



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



Bundesamt für Strahlenschutz

# Radon-Handbuch Deutschland



Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Postfach 12 06 29  
53048 Bonn

Bundesamt für Strahlenschutz  
Postfach 10 01 49  
38201 Salzgitter

Redaktion: R. Lehmann, H. Landfermann, A. Junkert, U. Schöppler

Grafik: Atelier Waldmann Lehre/Wendhausen  
Linie Werbeagentur GmbH Celle  
Geologisches Institut Universität Bonn  
BfS – Uwe Schöppler

Satz und Druck: braunschweig-druck GmbH  
Druck Verlag Medien  
38112 Braunschweig

Stand: September 2001, letzte Aktualisierung: 2010

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

- 1 Radon – was ist das?
  - 1.1 Wo entsteht Radon und wie gelangt Radon in Häuser?
  - 1.2 Welche Radonkonzentrationen treten in Häusern auf?
  - 1.3 Gesundheitliche Effekte durch Radon
  - 1.4 Richtwerte
  - 1.5 Literatur
  
- 2 Regionale Verteilung der Radonkonzentration in Gebäuden
  - 2.1 Radongebiete
  - 2.2 Sonstige Gebiete
    - 2.2.1 Gebiete mit besonders geringer Radonbelastung
    - 2.2.2 Gebiete mit unbekannter Radonbelastung
  
- 3 Messen von Radon
  
- 4 Radonschutzmaßnahmen
  - 4.1 Allgemeine Hinweise
  - 4.2 Ausgangssituation erfassen
    - 4.2.1 Neubauten
    - 4.2.2 Bestehende Gebäude
  - 4.3 Konzeption des Radonschutzes
    - 4.3.1 Raumprogramm und Raumnutzung
    - 4.3.2 Wärmeschutz, Heizung und Lüftung
    - 4.3.3 Leitungsführungen
    - 4.3.4 Natürliche Unterlüftung
  - 4.4 Radonschutz durch Abdichtungsmaßnahmen
    - 4.4.1 Konvektion oder Diffusion?
    - 4.4.2 Radon-Leckstellen
    - 4.4.3 Konstruktion und Bautechnik von Abdichtungsmaßnahmen
  - 4.5 Lüftungstechnische Maßnahmen
    - 4.5.1 Allgemeines
    - 4.5.2 Unterdruck eliminieren
    - 4.5.3 Luftabsaugung unter dem Gebäude
    - 4.5.4 Künstlicher Überdruck im Gebäude
    - 4.5.5 Lüften des Kellers
    - 4.5.6 Kontrollierte Luftzufuhr zu Brennräumen
    - 4.5.7 Lüftung von Aufenthaltsräumen
    - 4.5.8 Technische Hinweise zu den Lüftungsstrategien
  - 4.6 Literatur

5. Maßnahmenplanung und -ausführung

5.1 Vorgehen

5.2 Radonprävention bei Neubauten

5.3 Radonsanierung bestehender Bauten

5.4 Synergien und Zielkonflikte

6. Bewertung der Sanierungsmaßnahmen

7 Checkliste Beweissicherung/Hausbegehung

Anhang A Die rechtliche Situation bezüglich Radon in Wohngebäuden

Anhang B Radon aus Baumaterialien

Anhang C Vergleich von Messwerten der Radonkonzentration in Wohnungen mit den Richtwerten der Europäischen Kommission

Anhang D Ermittlung der Ursachen erhöhter Radonkonzentrationen in Wohnungen

Anhang E Messungen in Begleitung von Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration in Wohnungen

## Vorwort

Das vorliegende Radon-Handbuch richtet sich in erster Linie an Baufachleute. Sie können mit ihrem Fachwissen und den in diesem Handbuch gegebenen Hinweisen einen entscheidenden Beitrag zur Vermeidung oder Reduzierung erhöhter Strahlenexpositionen der Bevölkerung durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden leisten.

Das Handbuch lehnt sich weitestgehend an das „Radonhandbuch Schweiz“ an, das von einer Arbeitsgruppe des Bundesamtes für Gesundheit Bern und des Instituts für Energie der Fachhochschule

Basel ausgearbeitet wurde. Das Bundesamt für Gesundheit hat den Herausgebern des deutschen Handbuches gestattet, bei vorliegendem Interesse den Text und die Abbildungen des Handbuches der Schweiz zu übernehmen. Von diesem freundlichen Angebot wurde überwiegend Gebrauch gemacht. An dieser Stelle sei besonders Herrn Dr. G. Piller, Leiter der Fachstelle Radon und Abfälle für die überaus kooperative Zusammenarbeit gedankt.

Bonn und Salzgitter, im September 2001

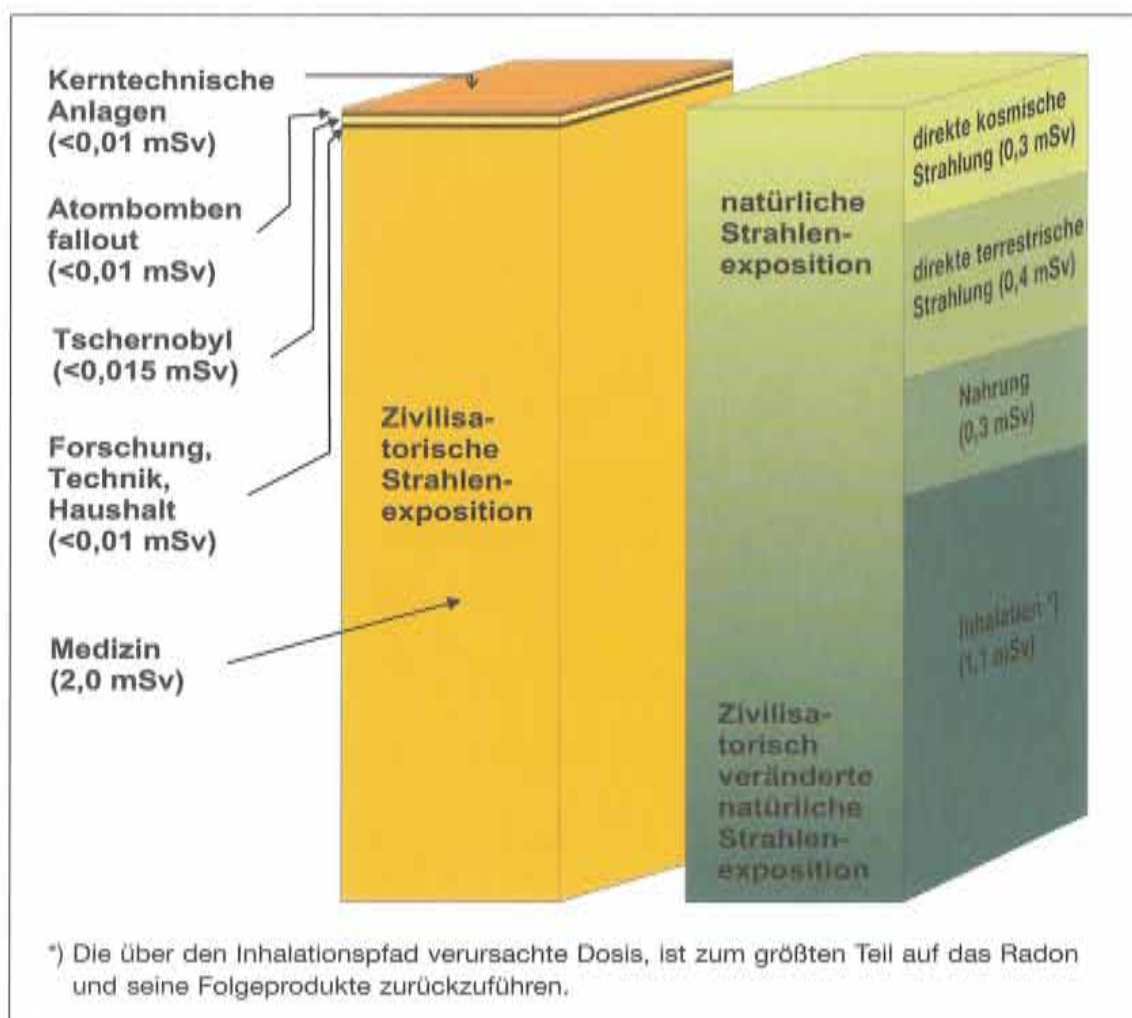


Abb. 1.1 Mittlere effektive Jahresdosis durch ionisierende Strahlung im Jahr 2000.



# 1 Radon – was ist das?

## 1.1 Wo entsteht Radon und wie gelangt Radon in Häuser?

In den radioaktiven Zerfallsreihen des Urans und Thoriums entstehen als radioaktive Zwischenprodukte Isotope des Radiums und aus diesen das radioaktive Edelgas Radon. Aus Radium-226 entsteht Radon-222 (Radon) und aus Radium-224 wird Radon-220 (Thoron) gebildet. Beide Radonisotope zerfallen in wiederum radioaktive Schwermetallisotope des Poloniums, Wismuts und Bleis bis als Endprodukt stabiles Blei entsteht.

Aufgrund der größeren Lebensdauer ist Radon (Halbwertszeit 3,8 Tage) gegenüber Thoron (Halbwertszeit 55 Sekunden) für die Strahlenexposition in Gebäuden von ausschlaggebender Bedeutung.

Radon weist die typischen Eigenschaften eines Edelgases auf. Es ist auch in hohen Konzentrationen unsichtbar, geruchlos, frei von Geschmack, weder brennbar noch explosiv oder giftig.

Die Gesteine und Erden unseres Planeten enthalten seit ihrer Entstehung natürliche radioaktive Stoffe, unter anderem Uran und Thorium und damit auch Radium, das Mutternuklid des Radons. Die Konzentrationen dieser Stoffe in Gesteinen und Erden hängen von den gesteinsbildenden Prozessen, den geologischen Lagerungsbedingungen sowie den physikochemischen Eigenschaften der Radionuklide ab und weisen deshalb teilweise deutliche Unterschiede auf [1].

Nach seiner von den Menschen nicht beeinflussbaren Entstehung im Mineralstoffgefüge gelangt ein bestimmter Prozentsatz des Radons in die Porenräume der Gesteine und Böden, da das Erdreich zu etwa einem Viertel aus Luft besteht (umgangssprachlich Bodenluft genannt). Radon kommt dort meist in Konzentrationen unter  $30\,000\text{ Bq/m}^3$  vor. Es gibt aber auch Gebiete, wo in der Bodenluft mehr als eine Million  $\text{Bq/m}^3$  ( $>1\text{ MBq/m}^3$ ) auftreten können. Auch bei diesen hohen Konzentrationen handelt es sich jedoch um volumen- oder gewichtsbezogen sehr kleine Radonmengen ( $1\text{ MBq/m}^3$  entspricht der Masse von ca.  $17,6 \times 10^{-9}\text{ g}$ ) [2]. Radon breitet sich dann in Abhängigkeit von der Materialstruktur infolge der Konzentrationsunterschiede durch Diffusion und infolge von Druckunterschieden durch konvektiven Transport in Richtung der Oberflächen aus und wird schließlich in die Luft im Freien und in Gebäuden freigesetzt.

Ist das Haus gegenüber dem Baugrund auch nur geringfügig undicht, wirkt es wie ein Abluftkamin. Bereits durch einen geringem Unterdruck im Gebäude wird die Bodenluft aus einem Umkreis von ca. 10 bis 20 Metern angesaugt. Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Bodenluft sind dabei sehr klein, etwa 2 bis 3 Meter pro Tag. Trotzdem können bei hohen Radonkonzentrationen im Boden bereits geringe Bodenluftmengen ausreichen, um die Radonkonzentration in Häusern stark zu erhöhen.

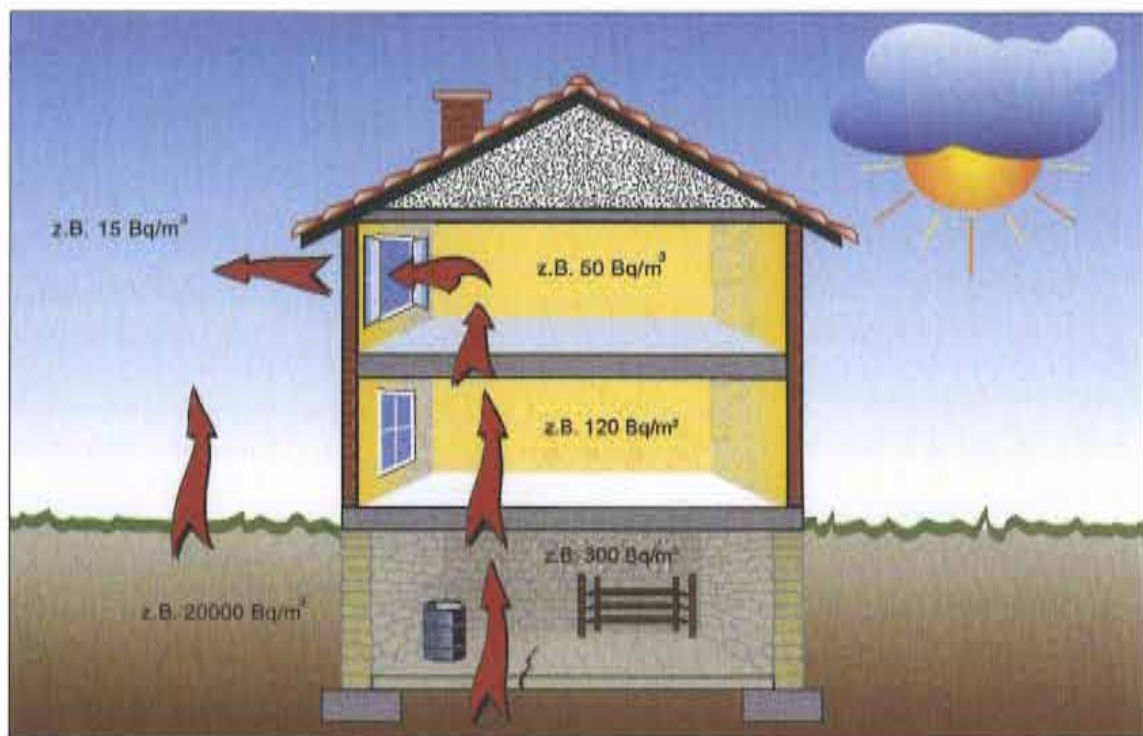


Abb. 1.2 Schematische Darstellung der Ausbreitung des Radons.

In Baumaterialien entstehendes Radon wird ebenfalls in die Raumluft freigesetzt. Erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern durch Radonexhalationen aus Baustoffen sind in Deutschland jedoch selten.

Da Radon in Wasser gut löslich ist, wird es vom Grundwasser aufgenommen und mit diesem transportiert. Bei der Wasserverwendung kann es in die Raumluft freigesetzt werden. In der Luft bewohnter Räume trägt dieser Pfad im Jahresdurchschnitt in der Regel nur zu einer Radonkonzentration von wenigen  $\text{Bq/m}^3$  bei. Unter besonderen geologischen Bedingungen, z. B. in Granitgebieten oder Gebieten mit Uranvererzungen kann, die Wasserverwendung aus individuellen Brunnen einige  $10 \text{ Bq/m}^3$  zur Radonkonzentration in Wohnräumen beitragen. Im Hinblick auf die Notwendigkeit von Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentrationen ist in Deutschland der Beitrag von Radon aus dem Wasser meist unbedeutend [3].

Die Aufbewahrung bestimmter radioaktiver Mineralien (z. B. Pechblende) kann in Wohnräumen in Ausnahmefällen auch zu erhöhten Radonkonzentrationen führen. In diesen Fällen sollten Messungen zur Bewertung der Situation durchgeführt werden.

## 1.2 Welche Radonkonzentrationen treten in Häusern auf?

Die Höhe der Radonkonzentration in den Häusern wird nicht nur durch den Radonzufluss, sondern maßgeblich auch durch den Austausch der Raumluft gegen die Außenluft beeinflusst. Dieser Luftwechsel wird mit der Luftwechselzahl<sup>1</sup> beschrieben, die im Durchschnitt etwa 0,5 pro Stunde beträgt. Sie schwankt jedoch

<sup>1</sup> Die Luftwechselzahl ist das Verhältnis des einem Raum je Stunde zugeführten Luftvolumens (gleich dem abgeführten Volumen) zum Netto-Raumvolumen in 1/h.



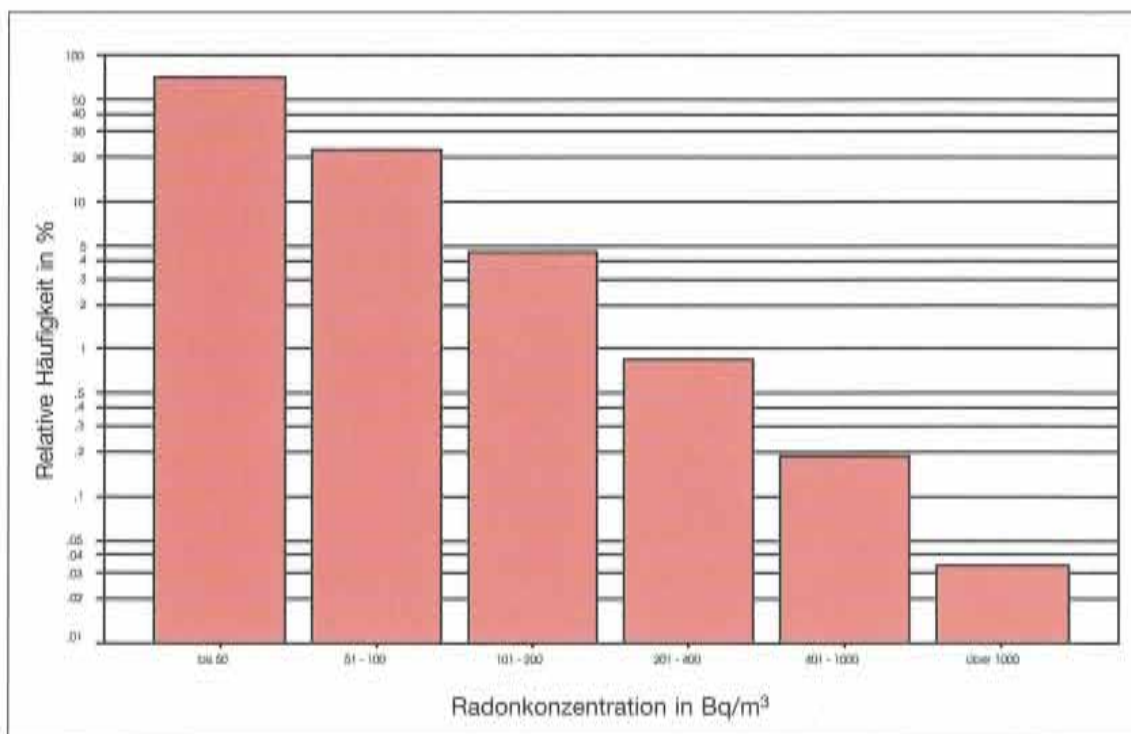


Abb. 1.3 Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration in Wohnräumen (Ergebnisse von Messungen über mehrere Monate bis zu einem Jahr).

zwischen <0,1 und 3 pro Stunde in Abhängigkeit von der Gebäudedichtheit, insbesondere der Fenster, und den Wetterbedingungen. Weil in Deutschland im Jahresmittel die Radonkonzentration in der Außenluft in den meisten Gebieten zwischen 5 Bq/m<sup>3</sup> und 30 Bq/m<sup>3</sup> liegt, bewirkt erhöhter Luftaustausch in der Regel eine Senkung der Radonkonzentration in Gebäuden.

unterkellerte Hausbereiche) auf. Die Radonkonzentration in den verschiedenen Bereichen eines Hauses ist außer von den oben genannten Einflussgrößen von der räumlichen Aufgliederung der Gebäude und der Luftbewegung im Haus abhängig. Dabei spielen die meteorologischen Bedingungen und die Temperaturverteilung im Haus eine entscheidende Rolle.

In der Regel treten die höchsten Radonkonzentrationen in Räumen mit direktem Kontakt zum Baugrund (Keller, nicht

Wegen der speziellen Standortbedingungen und der Individualität jedes Gebäudes ist es nicht ohne weiteres möglich,

Radonquelle	Radonkonzentration in Wohnräumen in Bq/m <sup>2</sup>	
	üblicher Bereich	Maximum
Baugrund	10–2 000	> 30 000
Baumaterial	< 10–200	< 2 000
Umgebungsluft	5–80	< 1 000
Wasser	< 10	< 100

Tab. 1.1 Übersicht der durch unterschiedliche Quellen in Wohnräumen verursachten Radonkonzentration.

von der Radonkonzentration in einem Haus auf die in einem Nachbarhaus zu schließen.

Die mittlere Radonkonzentration in Wohnungen beträgt in Deutschland ungefähr  $50 \text{ Bq/m}^3$ . Es gibt jedoch auch Häuser mit einigen Tausend  $\text{Bq/m}^3$  in den Wohnräumen. Derartig hohe Radonkonzentrationen wurden in Gebäuden gemessen, in denen Luft aus bergmännischen Auffahrungen über Klüfte und Risse im Gestein sowie wenig wirksame Abdichtungen der Häuser gegenüber dem Boden oder über direkte Verbindungen der Gebäude mit Untertagebereichen in die Häuser gelangt. In solchen Fällen kann sich die Radonkonzentration in kürzester Zeit um mehrere Größenordnungen ändern.

### 1.3 Gesundheitliche Effekte durch Radon

Radon und seine Zerfallsprodukte werden vom Menschen mit der Atemluft aufgenommen. Während das Edelgas Radon zum größten Teil wieder ausgeatmet wird, werden seine Zerfallsprodukte (dabei handelt es sich um die radioaktiven Schwermetalle Polonium-218, Wismut-214, Blei-214 und Polonium-214) im Atemtrakt angelagert.

Das beim Aufenthalt im Freien und in Gebäuden eingeatmete Radon und seine Zerfallsprodukte bewirken eine Exposition der Atemwege, die in Deutschland zu einer mittleren effektiven Dosis von  $1,1 \text{ mSv/a}$  führt [4]. Andere Organe werden durch Radon und seine Zerfallsprodukte nach derzeitiger Kenntnis weitaus weniger belastet.

In einer Reihe internationaler Studien wurde der Zusammenhang zwischen einer langjährigen Exposition durch Radon in Wohnungen und dem Auftreten von Lungenkrebs untersucht. Auf dieser Grundlage kommt die deutsche Strahlenschutzkommission in Ihrer 199. Sitzung im April 2005 (Anlage AA) zu

folgender Bewertung:

- Zusammenfassende Auswertungen dieser Studien in Europa und Nordamerika zeigen einen klaren Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration,
- dieser Zusammenhang ist auch für lebenslange Nichtraucher nachweisbar,
- eine signifikante Risikoerhöhung wurde ab einem Konzentrationsintervall von  $100 - 199 \text{ Bq/m}^3$  festgestellt,
- die Expositions-Wirkungs-Beziehung ist linear ohne Schwellenwert und beträgt etwa  $10 \%$  pro Anstieg der Radonkonzentration um  $100 \text{ Bq/m}^3$ .

