Anlage XI StrlSchV)

Arbeitsfelder mit erhöhter Radon-222-Exposition:
1. untertägige Bergwerke, Schächte und Höhlen, einschließlich Besucherbergwerke
2. Radon-Heilbäder und Heilstollen
3. Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung, -verteilung

Hilfsweise können für die Radonbelastungslastung von Personen in Innenräumen von Gebäuden zur Einordnung die gesetzlichen Grenzwerte für Berufstätige herangezogen werden. Damit kann eine Hilfestellung zur Zielwertproblematik möglich sein.

Bei einer Einschätzung der in einer Schule vorherrschenden Radonkonzentration und eines zumutbaren Risikos muss in jedem Fall, die Frage nach dem heranzuziehenden Empfehlungswert geklärt werden. Diese Problematik ist zudem unter dem Gesichtspunkt der Höhe der tatsächlichen

Belastung in der Schule einzuordnen und letztlich muss der Bauherr oder Entscheidungsträger selbst den Zielwert für die Radonkonzentration nach der Sanierung festlegen und gegebenenfalls vertraglich vereinbaren, da eine gesetzliche Vorgabe nicht gegeben ist.

Dabei ist es aber auch wichtig zu definieren, wie der Sanierungserfolg bzw. das Erreichen des Zielwertes messtechnisch erfasst werden soll und unter welcher Nutzungsbedingung dies erfolgt.

Die öffentliche Resonanz auf die Problematik von etwaigen Belastungen von Kindern und Jugendlichen in Schulgebäuden ist zudem bei allen Entscheidungsfindungen zur möglichen Strahlenbelastung zu berücksichtigen.

In den Ausführungen [4] der Strahlenschutzkommission wird dargelegt, dass das Risiko einer gesundheitlichen Schädigung durch Einatmung radonbelasteter Luft eine lineare Beziehung ist. Somit steigt mit zunehmender Belastung durch Radon das statistische Risiko für die betroffenen Personen. Die vom BMU und BfS veröffentlichten Hinweise auf einen Zielwert von < 100 Bq/m³ findet zunehmend in der Politik und teilweise bei der Bevölkerung als nahezu „gesetzliche Vorgabe“ Beachtung. Dies erleichtert nicht die notwendige Festlegung des Sanierungsziels auf einen solchen Empfehlungswert durch den Bauherrn oder Sanierungsverantwortlichen.

Ein Überblick über die erfahrungsgemäß weiterhin auftretenden, zu beachtenden Fragestellungen ist in nachfolgender Tabelle gegeben.

2 Aspekte, die für eine Radonsanierung erfahrungsgemäß als beachtenswert betrachtet werden sollten

Ist die prinzipielle Frage nach dem anzustrebenden Zielwert geklärt, werden weitere zu berücksichtigende Faktoren für eine Radonsanierung und den Sanierungserhalt sichernde Maßnahmen beachtenswert.

Aus der Vielzahl realisierter Radonsanierungen von Schulen wird aus praktischer Sicht und aus den Erfahrungen als öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger insbesondere auf folgende Aspekte hingewiesen.

Tab. 3: Aspekte zur Entscheidungsfindung für die Radonsanierung eines Gebäudes

Problemstellung	Notwendigkeit
Welcher Zielwert soll erreicht werden?	Durch den Bauherrn muss der Zielwert vor Baubeginn festgelegt werden.
Welche Radonkonzentration ist in den Innenräumen vorhanden? Wie wurde gemessen? Wie lange dauerte die Messung? Wie war die Nutzung während der Messung?	Prüfung der Relevanz der Messung der Ausgangssituation. Systemcharakter der Radonausbreitung in dem Gebäude muss erkennbar sein. Ursachen der Belastung müssen bekannt sein.
Sanierungsplanung unter den vorgesehenen Nutzungsbedingungen des Gebäudes.	Festlegungen zur baulichen Realisierung unter Berücksichtigung von Kosten und Nutzen
Bauausführung	Vertragliche Festlegung über Zielwert zwischen Bauherrn und Ausführendem
Prüfung der Sanierung	Kontrolle der Innenraumkonzentration nach der Sanierung unter definierten Mess- und Nutzungsbedingungen
Langzeitsicherung der gebäudetechnischen Radonsicherungsmaßnahmen	Hausakte über technische Bedingungen nach der Sanierung zur Vermeidung von Eingriffen in die

	Schutzgegebenheiten. Sachgemäße Prüfung technischer Anlagen auf die Funktionstüchtigkeit und Kontrollmessungen in festzulegendem Turnus
--	--

Zielstellung der gesamten Herangehensweise sollte die auch rechtliche Sicherung der Bedingungen für den Auftraggeber und den baulichen Sanierungsträger sein, da erfahrungsgemäß ohne die aufgeführten, auch vertraglichen Festlegungen im Nachhinein unterschiedliche Rechtsstandpunkte und Unklarheiten über sichere Messnachweise auftreten können.

3 Generelle Bedingungen zur Erarbeitung eines Sanierungskonzeptes

Nimmt man die Empfehlungen des Bundesamtes für Strahlenschutz als Grundlage für einzuleitende Maßnahmen zur Senkung der Radonbelastung (angestrebter Zielwert) an, so wird deutlich, dass bei Überschreitung vom Empfehlungswert ein empfohlener Handlungsbedarf vorliegt.

Nach [5] ist z.B. „... ab einer Belastung von 100 Bq/m³ Innenluft in Abhängigkeit von der Höhe der Radonkonzentration Sanierungsmaßnahmen bei bereits bestehenden Gebäuden innerhalb bestimmter Zeiträume (bis zu zehn Jahren) durchgeführt werden.“

Diese Maßnahmen können von vermehrter Belüftung (Belüftungsregime) bis hin zu baulichen Veränderungen zum Radonschutz reichen, um einen festzulegenden Empfehlungswert (Zielwert) zu erreichen. Dabei sollte die Abhängigkeit von den tatsächlichen Radonbelastungen in den Innenräumen der Schule bei Nutzung, die standörtlichen Bedingungen, wie die durchschnittliche Belastung der Außenluft im Freien beachtet werden.

Die Untersuchungen zur Eintrittspfadsuche zeigen Hinweise zu bestehenden Migrationswegen, die in den jeweiligen Räumen Einfluss auf die Radonzufuhr aus dem Untergrund haben und der Ausgangspunkt für erste Sanierungsmaßnahmen sein können, wenn der Systemcharakter der Radonausbreitung in den betreffenden Gebäude [6] und [22] bekannt ist.

Ein zu erarbeitendes Sanierungskonzept muss die Maßnahmen zur Radonsanierung beinhalten, um die Migrationswege des Radons in das Gebäude unter den gegebenen baulichen und standörtlichen Verhältnissen zu unterbinden oder andere Quellen auszuschalten. Nachfolgend werden Hinweise zu generellen Einordnung von Sanierungsmaßnahmen aufgezeigt.

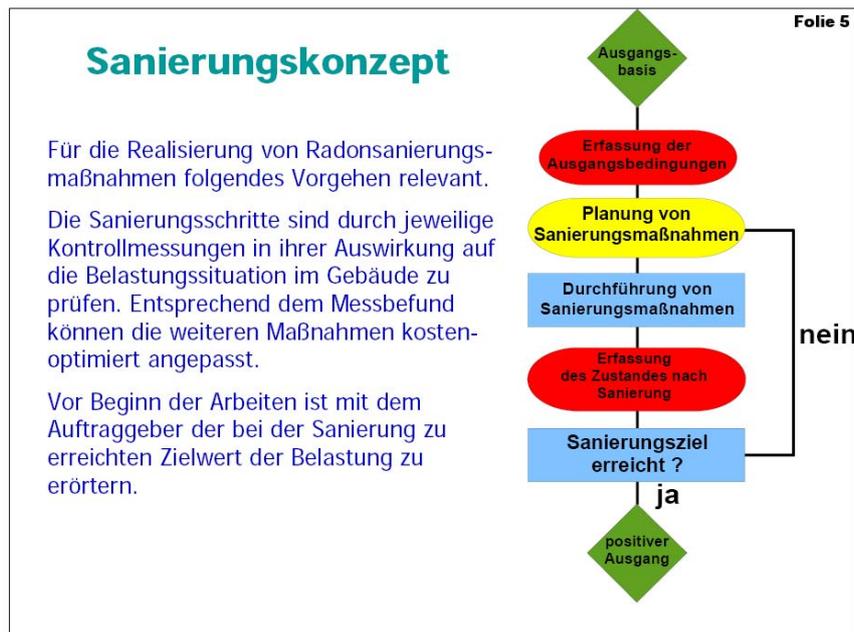


Abb. 1: Ablaufschema Sanierung nach [23]

Entscheidend für die Festlegung von Maßnahmen zum notwendigen Radonschutz ist der zu erzielende Wert der Radonkonzentration in der Raumluft des Gebäudes unter Berücksichtigung der Nutzungsbedingungen des Gebäudes.

Wie dargelegt hängt die Entscheidung über einzuleitende Radonschutzmaßnahmen von etwaigen vertraglichen festzulegenden Zielwerten zwischen den Vertragspartnern ab, da es zurzeit nur Empfehlungswerte und keine gesetzlichen Grenzwerte in der Bundesrepublik gibt und die tatsächliche Radonkonzentration auch vom praktischem Lüftungsregime in der Schule abhängt.

Die schematischen Notwendigkeiten für die Planung eines Sanierungskonzeptes sind in nachfolgenden Abbildungen (aus [23]) dargestellt.

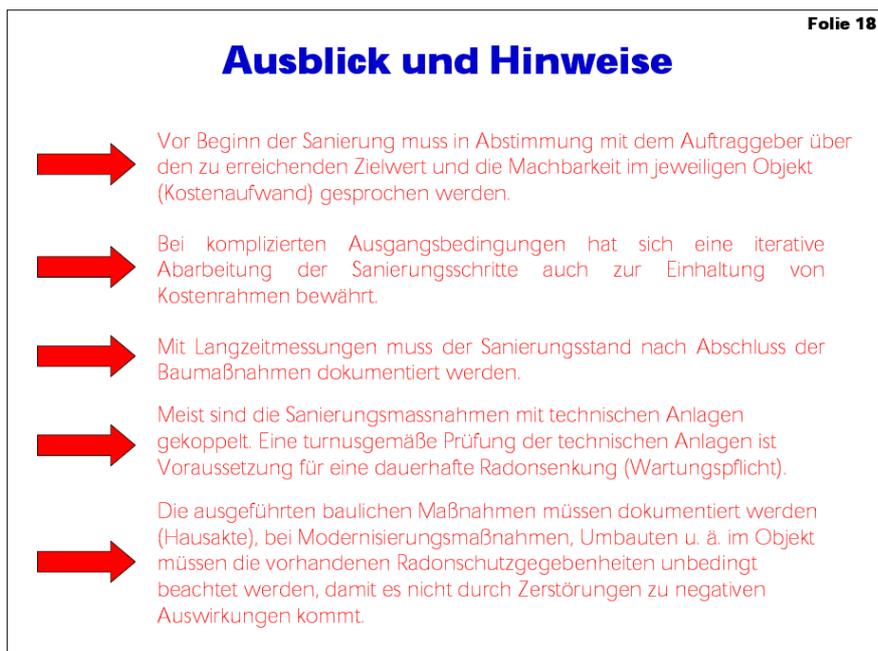


Abb. 2: Hinweise für die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen nach [23]

Eine generelle Anleitung für Maßnahmen zum Schutz vor erhöhter Radonkonzentration in Gebäuden wird zudem in [8] durch das BfS gegeben.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Heft, H.-U.:
Radon in Wohnhäusern - Festlegung von Richt- und Grenzwerten.-
Literaturauswertung, Dresden (1993)
- [2] [www: smul.sachsen-de/de/wu/umwel/](http://www.smul.sachsen-de/de/wu/umwel/):
Strahlenschutz, Radioaktivität, Kerntechnik.-
Rechtliche Informationen, SMUL
- [3] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierte Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV)
Gesetzblatt vom 26. Juli 2001
- [4] Strahlenschutzkommission.:
Auswertung der vorliegenden Gesundheitsstudien zum Radon, Bonn 2004.
- [5] Bundesamt für Strahlenschutz:
Strahlenthemen, Radon in Häusern.-
Salzgitter, 2007
- [6] Schulz, H. (IAF – Radioökologie GmbH):
Eintritts- und Ausbreitungsprozesse von Radon in Gebäuden und relevante Einflüsse auf die Radonkonzentration.-
Programmseminar „Radonsicheres Bauen“, Juli 2006, SMUL
- [7] Löbner, W., Schulz, H.:
Wie und warum gelangt Radon in ein Haus?
1. Tagung Radonsicheres Bauen, HTW Dresden, September 2005
- [8] Bundesamt für Strahlenschutz:
Maßnahmen zum Schutz von erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden.-
http://www.bfs.de/de/bfs/druck/infoblatt/Radon_Massnahmen, Infoblatt, April 2005

ENTWICKLUNG VON RADONDICHTEN HOLZBAUTEILEN

DEVELOPMENT OF RADON DENSE TIMBER COMPONENT

Bernd Liebscher

Liebscher Bauplanung und Betreuungs-GmbH



Zusammenfassung

Inhalt der Entwicklung war die Planung, Entwicklung und Fertigung von radondichten Holzbauteilen, von radondichten Verbindungen zwischen Holz- und Betonbauteilen und von radondichten Mediendurchdringungen in Holzbauteilen. Ziel war die Schaffung eines Systembauteil-Kataloges mit Prüfnachweis der Dichtheit bzw. der Einhaltung der Empfehlungen der Strahlenschutzkommission sowie die Entwicklung einer Fertigungstechnologie bzw. der Aufbau einer Fertigungslinie zur Herstellung der Systemelemente inklusive entwickelter Prüfstation und die Ausführung der radondichten Montageleistungen beim Endkunden

Das Kooperationsprojekt wird gemeinsam mit der Bergsicherung Schneeberg GmbH bearbeitet und durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert

Summary

Contents of the development were the planning, development and manufacturing radon-dense timber components, from radon-dense connections between timber components and concrete components and from radon-dense media penetrations in timber constructions. Aim was the creation of a system component catalogue with test of the density or the observance of the recommendations of the ray protection commission as well as the development of a manufacturing technology or the construction of a production line to the production of the system elements including developed test station and the implementation of the radon-thick assembly achievements with the end customer.