Ausführliche Informationen finden sich im Radonhandbuch der Weltgesundheitsorganisation (WHO), das im Jahr 2009 veröffentlicht wurde [4].

### 1.4 Richtwerte

Im ihrem Radonhandbuch schlägt die Weltgesundheitsorganisation (WHO) vor, dass soweit es die nationalen Gegebenheiten zulassen, ein Referenzwert von  $100 \text{ Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m}^3)$  Raumluft festgelegt werden soll. Der Referenzwert stellt die maximal akzeptable Radonkonzentration in einem Wohnraum dar. Auch das BfS empfiehlt neue Gebäude so zu errichten, dass die Radonkonzentration unter  $100 \text{ Bq/m}^3$  liegt [5]. Konzentrationen über  $100 \text{ Bq/m}^3$  in bestehenden Gebäuden sollten auf Werte möglichst unter diesen Wert abgesenkt werden.

Basierend auf Messungen in über 50 000 Gebäuden und Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft können auf Grund ihrer Geologie heute einerseits Gebiete mit natürlich erhöhtem Radongehalt im Boden identifiziert werden und andererseits auch Gebiete beschrieben werden, in denen mit hoher Wahrscheinlichkeit der Baugrund als Quelle für Radonkonzentrationen über  $100 \text{ Bq/m}^3$  in Aufenthaltsbereichen kaum in Frage kommt. Vielerorts sind aber noch

nicht genügend Untersuchungen durchgeführt worden, um die Radonsituation hinreichend sicher bewerten zu können.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Messungen sowie der Gebäudeverteilung in Deutschland kann nach grober Abschätzung davon ausgegangen werden, dass in mindestens 10 bis 12 % der bestehenden Ein- und Zweifamilienhäuser Radonkonzentrationen über 100 Bq/m<sup>3</sup> in Aufenthaltsräumen vorkommen.

## 1.5 Literatur

- [1] Kemski, J.; Siehl, A.; Stegemann, R.; Valdivia-Manchego, M.: Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radonpotentials. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben St. Sch. 4106. Geologisches Institut der Universität Bonn, 1998
- [2] Pfennig, G.; Klewe-Nebenius, H.; Seelmann-Eggebert, W.: Karlsruher Nuklidkarte, 6. Auflage. Druckhaus Haberbeck GmbH, ISBN 3-92-1879-18-3, 1998
- [3] Lehmann, R.; Czarwinski, R.: Radon exposure in buildings. Kerntechnik, Vol. 58, No. 5, Oktober 1993, ISSN 0932-3902
- [4] WHO Handbook on Indoor Radon, WHO 2009
- [5] Bundesamt für Strahlenschutz: Strahlung und Strahlenschutz, 4. Auflage, 2008



## 2 Regionale Verteilung der Radonkonzentration in Gebäuden

### 2.1 Radongebiete

Für den Strahlenschutz sind die Gebiete von besonderem Interesse, in denen Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor erhöhten Expositionen durch Radon/Radonzerfallsprodukte in Gebäuden für erforderlich gehalten werden.

Für solche Gebiete wird in deutschsprachigen Ländern der Begriff „Radongebiet“ verwendet.

In den vergangenen Jahren wurden die Zusammenhänge von geologischen Gegebenheiten und der Radonkonzentration in Gebäuden intensiv untersucht. Es zeigte sich, dass die geologische Situation ein wichtiger Indikator für Radongebiete ist, diese aber nicht allein aufgrund der Geologie festgelegt werden können.

Zweckmäßige Größe eines Radongebietes ist das Gebiet einer Gemeinde. Die Identifikation der Radongebiete stützt sich nach vorliegender geologischer Prognose auf repräsentative Messungen der Radonkonzentration in Häusern. Im Sinne der erforderlichen hohen Bewertungssicherheit sollten pro Gemeinde bei einem Bestand von ca. 200 Häusern mindestens 20 Gebäude untersucht werden. Bei größeren Gemeinden oder besonderer geologischer Inhomogenität sollte die Anzahl der Messungen höher sein.

### 2.2 Sonstige Gebiete

#### 2.2.1 Gebiete mit besonders geringer Radonbelastung

Gebiete mit besonders geringer Radonbelastung sind dadurch charakterisiert, dass weiträumig von geologisch gleichartigen Gegebenheiten ausgegangen wird und durchgehend niedrige Radonkonzentrationen in der Bodenluft (bis  $10 \text{ kBq/m}^3$ ) vorliegen. Aus diesen Gründen sind in Wohnräumen von Neubauten über  $200 \text{ Bq/m}^3$  nicht zu erwarten.

In existierenden Wohnräumen kommen Jahresmittelwerte der Radonkonzentration über  $400 \text{ Bq/m}^3$ , unabhängig von der Bauweise und dem Bauzustand, nicht vor.

Zur Festlegung von solchen Gebieten sind keine detaillierten, systematischen Untersuchungen der Radonkonzentration in Häusern erforderlich. Sie können auf der Grundlage geologischer Indikationen unter Berücksichtigung vorhandener Ergebnisse von Radonmessungen in Häusern gemeindebezogen festgelegt werden.

## 2.2.2 Gebiete mit unbekannter Radonbelastung

Für den flächenmäßig größten Teil Deutschlands kann derzeit noch keine Zuordnung zu Radongebieten oder Gebieten mit besonders geringer Radonbelastung erfolgen. Dies betrifft vor allem Regionen, über die nur geringe oder unsichere Vorkenntnisse des Radonpotenzials im Boden vorhanden sind und/oder Radonmessungen in Häusern nicht oder nur in unzureichender Anzahl vorgenommen wurden. Hier sind ggf. weitere Un-

tersuchungen nötig, deren Umfang von den jeweils vorherrschenden geologischen Verhältnissen abhängig ist. Abhängig von den Ergebnissen der Untersuchungen, können in diesen Gebieten Messungen der Radonkonzentration in Häusern sinnvoll sein die vor 1945 errichtet wurden, da vor allem ältere Häuser vergleichsweise häufig wenig Schutz gegen Bodenradon aufweisen. Die Messpunktdichte wird gebietsweise variabel in Abhängigkeit von der geologischen Situation und der Bebauung festgelegt.

	Neubauten	Bestehende Gebäude
Radongebiet	Maßnahmen, abhängig von der Radonkonzentration in der Bodenluft, werden für erforderlich erachtet (s. 5.2)	Radonmessungen in Häusern werden für erforderlich erachtet
Gebiete mit besonders geringer Radonbelastung	besondere Radonschutzmaßnahmen werden nicht für erforderlich erachtet	Radonmessungen in Häusern sind nicht erforderlich
Gebiet mit unbekannter Radonbelastung	vorsorgliche Maßnahmen gegen Bodenradon werden empfohlen	Radonmessungen werden zumindest in älteren Häusern oder in Häusern mit schlechtem Bauzustand empfohlen

Tab. 2.1 Allgemeine Hinweise zur Radonproblematik in Gebieten unterschiedlicher Radonbelastung.



Bundesamt für Strahlenschutz

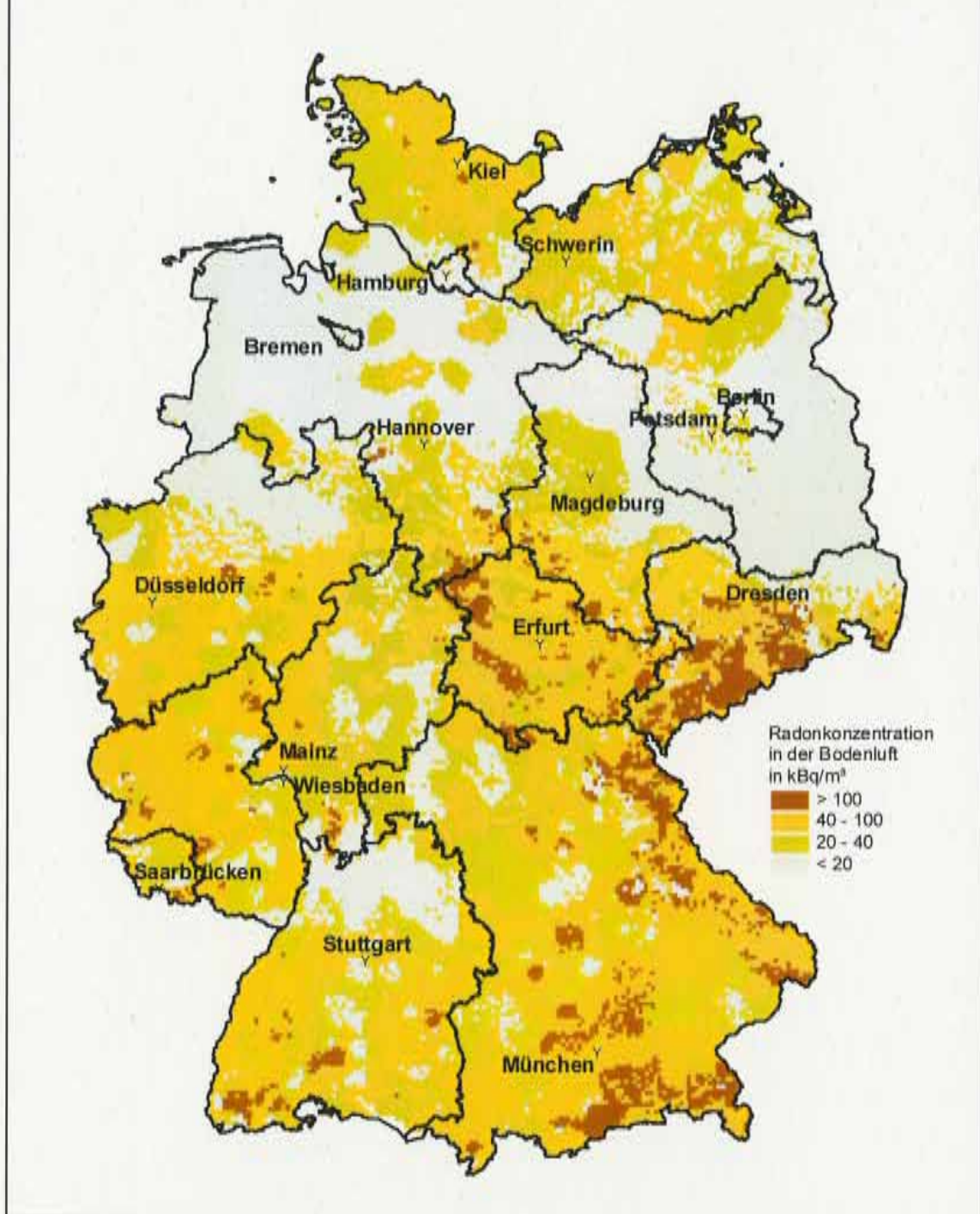


Abb. 2.1 Radonkonzentration in der Bodenluft in Deutschland





### 3 Messen von Radon

Die Konzentration des Radons in Gebäuden unterliegt starken zeitlichen Schwankungen. Entscheidende Einflussfaktoren sind dabei die jahreszeitlichen und täglichen Wetteränderungen in Kombination mit den individuellen Gewohnheiten bei der Lüftung und Raumnutzung. Einen typischen Jahresgang der Radonkonzentration zeigt am Beispiel einer durchschnittlich belasteten Wohnung die Abbildung 3.1.

Im Tagesverlauf wird das Maximum der Radonkonzentration in Gebäuden im allgemeinen, hauptsächlich bedingt durch den Temperatur- und Druckgradienten zwischen dem Gebäudeinneren und der Außenluft, während der späten Nachtzeit bis zum frühen Morgen erreicht.

Aufgrund der zeitlichen Schwankungen sollten deshalb Angaben über gemessene Radonkonzentration stets in Verbindung mit dem Untersuchungszeitraum und den Messbedingungen erfolgen.

Radon kann man auf verschiedene Weise messen. Es gibt Methoden für Fachleute und auch ganz einfache, von jedermann handhabbare Detektoren. Hinweise zur Messung und Bewertung der Radonkonzentration in Häusern gibt Anhang C.

Zum Vergleich von Messergebnissen mit den als Jahresmittelwerte definierten Richtwerten der Europäischen Kommission sind unter Berücksichtigung der zeitlichen Schwankungen der Radonkonzentration Messungen über ein Jahr

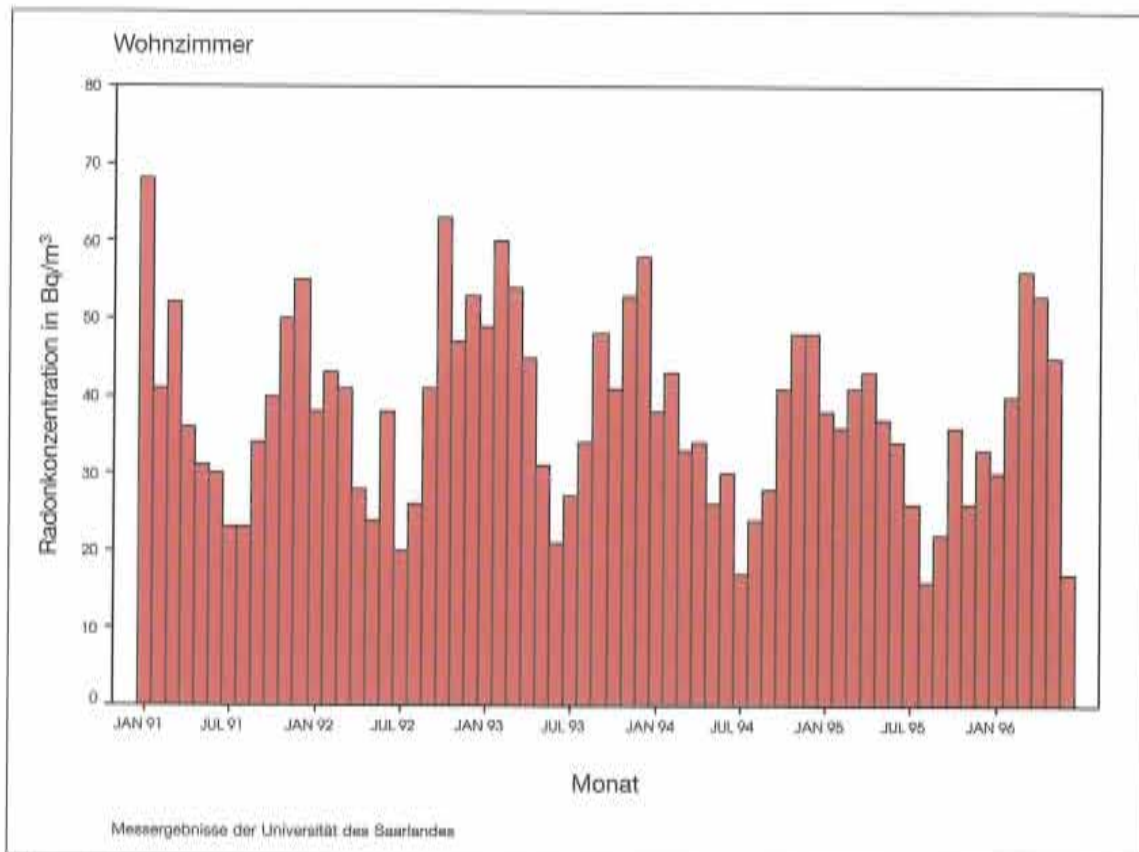


Abb. 3.1 Jahreszeitlicher Gang der Radonkonzentration in einem Gebäude (Messbeispiel).

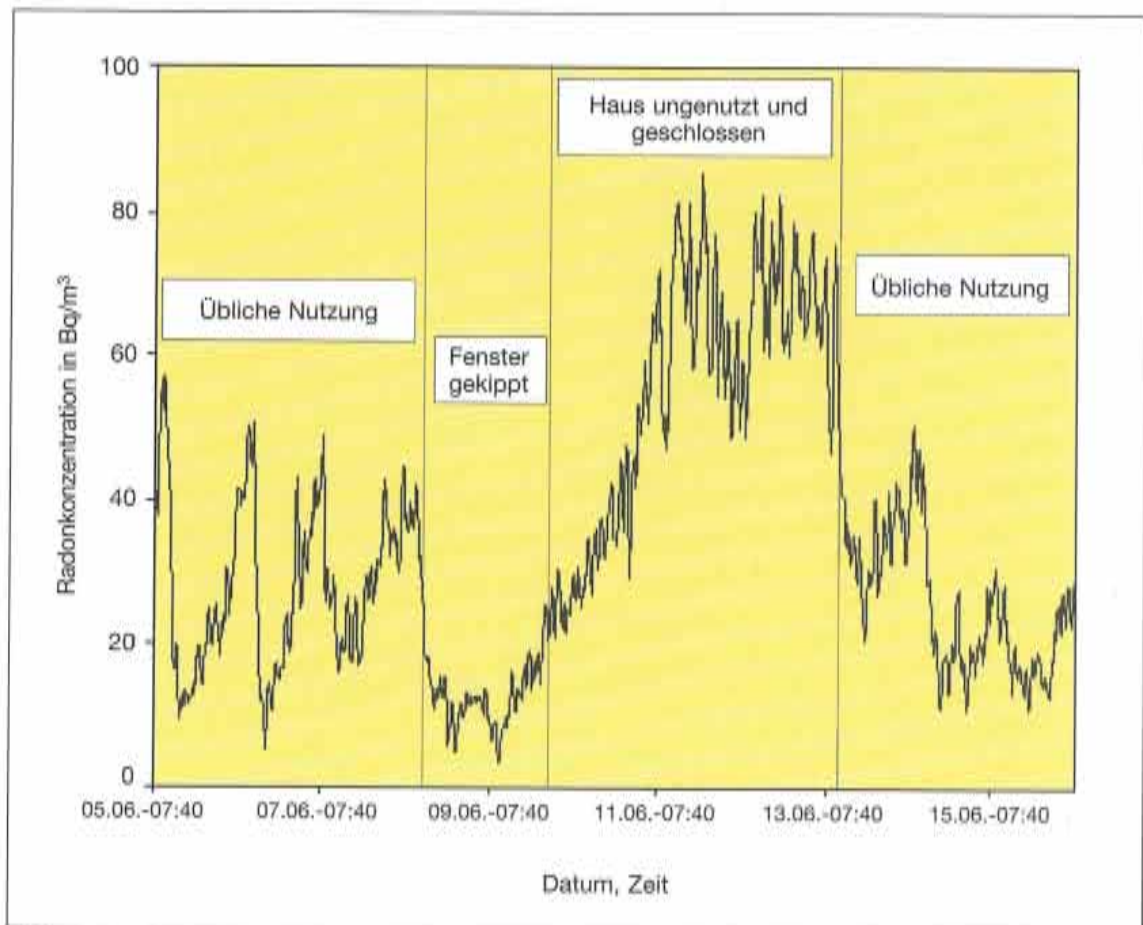


Abb. 3.2 Allgemeine Hinweise zur Durchführung von Radonmessungen in Häusern.

erforderlich. Für die Bewertung der Radonsituation eines Einfamilienhauses werden Messungen in einem Wohnraum und einem Schlafrum empfohlen. Messungen im Kellergeschoss geben wichtige Informationen über die Bedeutung von Radon aus dem Boden für das betreffende Haus. Radondetektoren können bei einer Reihe von Messstellen bezogen werden.

Mit der Bewertung der Radonsituation eines Hauses sollten nur solche Firmen und Institutionen beauftragt werden, die sich an Programmen zur Qualitätssicherung, z. B. internationalen Messvergleichen, beteiligen.



## 4 Radonschutzmaßnahmen

### 4.1 Allgemeine Hinweise

Der Radonschutz bei Neubauten und die Sanierung von bestehenden Gebäuden erfolgen nach den gleichen Grundsätzen und mit den gleichen Hilfsmitteln.

Bei Neubauvorhaben können angemessene Schutzmaßnahmen zuverlässig definiert werden, die bei ordentlicher Ausführung grundsätzlich zum Erfolg führen. Die Maßnahmen sind technisch und finanziell sicher kalkulierbar. Der Aufwand ist selbst in Gebieten mit hoher Radonkonzentration in der Bodenluft und bei anspruchsvollen Bauvorhaben verhältnismäßig gering. Er liegt bei etwa 1 % der Baukosten.

Bei der Sanierung bestehender Gebäude ist ein Abwägen von alternativen Möglichkeiten unumgänglich und der Sanierungserfolg im ersten Anlauf nicht immer sicher. Jedes zu sanierende Gebäude erfordert eine auf den Einzelfall bezogene angemessene technische Lösung. Während in einigen Fällen z. B. bereits das Öffnen bestehender Lüftungsöffnungen das Problem lösen kann, erbringt in anderen Fällen sogar der Einbau eines ventilatorbetriebenen Abluftsystems keine ausreichenden Resultate, weil z. B. irgendeine Besonderheit anfangs nicht erkennbar war. Ebenso ist der Aufwand nicht in jedem Fall klar absehbar. Besonders bei alten Häusern sollte deshalb vom Bauherrn eine dem Gebäudewert gerecht werdende finanzielle Obergrenze für Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration bedacht werden, um unangemessene Kosten zu vermeiden.

Jeder Sanierung sollte unbedingt die Erkundung der Ursachen der erhöhten Radonkonzentrationen (s. Anhang D) vorangehen.

Bei den in den folgenden Kapiteln dargestellten Radonschutzmaßnahmen wird immer zwischen Neubau und Sanierung unterschieden. Das Schwergewicht liegt allerdings bei der Sanierung.

Für Neubauten und für die Sanierung bestehender Gebäude empfiehlt es sich, die nachstehenden strategischen Grundregeln zu befolgen. Die fünf Schritte umfassen von Fall zu Fall andere Aspekte, werfen spezifische Fragen auf und führen zu situationsbezogenen Lösungen. Die Reihenfolge jedoch bleibt gleich.

#### • Ausgangslage erfassen

Jedes Haus besitzt seine individuellen Bedingungen, die ausschlaggebend für die Radonkonzentration sind. Außer den verschiedenen möglichen Quellen des Radons ist zu beachten, dass sich jedes Haus in einem spezifischen Umfeld (Permeabilität des Baugrundes, Beeinflussung durch Bergbau, Grundwasserstand etc.) befindet und jedes Objekt seine baulichen Besonderheiten (z. B. Bauzustand, innere Gebäudestruktur, Gebäudeisolierung etc.) aufweist. Die Beachtung dieser Verhältnisse ist für ausreichenden Radonschutz beim Neubau und eine erfolgreiche Sanierung unumgänglich. Bei bestehenden Häusern sollte die gründliche Analyse dieser Faktoren ein den Messungen der Radonkonzentration gleichrangiger Teil der Beweissicherung sein.

- Konzeptionelle Maßnahmen

In den frühen Planungsphasen von Bauarbeiten sind wichtige Entscheidungen zu fällen, die beim Neubau aber auch beim Um- und Ausbau bestehender Gebäude das Radonproblem maßgeblich beeinflussen oder sogar lösen können; z. B. durch „Architektenlösungen“, wie geeignete Strukturierung der Gebäude, Anordnung von Räumen mit geringerer Aufenthaltsdauer im Kellerbereich sowie gezielte Beeinflussung der Luftdruckverhältnisse im Gebäude.

Bei Radonsanierungen und beim Radon-schutz von Neubauten sind stets Belange der Standsicherheit, des Wärme- und Feuchtigkeitsschutzes, insbesondere des Schutzes vor schädlichen Auswirkungen von Kondenswasserbildung und des Schallschutzes zu beachten.

- Bautechnische Maßnahmen

Durch dichte Baukonstruktionen bei Neubauten und durch Abdichtungsmaßnahmen bei Sanierungen (z. B. Abdichten von Leitungsführungen im Bereich des Kontaktes zum Baugrund) oder gegen radonbelastete Räume kann das Eindringen von Radon verhindert werden.

- Lüftungstechnische Maßnahmen

Mit geeigneten Öffnungen oder Lüftungssystemen kann die Drucksituation im Gebäude bzw. zwischen Gebäudeinnerem und dem Gebäudeuntergrund in der gewünschten Weise beeinflusst werden. Durch gezielten Aufbau einer definierten Druckdifferenz (Unterdruck, Überdruck) kann das Eindringen des Radons in das Gebäude reduziert, in Idealfällen unterbunden werden.

- Erfolgskontrolle

Ohne messtechnische Überprüfung herrscht nie Gewissheit, ob die getroffenen Maßnahmen auch tatsächlich wirksam sind. Gegebenenfalls ist es zweckmäßig, bereits vor Abschluss der Gesamtmaßnahme technische Details oder bestimmte Bauabschnitte auf ihre Wirksamkeit hin zu prüfen.

Die folgenden Kapitel befassen sich mit den fünf grundsätzlichen Schritten für den Radonschutz bei Neubauten und bestehenden Gebäuden.

## 4.2 Ausgangssituation erfassen

### 4.2.1 Neubauten

Eine Reihe von Rahmenbedingungen und Vorgaben für ein Bauvorhaben beeinflussen auch die Schutzmaßnahmen gegenüber Radon. Prävention ist billiger und meist erfolgreicher als nachträgliche Sanierung. Die folgenden Fragen müssen im Vorfeld der eigentlichen Projektierung abgeklärt werden, um das Radonproblem wirksam und kostenoptimal zu lösen.

#### **Befindet sich das Grundstück in einem Radongebiet?**

Auskunft erteilen die Kommunalverwaltungen. Die verfügbaren Angaben hängen vom Stand der Untersuchungen ab. Liegt die Klassifizierung als Radongebiet vor, gibt diese orientierende Hinweise über die durchschnittliche Radonsituation. Da aber jeder Baustandort durch seine speziellen Gegebenheiten von dieser durchschnittlichen Situation abweichen kann und jedes Projekt bauliche Besonderheiten aufweist, ist es jedem Bauherrn

freigestellt vor der Durchführung der Radonschutzmaßnahmen seinen Bauplatz untersuchen zu lassen. Möglicherweise könnte gerade an diesem Platz, selbst wenn er in einem Radongebiet liegt, Bodenradon keine Rolle spielen oder aufgrund des Bauprojektes eine besondere Radonprävention überflüssig sein. Bei Interesse an einer speziellen Standorterkundung sollte insbesondere jedoch bei Ein- oder Zweifamilienhäusern geprüft werden, ob die Erkundungskosten in einem angemessenen Verhältnis zum Kostenaufwand für einen prophylaktischen Radonschutz stehen. In der Regel sind einfache Radonschutzmaßnahmen preisgünstiger als Standorterkundungen.

#### **Gibt es Radonprobleme in der Nachbarschaft?**

Die Situation von Nachbarhäusern kann nicht ohne weiteres übernommen werden. Sie kann aber Hinweise über den eigenen Standort geben.

#### **Wird die Baugrube aus dem Fels gesprengt oder liegt sie außerhalb der Gebiete mit besonders geringer Radonbelastung in einem Aufschüttungs-, Kies- oder Sandgebiet?**

Zerklüftete oder gut gasdurchlässige Baugründe bergen, soweit es sich nicht um Standorte in Gebieten mit besonders geringer Radonbelastung handelt, ein erhöhtes Risiko für Richtwertüberschreitungen.

#### **Befindet sich das Fundament in dauernd feuchtem oder bindigem Boden?**

Eine Baugrube in tiefgründig bindigem Material bietet gute Voraussetzungen für eine geringe Radonkonzentrationen in Gebäuden.

### **4.2.2 Bestehende Gebäude**

Die Sanierung bestehender Gebäude mit erhöhten Radonkonzentrationen ist in der Regel schwieriger, das Ergebnis ist oft ungewisser und die Maßnahmen sind auch aufwendiger als eine korrekt durchgeführte Radonprävention bei Neubauten. Bei bestehenden Gebäuden prägen die Ausgangslage sehr vielfältige Sachverhalte, welche die Sanierungsmöglichkeiten weitgehend bestimmen.

#### **Befindet sich das Gebäude in einem Radongebiet?**

Gemäß den Empfehlungen in der Tabelle 2.1 (s. oben) sollten Messungen der Radonkonzentration in bestehenden Gebäuden durchgeführt werden.

#### **Welche Räume im Gebäude sind radonbelastet?**

Erhöhte Radonkonzentrationen sind in der Regel ein Problem von Räumen in Bodennähe, also in Kellergeschossen, in nicht unterkellerten Hausbereichen und an Hanglagen. Betroffen sind aber auch Erdgeschosswohnungen über Keller- oder Hohlräumen. Unter besonderen Voraussetzungen, wie etwa bei offenen Treppenhäusern zum Kellergeschoss, sehr durchlässigen Deckenkonstruktionen (z. B. Holzbalken, Tonhohlkörper, Leichtbeton-Fertigplatten etc.) oder Versorgungsschächten zwischen den Geschossen kann wegen des thermischen Auftriebes radonhaltige Kellerluft auch in Obergeschosse transportiert werden.

**Sind die Messwerte plausibel, zuverlässig und genügend aussagekräftig und sind weitere Räume vorhanden, die noch ausgemessen werden sollten?**

Oft werden Radonmessungen gemäß „Fernanleitung“ durch die Bewohner selbst durchgeführt (Vorbereiten, Platzieren und Einpacken der Detektoren). Dabei sind Fehler nicht auszuschließen. Vor aufwendigen Sanierungsmaßnahmen sollen bereits erfolgte Messungen unbedingt validiert werden. Hierzu gehört die Prüfung der Plausibilität der Messwerte. Beim Auftreten erhöhter Radonkonzentrationen sollten auch Messungen in Räumen erfolgen (vor allem im Keller und Erdgeschoss), in denen bislang keine Untersuchungen durchgeführt wurden.

**Wie ist die bauliche Ausgangslage?**

Je besser die Kenntnisse über das Gebäude sind, desto präziser kann die Analyse des Radonproblems erfolgen und umso erfolgreicher ist die Radonsanierung. Möglichst genaue Informationen über Konstruktion, Materialien, Eintrittswege des Radons in die Räume und Ausbreitungswege innerhalb der Häuser sollten erfasst bzw. überprüft und in einer fachgerechten Baudokumentation festgehalten werden. Siehe dazu Kapitel 7 (Checkliste).

Die Kenntnis der radonspezifischen Ausgangslage bildet die Grundlage für die Planung von angemessenen Radon-schutzmaßnahmen. Das heißt, dass Abdichtungen und Lüftungstechnische Maßnahmen vorgesehen werden, die unter den gegebenen Umständen realisierbar, kostengünstig und wirksam sind.

**Welche weiteren Sanierungsmaßnahmen sind nötig bzw. welche Umbauabsichten bestehen?**

Vor allem für umfangreichere Radonsanierungen sollte ein detaillierter Ablaufplan der Arbeiten (Bauarbeiten und Kontrollmessungen) erstellt werden. Hierbei sollten vorgesehene Um- und Ausbaumaßnahmen am Haus konzeptionell berücksichtigt und in der Ausführung möglichst mit der Radonsanierung gekoppelt werden.

### **4.3 Konzeption des Radonschutzes**

Im Laufe der Planung und Projektierung von Neubau- und Sanierungsvorhaben werden viele Entscheidungen gefällt, die die Exposition durch Radon erhöhen oder vermindern können, ohne dass dabei die Radonproblematik bedacht wird. Andererseits kann durch Überlegungen darüber, wie man „dem Radon aus dem Weg gehen kann“, bereits ein sehr wirksamer Radonschutz vorbereitet werden.

Es sollte immer die Frage gestellt werden: „Kann die anstehende Entscheidung die Radonexposition beeinflussen?“.

#### **4.3.1 Raumprogramm und Raumnutzung**

Grundsätzlich gilt:  
Jede Strategie, die Aufenthaltsräume vom Erdreich „abzukoppeln“, entschärft die Radonfrage.

### Beispiel:

Verzicht auf den Ausbau von Keller-  
räumen zu Wohn-/Aufenthaltsräumen in  
radonbelasteten Gebieten.

Während beim Neubau jedes Radon-  
problem durch geeignete Prävention ver-  
meldbar ist, kann der nachträgliche Um-  
oder Ausbau und selbst eine tiefgründige  
Renovierung von Kellerräumen in Radon-  
gebieten beispielsweise infolge eines  
veränderten Heizungs-/Lüftungsregimes  
und von neu installierten Ver-/Entsor-  
gungsleitungen und Rohren die Radon-  
situation ungünstig verändern.

- Angemessene Prävention beim Neu-  
bau.  
Es sollte garantiert werden, dass auch  
in planmäßig unbewohnten Keller-  
räumen keine erhöhte Radonkonzent-  
ration auftritt. Für den Fall eines spä-  
teren Ausbaus ist damit grundsätzlich  
vorgesorgt.
- Keine offenen Vertikalerschließungen  
von Kellerräumen.  
Bis ins Kellergeschoss offene Treppen-  
häuser begünstigen die Radonausbrei-  
tung im gesamten Haus. Kellerberei-  
che sollten deshalb mindestens durch  
eine dichte Tür von der Wohnung  
abgetrennt sein. Noch besser ist ein  
separater Kellerzugang von außen.
- Belegungsintensität und Radonrisiko  
aufeinander abstimmen.  
Oft unterscheiden sich die Raumnut-  
zungen durch deutlich unterschiedliche  
Aufenthaltszeiten. Da die Radon-  
exposition neben der Konzentration  
durch die Aufenthaltszeit der Personen  
bestimmt wird, sollten Räume mit er-  
höhter Radonkonzentration für Nut-  
zungen mit geringerer Aufenthalts-  
dauer konzipiert werden, z. B. als  
Lagerraum und nicht als Wohn-,  
Schlaf- oder Kinderzimmer. Dies  
sollte besonders bei der Nutzung des  
Kellerbereiches bedacht werden.

### 4.3.2 Wärmeschutz, Heizung und Lüftung

Zu den zentralen Aufgaben eines Gebäu-  
des gehört es, Schutz vor Kälte und Zug-  
luft in den Aufenthaltsräumen zu bieten.  
Wie oben verdeutlicht wurde, besteht ein  
enger Zusammenhang zwischen der Ra-  
donkonzentration und der Austauschrate  
zwischen der Gebäude-Innenluft mit der  
Außenluft sowie der pro Zeiteinheit in das  
Gebäude eintretenden Radonaktivität.  
Beide Parameter werden wesentlich  
durch das Heizungs-/Lüftungssystem im  
Gebäude bestimmt, so dass bei Neubau-  
projekten und diesbezüglichen Maßnah-  
men in bestehenden Häusern (z. B.  
Modernisierung der Heizungsanlage,  
Abdichtung des Hauses) unbedingt die  
mögliche Auswirkung auf die Radon-  
konzentration bedacht werden muss.

### 4.3.3 Leitungsführungen

Jede Durchdringung der Bauteile zum  
Erdreich hin stellt eine potentielle Ein-  
trittsstelle für Radon dar, egal ob die  
Leitungen starr eingegossen oder  
dauerelastisch abgedichtet werden.

Bei seitlichen Leitungsdurchführungen  
besteht meist eine Belüftung von oben  
(Kieshinterfüllung, Sickerplatten). Dies gilt  
für Wasser- und Gasleitungen, Ölleitun-  
gen von erdverlegten Tanks, Elektro-  
oder Antennenkabel etc. Oft verlaufen  
gerade kleinere Kabeldurchführungen in  
Leerrohren, die nicht versiegelt wurden.  
Rohre und Leitungen sollten wenn mög-  
lich durch die Wände und nicht durch  
den Boden zugeführt werden. Eine  
Durchführung durch die Wand anstatt  
durch den Boden ist jedoch kein Ersatz  
für eine gute Abdichtung.



Die Abwasserleitungen sollten den Kellerboden an möglichst wenigen Stellen durchstoßen. Die Fallstränge sollten deshalb oberhalb des Kellerbodens zusammengeführt werden. Die Auffüllungen der Aushubkanäle für die Abwasserleitungen im Erdreich erschließen ein großes Bodenvolumen und stellen ein Radonsammelsystem dar. Das Kanalisationsprojekt sollte deshalb möglichst wenige, unverzweigte Kanalisationsleitungen unter der Gebäudesohle vorsehen.

Erdsonden für Wärmepumpen bilden Radonsammelschächte erster Güte. Sie sollten nicht unter, sondern deutlich neben dem Gebäude angeordnet werden. Rohrzuführungen ins Gebäude können dann relativ einfach abgedichtet und Bodenradon außerhalb des Gebäudes abgeführt werden.

#### 4.3.4 Natürliche Unterlüftung

Die Luft in den oberen Bereichen des Erdbodens steht, in Abhängigkeit von der Luftdurchlässigkeit des Bodens, in ständigem Austausch mit der freien Atmosphäre. Es lohnt sich, diesen natürlichen Austausch zu nutzen, indem die luftdurchlässige, kapillarbrechende Schicht unter der Fundamentplatte mit der ebenfalls gut durchlässigen Seitenhinterfüllung verbunden wird. Auf diese Weise kann die Radonkonzentration in der Bodenluft unter dem Gebäude gezielt verringert werden.

#### 4.4 Radonschutz durch Abdichtungsmaßnahmen

Um die Gebäude vor Radon aus dem Erdreich zu schützen, sollte man sich vor der Projektierung konkreter Maßnahmen ein klares Bild davon machen, wo die Dichtungsschicht verlaufen soll. Wie beim Schutz gegen Bodenfeuchte muss auch der Radonschutz ein geschlossenes

„Gefäß“ gegen das Erdreich bilden. Es kann sinnvoll sein, neben einem primären Dichtungsperimeter (beispielsweise entlang den erdberührenden Bauteilen), einen sekundären Dichtungsperimeter zu definieren, etwa zwischen Keller- und Aufenthaltsräumen. Oft wird bei der gedanklichen Erfassung der Dichtungsperimeter sowohl bei bestehenden Bauten wie bei Neubauvorhaben klar, dass Lücken bestehen, die zuerst geschlossen oder in die Planung mit einbezogen werden müssen (z. B. Naturbodenpartien im Keller oder ein nicht unterkellertes Erdgeschoss).

##### 4.4.1 Konvektion oder Diffusion?

Radon kann auf zwei Arten in das Gebäude gelangen:

- als Bestandteil von Bodenluft, die konvektiv durch Leckstellen oder Öffnungen in den erdberührenden Bauteilen eindringt,
- indem es durch Boden und Wände diffundiert.

Für den praktischen Radonschutz in bestehenden Gebäuden und die Radonprävention in Neubauten ist vor allem der Radontransport durch Leckagen von Bedeutung. Diese Art der Radonausbreitung beruht auf Luftdruckdifferenzen zwischen der Bodenluft und dem Hausinneren, physikalisch „Konvektion“ genannt. Bei der Radongasdiffusion handelt es sich um einen physikalisch grundsätzlich anderen Vorgang. Hier werden die Radonatome aufgrund vorhandener Differenzen zwischen der Radongaskonzentration im Gebäudeinneren und in der Luft im Baugrund bewegt. Die Radongasdiffusion ist prinzipiell vergleichbar mit der im Bauwesen bekannten Wasserdampfdiffusion. Die Ausbreitung erfolgt in beiden Fällen in Richtung des Gradienten.

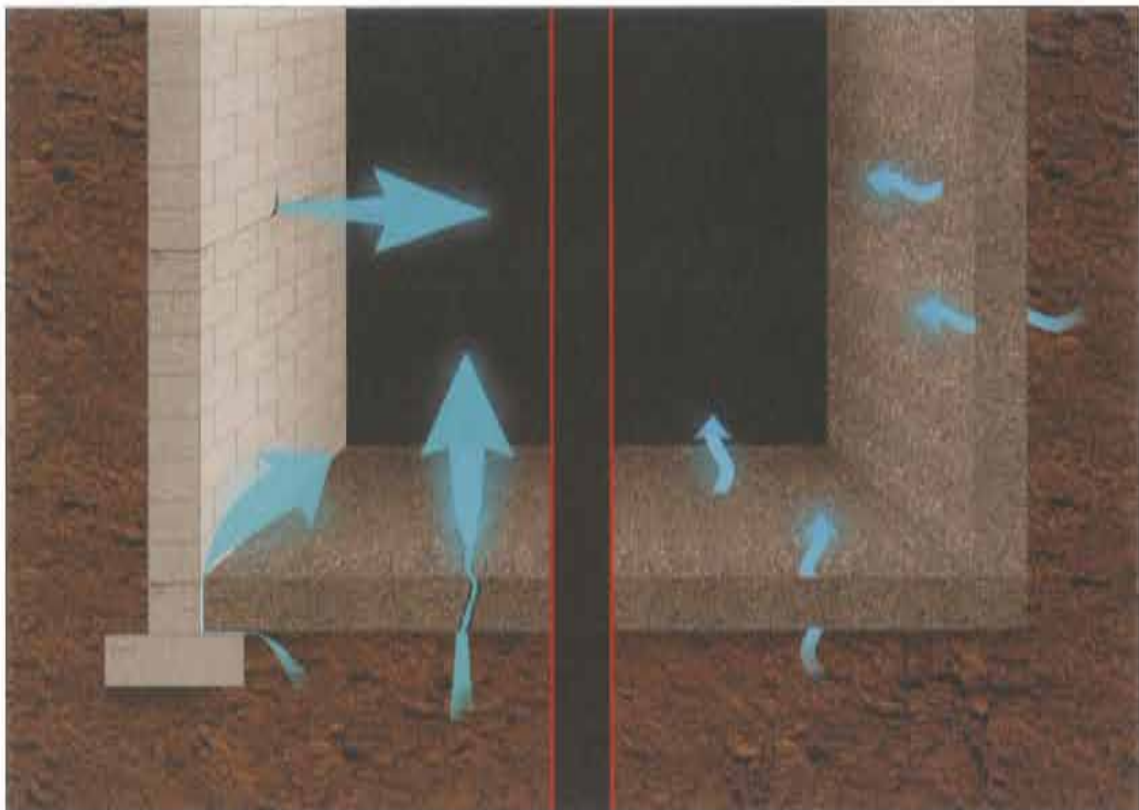


Abb. 4.1 Konvektives Eindringen von radonhaltiger Bodenluft durch Leckstellen (links) und Diffusion von Radon durch Bauteile hindurch (rechts).

Völlig gasdicht sind nur wenige Materialien, z. B. Metalle und Glas. Die Gasdurchlässigkeit ist abhängig von der Materialdichtigkeit und den Gaseigenschaften. Die Wasserdampfdurchlässigkeit von Baumaterialien, Folien und Dichtungsbahnen sowie Beschichtungen ist daher ein orientierender Anhaltspunkt, erlaubt aber keine zuverlässige Beurteilung der Radondurchlässigkeit.

Bei der Beurteilung der Dichtigkeit von Materialien gegenüber Radon ist die Halbwertszeit des Radons von 3,8 Tagen zu berücksichtigen. Wenn z. B. die durchschnittliche Diffusionszeit von Radonatomen durch ein Bauteil mehrere Halbwertszeiten beträgt, findet der radioaktive Zerfall hauptsächlich innerhalb dieses Bauteils statt. Die entstehenden Zerfallsprodukte des Radons sind nicht mehr gasförmig, bleiben im Bauteil gebunden und sind somit unschädlich.

Der Begriff „radondicht“ ist nicht verbindlich festgelegt. G. Keller [1] schlägt vor, ein Material als radondicht zu bezeichnen, wenn die Materialdicke mindestens das Dreifache der Diffusionslänge<sup>2</sup> beträgt. Es sind Folien und Abdichtungsbahnen auf unterschiedlicher Materialbasis im Handel erhältlich, die nach dieser Definition radondicht sind (siehe Tabelle 4.1). Die Radondichtigkeit ist natürlich nicht mehr gegeben, wenn eine Dichtungsbahn oder Beschichtung Risse aufweist oder nicht dicht angeschlossen ist. In dieser Hinsicht bestehen besonders bei relativ spröden oder mit der Zeit versprödenen Beschichtungen große Vorbehalte.

<sup>2</sup> Die Diffusionslänge ist die Strecke, auf der die Aktivitätskonzentration des Radons bei seiner Ausbreitung durch Diffusion in einem Material auf den e-ten Teil (37 %) des Ausgangswertes abnimmt [1].

Material	Dicke [mm]	Radondicht ?
<i>Dichtungsbahnen</i>		
PEHD	1	ja
PVC legiert	1	ja
Polymerbitumen	5	ja
<i>Anstriche, Beschichtungen</i>		
Kunsthharzlack	0,2	nein
Epoxydharz	3	ja
<i>Baumaterialien</i>		
Normalbeton	100	nein
Kalksandstein	150	nein
Gips	100	nein
Mauerziegel	150	nein

Tab. 4.1 Radondiffusivität von Baumaterialien in unbeschädigtem, rissfreiem Zustand [1].

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

Durch Radongasdiffusion werden keine großen Mengen an Radongas durch Bauteile transportiert. Auch bei Radonkonzentrationen über  $20\,000\text{ Bq/m}^3$  in der Bodenluft und guter Porosität des Bodens (Kies) sowie relativ radondurchlässigen Bauteilen ist nur mit einer geringen Radonbelastung durch Radondiffusion zu rechnen (in der Größenordnung von maximal einigen zehn  $\text{Bq/m}^3$ ).

**Fazit: Das Hauptaugenmerk ist auf die Unterbindung der konvektiven Ausbreitung durch Leckagen etc. zu richten.**

Nur bei sehr hoher Radonkonzentration im Baugrund sollte darauf geachtet werden, dass Bauteile und Dichtungsbahnen die Radondiffusion effektiv unterbinden.

#### 4.4.2 Radon-Leckstellen

Ob radonhaltige Bodenluft ins Haus eindringen kann hängt vor allem davon ab, wie riss- und fugenfrei die erdberührenden Bauteile sind. Bereits kleine Leckageflächen in der Größenordnung von  $1\text{ cm}^2$  im Kellerfußboden können bei hohen Radonkonzentrationen in der Bodenluft zu erhöhten Radonkonzentrationen im Keller führen, da infolge der großen spezifischen Radioaktivität des Radongases auch kleine Radongas-/Luftvolumina eine sehr hohe Radioaktivitätskonzentration aufweisen können (vgl. Abschnitt 1.1).