The cooperation project is worked out together with the Bergsicherung Schneeberg GmbH and is promoted by the Federal Ministry for Economy and Technology

1 Aufgabenstellung

Planung, Entwicklung und Fertigung von radondichten Holzbauteilen, von radondichten Verbindungen zwischen Holz- und Betonbauteilen und von radondichten Mediendurchdringungen in Holzbauteilen. Ziel ist die Schaffung eines Systembauteil-Kataloges mit Prüfnachweis der Dichtheit bzw. der Einhaltung der Empfehlungen der Strahlenschutzkommission sowie die Entwicklung einer Fertigungstechnologie bzw. der Aufbau einer Fertigungslinie zur Herstellung der Systemelemente inklusive entwickelter Prüfstation und die Ausführung der radondichten Montageleistungen beim Endkunden

Inhalt der technischen und technologischen Zielsetzung des FuE – Projektes sind folgende Entwicklungsziele

- Vermeidung von Radonmigration aus dem Erdreich in Gebäude durch geprüfte radondichten Holzdecken- und Bodenelemente, die industriell vorgefertigt werden und den individuellen Ansprüchen einer Gebäudeplanung entsprechen
- Entwicklung von konstruktive Lösungsvarianten nach Wirksamkeit, Durchführbarkeit und Wirtschaftlichkeit
- Entwicklung einer Prüfstation zum Dichtheitsnachweis
- Optimierung der Bauteile und deren Verbindungen sowie Bauteildurchdringungen
- Beurteilung der Holzkonstruktionen und Gewährleistung der Dampfdiffusion der Holzbauteile
- Erreichen von Durchschnittsraumkonzentrationen für Radon < 200 Bq im Gebäude durch den Einbau von Radonsperren in den Gebäudeabschluss gegen Erdreich .
- Gewährleistung der Funktionsweise der Radondichtung während der normativen Nutzungsdauer der Gebäude. (ca 100 Jahre)
- Beständigkeit der Dichtung gegen zulässige Verformungen und Längenänderungen
- Entwicklung eines Detailkataloges als Grundlage für die Fertigung von radondichten Holzbauteilen

2 Darstellung der erreichten Ergebnisse

2.1 Bauteilkriterien

Grundsätzlich wurden 2 Varianten für den unteren Gebäudeabschluss in Holzbauweise untersucht.

Beide Varianten unterscheiden sich wesentlich in der Lastabtragung und im bauphysikalischen Verhalten des Holzbauelementes.

- Deckenelement auf Kriechgang
- Bodenelement auf flächiger frostempfindlicher Gründung

Zur Beurteilung der Konstruktionen mit eingebauter Radonsperre wurden Erkenntnisse gewonnen, die die Herstellung von radondichten Bauteilen ermöglichen.

Grundlage für die Entwicklung der Bauteile waren:

- Definition der Radondichtheit
- Nachweis der Radondichtheit
- Klärung der Radoneintrittsmöglichkeiten in die Holzkonstruktion
- Materialauswahl für die Radonsperre in Holzbauteilen
- Entwicklung von Systembauteilen

Vom Kooperationspartner wurden auf der Grundlage der Lösungsvorschläge Testelemente gefertigt, die in der Prüfstation für Laboruntersuchungen geprüft wurden. Nach gemeinsamer Auswertung der Prüfergebnisse und der praktischen Erfahrungen wurde ein Bauteilkatalog entwickelt.

Der Entwurf der Prüfstation wurde den Erfordernissen und den technischen Möglichkeiten angepasst und entsprechend gefertigt.

Die Prüfung der Elemente erfolgte im Labor von Prof. Dr. Leißring.

Ausgehend vom Entwicklungsziel, vorgefertigte montagefertige Holzbaudeckenelemente zu entwickeln, wurden Lösungen gefunden, **die gegenwärtig nicht vorhanden sind**.

Die entwickelten Elemente sichern die Nutzung der Räume im Rahmen der definierten Radondichtheit mit 200 Bq/ m³ zu.

3 konstruktive Lösung

3.1 Holzdeckenkonstruktion auf Kriechgang

Vorbemerkung

Bei der Ausbildung eines Kriechganges erfolgt die Verlegung der Radonsperre auf der Oberseite der Holzelemente. Nach Abschluss der Verlegearbeiten kann visuell geprüft werden, ob eine Beschädigung vorliegt. Gleichzeitig übernimmt die Radonsperre die Aufgabe der Dampfsperre.

Holzbalkenkonstruktion

Diese Konstruktion entspricht der herkömmlichen Deckenbalkenkonstruktion mit einem Systemabstand von 62,5 cm der Balken untereinander.

Die Radonsperre, Sisalex 871, wird bei dieser Konstruktion punktuell auf der OSB Platte verklebt und an den seitlichen Anschlüssen 15 cm flächig überlappend mit

doppelseitigem Butylklebeband BK 530 verklebt.

Zur zusätzlichen Sicherung gegen etwaiger Längenänderungen wird eine Bewegungsfalte zwischen beiden Montageelementen gelegt. Um eine Unebenheit im Bereich der Verklebung zu vermeiden, wird der Klebebereich ca. 5 mm ausgefräst.

Die Holzbalkenelementeunterseite wird mit einer Zementverbundplatte abgeschlossen, um mögliche Feuchtigkeitsschwankungen aufnehmen zu können.