Zusätzlich kann es notwendig sein, den Aufenthalts-/Wohnbereich gegen radonbelastete Kellerräume abzudichten. Undichtigkeiten kommen in unterschiedlichster Art vor:

- Risse und Fugen in Böden und Wänden,
- Durchführungen von Kabeln, Leitungen und Leerrohren,
- Abwasserrohre,
- Bodenschächte und Kontrollöffnungen,
- Licht- und andere Schächte an Wänden im erdberührten Bereich,
- Kamine,
- Keller mit Naturböden, Kies, Bruchstein, lose verlegten Ziegeln etc. und
- durchlässige Konstruktionen (Holzbalkendecken und Tonhohlkörperdecken, Deckenplatten etc.).

Die Abdichtung von bestehenden Gebäuden ebenso wie die radondichte Erstellung von Neubauten wird immer eine Mehrfachstrategie umfassen, um den unterschiedlichen Leckagearten, die an jedem Gebäude vorkommen können, zu begegnen. Folgende Maßnahmen sind denkbar:

- Absperren des Erdreichs mit Dichtungsbahnen,
- Dichtungsbahnen und Anstrichdichtungen in und an Bautellen,
- Dichten von Fugen, Rissen, Löchern und Durchbrüchen,
- Dichten von Öffnungen (Türen, Fenstern, Klappen, Deckeln etc.).

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass der Erfolg von Dichtungsmaßnahmen mit einer erheblichen Un-

sicherheit belastet ist, vor allem bei Sanierungen. Abdichtungsmaßnahmen müssen deshalb äußerst gewissenhaft konzipiert und mit ganz besonderer Sorgfalt ausgeführt werden. Oft sind sie erst in Kombination mit Lüftungstechnischen Maßnahmen effektiv. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass das Verschließen offensichtlicher Undichtigkeiten eine kostengünstige Maßnahme ist, die in bestimmten Fällen bereits das Radonproblem mindern oder lösen kann.

#### **4.4.3 Konstruktion und Bautechnik von Abdichtungsmaßnahmen**

Die in den folgenden Abschnitten gezeigten Konstruktionen sollen einen Überblick über die baukonstruktiven und bautechnischen Ansätze geben. Die Palette der Möglichkeiten ist in diesem Bereich sehr breit. Stets muss sorgfältig geprüft werden, welche Lösung der vorliegenden Radonproblematik am besten gerecht wird. Weil Radon farb- und geruchlos ist und Schäden oder nachlassende Dichtigkeit nicht wie bei Feuchtesperren sofort ersichtlich werden, sondern nur durch weitere Messungen nachgewiesen werden können, sollte besonders auf Qualität und Dauerhaftigkeit geachtet werden. Außenliegende Dichtungsbahnen und Beschichtungen sollten beispielsweise ihren Dienst über viele Jahrzehnte leisten. Sie dürfen weder verrotten, verspröden noch weggequetscht werden.

#### **4.4.3.1 Absperrn des Erdreiches mit Dichtungsbahnen (bei Neubauten)**

Das Verlegen von Dichtungsbahnen in Baugruben unterhalb des Fundamentes ist eine bekannte Technik zur Prävention von Feuchteschäden, aber auch zum Schutz vor eindringenden Gasen, z. B. bei Bauten über Deponien. Diese Technik kann auch gegen das Eindringen von Radongas angewendet werden.

Bauteile, die wasserdicht ausgeführt werden, sind meist auch gleichzeitig weitgehend radondicht. In Baugebieten mit hochliegendem Grund- oder Schichtwasserspiegel ist deshalb der notwendige Feuchteschutz auch ein guter Radonschutz. In Gebieten mit erhöhtem Radonpotenzial im Untergrund und durchlässiger Bodenstruktur kann auf die bewährte Abdichtungstechnologie von grundwasserdichtem Bauen zurückgegriffen werden.

Die Lösungen umfassen nicht nur flächige Abdichtungen, sondern auch Spezialbauteile und -konstruktionen für dichte Rohrdurchführungen, Dehnungsfugen etc.

Der Einsatz von großflächig und gasdicht verlegten Dichtungsbahnen außenseitig an Gebäuden ist angemessen, wenn sich das Bauvorhaben in einem Radongebiet befindet und der erdberührte Bereich nicht als „weiße Wanne“ erstellt wird.

#### **Achtung:**

Bauprodukte, die dem Feuchtigkeitsschutz von Bauteilen/Bauwerken dienen, sind gemäß Bauproduktengesetz bauaufsichtlich relevant. Gemäß Bauregelliste A des Deutschen Instituts für Bautechnik sind für Abdichtmaterialien im erdberührten Bereich Verwendbarkeits- bzw. Übereinstimmungsnachweise erforderlich.

Außerhalb von Radongebieten mit besonders hoher Radonkonzentration in der Bodenluft bieten durchgängig armierte Betonkonstruktionen in erdberührten Bereichen genügend Sicherheit vor Radon aus dem Baugrund.

Abdichtungen der Baugrube können mittels kunststoffmodifizierter Polymerbitumen-Dichtungsbahnen oder mittels Kunststoff-Dichtungsbahnen erfolgen. Zur Planung und Ausführung von Abdichtungen mit Dichtungsbahnen ist das Einbeziehen von Experten bzw. von Beratern notwendig.

Im folgenden werden nicht die bautechnischen Möglichkeiten der Dichtungstechnologie im allgemeinen dargestellt, sondern die besonderen konstruktionsrelevanten Aspekte, die sich aus der Zielsetzung der Radondichtheit ergeben.

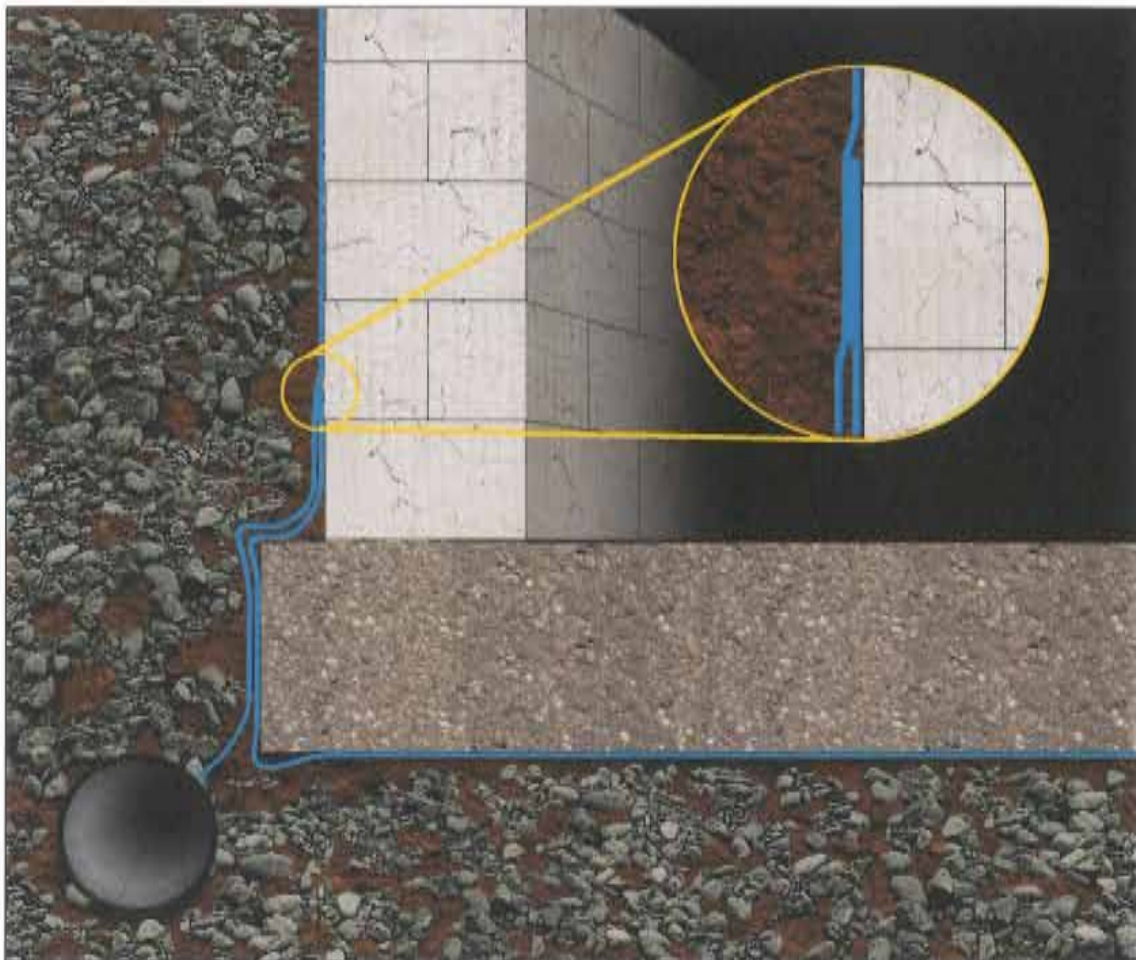


Abb. 4.2 Außenseitige Abdichtung mit Dichtungsbahnen unter der Fundamentplatte (Neubauten).

### Außenseitige Abdichtung mit Dichtungsbahnen

Eine Folie wird in der Baugrube verlegt und nach Erstellung des Untergeschosses an den Wänden hochgeführt. Sickerpackung und -leitung befinden sich außerhalb der Abdichtung. Es muss sorgfältig mit dem Anbieter der Dichtungsbahnen und den Verarbeitern abgesprochen werden, welcher Verlegegrund (Feinplanierung, Sand, Magerbetonsohle mit Trennlagen etc.) erforderlich ist und welche Belastungsdifferenzen zulässig sind. In Radongebieten sind Fundamentplatten Streifen- oder Einzelfundamenten vorzuziehen. Generell ist darauf zu achten, dass die Dichtungsbahnen nicht beschädigt werden, indem scharfkantige Abwinkelungen vermieden werden.

### Perimeterdämmung

Die außenseitige Wärmedämmung im Erdreich ist eine bewährte Konstruktion für einen lückenlosen Wärmeschutz. Das Untergeschoss kann dabei als beheizter Raum oder als unbeheizter, aber warmseitiger Pufferraum konzipiert werden. Die üblichen Konstruktionen, die Fundamentplatte auf entsprechend druckfestes Dämmmaterial (Schaumglas oder extrudiertes Polystyrol) zu betonieren, schaffen an sich noch keine erhöhte Radondichtigkeit. In Radongebieten sollte zusätzlich eine Folie verlegt und seitlich sorgfältig auf die Deckschicht der Perimeterdämmung der Außenwand geklebt werden.

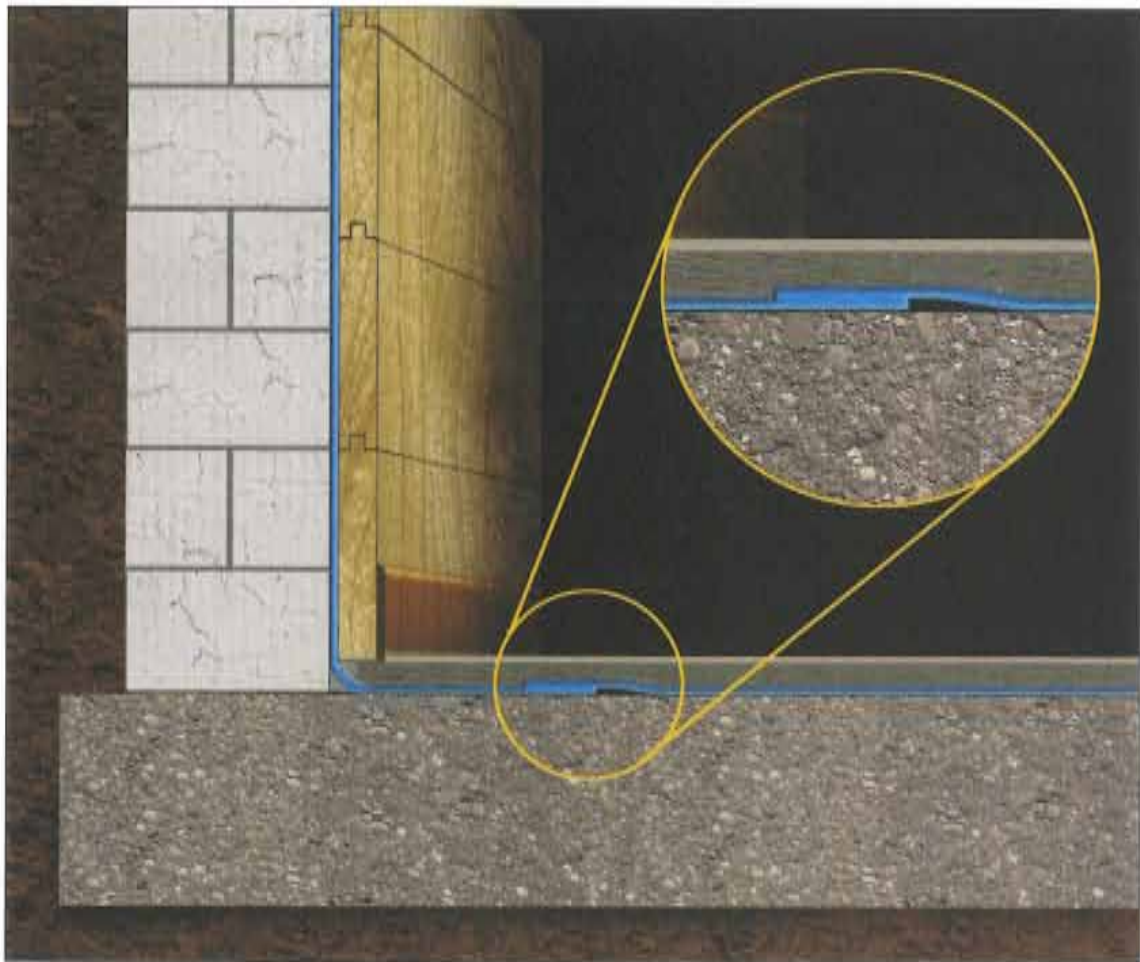


Abb. 4.4 Raumseitige Abdichtung mit Dichtungsbahnen.

### Raumseitige Flächenabdichtung

Zur Sanierung bestehender Bauten können flächige Abdichtungen meist nur raumseitig angebracht werden. Im Normalfall führt die raumseitige Abdichtung allerdings zu einem wesentlich größeren Anteil an Anschlüssen und Nahtstellen, die erhöhte Undichtigkeitsrisiken bergen, wie etwa Innenwände, Treppenaufgänge etc. Bei Neubauten sollten deshalb wenn möglich Konstruktionen mit raumseitiger Abdichtung vermieden werden.

Auch bei Innenabdichtungen gilt: Geeignet ist, was auch für Feuchteschutz taugt. Spröde Dichtungsschlämmen können keine Bewegungsrisse überbrücken und Dichtungsbahnen wirken nur, wenn sie sauber und lückenlos verklebt oder verschweißt sind. Umgekehrt gibt es

raumseitige Radonsanierungsmöglichkeiten, die nicht vom Feuchteschutz inspiriert zu sein brauchen. Bei Bauteilen, die gegen das Erdreich wärmegeklämmt sind, kann die Dampfsperre auch den Radonschutz übernehmen.

Eine funktionsfähige Radonsperrschicht aus feuchtebeständigem Material erfüllt in jedem Fall auch die Anforderungen an die bautechnisch geforderten Feuchtesperrschichten.

### Feuchteschutz-Dichtungsbahnen als Radonschutz

Es gibt verschiedene Konstruktionen und Systeme mit Dichtungsbahnen, die zum Schutz vor eindringender Feuchte verlegt werden. Sie sind gut geeignet, auch den Radonzutritt zu blockieren. Dieselben Eigenschaften, die für eine

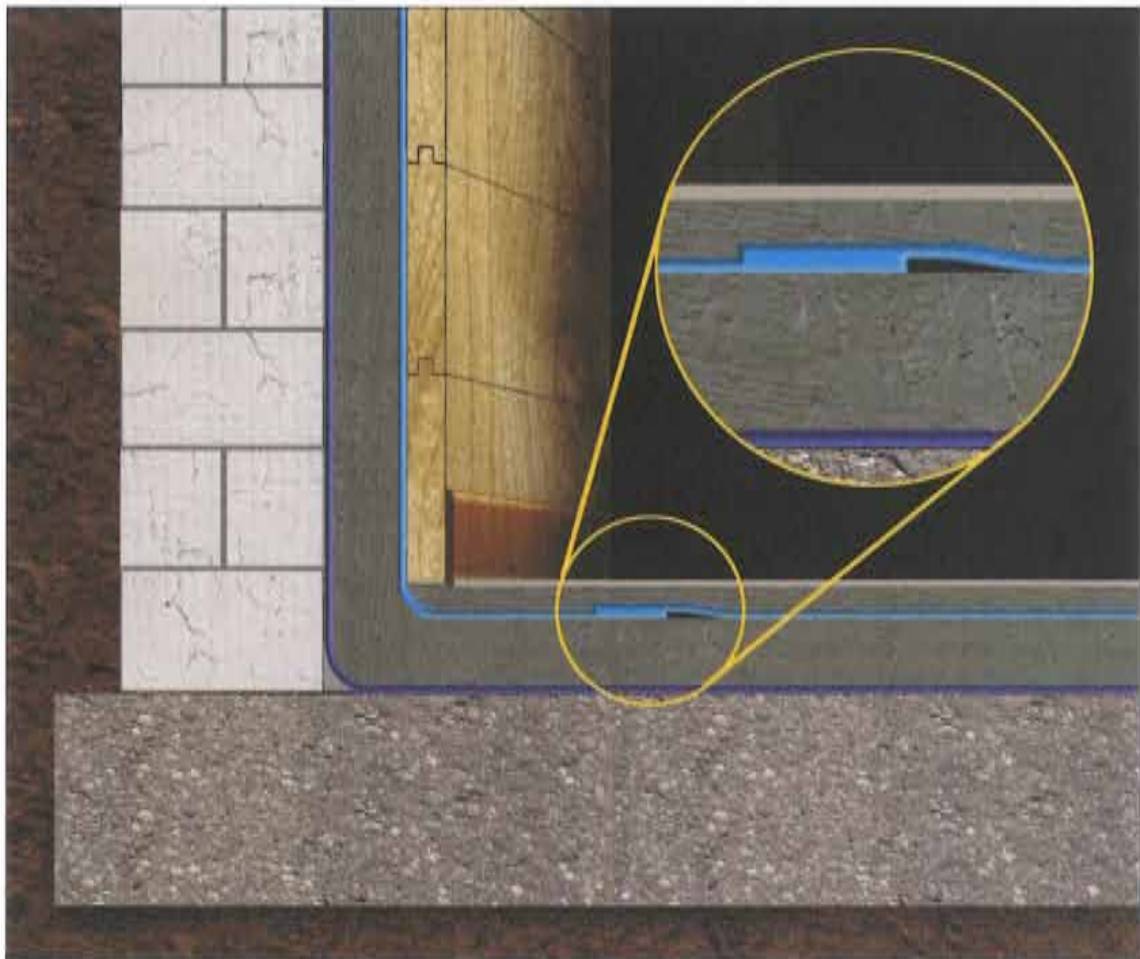


Abb. 4.5 Nachträgliche Wärmedämmung von Kellerboden und -wand mit Dampf- und Radonsperre.

gute Tauglichkeit gegen eindringende Feuchtigkeit gefordert sind, werden in verstärktem Maß für den Radonschutz nötig: Sauberes Abkleben entlang der Nahtstellen, fugenlos verklebte oder verschweißte Dichtungsbahnen und sorgfältige Anschlüsse an Durchdringungen aller Art (Bauteile, Leitungen etc.). Dichtungsbahnen müssen raumseitig verkleidet werden. Dabei ist zu beachten, dass die Dichtungsbahnen nicht unsachgemäß durch Befestigungsmittel der Verkleidung verletzt werden. Zudem muss auf einen sauber abgeklebten Anschluss an der Kellerdecke geachtet werden, was vor allem bei Leichtkonstruktionen (Holzbalkendecken) aufwendig und unsicher ist.

### Dampfsperren

Bei Bauteilen, die gegen das Erdreich wärmedämmend sind, ist warmseitig der Dämmschicht eine Dampfsperre oder eine in ausreichendem Maße dampfbremsende Schicht nötig, damit in der Konstruktion kein Kondensat anfällt. Dampfdichte oder stark dampfbremsende Bauteilschichten (äquivalente Luftschichtdicke von mehr als 10 m) sind auch eine ausreichende Radonsperre. Für die Radondichtigkeit ist die leckagedichtete Montage der Dampfsperre von noch größerer Bedeutung als für den Wasserdampf.



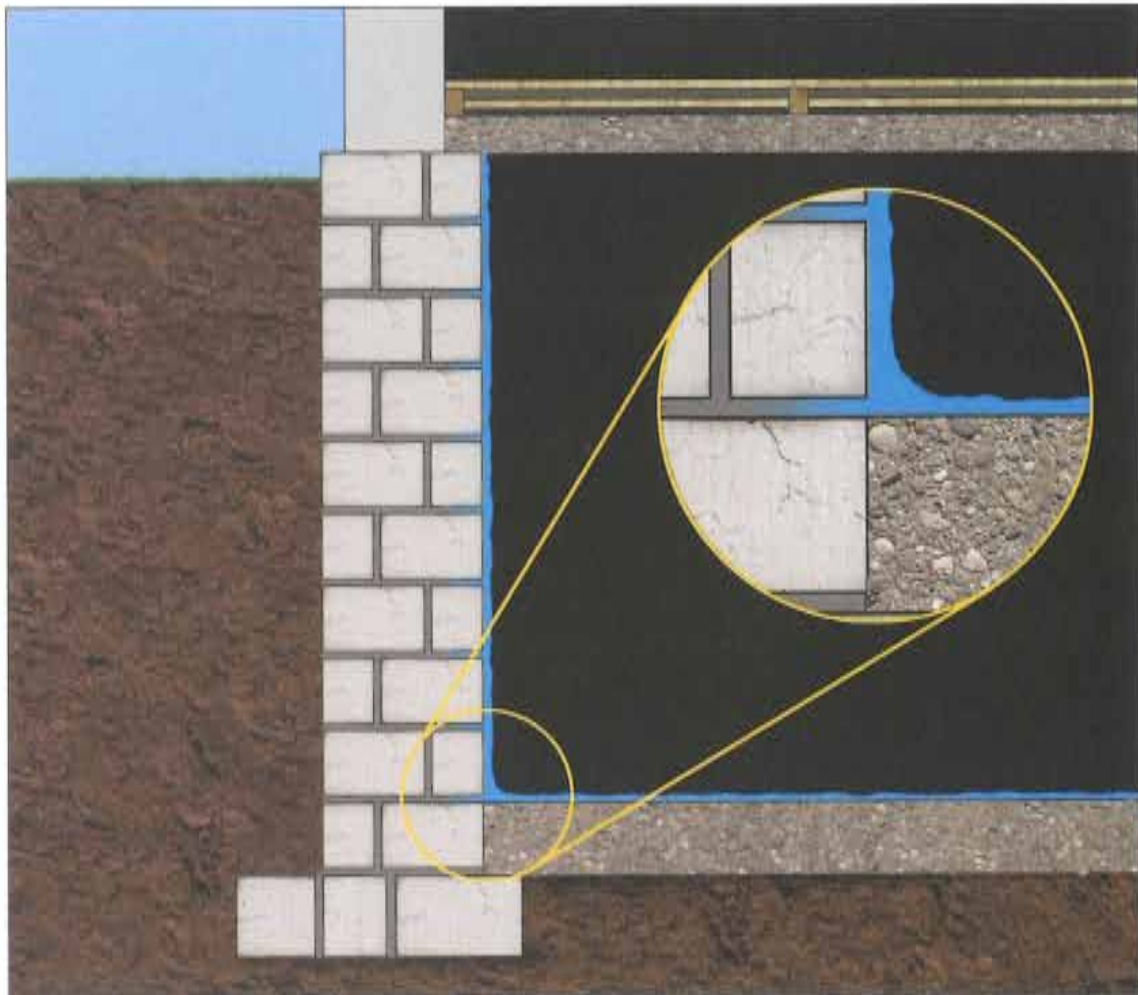


Abb. 4.6 Beschichtungen mit Dichtungsschlämmen und Anstrichen.