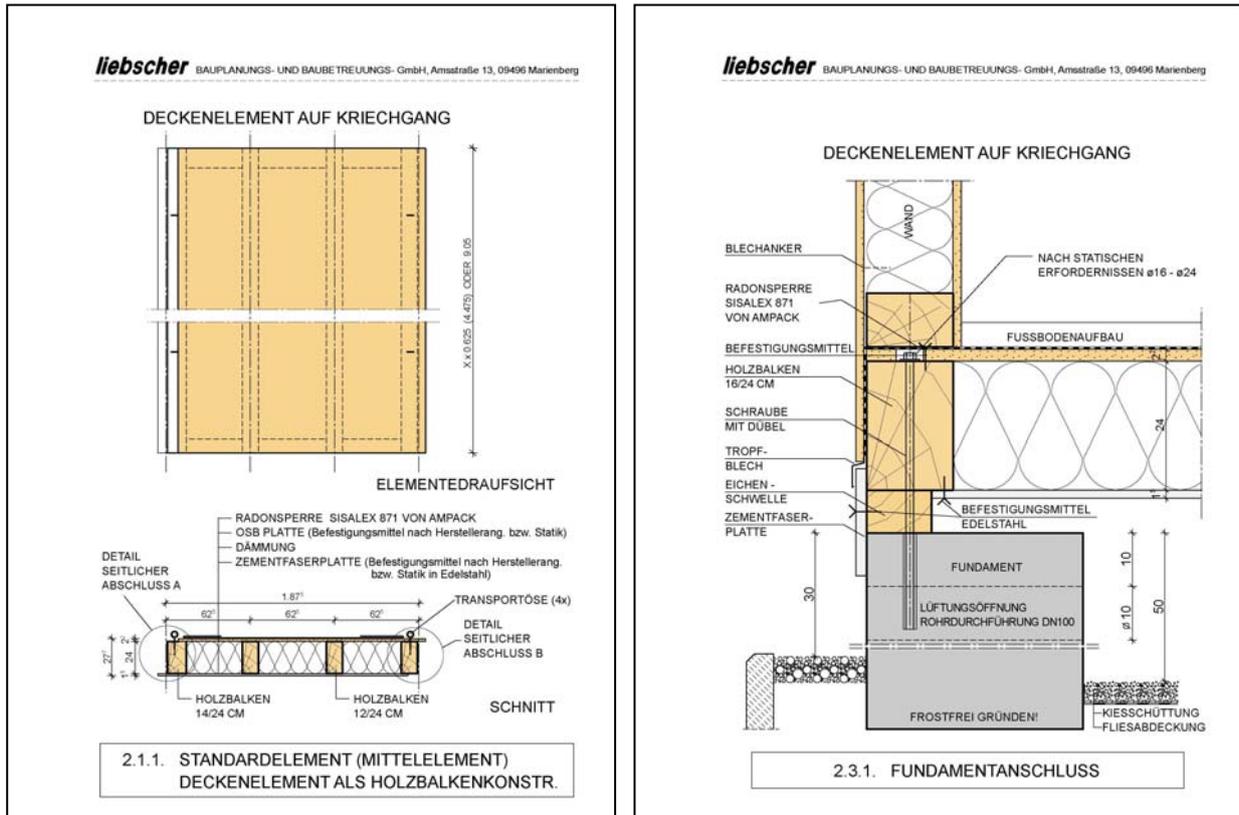


Abb.1: Standardelement, Deckenelement als Holz balkenkonstruktion

Abb.2: Fundamentanschluss

Im Randbereich erfolgt die Verbindung des Holzbalkenelementes mit dem Fundament mittels Gewindebolzen entsprechend den statischen Erfordernissen.

Die OSB – Platten werden in diesem Bereich zum Versenken der Mutter ausgefräst und anschließend mit der Radonsperre überklebt.

Im Anschlussbereich für die aufgehenden Wände wird das Schwellenholz im Bereich der Verschraubung ausgefräst und dies mit Presskanälen zum Einbringen von Silcondichtungsmasse ergänzt.

Für die Durchführung von Medien durch die Holzbalkenkonstruktion sind Füllelementen aus Brettsperrholz vorgesehen. Rohrleitungen mit einem Durchmesser von über 50 mm Durchmesser werden mit AKW – Dichtungsmuffen aus PE- Folie und Silikondichtung eingedichtet.

Brettsperrholzkonstruktion

Diese Konstruktion besteht aus Brettsperrholzelemente mit auf der Oberseite punktuell aufgeklebter Radonsperre Sisalex 871. Die Verbindung der Elemente erfolgt durch OSB-Plattenstreifen die in die Fräsnut der Platten eingenagelt werden. Die Nut wird 3,5 cm tief ausgeführt, damit durch die doppelte Überklebung keine Aufwölbung der Radonsperre entsteht.

Die notwendige Fußbodendämmung erfolgt in diesem Fall bauseitig.

Die Brettholzplattenunterfläche wird ebenfalls mit einer Zementverbundplatte beplankt, um mögliche Feuchtigkeitsschwankungen aufnehmen zu können.

Für die Durchführung von Medien durch die Brettsperrholzkonstruktion ist es im Gegensatz zu den Balkenkonstruktionen nicht notwendig zusätzliche Sonderelemente einzubauen. Rohrleitungen ab einem Durchmesser von 50 mm werden mit AKW – Dichtungsmuffen aus PE- Folie und Silikondichtung eingedichtet. Zuvor wird die Holzsperrholzplatte um 2 cm über dem Rohrdurchmesser ausgebohrt. Sollte die Mediendurchführung nach dem Verlegen der Brettsperrholzelemente erfolgen, ist wie bei der Holzbalkenkonstruktion ein Füllelement einzubauen. Dabei ist das Füllelement als geteiltes Element herzustellen.

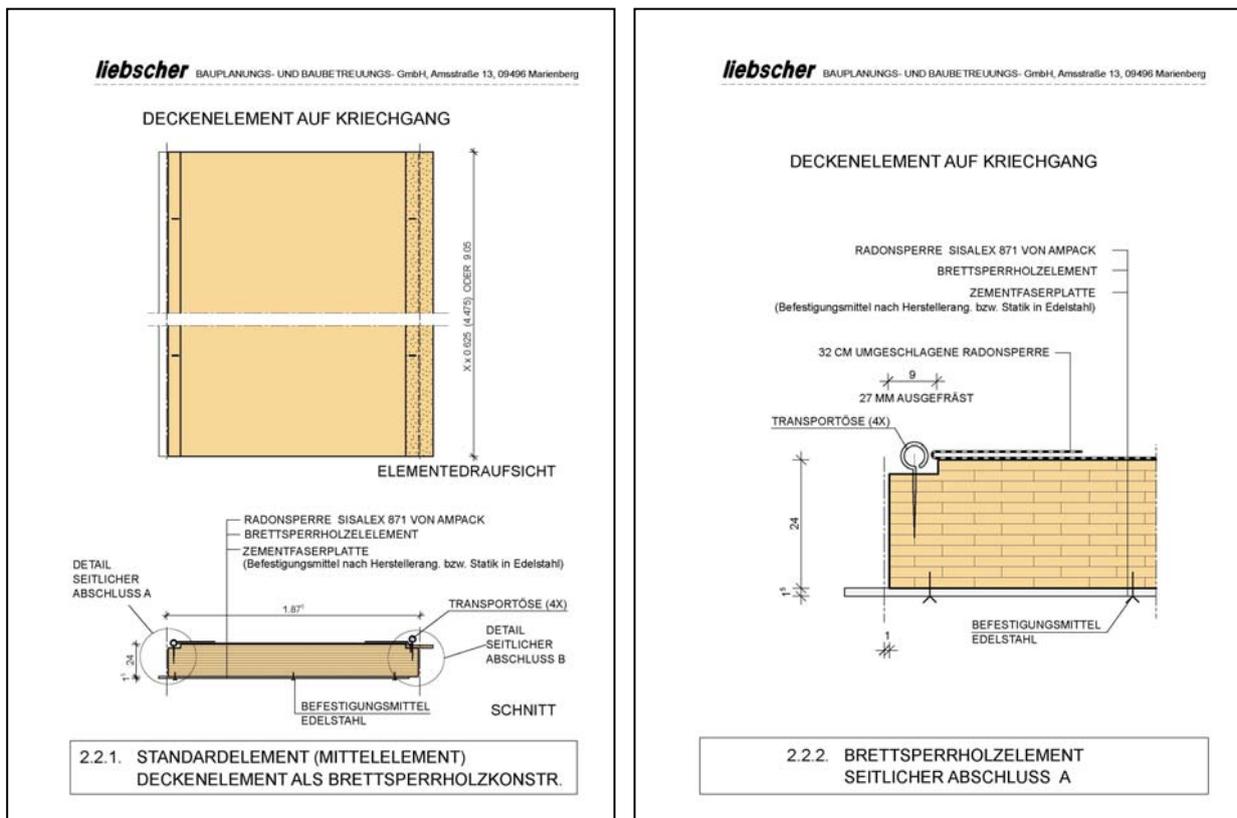


Abb.3: Standardelement, Deckenelement als Brettsperrholzkonstruktion

Abb.4: Brettsperrholzelement seitlicher Abschluss A

3.2 Holzbodenelement auf frostunempfindlicher Gründung

Vorbemerkung

Diese Gründungsvariante reduziert den Tiefbauaufwand durch den Einbau einer offenporigen kapillarbrechenden Tragschicht. Der Aufbau der Unterkonstruktion muss so erfolgen, dass dauerhaft keine Feuchtigkeit aus der Tragschicht austritt. Zur Sicherheit ist auf der Tragschicht eine Folie zu verlegen.

Bei dieser Gründungsart erfolgt die Verlegung der Radonsperre auf der Unterseite der Holzelemente. Zur Sicherung der Radonsperre gegen Beschädigung ist die Sperrschicht mit einer Lage Geotextil gegen Beschädigung zu schützen.

Nach dem Verlegen der Montageelemente ist die es notwendig eine Dampfsperre bauseitig auf die Elemente zu verlegen. Der s_d - Wert der bauseitig verlegten Dampfsperre muss einen s_d -Wert von 100 m haben.

Diese Gründungsvariante hat ein enormes Entwicklungspotential für Gebäude in Niedrigenergiebauweise bzw. im Passivhausbau. Durch die flächige Lastabtragung kann mit relativ wenig Holzeinsatz dafür mit hoher Dämmstoffdicke ein sehr effiziente Lösung geschaffen werden

Holzbalkenkonstruktion

Diese Konstruktion entspricht im Wesentlichen einer Deckenbalkenkonstruktion mit einem Systemabstand von 62,5 cm der Balken untereinander.

Die Radonsperre, Sisalex 871, wird bei dieser Konstruktion auf der Unterseite des Holzbalkenplattenelementes punktuell verklebt und an den Seiten hochgeführt und mit doppelseitigen 1 Butylklebeband BK 530 verklebt. Der Zwischenraum wird mit Mineralwollestreifen ausgefüllt.

Nach der Montage werden die Radondichtungen wiederum mit doppelseitigen Butylklebeband BK 530 verklebt. Nach der Verklebung werden Querholzprofile zur statischen Verbindung der Montageelemente eingenagelt.

Für die Durchführung von Medien durch die Holzbalkenkonstruktion wird das Balkenfeld aufgeschnitten und die Radondichtungsfolie im Durchführungsbereich aufgeschnitten. Mediendurchdringungen bis einen Durchmesser von 50 mm werden mit Manschetten aus Ampacoll BK 535 und doppelseitigen Butylkautschukband Ampacoll BK 530 eingedichtet. Rohrleitungen ab einem Durchmesser von 50 mm werden mit AKW – Dichtungsmuffen aus PE- Folie und Silikondichtung eingedichtet.

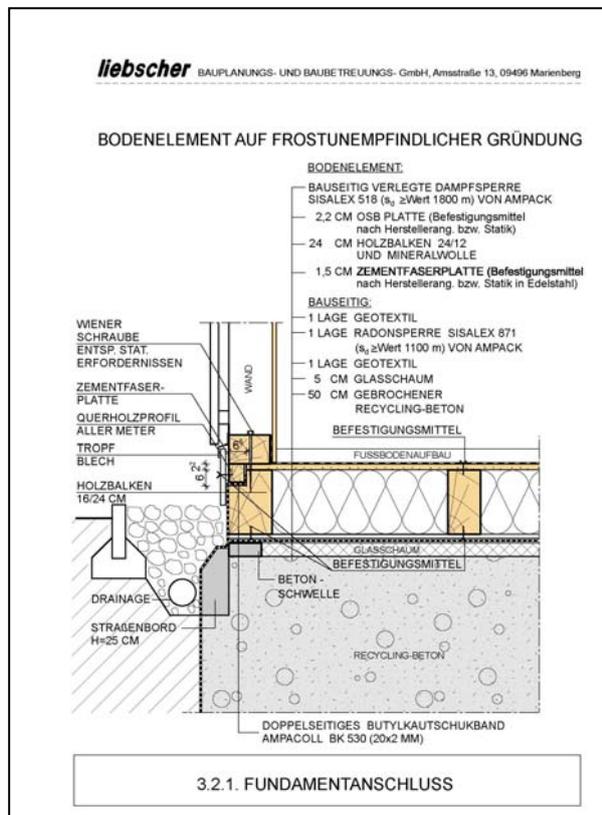


Abb.5: Fundamentanschluss

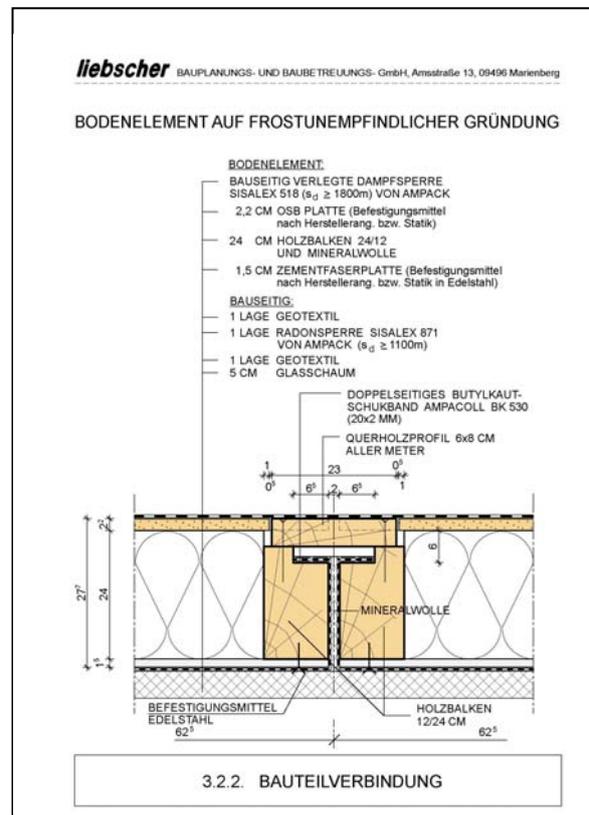


Abb.6: Bauteilverbindung

4 Bautechnische Erläuterungen

4.1 Deckenelemente auf Kriechgang

Holzbalkenelemente können auf belüftetem Kriechgang als radondichte Holzbalkenelemente ausgeführt werden, wenn das Mikroklima im Kriechgang beachtet wird.