### Beschichtungen, Anstriche u. ä.

Gegen eindringende Feuchtigkeit werden oft auch flüssige oder plastische Beschichtungen, z. B. kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen eingesetzt. Sie wirken so lange auch als Radonbremse, wie sie rissfrei und unverletzt bleiben. Generell müssen die entsprechenden Voraussetzungen gegeben sein, wie z. B. geeignete Grundierung des Mauerwerkes. Schutzschichten müssen die Abdichtmassen vor Beschädigung schützen. Als unterstützende Maßnahmen kommen dichte Innenverkleidungen, beispielsweise Fliesen, Dichtungstapeten (auf Alufoliengrundlage) oder gasbremsende Anstrichsysteme (z. B. Chlor kautschuklack) in Frage.

Die Kontrolle der Dichtigkeit von Beschichtungen ist schwierig. Undichtigkeiten sind oft so klein und unscheinbar, dass sie nicht augenscheinlich sind, sondern lediglich durch eine erhöhte Radonkonzentration oder einen erneut raschen Anstieg der Radonkonzentration nach dem intensiven Lüften des Raumes zu vermuten sind. Zur Ortung dieser Undichtigkeiten gibt es spezielle Meßmethoden, z. B. Radon-Sniffing oder das Messen der Radon-Exhalationsrate.

Mit Injektionen, wie sie bei Feuchtigkeitproblemen von Mauerwerk angewandt werden, konnten bisher nur wenige überzeugende Erfolge in der Radonsanierung erzielt werden.

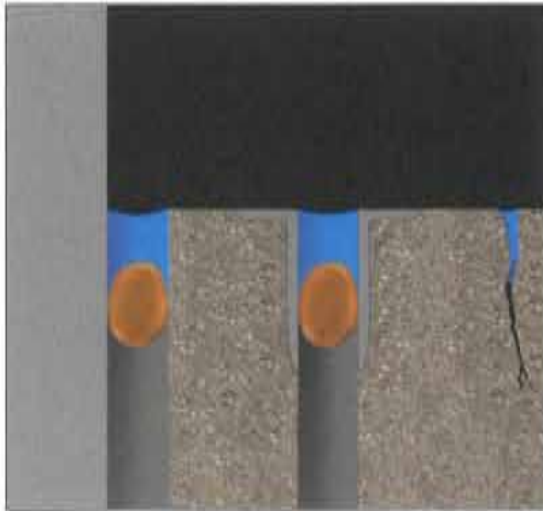


Abb. 4.7 Richtige Ausbildung von Fugenkörpern bei dauerelastischen Kittmassen.

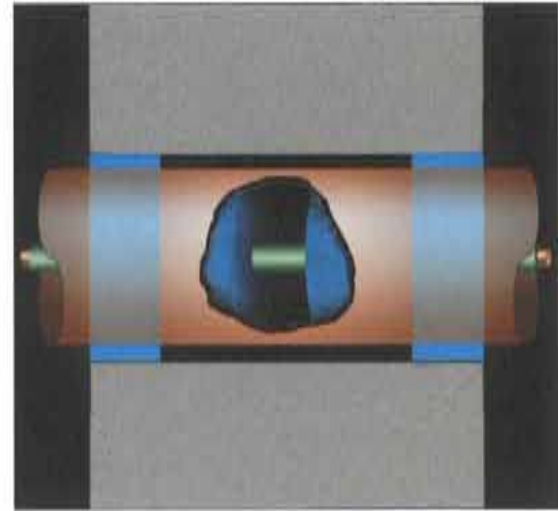


Abb. 4.8 Leerrohr für abgedichtete Leitungsdurchführung durch Wände.

### Deckenkonstruktionen gegen Aufenthaltsräume

Wenn die Radonbelastung in den Keller-räumen nur in unbefriedigendem Maße abgesenkt werden kann, muss für eine gasdichte Trennung zum Wohnbereich gesorgt werden. Die Kellerdecke unter den Aufenthaltsräumen und die aufsteigenden Wände müssen dicht ausgeführt werden. Stahlbetondecken können in der Fläche als genügend radondicht betrachtet werden. Bei alten Massivdecken kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein Ausbreitungspfad über die Auflage im Mauerwerk vorhanden ist, der lokal abgedichtet werden muss. Bei Leichtbaudecken (Balkendecken) muss genau untersucht werden, welche Schicht die Luft bzw. Radonsperrung übernimmt und ob sie an allen Anschluss- und Nahtstellen dicht ist.

#### 4.4.3.2 Abdichten von Durchführungen, Löchern und Rissen

Die Abdichtung von Böden, Decken und Wänden ist nur wirksam, wenn die Vielzahl von Öffnungen, gewollte und ungewollte, fachgerecht abgedichtet sind. Im

Folgenden werden Hinweise zu den unterschiedlichen Dichtungsmöglichkeiten gegeben, soweit sie allgemein gültig oder von besonderer Relevanz für die Radonproblematik sind. Es gibt eine große Fülle unterschiedlicher Dichtungsmaterialien, deren Materialqualität und Lebensdauer ebenso beachtet werden muss wie die fachgerechte Verwendung.

### Dauerelastische Kittmassen

Dauerelastische Kittmassen sind geeignet, Ritzen, Fugen (beispielsweise Anschlüsse von Rohrdurchführungen) und kleine Löcher abzudichten, selbst wenn sie in geringem Maße Bewegungen aufweisen (z. B. Temperaturdehnungen). Je nach Situation werden verschiedene dauerelastische Materialien eingesetzt (Silikon, Acryl, Polysulfid etc.). Beim Einbau sind die Fugenflanken zu reinigen und eventuell zu erweitern, um eine bleibende Haftung zu erreichen. Es kann vorkommen, dass die Fugentiefe hinterfüllt werden muss, um eine optimale Fugendimension zu modellieren. Je nach Ausgangslage und Material sind weitere Vorarbeiten an der Fuge notwendig (Randmodellierung, Haftgrund-Voranstrich etc.). Wenn die Anwendung entsprechend fachgerecht

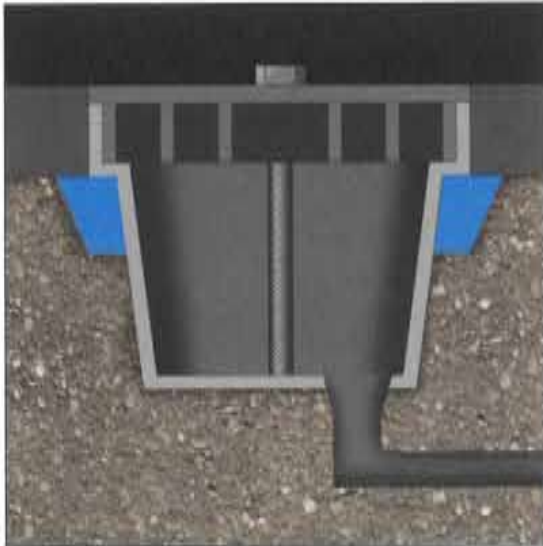


Abb. 4.9 Abdichten eines Bodenablaufs.

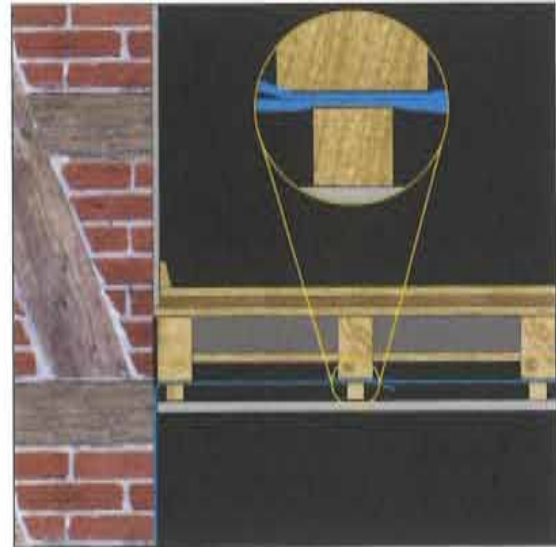


Abb. 4.10 Anschluss Deckenabdichtung.

und sorgfältig erfolgt, können punktuelle Undichtheiten von geübten Heimwerkern selbst behoben werden.

#### Elastische Fugen- und Klebebänder

Besonders für die gasdichte Verbindung von Bauteilen, etwa von Dichtungsbahnen an Decken oder von Bodenbelägen zu Wandverkleidungsplatten etc., aber auch für die Überbrückung von Dehnungsfugen, sind elastische Fugen- und Klebebänder geeignet.

Einseitig selbstklebende Bänder sind in der Regel nicht für eine dauerhafte gasdichte Verbindung geeignet. Doppelseitige Klebebänder, z. B. Butylklebstreifen, sollten auf der Klebstelle mechanisch verpresst werden. So kann etwa die Verklebung von zwei Polyäthylen-Dichtungsbahnen mit Butylklebband unter eine Lattung verlegt werden, welche die Verklebung dauerhaft anpresst. Klebebänder sollten auf keinen Fall Zugbelastungen ausgesetzt werden, nicht einmal durch das Eigengewicht der Folie.

Sehr leistungsfähig sind die in verschiedenen Materialien und Qualitäten angebotenen Fugendichtungsbänder, die mit flüssigen oder plastischen Klebern auf

die zu verbindenden Bauteile aufgeklebt werden.

#### Leitungsdurchführung in Leerrohren

Rohr- und Kabeldurchführungen können durch Rohrhülsen erfolgen, welche mit der Dichtungsfolie durch Verschweißen oder Verkleben verbunden werden. Das Leerrohr mit den Kabeln bzw. Leitungen ist mit dauerelastischem Dichtungsmaterial zu verpressen.

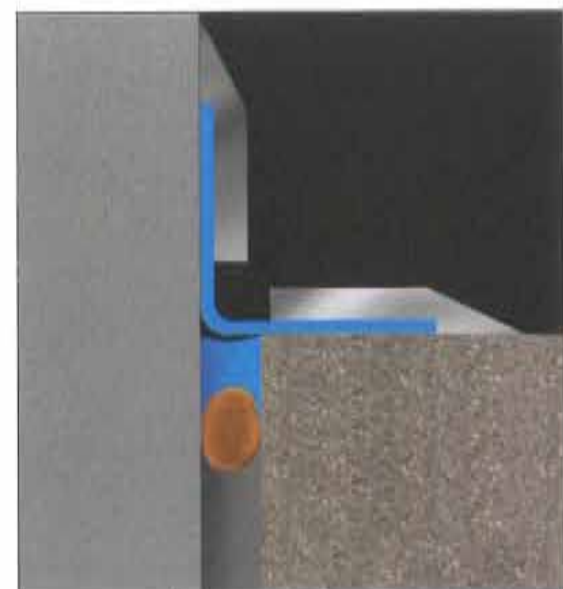


Abb. 4.11 Überbrücken von Dehnungsfugen.

#### 4.4.3.3 Dichten von Türen, Klappen, Schachtdeckeln u. ä.

Wenn die erhöhte Radonbelastung im Keller nicht ausreichend abgesenkt werden kann, etwa weil nicht auf den Naturbodenkeller verzichtet werden soll oder weil sich die Dichtungsmaßnahmen als nicht optimal wirksam erwiesen haben, müssen die Trennbauteile zu den Aufenthaltsräumen wirkungsvoll abgedichtet werden. Dazu gehören in erster Linie die Verbindungstüren. Das können Kellertüren sein, aber auch Wohnungstüren zu Treppenhäusern, die ins Untergeschoss führen. Weitere Öffnungen stellen Deckel von Revisionsschächten im Kellerboden dar.

Die Fugendurchlässigkeit ist vor allem für Fenster ein definierter Begriff, auf den auch bezüglich der Radondichtigkeit zurückgegriffen werden kann [2,3]. So kann für Türen, welche radonbelastete Räume abschließen sollen, ein Fugendurchlasskoeffizient  $a \leq 0,2 \text{ m}^3/\text{h m Pa}^{2/3}$  verlangt werden.

Türen mit erhöhten Schalldämmwerten weisen auch eine gute Luft- und damit Radon-Dichtigkeit auf. Wie beim Schallschutz muss aber auch sehr darauf geachtet werden, dass der Einbau sorgfältig und sachgerecht erfolgt. Im Gegensatz dazu sind Brandschutztüren nicht besonders dicht. Elastische Dichtungsprofile sind wegen ihrer geringen Feuerbeständigkeit kein Bestandteil von Brandschutzkonzepten, da eine erhöhte Gasdichtigkeit aus Sicht des Brandschutzes auch nicht vordringlich ist.

#### Elastische Dichtungsprofile

Um bewegliche Bauteile wie z. B. Türen bzw. deren Falze abzudichten, sind elastische Dichtungsprofile (Lippen- oder Hohlkammerprofile) einzusetzen. Allerdings müssen Dichtungsprofil und Falz aufeinander abgestimmt sein. Außerdem muss die Dichtung fachgerecht eingepasst sein. Grundsätzlich genügt eine umlaufende Dichtung. Auf die bei hohen Schallschutzanforderungen übliche zweite Dichtung kann im Normalfall verzichtet werden. Wenn im Keller hohe Belastungen bleiben (über  $1000 \text{ Bq/m}^3$ ) und die betreffende Tür häufig benutzt wird (Hauptabgangstür zum Keller), kann eine zweite Falzdichtung sinnvoll sein. Werden bestehende Türen (oder Klappen) nachträglich mit elastischen Dichtungsprofilen ausgerüstet, muss darauf geachtet werden, dass die Profile fachgerecht umlaufend eingenutet werden und dass die Tür stabil genug ist, d. h. keine übermäßigen Verformungen auftreten, welche die Dichtungswirkung beeinträchtigen.

Zwei Aspekte müssen bei offenbaren Bauteilen besonders beachtet werden:

- Elastische Dichtungen lassen mit der Zeit nach und sollten periodisch ersetzt, auf jeden Fall aber überprüft werden (alle 5 bis 8 Jahre).
- Abgedichtete Türen sind nur dicht, wenn sie geschlossen sind. Bei wichtigeren Verbindungen (Kellertür) sollte daher ein automatischer Türschließer eingebaut werden.

Einfache V-Dichtungen zum nachträglichen Einkleben in Fenster- und Türfalze können die Luftaustauschraten erheblich absenken. Als Dichtungsmaßnahme gegen Radon sind sie aber unbefriedigend.

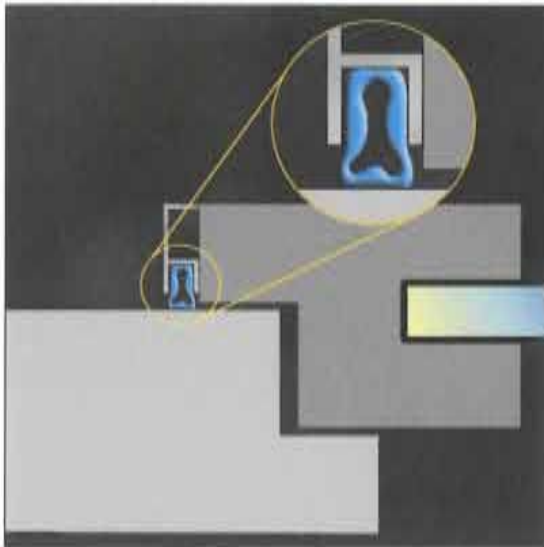


Abb. 4.12 Elastische Dichtungsprofile, eingenutet oder in aufgesetzten Metallprofilen.



Abb. 4.13 V-Dichtungen für die nachträgliche Abdichtung von Fenstern.



Abb. 4.14 Türschwellen mit Dichtungsprofilen, auch für den nachträglichen Einbau.

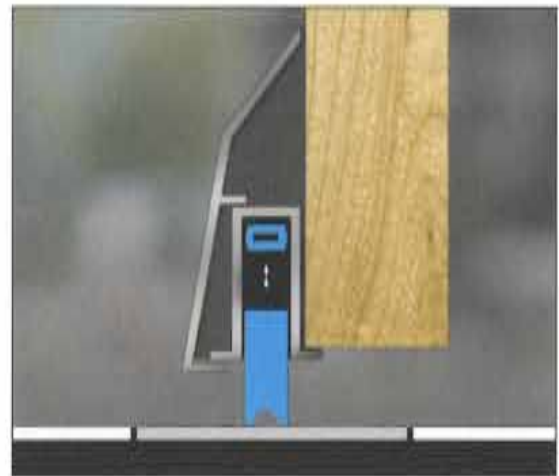


Abb. 4.15 Bewegliche Anpress-Schwelldichtung.

## Schwellen

Schwellen von Türen, die eine hohe Radondichtigkeit gewährleisten müssen, sollten wenn möglich als Anschlag ausgebildet und mit einem elastischen Dichtungsprofil ausgerüstet sein, das mit den seitlichen Falzdichtungen verbunden ist. Schleifdichtungen aus Bürsten-, aber auch aus Elastomer-Material, sind ungenügend. Die beweglichen Anpress-Schwelldichtungen mit Hohlkammerprofilen dichten relativ gut ab. Allerdings muss die Stelle, an wel-

cher das Profil auf den Boden abgesetzt wird, glatt und eben sein. Es muss besonders darauf geachtet werden, dass seitlich keine allzu großen Löcher entstehen. Die Forderung nach hohem Schalldämmmaß bietet diesbezüglich guten Schutz.

## Schlüssellocher

Kellertüren mit alten Schlössern weisen oft sehr große Schlüssellocher auf. Bei einer Radonsanierung sollten Schlösser mit minimaler Öffnung eingebaut werden.



Abb. 4.17 Unterdruck an der Gebäude-  
sohle durch thermischen Auftrieb.

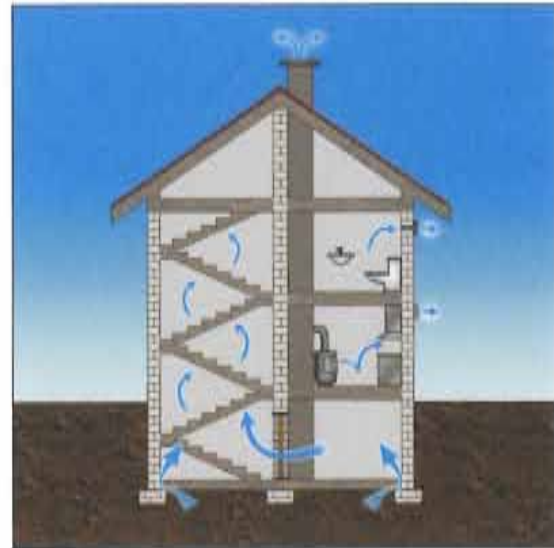


Abb. 4.18 Unterdruckerzeugende Ele-  
mente wie Abluftanlagen, Kamine etc.

## 4.5 Lüftungstechnische Maßnahmen

### 4.5.1 Allgemeines

Radonhaltige Bodenluft dringt vor allem in das Gebäude ein, wenn ein Druckgefälle vom Erdreich zum Gebäudeinneren besteht. Das Druckgefälle hat verschiedene Ursachen.

- In jedem Gebäude besteht ein Temperatur bedingtes Druckgefälle (Schornsteineffekt). Diese natürliche Druckdifferenz tritt im Winter stärker auf, ist in jedem einzelnen Geschoss oder über mehrere Etagen wirksam und kann durch Einbauten wie Lift- oder Lüftungsschächte verstärkt werden.
- Unterdruckerhöhend wirken auch technische Anlagen wie Abluftventilatoren für Badezimmer, Küchenabzüge etc., wenn ungenügende Nachströmöffnungen vorhanden sind.
- Heizkessel, Gasdurchlauferhitzer, Öfen und Kamine erzeugen durch den Schornsteinzug ebenfalls Unterdruck, wenn sie keine separate Verbrennungsluftzufuhr von außen aufweisen.

Der Kaminzug ist in der Regel auch wirksam, wenn kein Feuer brennt, da dichtschießende Öfen oder Kaminclappen die Ausnahme bilden.

- Der Wind kann die Radonproblematik erheblich verschärfen. Der Einfluss des Windes ist stark von der Lage und der Gebäudehüllendichtigkeit abhängig. Zur Verbesserung der Radonsituation ist er jedenfalls ein unzuverlässiger Partner.

Je nach Temperaturdifferenz zwischen innen und außen, Windverhältnissen und Luftdurchlässigkeit zwischen den einzelnen Stockwerken können sich im Bodenbereich von Gebäuden beachtliche Unterdruckwerte einstellen. Bei fünf Meter Gebäudehöhe und einer Temperaturdifferenz innen-außen von 20° Celsius kann sich auf dem Erdgeschossboden ein Unterdruck aufbauen, der mehrere Kubikmeter Luft pro Stunde durch einen Riss von einem Meter Länge und einem Millimeter Breite ziehen kann. Durch gebäudethermische Einflüsse kann je nach Verhältnissen Bodenluft mit erhöhtem Radongehalt in die Keller und möglicherweise sogar bis in die oberen Stockwerke gesaugt werden. Windeffekte

können dort eine Rolle spielen, wo sie stark und regelmäßig auftreten.

In diesem Kapitel geht es um die Möglichkeiten, die Druckverhältnisse im und am Gebäude so zu beeinflussen, dass radonhaltige Bodenluft nicht in das Gebäudeinnere gesaugt oder zumindest auf ein akzeptables Maß verringert oder verdünnt wird. Bei bestehenden Gebäuden mit erhöhten Radonkonzentrationen ist dies nicht immer mit angemessenem Aufwand zu erreichen.

Die möglichen Lüftungsstrategien können fünf Prinzipien zugeordnet werden:

- Unterdruck erzeugende Faktoren eliminieren,
- Unterdruck unter dem Gebäude aufrecht erhalten,
- künstlichen Überdruck im Gebäude erzeugen,
- Abführen radonhaltiger Luft im Keller,
- Abführen radonhaltiger Luft aus Aufenthaltsräumen.

Undichtigkeiten des Gebäudes im nicht erdberührten Bereich bewirken einen erhöhten Luftwechsel und damit tendenziell eine Verdünnung der Radonkonzentration. Gleichzeitig kann aber die Situation im Untergeschoss durch entstehenden Unterdruck verschlechtert werden, so dass vermehrt Radon nachfließt.