Gegenwärtig ist kein Berechnungsmodul bekannt, welches verlässliche Angaben zum Feuchteverhalten der Holzbauteile in dieser Einbausituation berechnet.

Für das bauphysikalische Verhalten der Bauteile, die mit der Radonsperrfolie Sisalex 871 von der Firma Ampack gesperrt wurden, wurden die Ergebnisse der Untersuchung von der MEPA Leipzig GmbH zu den klimatischen Verhältnissen in Kriechkellern berücksichtigt und eingearbeitet.

In dieser Untersuchung wurden unter praxisnahen Bedingungen Messwerte erzielt.

Unter Beachtung dieser Bedingungen wird in der Holzkonstruktion eine zerstörungsfreie Feuchtebilanz gesichert.

Voraussetzung für eine ausgewogene Luftfeuchte im Kriechgang ist eine lichte Höhe von 50 cm.

Zur Reduzierung der Feuchtigkeitsmigration aus dem Boden ist der Baugrund mit einer Folie abzudecken. Um die Lage der Folie dauerhaft zu sichern, wird eine Kiesschüttung aufgebracht.

Der Kriechgang ist zur Be- u. Entlüftung mit 20 cm² Lüftungsöffnung pro 1 m² Bodenfläche herzustellen.

Unter Einhaltung dieser wesentlichen Kriterien stellt sich entsprechend den Untersuchungen der MEPA Leipzig GmbH für die Holzbauteile ein holzschutz-technisch vertretbarer Wert von 13 – 14 % Holzfeuchte ein.

Beim Einsatz von KVH-Holzbalken mit einer zugesicherten Holzfeuchte von ≥ 15 % kann langfristig mit einer zerstörungsfreien Feuchtebilanz im Bauteil ausgegangen werden. Somit sind auch innerhalb der Bauteilkonstruktion Maßänderungen durch Schwinden bzw. Quellen von Holzbauteilen ausgeschlossen.

Der Einsatz der zementgebundenen Bauplatte hat bei der Untersuchung der MEPA Leipzig GmbH eine noch geringere Feuchtigkeitsaufnahme von 11 % ergeben. Neben der antiseptischen Wirkung durch das Bindemittel Zement wird die Schimmelbildung fast gänzlich ausgeschlossen.

Die auf der Oberseite eingebaute Radonsperrfolie Sisalex 871 der Fa. Ampack übernimmt auf der Rauminnenseite die Funktion der Dampfsperre mit einem s_d -Wert von 1100 m.

Der nachfolgende Aufbau des Fußbodens hat dann keinen Einfluss auf das bauphysikalische Verhalten der Holzbauteile.

Gegen mechanische Schädigung der Radonfolie ist diese durch eine Textilmatte zu schützen.

Die Ausbildung von Streifengründungen im Holzhausbau ist neben einer massiven Gebäudeunterkellerung die am häufigsten gewählte Gründungsmöglichkeit.

Unter Beachtung der notwendigen Bedingungen ist der Einbau von radondichten Holzbauelementen auf Kriechgang bautechnisch in Gebieten mit Radonmigration aus dem Baugrund realisierbar.

4.2 Holzbaudeckenelemente auf Frost unempfindlicher Gründung

Holzdeckenelemente auf Frost unempfindlicher Gründung setzen entsprechend der statisch geforderten Lastabtragung offenporige tragfähige Gründungselemente voraus.

Als Tragmaterial kommt Schotter oder Betonrecycling mit entsprechender Verdichtung zum Einsatz.

Entgegen dem belüfteten Kriechgang ist die Temperatur unter diesen Holzbauelementen eine konstante Temperatur mit einer mittleren Feuchtigkeitsbelastung.

Zur Vermeidung von Feuchtigkeitsmigration aus dem Baugrund wurde die Radonsperre Sisalex 871 gleichzeitig als Feuchtigkeitssperre an die Unterseite des Holzbauelementes angeordnet.

Mit Hilfe des Rechenprogrammes WUFI (Wufi® Pos. 4.1. UBA) wurde eine Feuchtebilanz über 3 Jahre simuliert.

Innerhalb des Projektes wurden 3 Varianten simuliert, die unter konkreten Bedingungen die Ausbildung von radondichten Bauteilen auf Frost unempfindlicher Gründung ermöglichen.

Der Verzicht auf eine raumseitige zusätzliche Dampfsperre musste generell ausgeschlossen werden, da im Beurteilungszeitraum ein Überschuss von 0,45 kg Wasser pro m² im Bauteil entsteht.

Der Einbau einer Dampfsperre mit einem s_d-Wert = 100 m führte im Beurteilungszeitraum zu einer leichten Reduzierung der Feuchte im Holzbauteil.

Um eine praxistaugliche Lösung zu erarbeiten, wurde eine Dampfsperre von s_d-Wert 1800 m vorgesehen (Sisalex 518). Diese Lösung verhindert das dauerhafte Eindringen von Feuchtigkeit in die Holzbauteilkonstruktion.

Bei Einbau von Holzbauteilen mit einem Feuchterestwert von 12 – 15 % stellt sich im Bauteil ein gleichbleibende Materialfeuchte ein, die eine zerstörungsfreie Gesamtfuchtebilanz darstellt. Somit ist ein Schwinden bzw. Quellen der Holzkonstruktion ausgeschlossen.

Die Ausbildung von radondichten Holzbauelementen auf einer Frost unempfindlichen Gründung ist technisch realisierbar.

Es ist aber der zusätzliche Einbau einer hochwertigen Dampfsperre Sisalex 518 (s_d-Wert von 1800 m) auf der Bauteilinnenseite notwendig.

Zur Sicherung gegen mechanische Schädigung ist die Bauteilunterseite, Radonsperre Sisalex 871 mit einer Lage aus Geotextil zu schützen.

Der Schutz der Dampfsperre sollte ebenfalls durch eine Lage aus Geotextil erfolgen.

5 Festlegungen

5.1 maßliche Festlegung

Grundlage der maßlichen Festlegung ist das im Ausbau vorhandene Rastermaß von 1,25 x 1,25 m.

Die industriell gefertigten Platten aus zementgebundenen Werkstoffen, Holzwerkstoffplatten und Gk-Ausbauplatten werden mit diesem Rastermaß gefertigt. Der übliche Balkenabstand wurde somit auf ½ Rastermaß - ergibt 62,5 cm - festgelegt. Für individuelle Bauteillösungen sind andere Maße möglich.

Systemgrundlage:

	62,5	62,5			
62,5					
62,5					

Bauelementlänge:

Im Holzbau sind bei üblicher Dimensionierung

4,5 m Spannweite im Wohnungsbau
6,0 m als Spannweite im Gesellschaftsbau

ökonomisch sinnvolle Auflagerabstände.

Bei einem gewählten Rastermaß von 0,625 m beträgt die Elementlänge

4,375 m Systemlänge (7 x 0,625) oder
6,250 m Systemlänge (10 x 0,625)

Bauelementbreite:

Ohne Sondererlaubnis ist in Deutschland eine Transportbreite bis zu 2,5 m zulässig. Unter Beachtung der Systemmaße von 62,5 cm ist eine Transportbreite von 1,87 m zuzüglich Randverbreiterung und Überlappung von ca. 2,10 m somit möglich.

Bauteilgewicht:

Holzbalkenelement als Montageelement 4,375 x 1,875 m
ca. 750 kg

Brettsperrholzelement als Montageelement 4,375 x 1,875 m
ca. 1250 kg

5.2 Holzqualität

Zur Sicherung einer gleichbleibenden Qualität der Holzbalken entsprechend den statischen Erfordernissen ist KVH-Holz mit 15 % Holzrestfeuchte zu verwenden.

Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass beim Einbau einer Foliendeckung auf dem Erdboden die Holzkonstruktion in die GK 0 nach DIN 68800 eingeordnet wird.

Beim Einbau auf frostunempfindlicher Tragschicht mit auf der Unterseite verlegter Radonsperre wird davon ausgegangen, dass die Bedingungen der Gefährdungsklasse 0 eingehalten werden. Unter diesen Bedingungen kann auf einen chemischen Holzschutz verzichtet werden.

Nach Auswertung der Ergebnisse aus dem Modellversuch zum Kriechkeller kann auch der notwendige Holzschutz bestimmt werden.

Zusätzlich wird durch das künstliche Trocknen der KVH-Hölzer das Quell- und Schwindverhalten wesentlich reduziert werden; siehe hierzu auch Ausführungen unter Pkt. 3.2 des Sachberichtes.

Der dort aufgeführte Fall dürfte nur in der Zeit der Montage entstehen. Nach Fertigstellung muss sich eine Gleichgewichtsfeuchte von 12 –15 % einstellen.

Eine Erhöhung der Holzfeuchte über 15 % dürfte nicht eintreten, außer es liegt ein Mangel vor.

5.3 Überwachungspflicht

Entsprechen der gültigen Normen müssen alle vorgefertigten und dauerhaft verschlossenen Hohlräume im Holzbau fremdüberwacht werden.

6 Vergleich der Angestrebten mit den erreichten technischen Parametern

Bezeichnung Parameter	angestrebter Wert	erreichter Wert
Dichtheitsnachweis der Systemholzbauelemente	Sperrwirkung größer- gleich 95 %	Sperrwirkung größer 95 %
Langlebigkeit der Radonsperrfolie	Dichtheit für 100 Jahre (normative Lebensdauer für Holzgebäude)	Dichtheit für 100 Jahre seitens Hersteller garantiert
Beständigkeit gegen Quellen und Schwinden	gleichbleibende Bauteilgleichgewichtsfeuchte	Einsatz KVH-Holz Restfeuchte $\leq 15\%$ und Brett-sperrholzplatten Bauteil-feuchte $\leq 13\%$ bei einer Bauteil-ausgleichsfeuchte von 12% \rightarrow max. Bauteil-änderungen von ca. 0,6 mm
Beständigkeit gegen Durchbiegung	kleiner 1/ 300	kleiner 1/ 300
Vermeidung von Dampfdiffusion durch das Holzbauteil	s_d –Wert größer von 100 m	s_d - Wert der Radonfolie SISLEX 871 mit einem s_d – Wert von 1.300 m
Umweltverträglichkeit	eingesetzte Materialien dauerhaft umweltverträglich	eingesetzte Materialien dauerhaft umweltverträglich
Durchschnittliche Radonraumkonzentration im Holzbauwerk	unter 200 Bq / m ³	unter 200 Bq / m ³

7 Bauteilkatalog

KATALOGISIERTE BAUTEILE (GEPRÜFT)

Radondichte Bauteile

1. Vorbemerkung

- 1.1 Maßliche Festlegungen
- 1.2 Holzqualität
- 1.3 Überwachungspflicht

2. Deckenelement auf Kriechgang

- 2.1 Systemgrundriss - Deckenelement mit Holzbalkendecke
 - 2.1.1 Standardelement (Mittелеlement)
 - 2.1.2 Holzbalkendeckenelement seitlicher Abschluss A
 - 2.1.3 Holzbalkendeckenelement seitlicher Abschluss B
- 2.2 Deckenelement mit Brettsperrholz
 - 2.2.1 Standardelement (Mittелеlement)
 - 2.2.2 Brettsperrholzelement seitlicher Abschluss A
 - 2.2.3 Brettsperrholzelement seitlicher Abschluss B
- 2.3 Bauteilanschlüsse
 - 2.3.1 Fundamentanschluss
 - 2.3.2 Bauteilverbindung Holzbalkendecke
 - 2.3.3 Wandanschluss (Rauminnenwand)
 - 2.3.4 Wandanschluss (Außenwand)
- 2.4 Bauteildurchdringung
 - 2.4.1 Leitungen bis max. 50 mm (System „Ampack“)
 - 2.4.2 Leitungen über 50 mm (System mit „Dichtungselement“)

3. Bodenelement auf Frost unempfindlicher Gründung

- 3.1 Bodenelement mit Holzbalken
- 3.2 Bauteilanschlüsse
 - 3.2.1 Fundamentanschluss
 - 3.2.2 Bauteilverbindung
 - 3.2.3 Wandanschluss
- 3.3 Bauteildurchdringung
 - 3.3.1 Leitungen bis max. 50 mm (System „Ampack“)
 - 3.3.2 Leitungen über 50 mm (System mit „Dichtungselement“)

8 Literaturverzeichnis

- [1] Klimatische Verhältnisse in Kriechkellern, Forschungsbericht F-2005/16 Materialforschungs- und Prüfanstalt für das Bauwesen Leipzig
- [2] Dampfdiffusionsberechnung Fa. Ampack AG vom 04.01.2008 (Variante 1-3) Programm WUFIPro 4.1 IBP

Referentenverzeichnis

Dr. Thomas R. Beck

Bundesamt für Strahlenschutz
Fachgebiet SW 1.1
D-10318 Berlin, Köpenicker Allee 120-130
www.bfs.de e-mail: tbeck@bfs.de