Ausschlaggebend ist die hausinterne Drucksituation, wie sie durch die Anordnung und Verbindung der Aufenthaltsräume mit dem Kellergeschoss und die Durchlässigkeit über die Geschosse hinweg durch undichte Boden-/Deckenkonstruktionen, offene Treppenhäuser oder Schächte und Abluftanlagen geschaffen

wird. Abdichtungen am richtigen Ort, nämlich im oberen Bereich des Gebäudes, verringern den Unterdruck am Kellerboden ebenso wie Zuluftöffnungen im Erdgeschoss. In vielen Fällen genügt es, permanente Öffnungen zu schaffen oder sicherzustellen, dass radonbelastete Hohl- oder Kellerräume zuverlässig gelüftet werden.

Kommt ein Ventilator zum Einsatz, spricht man von aktiver Lüftung. Wird die Radonluft über Dach abgeleitet, kann unter Umständen auf einen Ventilator verzichtet und die Entlüftung dem thermischen Auftrieb überlassen werden. Aktive Systeme haben zwei schwerwiegende Nachteile:

- Sie benötigen eine Stromversorgung. Ein Ventilator mit 30 Watt Dauerleistung verbraucht im Jahr etwa 260 Kilowattstunden.
- Ventilatoren müssen gewartet werden und haben eine deutlich kürzere Lebenserwartung als das Gebäude selbst. Bei aktiven Systemen muss immer damit gerechnet werden, dass sie aus irgendeinem Grund nicht in Funktion sind.

Aktive Lüftungssysteme sollten immer erst in einer zweiten Stufe eingerichtet werden, wenn passive Systeme keinen genügenden Erfolg erbracht haben. Je nach Ausgangslage ist es zweckmäßig, Voraussetzungen für eine eventuelle Nachrüstung mit einem Ventilator zu schaffen. Im Handel werden Systeme angeboten, bei denen der Ventilator erst bei Überschreitung einer bestimmten Radonkonzentration zu arbeiten beginnt.

#### 4.5.2 Unterdruck eliminieren

Die Druckdifferenz zwischen Bodenluft und Kellerluft ist die treibende Kraft für die Radoninfiltration. Es ist daher folgerichtig, dass in jedem Fall als erstes die für den Unterdruck im Gebäude verantwortlichen Faktoren identifiziert und so weit wie möglich entschärft werden. Bei Neubauprojekten soll dies bereits konzeptionell erfolgen, schlussendlich aber auch richtig ausgeführt werden. Bei bestehenden Gebäuden kann dies von einfachen „Bedienungsmaßnahmen“, wie Öffnen von Fenstern und Klappen, bis zu größeren baulichen Eingriffen reichen.

#### Oberirdische Nachströmöffnungen schaffen

Wohnräume mit Abluftanlagen in Toilette und Küche ohne Nachströmöffnungen können Unterdrücke von 20 Pa und mehr erzeugen. Je nach Situation kann sich dieser Unterdruck bis an die erdberührenden Bauteile auswirken und radonhaltige Bodenluft ansaugen. Oberirdische Nachströmöffnungen, -ventile und -durchlässe stellen zwar gegenüber Abluftanlagen ohne Luftnachströmung eine Verbesserung dar, deren Einsatz ist aber in Gebieten mit erhöhtem Radonpotenzial im Untergrund nicht geeignet, da ein Unterdruck nötig ist, um sie zu öffnen. Bei Sanierungen muss zumindest darauf geachtet werden, dass die Nachströmöffnungen großzügig dimensioniert werden. Außerdem sollten sie mit Maßnahmen zur Erhöhung der Dichtigkeit gegenüber den erdberührenden Räumen kombiniert werden.

#### Direkte Außenluftzufuhr für Öfen und Kessel

Öfen (Stahlöfen, Speicheröfen, Kamine etc.) und Kessel, die sich in Aufenthaltsräumen befinden, sollten schon aus Energie- und Gesundheitsgründen mit direkter Außenluftzufuhr ausgerüstet werden.

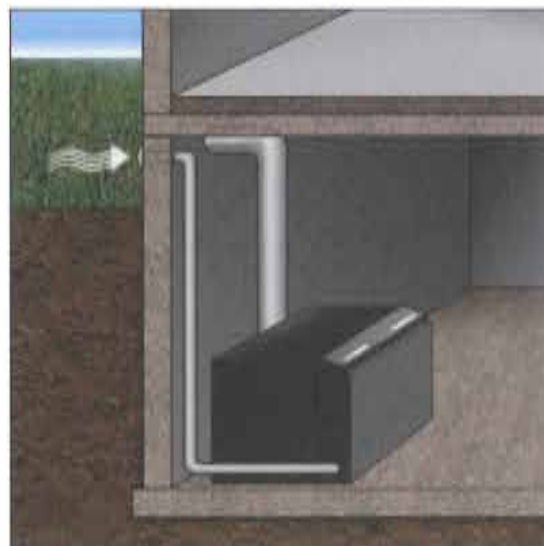


Abb. 4.19 Direkte Außenluftzufuhr für Brenner.

Auch in den übrigen Räumen ist die direkte Außenluftzufuhr zum Brennraum des Ofens heute Stand der Technik und sollte eine Selbstverständlichkeit sein.

#### Dichte Rauchrohrklappen

Kaminklappen sind im Normalfall aus Sicherheitsgründen nicht dichtschießend. Sie unterbinden deshalb auch den Kaminzug und den daraus entstehenden Unterdruck nur unzureichend. Die zuständigen Schornsteinfeger können für nur kurzzeitig betriebene Feuerungen in dauernd beaufsichtigten Räumen dichtschießende Kamin- oder Rauchrohrklappen bewilligen. Dies gilt für neue und bestehende Kamine und Einzelöfen, aber nicht für Koch- und Zentralheizungsherde.

In Gebieten mit Radonkonzentrationen über  $100\ 000\ \text{Bq/m}^3$  in der Bodenluft sollten generell nur dichtschießende Kaminklappen zum Einsatz gelangen. Kamine und Zimmeröfen sind dort nach Rücksprache mit den zuständigen Stellen unbedingt mit dichtschießenden Rauchrohrklappen auszurüsten.



Zu berücksichtigen ist jedoch, dass bei Vorhandensein geeignet positionierter Nachströmöffnungen durch die Kaminwirkung auch ein verstärkter Luftaustausch bewirkt werden kann, der wiederum durch den Verdünnungseffekt zu einer Reduzierung der Radonkonzentration in den betroffenen Räumen führt. Eine fachgerechte Situationseinschätzung ist in diesen Fällen generell wichtig.

#### **4.5.3 Luftabsaugung unter dem Gebäude**

Beim Absaugen von Luft aus dem Bereich unmittelbar unter der Gebäudegrundfläche wird passiv oder aktiv (ventilatorbetrieben) radonbelastete Bodenluft abgeführt. Damit werden zwei sehr verschiedene Wirkungen angestrebt:

- In Hohlräumen oder in den Erdschichten unter dem Gebäude wird ein Unterdruck (gegenüber dem atmosphärischen Druck im Keller) aufgebaut. Hier ist eine gewisse Dichtigkeit und Undurchlässigkeit des Erdreiches erwünscht. Nur so kann mit geringer Förderleistung und sehr kleinen Volumenströmen ein ausreichender Unterdruck aufrecht erhalten werden, der verhindert, dass Bodenluft in das Gebäude einfließt.
- Hohlräume oder sehr durchlässige Füllungen werden entlüftet. Die nachfließende Frischluft verdünnt die aus dem Untergrund austretenden Radonmengen in genügendem Maße. Voraussetzung dafür bilden entsprechende Möglichkeiten für das Nachströmen von Luft aus der freien Atmosphäre um das Gebäude.

Beide Verfahren haben, abhängig von den Bodenverhältnissen, ihre Berechtigung. Variante 1, Unterdruckhaltung unter dem Gebäude, ist als Variante mit den größten Erfolgsaussichten anzusehen

und ist auch durch entsprechende Wahl der Leistungsparameter am flexibelsten an die örtlichen und gebäudetechnischen Gegebenheiten anzupassen. Die weitgehend identische konstruktive Gestaltung der Rohrleitungssysteme für beide Varianten bietet die Möglichkeit, im Rahmen einer Testphase die geeignetere Lösung zu ermitteln.

Wenn sich das Erdreich oder die Hinterfüllung als so durchlässig erweist, dass der vorgesehene Unterdruck nicht mit vernünftigem Aufwand erzeugt werden kann, wird ein Radonschutzeffekt durch die Spülung mit Luft oder durch die Kombination beider Effekte erreicht. Bei Anwendung der Variante 2 ist jedoch unbedingt die Gefahr einer Unterkühlung des Gebäudes bis hin zum Risiko von Frostschäden, z. B. dem Einfrieren wasserführender Leitungen zu berücksichtigen.

Wie bei den Abdichtungsmaßnahmen muss auch bei der Unterlüftung der Gebäude darauf geachtet werden, dass das ganze Gebäude mit einbezogen wird und nicht nur einzelne Räume. Technisch sind die folgenden Situationen zu unterscheiden:

#### **Entlüftung von Hohlräumen unter dem Gebäude**

Unter den Wohnräumen nicht unterkellerten Gebäude befindet sich im allgemeinen ein Hohlraum, weil dies ein probates Mittel ist, Feuchteprobleme zu vermeiden. Normalerweise werden diese Hohlräume auch mit Belüftungsöffnungen ausgestattet. Die Vergrößerung und optimale Anordnung der Lüftungsöffnungen kann bereits für eine ausreichende Radonableitung genügen. Wenn nicht, kann allenfalls ein einfacher Kleinventilator vorgesehen werden. Wird ein Kleinventilator eingesetzt, kann unter Umständen bewusst auf eine Nachströmöffnung verzichtet und allein auf den Unterdruck-

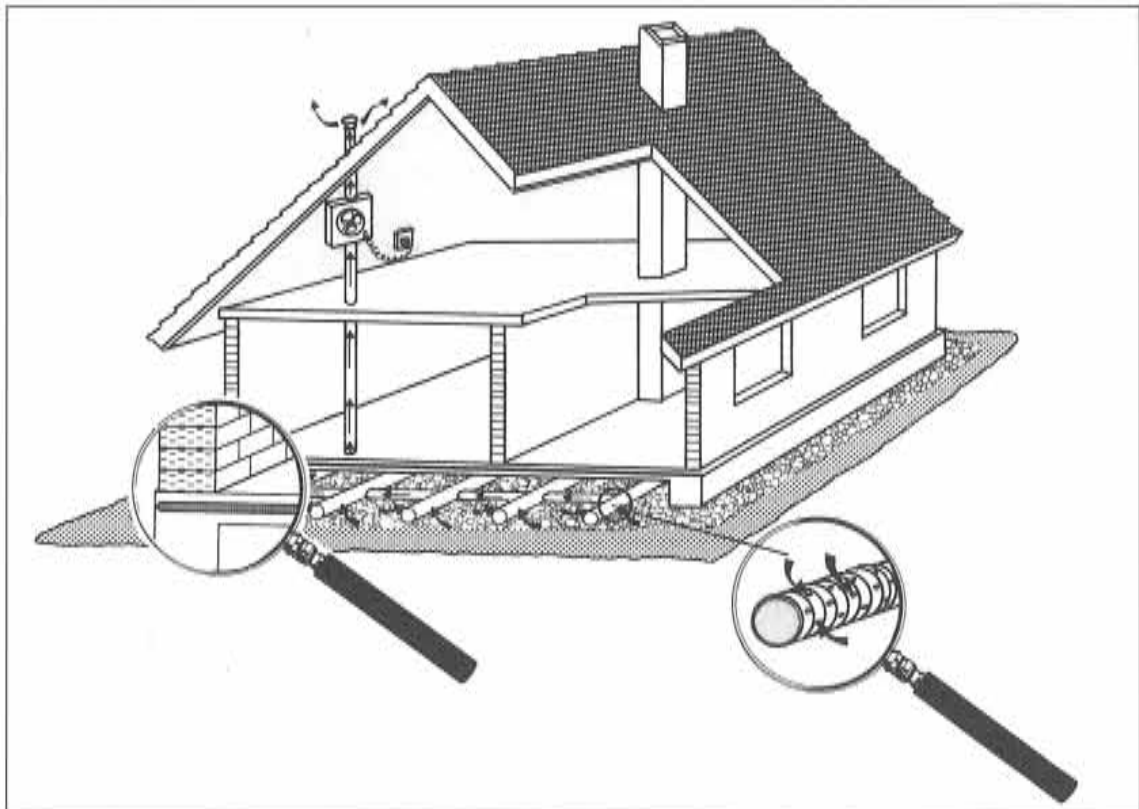


Abb. 4.21 Bodenentlüftung unter der Gebäudesohle mittels Drainagesystem.

effekt gesetzt werden. Der Ventilator muss im Unterdruckbetrieb (bis  $-40\text{ Pa}$ ) energieeffizient und geräuscharm arbeiten.

Auch unter Terrassenhäusern sind oft durchgängige Hohlräume zu finden, die manchmal sogar bekriechbar sind. Neben Lüftungsöffnungen beim untersten und obersten Terrassenhaus kann es notwendig sein, die Hohlräume auch von der Seite her zu öffnen, damit in den langen Luftströmen keine Radonanreicherung erfolgen kann.

#### **Bodenentlüftung mit Drainageleitungen unter der Gebäudesohle**

Radonhaltige Bodenluft wird mit einem Röhrensystem (Drainagerohre oder Flachkanäle mit perforierter Unterseite) erfasst und ins Freie geleitet. Die Wirksamkeit hängt entscheidend davon ab, ob gegenüber den darüber liegenden Räumen vollflächig ein Unterdruck erzielt werden kann.

Das Bodenmaterial sollte eine gewisse Luftdurchlässigkeit aufweisen, damit der Drainageeffekt voll zum Tragen kommt. Sehr nützlich ist es, wenn Kies als Drainageschicht eingebracht werden kann. Je dichter der Boden, desto feinmaschiger muss das Rohrnetz verlegt werden. Die Rohre können unter Umständen auch im Bohrverfahren eingebracht werden. Bei sehr durchlässigen Böden kann es sinnvoll sein, unter das Röhrensystem eine Folie über die ganze Fläche zu verlegen. Dies behindert das Nachströmen der Bodenluft, wodurch sich ein Unterdruck aufbaut.

Eine weitere Möglichkeit bildet die Kombination von horizontalen und vertikalen Drainageleitungen im Bereich von erdberührten Wänden und Fußböden. Diese Möglichkeit kann z. B. bei starker Hanglage des Gebäudes Vorteile bieten.

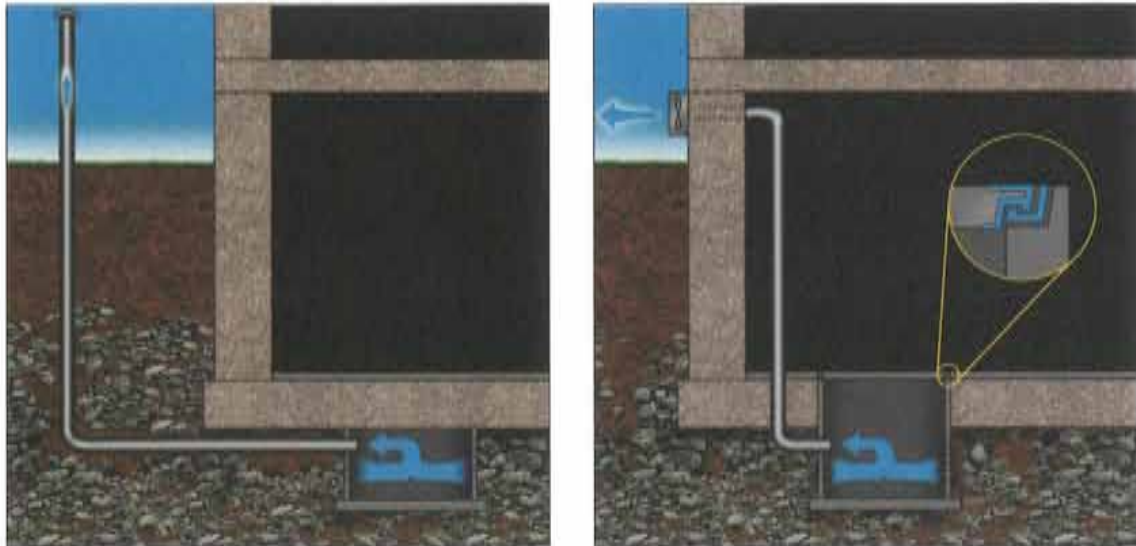


Abb. 4.22 Bodenentlüftung unter der Gebäudesohle mittels Sammelschacht.

**Achtung:**

Durch das Einpressen der Drainagerohre beim Bohrverfahren wird das umgebende Erdreich verdichtet. Dies kann die Permeabilität soweit reduzieren, dass kein durchgängiger Unterdruck im Boden unter der Gebäudesohle aufgebaut wird. Voraussetzung für eine ausreichende Wirksamkeit ist somit eine nicht bindige Bodenstruktur.

**Bodenentlüftung mit zentralem Sammelschacht**

Die Bodenluft wird unterhalb von bestehenden Fußbodenkonstruktionen in einem Schacht gesammelt und abgesaugt. Das Verfahren ist wirksam, wenn zwi-

schen dem Untergrund und der Unterseite der Gebäudegründungskonstruktion (z. B. armierte Betonbodenplatte, Holzfußboden auf Lagerhölzern) ein zusammenhängender durchgängiger Hohlraum existiert oder wenn der Untergrund eine hohe Permeabilität aufweist (z. B. Kies). Bei ungünstigen Verhältnissen müssen mehrere Schächte gesetzt werden.

**Bodenentlüftung an einzelnen Stellen**

Wenn vom Gebäuderaum her genügend Platz für Absaug- und Sammelrohre vorhanden ist, kann es in bestehenden Gebäuden einfacher sein, die Bodenluft über mehrere Rohre, die dicht durch den Kellerboden geführt werden, abzusaugen.

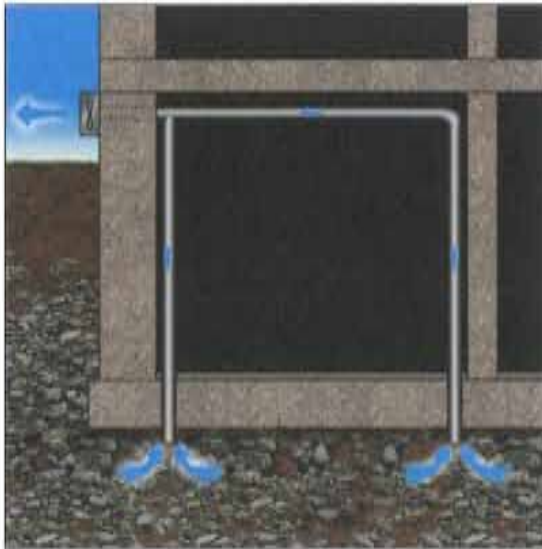


Abb. 4.23 Bodenentlüftung unter der Gebäudesohle mittels einzelner Ansaugstellen.

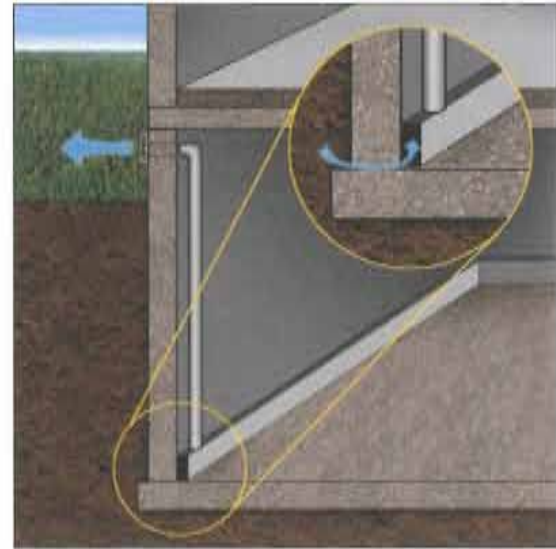


Abb. 4.24 Unterdruckerzeugung unter der Bodenplatte durch Absaugkanal entlang der Bodenplattenfuge.

### **Bodenentlüftung mit zwei Dichtungsbahnen (Neubauten in Radongebieten)**

Auch bei Bodenentlüftungen muss auf möglichst gute Dichtigkeit der Fußbodenkonstruktion geachtet werden. Bei Neubauten kann diese Abdichtung mit einer durchgehenden Folie unter dem Fußbodenaufbau erfolgen. Die Ansaugstellen für die Bodenluft befinden sich selbstverständlich oberhalb der Folie. Allerdings geschieht dies mit geringen Luftmengen, was auch eine übermäßige Auskühlung im Winter verhindert.

### **Bodenentlüftung mit Sammelkanal**

Ein Kanal sammelt durch linienförmige Stellen, wie z. B. Fugen, eindringende radonhaltige Bodenluft. Ein Ventilator erzeugt im Kanal einen kleinen Unterdruck und bläst die angesaugte Bodenluft via Abluftkanal ins Freie. Diese Methode ist nur anwendbar bei bautechnisch einfach lokalisierbaren Eintrittsstellen, insbesondere bei starren Dehnungsfugen zwischen Außenwänden und dichter Bodenplatte.

Oftmals ist die fehlende Berücksichtigung der Wände als Radoneintrittspfad ein Schwachpunkt.

### **Entlüftung von Hohlbodenkonstruktionen**

Bei bestehenden Bauten kann es einfacher sein, einen neuen Hohlboden einzubauen und diesen Hohlraum mit Unterdruck zu entlüften anstatt die Bodenluft mit Drainagerohren oder Radonbrunnen unter der Bodenkonstruktion zu sammeln. Hohlbodenkonstruktionen können in verschiedenster Weise erstellt werden. Es sind auch verschiedene Fertigfabrikate auf dem Markt, deren Haupteinsatzgebiet im Bürobereich liegt, wo der Hohlboden als Installationsbereich genutzt wird. Eine besonders geringe Aufbauhöhe wird erreicht, wenn Drainageplatten oder -matten als Unterbodenkonstruktion eingesetzt werden. Sperrschichten in den aufsteigenden Wänden mit geeigneter Anschlusskonstruktion an den Hohlboden sind unbedingt vorzusehen.

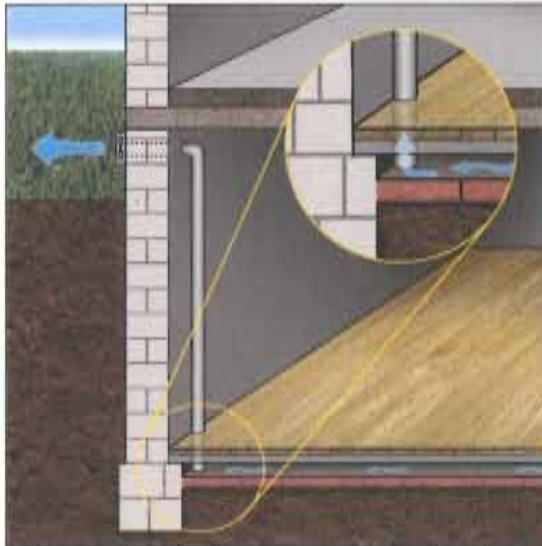


Abb. 4.25 Entlüftung von bestehenden Hohlräumen.