Ministerialdirigent Ulrich Beyer

Leiter der Abteilung 5: Klima, Wald, Immissions- und Strahlenschutz
D-01097 Dresden, Wilhelm-Buck-Straße 2
Telefon: 0351 / 564 2150 Telefax: 0351 / 564 2069
www.smul.sachsen.de Ulrich.Beyer@smul.sachsen.de

Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke

ILK Dresden
D-01309 Dresden, Bertolt-Brecht-Allee 20
Telefon: 0351 / 4081-650, Telefax: 0351 / 4081-655
www.ilkdresden.de email: klima@ilkdresden.de

Dipl.-Ing. Bettina Gabriel

Referentin Technik und Ingenieurbau
Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Zentrale
D-01097 Dresden, Wilhelm-Buck-Straße 4
Telfon: 0351 / 56409741, Telefax: 0351 / 5649759
www.sib.sachsen.de e-mail: bettina.gabriel@sib.smf.sachsen.de

Prof. Dr.-Ing. John Grunewald

Technische Universität Dresden, Institut für Bauklimatik
D-01069 Dresden, Zellescher Weg 17
Telefon: 0351 / 463 35259
http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_architektur/ibk
email: John.Grunewald@tu-dresden.de

Dr. Dipl.-Ing. Dietmar Häßler

Fachingenieur für Bautenschutz
öbuv. SV für Holzschutz und Schäden
an Gebäuden der IHK Südwestsachsen
Bauplanungs- und Sachverständigenbüro
D-09526 Olbernhau, Feldstraße 26
www.haessler-bsb.de e-mail: haessler-bsb@t-online.de

Dipl. Phys. Eiko Hermann

Geschäftsführer
B.P.S. Engineering GmbH
D-08066 Zwickau, Reinsdorfer Straße 29
Telefon: 0375 / 440688 - 10 Tefefax: 0375 / 440688 - 12
www.bps-zwickau.de email: Hermann@bps-zwickau.de

Dr. Bernd Hoffmann

Bundesamt für Strahlenschutz
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
D-10318 Berlin, Köpenicker Allee 120-130
www.bfs.de e-mail: bernd@behoff.de

Dr. Joachim Kemski

Ö.b.u.v. Sachverständiger für Radon
D-53121 Bonn, Kemski & Partner, Euskirchener Str. 54
Telefon: 0228 / 96292 - 41 Telefax. 0228 / 96292 - 50
www.kemski-bonn.de, www.radon-info.de e-mail: kemski@kemski-bonn.de

Dr. Ralf Klingel

Ö.b.u.v. Sachverständiger für Radon
D-53121 Bonn, Kemski & Partner, Euskirchener Str. 54
Telefon: 0228 / 96292 - 42 Telefax. 0228 / 96292 - 50
www.kemski-bonn.de, www.radon-info.de e-mail: klingel@kemski-bonn.de

Prof. h.c. Dr. rer.nat. habil Bernd Leißring

Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX
D-09114 Chemnitz, Max-Planck-Str. 18
Telefon: 0371 / 336 – 2788 Telefax: 0371 / 336 - 2789
www.geoprax-leissring.de email: bernd@leissring.de

Architekt Dipl.-Ing. Bernd Liebscher

Liebscher Bauplanung und Betreuungs-GmbH
D-09496 Marienberg, Amtsstraße 13
Telefon: 03735 / 90802 Telefax: 03735 / 22331
www.architekturbuero-Liebscher.de email: design@architekturbuero-Liebscher.de

Dr. rer. nat. Walfried Löbner

WISMUT GmbH
Abteilung Umwelt Überwachung Strahlenschutz
D-09117 Chemnitz, Jagdschänkenstraße 29
Telefon: 0371 / 8120 – 127, Telefax: 0371 / 8120 - 107
www.wismut.de email: w.loebner@wismut.de

Dipl.-Ing. Architekt T. Maschke

Heinle, Wischer und Partner
Freie Architekten
D-01067 Dresden, Wettiner Platz 10 a
Telefon: 0351 / 47770 - 0 Telefax: 0351 / 47770 - 11
www.heinlewischerpartner.de email: dresden@heinlewischerpartner.de

Prof. Dr.-Ing. Hannes Neumann

Rektor der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)
D-01069 Dresden, Friedrich-List-Platz 1
Telefon: 0351 / 462 - 31 01 Telefax: 0351 / 462 - 21 85
www.htw-dresden.de/hs/rektorat.html email: rektor@htw-dresden.de

Prof. Dr.-Ing. (em) Jürgen Roloff

Technische Universität Dresden, Institut für Bauklimatik
D-01069 Dresden, Zellescher Weg 17
Telefon: 0351 / 463 35259
http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_architektur/ibk
email: Juergen.Roloff@tu-dresden.de

Dr. rer. nat. habil. Hartmut Schulz

IAF Radioökologie GmbH (Geschäftsführer)
D-01326 Dresden, Karpatenstraße 20
Telefon: 0351 / 263 30 – 12 Telefax: 0351 / 263 30 - 22
www.iaf-dresden.de email: schulz@iaf-dresden.de

Dr. Jürgen Staupe

Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft
Staatssekretär
D-01097 Dresden, Archivstraße 1
www.smul.sachsen.de email: Poststelle@smul.sachsen.de

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)
und Vorstandsvorsitzender KORA e.V.
D-01069 Dresden, Friedrich-List-Platz 1
Telefon: 0351 / 462 - 2440, Telefax: 0351 / 462 - 2172
www.bau.htw-dresden.de email: dresden@koraev.de

Regierungsdirektor Frank Wachno

Regierungspräsidium Chemnitz
amtierender Abteilungsleiter der Abteilung Raumordnung, Bau- und Wohnungswesen
Referatsleiter Bauordnungs- und Bauplanungsrecht
D-09120 Chemnitz, Altchemnitzer Straße 41
Telefon: 0371 / 532 1510, Telefax: 0371 / 532 27 1510
www.rpc.sachsen.de email: Frank.Wachno@rpc.sachsen.de

Prof. Dr. med. Hajo Zeeb

Johannes – Gutenberg - Universität Mainz
Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI)
D-55131 Mainz, Obere Zahlbacher Straße 69
Telefon: 06131 / 17 – 5714
<http://info.imsd.uni-mainz.de/index.html> email: zeeb@imbei.uni-mainz.de





Herausgeber KORA e.V.
Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum Radonsicheren Bauen und Sanieren
c/o HTW Dresden (FH), Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden
Telefon: 0351/4622400, Telefax: 0351/4622172
www.koraev.de, email: dresden@koraev.de

Dresden 2008

Redaktionelle Bearbeitung: Dipl.-Ing.(FH) Ronny Sachse

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.
Ohne ausdrückliche Genehmigung von KORA e.V. ist es nicht gestattet, dieses Werk
oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen
sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen vorzunehmen.
Angaben ohne Gewähr.

Für die Inhalte sind die jeweiligen Verfasser verantwortlich.

Druck und Bindung:
eco-modig Dresden