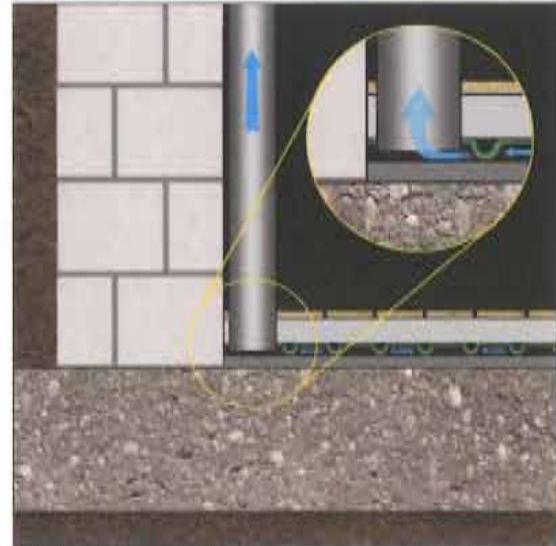


Abb. 4.26 Entlüftung eines nachträglich aufgebauten Hohlbodens.

### Bodenentlüftung über eine bestehende Drainageleitung

Es sind Sanierungen bekannt, wo mit einem Abluftventilator Bodenluft aus einer vorhandenen Drainageleitung abgesaugt und damit die Infiltration von Radon in den Keller erfolgreich unter den Richtwert gesenkt werden konnte. Drainageleitungen bilden allerdings ein System, dessen lufttechnisches Verhalten meist unbekannt ist und das von Fall zu Fall stark variiert. In jedem Fall sind Siphons gegen Luftzufuhr aus dem öffentlichen Kanalisationsnetz und der Dachwassereinleitung erforderlich. Bei Sanierungen sollte ein Entlüftungsversuch mit provisorischem Abdichten der Kanalisationsverbindung vorgenommen werden.

### Radonbrunnen außerhalb des Gebäudes

Je nach Bodenbeschaffenheit wurden gute Erfahrungen mit Radonbrunnen gemacht, die außerhalb des Gebäudes errichtet werden. Vor allem bei einer dichten Deckschicht über permeablem Boden baut sich ein ausgedehnter Unterdruckbereich im Erdreich der Umgebung des Brunnens auf und damit auch unter dem

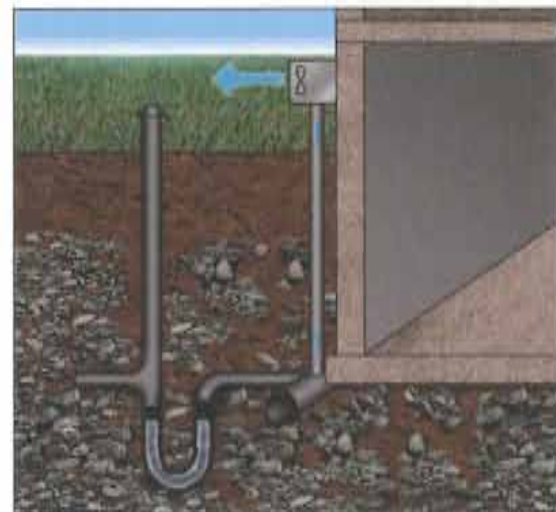


Abb. 4.27 Unterdruckerzeugung über die bestehende Drainageleitung.

Gebäude. Freistehende Radonbrunnen können zu einer kostengünstigen Radonsanierung führen, wobei an den Gebäuden selbst keine baulichen Eingriffe nötig sind. Unter günstigen Bedingungen kann ein Radonbrunnen zur Entlastung mehrerer Gebäude ausreichend sein. Der Energieaufwand für den unerlässlichen Betrieb eines Ventilators ist bei dieser Lösung jedoch vergleichsweise hoch. Außerdem werden im allgemeinen spezielle Maßnahmen zur Geräuschdämmung erforderlich.

#### 4.5.4 Künstlicher Überdruck im Gebäude

Um radonhaltige Bodenluft am Eindringen ins Gebäude zu hindern, kann anstelle eines Unterdruckes unter der Bodenplatte ein leichter Überdruck im Gebäudeinneren erzeugt werden. Der Einsatz einer Lüftungsanlage im Wohnbereich ist zweckmäßig. Einfache mechanische Wohnungslüftungen mit Wärmerückgewinnung oder Luft/Luft-Wärmepumpen wurden in den letzten Jahren in Niedrigenergiehäusern mit gutem Erfolg eingesetzt. Sie sparen Energie und bieten einen hohen Frischluftkomfort.

Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluftkanälen finden im Wohnungsbau zunehmend Verbreitung. Sie werden normalerweise so betrieben, dass Zu- und Abluftmenge gleich groß sind. Oft wird die Abluftförderung etwas größer gehalten, dass ein geringer Unterdruck in der Wohnung bzw. in den Büroräumen entsteht. Alternativ kann zur Lösung von Radonproblemen die Zuluftmenge etwas größer als die Abluftmenge eingeregelt werden, um einen Überdruck im Gebäude bzw. in den Räumen zu erzielen. Dieser sollte den Wert von ca. 2 Pa nicht überschreiten.

#### 4.5.5 Lüften des Kellers

Wenn vornehmlich Radon aus dem Untergeschoss in den Wohnbereich des Gebäudes eintritt, kann versucht werden, durch einen erhöhten Luftwechsel im Untergeschoss (z. B. durch Querlüftung) die Radonkonzentration soweit zu verringern, dass kein wesentlicher Radontransport vom Keller in die Aufenthaltsbereiche stattfinden kann. Im Haus entstehende Unterdrücke können im Keller nicht wirksam werden. Wenn ein Abluftventilator eingesetzt wird, kann sich als Nebeneffekt ein Unterdruck im Keller aufbauen,

der den Zustrom von Bodenluft vergrößert. Der Unterdruck wirkt aber auch gegenüber den Aufenthaltsräumen, so dass das Radon von dort ferngehalten und ins Freie geblasen wird.

Das Problem liegt darin, dass Kellerlüftungen im Winter zu starker Auskühlung führen können, so dass die Fenster geschlossen und Ventilatoren abgestellt werden. Auf eine gute Wärmedämmung der Bauteile gegen die beheizten Räume (Kellerdecke, Treppenhauswände und Treppenunterseite etc.) sowie von Heizleitungen ist deshalb zu achten.

*Das Lüften von Kellerräumen ist deshalb oft nur ein Provisorium bis zur Realisierung endgültiger Maßnahmen, jedoch wegen seiner einfachen Realisierbarkeit zu empfehlen.*

#### 4.5.6 Kontrollierte Luftzufuhr zu Brennräumen

Kontrolliertes Zuführen von Außenluft zum Heizkessel vermindert den Unterdruck durch Gebläsebrenner und Kaminzug. Bei einem Kamin oder einem Ofen soll mit einer großzügig dimensionierten Frischluftzufuhr verhindert werden, dass im Keller- und Erdgeschossbereich Unterdruck entsteht und radonbelastete Luft in bewohnte Räume angesaugt wird.

#### 4.5.7 Lüftung von Aufenthaltsräumen

Wenn das Eindringen von Radon nicht in genügendem Maße zu verhindern ist, kann versucht werden, die Radonkonzentration durch erhöhten Luftwechsel zu verdünnen. *Da im Winter mit erhöhtem Luftwechsel durch vermehrtes Öffnen der Fenster die Zimmertemperatur sinkt und der Wohnkomfort beeinträchtigt wird oder die Heizkosten steigen, ist dies nur als vorläufige Maßnahme bis zu einer endgültigen Sanierung zu empfehlen.*

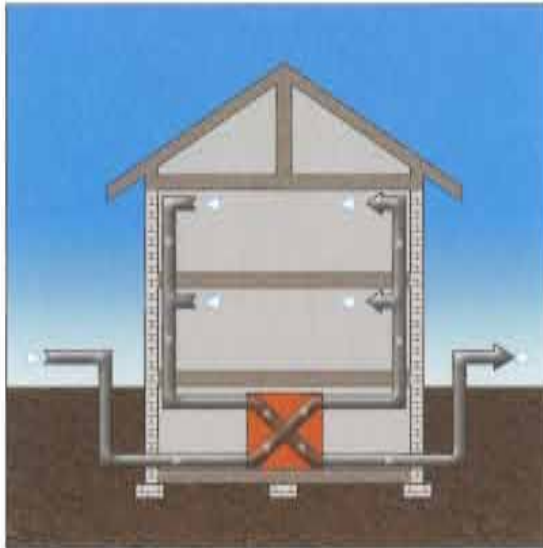


Abb. 4.28 Erhöhung des Luftwechsels mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Günstiger ist der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Der Abluft wird vor Abgabe ins Freie mittels Wärmetauscher oder Wärmepumpe die Wärme entzogen und an die Frischluft übertragen. Mit derartigen Anlagen sind auch im Winter hohe Luftwechsel ohne übermäßige Energieverluste möglich. Zudem ist der Luftwechsel ununterbrochen gewährleistet und nicht vom Benutzerverhalten abhängig. Eine verstärkte Außenluftzufuhr führt bei niedrigen Außentemperaturen jedoch zu einer erheblichen Reduzierung der Raumluftfeuchte, so dass Probleme infolge sehr trockener Luft in den Wohnräumen zu erwarten sind.

#### 4.5.8 Technische Hinweise zu den Lüftungsstrategien

##### Allgemeines

International sind schon einige tausend Radonsanierungen bzw. -präventionen mit lüftungstechnischen Einrichtungen ausgeführt worden. Die Ausgangslagen sind aber immer sehr unterschiedlich, so dass eine Übertragung der angewendeten Maßnahmen nicht generell möglich ist. Die folgenden Hinweise sollen bei der Projektierung und Ausführung von lüftungstechnischen Anlagen helfen.

##### Abluftanlagen

Bei Abluftanlagen muss sorgfältig darauf geachtet werden, dass der Ersatz der abgesaugten Luft gezielt erfolgt und nicht über undefinierte Undichtigkeiten in der Gebäudehülle. Oberirdische Nachströmöffnungen, -ventile und -durchlässe können in Gebäuden mit erhöhten Radonwerten nicht auf die notwendigerweise geringen Druckverluste von unter 1 Pa dimensioniert werden. Eine Verbesserung gegenüber Abluftanlagen ohne Luftnachströmung tritt zwar ein, Unterdruckwerte von 5 bis 10 Pa, wie sie beim Betrieb von Nachströmeinbauten auftreten, sind aber nicht optimal. Für diese Fälle wäre ein Zuluftventilator oder ein Zu- und Abluftgerät (es gibt Zimmergeräte mit Wärmerückgewinnung) einzusetzen. Die Auslegebedingung für Nachströmventile gemäß DIN 1946-6E, wonach bei Vorhandensein von raumluftabhängigen Feuerungen max. 4 Pa, in allen übrigen Fällen 8 Pa Unterdruck nicht überschritten werden darf, ist in Gebieten mit erhöhtem Radonpotenzial für das Erd- und das erste Obergeschoss nicht ratsam. Nachströmöffnungen mit Filter müssen regelmäßig gemäß den Werksangaben gewartet werden.

Soll die Dichtheit der Gebäudehülle bestimmt oder Luftlecks geortet werden, kann eine sogenannte „nL50-Messung“ weiterhelfen.

### **Zuluft-Erdregister**

Erdregister zur Vorwärmung der Zuluft für Lüftungsanlagen scheinen gemäß heutigem Kenntnisstand bezüglich Radonbelastung unempfindlich zu sein, wenn sie als geschlossene Rohre (Kunststoff) ausgeführt werden. In jedem Fall sollten Kunststoffrohre mit gasdichten Stößen eingesetzt werden. Mit erheblichem Radonrisiko belastet und deshalb möglichst zu vermeiden ist in Radongebieten das Ansaugen von Luft über Drainagerohre oder Sickerleitungen.

### **Thermischer Auftrieb statt Ventilatoren**

Führt der Kanal durch unbeheizte Räume (z. B. Dachboden) ist Wärmedämmung erforderlich, um Kondensat zu vermeiden.

### **Betrieb und Wartung**

Zu jeder Lüftungsanlage gehört eine klare Dokumentation und einfache Bedienungsanleitung. Der Radonaspekt und die sich daraus ergebenden besonderen Kontrollaufgaben, beispielsweise die periodische Überprüfung der Luftvolumenströme, sollten genauso wahrgenommen werden wie die periodische Messung des Radongehalts in den Wohnräumen.

### **Ventilatoren**

Wird ein Ventilator eingesetzt, soll aufgrund der speziellen Anforderungen ein möglichst optimales Produkt gewählt werden.

Die Anforderungen sind:

- *Hohe Lebensdauer*  
Wegen des erforderlichen Dauerbetriebes sollte auf entsprechend ausgelegte Geräte geachtet werden. Es gibt Geräte, für die eine Mindestlebensdauer von 80 000 Stunden angegeben wird.
- *Reguliermöglichkeit*  
Für die Ersteinstellung und für etwaiges späteres Nachregulieren sollte die Möglichkeit einer Drehzahleinstellung bestehen. Eine einfache Möglichkeit mit gutem Wirkungsgrad besteht bei Gleichstrommotoren (elektronisch kommutierte Motoren). Es ist nicht hilfreich, aus Sicherheitsüberlegungen einen überdimensionierten Ventilator einzubauen, der dann jahrelang mit schlechtesten Wirkungsgraden im Teillastbetrieb läuft (Werte unter 5 % sind keine Seltenheit).
- *Betriebsanzeige*  
Weil der Radongehalt bei Anlageausfall schnell wieder ansteigt, sollte an sichtbarer Stelle eine Betriebsanzeige (z. B. eine Signallampe in der Wohnung) vorhanden sein.
- *Hoher Wirkungsgrad*  
Zwischen den verschiedenen Ventilatorarten gibt es bis fünffache Wirkungsgraddifferenzen. Es ist wichtig, einen möglichst effizienten Ventilator einzusetzen. Bei 10 Jahren Betriebszeit können Betriebskostenunterschiede in der Größenordnung von über 1 000 DM und mehr entstehen.



- *Leistung, Fördermenge und Energieverbrauch*

Die Anlagenkennwerte schwanken im Einzelfall sehr stark, da sie von Undichtigkeiten, der Bodenpermeabilität und den Strömungsdistanzen abhängig sind. Durchschnittswerte erfolgreicher Sanierungen (Radonbrunnen, Gebäudeunterlüftungen) erzeugen unter dem Gebäude Unterdrücke in der Größenordnung von 5 bis 10 Pa. Die elektrische Leistungsaufnahme der für Einfamilienhäuser eingesetzten Ventilatoren liegt zwischen 20 und 100 W.

- *Leckluftströmungen vermeiden!*

Zur Vermeidung von Leckluftströmungen (Austritt von radonhaltiger Luft ins Gebäude) ist darauf zu achten, dass der Ventilator außerhalb der Aufenthaltsräume montiert wird und dass die druckseitigen Kanäle nicht durch Aufenthaltsräume führen. Schwachstellen können die Rohrverbindungen sein. Bei hohen Dichtigkeitsanforderungen sind deshalb verschweißte Kunststoffrohre zu bevorzugen.

- *Schallschutz*

Zur Vermeidung von Geräuschbelästigungen durch den Lüftungsbetrieb sind häufig Schallschutzmaßnahmen erforderlich (z. B. schallgeschützte Ventilatoren). Es ist zweckmäßig, den Ventilator im Dachraum unterzubringen, wo er wettergeschützt und auch hinsichtlich Schallausbreitung gut abschirmbar ist. Die Montage ist auch außerhalb der Gebäudehülle möglich, wenn damit keine unzumutbare Schallbelästigung der Nachbarn verbunden ist. Die Befestigung der Rohre und Lüfter soll elastisch erfolgen, um bei größeren Ventilatoren Körperschallübertragungen zu verhindern. Bei Kleinventilatoren stellt der Luftschallpegel eher ein mögliches Problem dar. In diesem Fall ist eine Platzreserve für den Einbau eines Schalldämpfers ratsam.

- *Kondensat*

Beim Einbau von Lüftungssystemen mit Ventilatoren müssen nachteilige Auswirkungen von Kondenswasserbildungen vermieden werden. Bei ungedämmten Lüftungsrohren kann Kondensat im Innern und an der Oberfläche auftreten. Deshalb sollten folgende Maßnahmen erfolgen:

- In Gebäude und Dachraum geführte Kanalnetze müssen erforderlichenfalls eine Wärmedämmung aufweisen,
- Einbau von Kondensableitungen in das Steigrohr, um das Eindringen von Kondensat in den Ventilator und eventuell in die Baukonstruktion zu verhindern,
- Leitungen mit durchgängiger Steigung, damit das Kondensat in den Schacht abfließt,
- eventuell Anlage von Kondensatgruben im frostfreien Bereich unterhalb der Steigleitungen zur Aufnahme von Kondensat, das im Abluftrohr entsteht.

## 4.6 Literatur

- [1] Keller, G.: Die Radon-Diffusion als Kriterium für radondichte Bau- und Isoliermaterialien. In: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Forschung zum Problembereich „Radon“, Vortragsmanuskripte des 12. Statusgespräches, Berlin, 26./27. Oktober 1999, Bonn, Dezember 1999
- [2] DIN – Deutsches Institut für Normung: Fenster, Fugendurchlässigkeit, Schlagregendichtheit und mechanische Beanspruchung; Anforderungen und Prüfung. DIN 18055, Oktober 1981
- [3] Esdorn, H.; Rheinländer, J.: Zur rechnerischen Ermittlung von Fugendurchlässigkeitskoeffizient und Druckexponenten für Bauteilfugen. HLH 29, Nr. 3, 1978



## 5 Maßnahmenplanung und -ausführung

### 5.1 Vorgehen

Konzeptionelle Abdichtungs- und Lüftungsmaßnahmen müssen sowohl bei Neubauten wie bei Sanierungen aufeinander abgestimmt zu sinnvollen Strategien zusammengestellt werden. Die Planung der Präventionsmaßnahmen bei Neubauvorhaben unterscheidet sich jedoch gravierend von jener bei der Sanierung bestehender Gebäude. Gemeinsam sind beiden Fällen fünf Grundelemente eines zweckmäßigen Vorgehens:

#### Beurteilung der Radonbelastung

Bei Neubauten sind Informationen über die Radonbelastung des Gebietes zu beschaffen. Bei bestehenden Gebäuden bilden die Ergebnisse der Radonmessungen die Grundlage der Maßnahmenplanung. Die Radonbelastung bestimmt, ob Maßnahmen nötig sind bzw. mit welchem Aufwand und in welchem Zeitrahmen eine Radonsanierung durchgeführt werden soll.

#### Ausweichmöglichkeiten festhalten

Im Rahmen der frühen Planungsphasen von Neubauten und Sanierungen muss geklärt werden, ob die Bauherren bevorzugen, „dem Radon auszuweichen“. Zur Diskussion gestellt werden kann z. B. der Verzicht auf Wohn- und Aufenthaltsräume

im Kellerbereich. Eine Tiefgarage kann wesentlich zur Senkung der Radonkonzentration im Keller und dem darüber liegenden Wohnbereich beitragen. Es gehört zu einer seriösen Planung, solche Lösungen den Bauherren als Option zur Kenntnis zu bringen.

#### Geordnete und abgestufte Maßnahmenpakete einsetzen

Je nach Radonbelastung und baulicher Ausgangslage sollen Maßnahmen, geordnet nach konzeptionellen, Dichtungs- und Lüftungsmaßnahmen, zu abgestimmten Paketen zusammengestellt werden. Vor allem bei Sanierungen ist es zweckmäßig, mit einfachen Maßnahmen zu beginnen und deren Erfolg zu überprüfen. Erforderlichenfalls können weitere Verbesserungsstufen vorgesehen werden.

#### Überwachung der Ausführung

Ähnlich wie andere Spezialelemente am Bau, z. B. die Dämmschicht, sollten die Maßnahmen zum Radonschutz von der Bauleitung besonders überwacht werden. Zwischenabnahmen von ausgeführten Abdichtungen sollten vorgeschrieben und durchgeführt werden, bevor Arbeiten ausgeführt werden, die Nachbesserungen oder Ergänzungen erschweren bzw. verhindern.

## Erfolgskontrolle

Allein die Messung der Radonkonzentration nach Abschluss der Arbeiten gibt Aufschluss über den Erfolg der Radonschutzmaßnahmen. Zur Überprüfung des Erfolges einzelner Arbeitsetappen können allerdings auch andere Messungen empfohlen werden. Messungen, die in Begleitung von Radonschutzmaßnahmen beim Neubau und bei Sanierungen angewendet werden können, sind im Anhang E zusammengefasst.

Der Ablauf eines Bauvorhabens ist in die folgenden Phasen gegliedert:

- Strategische Planung
- Beweissicherung, Vorstudien
- Vorprojekt, Projekt
- Realisierung
- Nutzung

Die Bedeutung der einzelnen Phasen ist vom jeweiligen Bauvorhaben abhängig. Radonschutzmaßnahmen fallen in allen Phasen an. Tendenziell liegen die konzeptionellen Maßnahmen eher in den ersten beiden Phasen, allerdings nicht ausschließlich.

Nachfolgend wird der Verlauf einer zweckmäßigen Radonprävention bzw. Radonsanierung für Neubauvorhaben und für bestehende Bauten in vereinfachter Weise dargestellt. Typische Maßnahmen sind tabellarisch zusammengestellt.

## 5.2 Radonprävention bei Neubauten

Es ist zweckmäßig, die Radonprävention je nach Ausgangslage mit unterschiedlichem Aufwand zu betreiben. Ob keine Vorkehrungen, ein „Standard-Gebäude-schutz“ oder eine „besondere Radonprävention“ angezeigt ist, hängt in erster Linie davon ab, welchem Gemeinde-Radonstatus der Standort zugeordnet ist. Zusätzlich können die besonderen Gegebenheiten berücksichtigt werden, die in der Baugrube angetroffen werden. Aufgrund des zügigen Baufortschrittes ist dies jedoch eher die Ausnahme.

Die folgende Auswahl von häufigen und typischen Maßnahmen illustriert, was zur Radonprävention bei Neubauten gehören kann. Es handelt sich dabei um eine Auswahlliste: Wenn die konzeptionelle Maßnahme, keine Wohn-/Aufenthaltsräume im Untergeschoss anzuordnen, realisiert wird, entfallen häufig die meisten anderen Maßnahmen. Letzten Endes kann nur am konkreten Objekt das passende Maßnahmenpaket zusammengestellt werden.

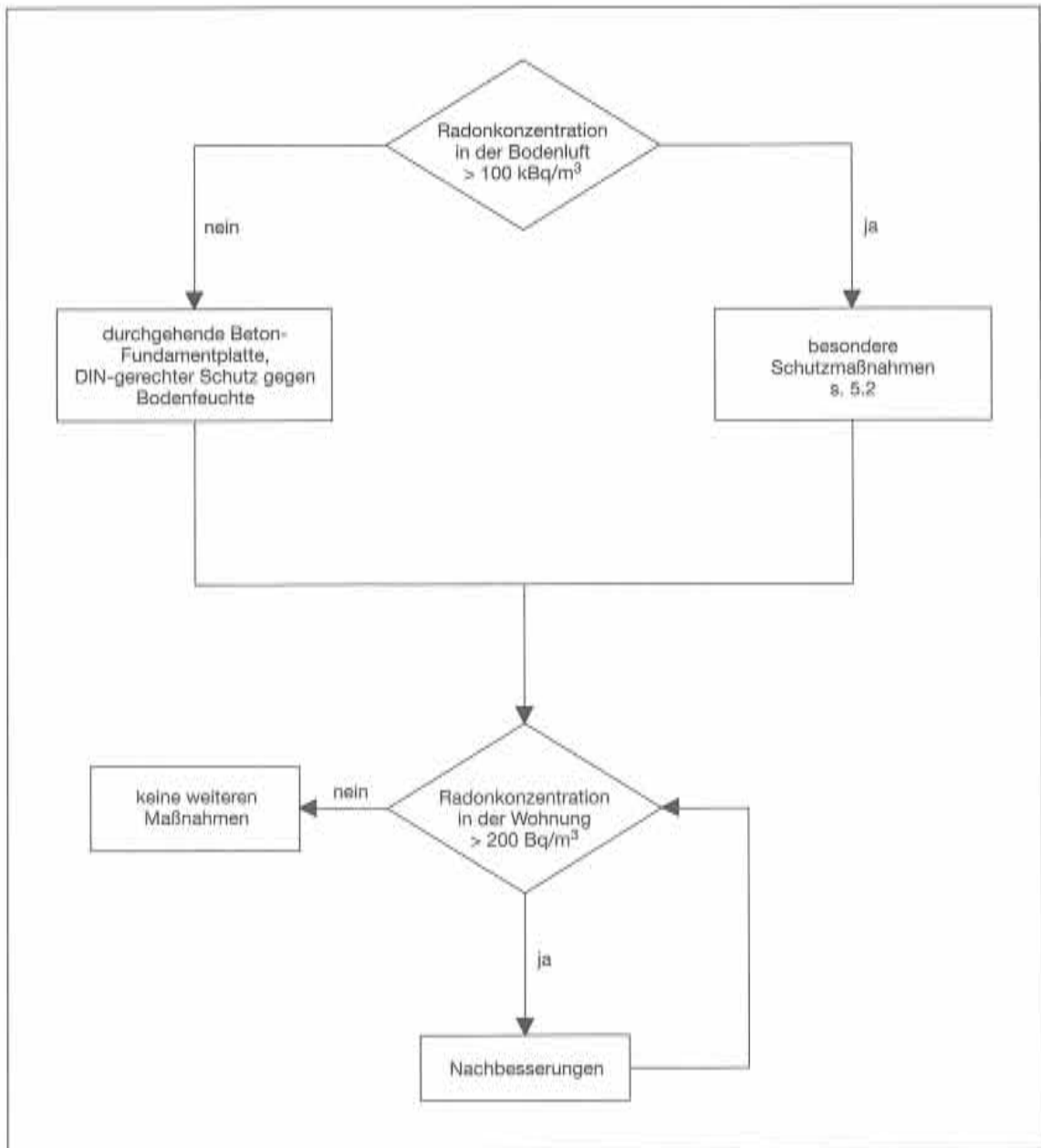


Abb. 5.1 Ablaufschema für die Planung des Radonschutzes bei Neubauvorhaben in Radongebieten.

Standard-Gebäudeschutz	Besondere Schutzmaßnahmen
<b>Strategische Planung und Vorstudien</b>	
Dichte Bodenkonstruktion und DIN-gerechter Schutz gegen Bodenfeuchte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine offenen Verbindungen vom Untergeschoss zu darüber liegenden Etagen,</li> <li>• Abschluss des Treppenhauses gegen das Untergeschoss vorsehen.</li> </ul>
<b>Vorprojekt und Projekt</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beton-Fundamentplatte und außen liegende Dichtungsbahn bzw. Beschichtungen,</li> <li>• Möglichst wenige Durchdringungen der Gebäudehülle durch Leitungen, Schächte etc. im erdberührten Bereich,</li> <li>• evtl. zweite Dichtungsebene: Stahlbetondecken über Untergeschoss und abgeschlossener Kelleraufgang,</li> <li>• Schächte (Leitungen, Lifte) und Kamine so planen, dass sie nicht zu Transportkanälen für Radon in Aufenthaltsräume werden (zusammengefasst, abdichtbar),</li> <li>• Raum- und Lüftungskonzept, das möglichst keinen Unterdruck im Unter- und Erdgeschoss erzeugt,</li> <li>• wenn Abluftanlagen im Bereich des Unter-/Erdgeschosses nötig, dann als Zu- und Abluftsystem mit Überdruck konzipieren,</li> <li>• Wandkonstruktion und Baumaterial so wählen, dass darin keine vertikale Radonausbreitung erfolgt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewehrte Fundamentplatte,</li> <li>• unter dem Fundament vorbereitete Absaugstelle in einer Kies-Zwischenlage,</li> <li>• sekundären Dichtungsperimeter (Kellerdecke/ Kelleraufgang) durchgängig vorsehen,</li> <li>• Radondrainageleitung unter der Gebäudesohle mit Anschlussmöglichkeit für die spätere eventuelle Absaugung von Bodenluft,</li> <li>• Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung prüfen und planen,</li> <li>• zusätzliche Sperrschichten in den Wänden vorsehen.</li> </ul>
<b>Realisierung (der geplanten Maßnahmen)</b>	
Separate Abnahme ausgeführter Dichtungsarbeiten.	Separate Abnahme ausgeführter Dichtungsarbeiten und Lüftungstechnischer Maßnahmen.
<b>Nutzung</b>	
Radonmessung zur Erfolgskontrolle, Information der Bewohner bzw. Betreiber sowie Instruktion und Dokumentation über installierte Maßnahmen, insbesondere technische Einrichtungen.	Inbetriebsetzung Lüftungstechnischer Anlagen und Einweisung der Anwender, zweite und periodische Kontrollmessungen im Fünfjahresabstand.

### 5.3 Radonsanierung bestehender Bauten

Wie bei Neubauvorhaben bestimmt die Ausgangslage auch bei bestehenden Bauten wesentlich, welche Maßnahmen zur Radonsanierung zum Einsatz kommen sollten. Allerdings tritt hier der Radonstatus des Gebietes in den Hintergrund, weil bei bestehenden Gebäuden von konkreten Radonbelastungen ausgegangen wird. Ein für die Maßnahmenplanung maßgebliches Problem ist, ob Umbau- oder Sanierungsarbeiten in den Unter- und Erdgeschossräumen

vorgesehen sind oder das Heizungs-/ Lüftungssystem geändert werden soll. Bei bautechnischen Totalrekonstruktionen sind wesentlich konsequentere Radon-schutzmaßnahmen realisierbar, als wenn das Gebäude allein aus Gründen der Radonbelastung saniert wird. Mehr noch als bei der Radonprävention bei Neubauten ist es bei der Sanierung bestehender Bauten sinnvoll, stufenweise vorzugehen bzw. eine „einfache Radonsanierung“ und eine „umfassende Radonsanierung“ zu unterscheiden. Siehe dazu auch die Checkliste in Abschnitt 7.

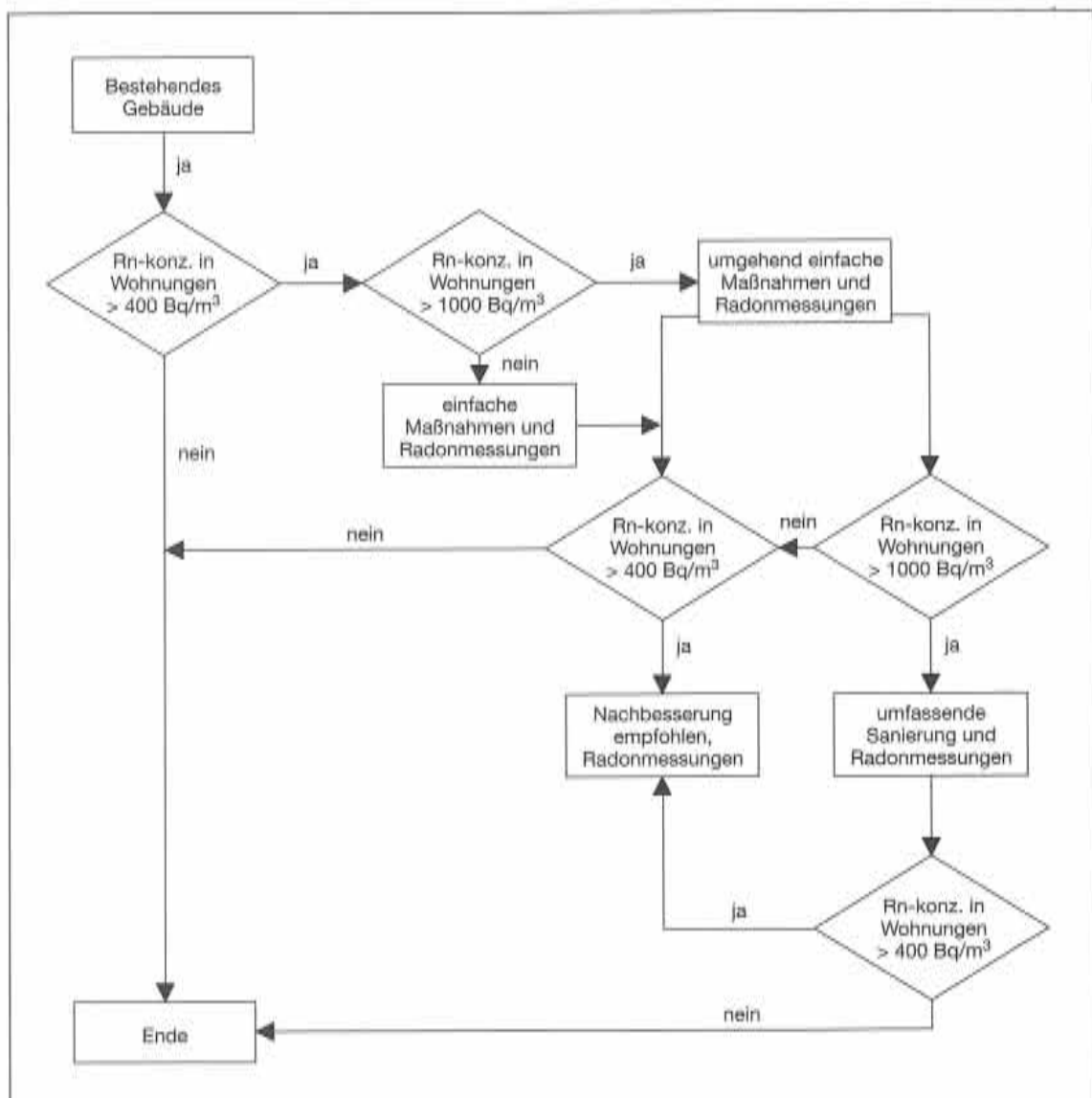


Abb. 5.2 Ablaufschema für die Planung und Ausführung von Radonsanierungen in bestehenden Gebäuden.

Besonders vorteilhaft durchzuführen ist eine Radonsanierung, wenn ein Gebäude ohnehin renoviert/rekonstruiert wird. Besonders unglücklich ist die Situation, wenn die erhöhte Radonkonzentration kurz nach baulichen Maßnahmen (oder kurz nach der Neuerstellung) entdeckt wird. Es kann daher bei bestehenden Gebäuden angezeigt sein, mit einem Paket von kostengünstigen Sofortmaßnahmen das Problem für einige Monate zu entschärfen bis mit endgültigen Maßnahmen Abhilfe geschaffen wird. Oft erweisen sich diese einfachen Sofortmaßnahmen als so erfolgreich, dass keine weiteren Maßnahmen erforderlich sind. Als einfach gelten solche Maßnahmen, die keine schwerwiegenden Eingriffe in die Gebäudestruktur erfordern, in der Regel kurzfristig realisierbar sind und nicht viel kosten.

Typische Beispiele:

- Abdichten von Fugen und Ritzen mit Dichtungsmassen,
- Verzicht (eventuell nur vorübergehend) auf Aufenthaltsräume im Untergeschoss,
- Gezieltes Lüftungsverhalten (Kellerfenster oder Kellerluken nach draußen offen halten, Kellertür geschlossen halten, etc.),
- Thermischen Auftrieb vom Treppenhaus und von Abluftanlagen durch Nachströmöffnung im Erdgeschoss brechen (Klappe),
- Passive oder aktive Belüftung von Kriechkellern und Unterbodenhöhlräumen,
- Türabdichtungen und Türschließer.



**Auswahlliste typischer und möglicher Maßnahmen zur gezielten Sanierung von bestehenden Bauten mit erhöhter Radonkonzentration:**

Einfache Radonsanierung	Umfassende Radonsanierung
<b>Strategische Planung und Vorstudien</b>	
Keine offenen Verbindungen vom Untergeschoss in darüber liegende Geschosse.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufenthaltsräume im Untergeschoss nur mit speziellen Maßnahmen,</li> <li>• außen liegender Kellerabgang,</li> <li>• keine Naturbodenkeller ohne spezielle Maßnahmen,</li> <li>• Abschluss des Treppenhauses gegen das Untergeschoss vorsehen,</li> <li>• umfassende Lüftungstechnische Maßnahmen.</li> </ul>
<b>Vorprojekt und Projekt</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegen von primärem und sekundärem Dichtungsperimeter,</li> <li>• Wahl der Dichtungsmittel (Dichtungsbahnen, Beschichtungen, Fugendichtungen etc.),</li> <li>• Maßnahmen zur Entspannung des Unterdrucks im Untergeschoss konzipieren (Nachströmöffnungen für Abluftanlagen, Treppenhausauftrieb etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichkeiten zur Unterdruckerzeugung unter dem Gebäude prüfen und planen (Schacht, Rohrregister). Eventuell Versuch mit Sickerleitung anordnen,</li> <li>• Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung prüfen und planen.</li> </ul>
<b>Realisierung (der geplanten Maßnahmen)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direkte Verbrennungsluftzufuhr für Heizkessel, Öfen, Kamine installieren,</li> <li>• Dichte Rauchrohrklappen bei Einzelöfen, sofern zulässig,</li> <li>• Abdichten von Durchstoßungen, Fugen und Ritzen an Bauteilen gegen Erdreich (primärer Dichtungsperimeter). Je nach Ausgangslage mit Fugendichtungsmitteln (Kitte, Dichtungsbänder) oder mit flächigen Abdichtungen (Dichtungsbahnen, Beschichtungen),</li> <li>• Abdichten von Wänden, Decken und Türen zwischen Aufenthalts- und Kellerräumen (sekundärer Dichtungsperimeter),</li> <li>• Abdichten und/oder direkte Außenluftzufuhr im Untergeschoss für mehrgeschossige Schächte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lüftungstechnische Anlagen gemäß Projekt und bei der Sanierung auftretenden Besonderheiten ausführen.</li> </ul>

Nutzung	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Messungen zur Erfolgskontrolle,</li> <li>• Information der Bewohner bzw. Betreiber sowie Instruktion und Dokumentation über installierte Maßnahmen, insbesondere technische Einrichtungen,</li> <li>• Inbetriebsetzung und Abnahme lüftungstechnischer Anlagen,</li> <li>• zweite und evtl. periodische Kontrollmessungen im Fünfjahresabstand (vor allem wenn ehemals Konzentrationen über 1000 Bq/m<sup>3</sup> vorhanden waren).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dauerauftrag an Radonmessfirma für periodische Messungen oder zumindest periodische Erinnerungsmeldung,</li> <li>• Wartungsvertrag mit Lüftungsfirma für periodische Kontrolle der Lüftungsanlage, u. a. hinsichtlich Überdruckbetrieb.</li> </ul>

#### 5.4 Synergien und Zielkonflikte

Radonprävention bei Neubauten und Radonsanierung von bestehenden Gebäuden ist eine Bauaufgabe, die erst seit wenigen Jahren ernsthaft in die Planung einbezogen wird. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass ein befriedigender Radonschutz in der Regel keinen allzu großen Zusatzaufwand verursachen muss, besonders wenn seine Planung systematisch und kompetent angegangen wird. Es hat sich auch gezeigt, dass kaum Zielkonflikte zu anderen Planungszielen bestehen, dass vielmehr oft Synergien genutzt werden können. Dazu einige Stichworte:

##### Wärmeschutz

Aus der Sicht eines optimalen Wärmeschutzes ist es wünschenswert (bzw. gemäß Wärmeschutzverordnung sogar notwendig), eine klare Abgrenzung zwischen beheizten und unbeheizten Räumen zu definieren und zu dämmen. Diese Abgrenzung fällt in der Regel mit der primären oder sekundären Dichtungsebene gegen Radon zusammen. Dämmschichten sind nicht automatisch auch radondicht. Die Anliegen lassen sich aber meist gut verbinden.

Achtung: Vorsicht ist geboten, wenn die Gebäudehülle isoliert und damit der Luftaustausch herabgesetzt wird oder neue Heizungssysteme eingebaut werden, ohne eventuelle Wegsamkeiten für Radon aus dem Boden abzudichten. In diesem Fall könnte die Radonkonzentration im wärmegeämmten Haus über der liegen, die im alten Zustand vorlag.

##### Luftdichtigkeit

Der Luftwechsel in modernen Neubauten und zeitgemäß sanierten Altbauten sollte nicht über undefinierte Undichtigkeiten der Gebäudehülle stattfinden. Die Frischluftzufuhr sollte über dafür vorgesehene Öffnungen oder Lüftungstechnische Anlagen erfolgen und die Herkunft der Frischluft sollte ebenso definiert sein wie die Abgabe der Fortluft. Die beheizten Räume sollten prinzipiell von einer Luftdichtigkeitsschicht umgeben sein, die einen geschlossenen geometrischen Körper bildet. Dies entspricht genau dem, was auch ein leistungsfähiger Radonschutz braucht.

## **Feuchte- und Grundwasserschutz**

Die Bauteilsicherung gegen eindringende Feuchtigkeit verläuft vollständig im Sinne des Radonschutzes. Der Unterschied besteht im wesentlichen darin, dass beim Feuchteschutz Undichtigkeiten sehr gut und rasch lokalisiert und nachgebessert werden können, während Radonlecks sehr viel schwieriger aufzufinden sind. Äußerste Exaktheit ist daher bei den Abdichtungsarbeiten erforderlich.

## **Schallschutz**

Schallbrücken haben eine ähnliche Wirkungsweise wie Radonleckstellen. Bereits kleine Löcher und Öffnungen verringern den Schutz einer Maßnahme erheblich. Bewährte Schalldämmelemente können daher in ähnlicher Weise zur Radondichtigkeit beitragen, etwa als Schallschutztüren zwischen Untergeschoss und Aufenthaltsräumen.

## **Geruch, Hygiene, Gesundheit**

Eine Folge von Feuchtigkeit oder unzulänglichem Luftwechsel bzw. von beidem zusammen ist Modergeruch. Dieser ist ein Hinweis darauf, dass Radon im betreffenden Raum ein Problem sein könnte. Eine fachgerechte Radonsanierung sollte dazu führen, dass gleichzeitig eventuell vorhandene Feuchte- und Luftwechsel-Unzulänglichkeiten behoben werden und somit störende Gerüche und feuchtes Innenklima mit mikrobiellen Folgerisiken tendenziell reduziert werden.

## **Brandschutz**

Der Brandschutz arbeitet ebenso wie der Radonschutz mit Abschlüssen. Für normale Brandrisiken werden allerdings keine rauchgasdichten Öffnungselemente verlangt. Elastische Dichtungen, wie sie aus der Sicht des Radonschutzes erwünscht sind, stehen wegen ihrer Brennbarkeit den Anliegen des Brandschutzes sogar oft entgegen. Echte Konflikte ergeben sich dadurch aber nicht. Schwieriger ist die Situation bei den Rauchrohr- und Kaminklappen, die nur dichtschließend ausgeführt werden dürfen, wenn die betreffende Feuerstelle kurzzeitig betrieben wird und unter dauernder Aufsicht steht (Auskunft erteilen die Schornsteinfegermeister). Damit bleibt als einzige Möglichkeit zum Aufheben der Unterdruckwirkung von Öfen und Kaminen die Außenluftzufuhr. Bei bestehenden Einrichtungen ist dies oft unmöglich.

Die Liste ließe sich fortsetzen mit all den anderen Planungsfeldern, die zu bearbeiten sind; von Architektur bis Zivilschutz. Sie werden im allgemeinen durch die Anforderungen an den Radonschutz nicht eingeschränkt. Eventuelle Wechselwirkungen sollten jedoch stets bedacht werden.



## 6 Bewertung der Sanierungsmaßnahmen [1]

Sanierungsmethode	Nach bisherigen Erfahrungen erreichte Reduzierungen der Radonkonzentration	Bemerkungen
Einfache Abdichtmaßnahmen	0 bis 25 %	Anwendung im Bereich bis zu 1000 Bq/m <sup>3</sup>
Unterdruckhaltung in Kellern, Kellerentlüftung mittels Kleinventilator	50 bis 80 %	
Aufwendige Isolierschichten in oder auf Fußböden ohne Einbeziehung der Wände	30 bis 80 %	
Aufwendige Isolierschichten in oder auf Fußböden mit Einbeziehung der Wände	50 bis 90 %	Wände durchgängig mit Folie gesperrt
Unterdruckhaltung innerhalb von Fußbodenkonstruktionen mit Einbeziehung der Wände	10 bis 90 %	Ergebnis stark abhängig von der Art der anschließenden Wände
Unterdruckhaltung unter dem Gebäude (Drainagesystem Punktabsaugungen)	10 bis 95 %	Abhängig von Bodenpermeabilität und Lage der Drainagerohre
Aufwendige Isolierungen im neu eingebrachten Fußboden, Unterdruckhaltung unter dem Gebäude	bis 99 %	Bis auf unvermeidbare Schwachstellen lückenlose Isolierschicht durch das gesamte Gebäude

### 6.1 Literatur

- [1] Hamel, P.: Wissenschaftliche Untersuchungen in Radonbelasteten Wohngebäuden im Rahmen des Modellprojektes Schneeberg. BFS 1993  
ISSN 0940-7650



## 7 Checkliste Beweissicherung/Hausbegehung

Gebäude mit hohen Radonkonzentrationen oder mit Verdacht darauf sollten systematisch analysiert werden, um eine erfolgsversprechende Sanierung in die Wege leiten zu können. Die nachfolgende Checkliste bietet eine Hilfe für diese Zustandserfassung (Beweissicherung) und Analyse. Bei der Begehung ist es wichtig, sich die denkbaren Ursachen einer

erhöhten Radonkonzentration und die möglichen Ein- und Durchtrittswege des Radongases vorzustellen und aufzuspüren. Für die zu planenden Sanierungsschritte ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Transportwege des Radongases richtig gedeutet und gegebenenfalls mit Messungen überprüft werden.

Bauteil / Bauelement	Wahrnehmung / Prüfung	Mögliche Konsequenzen
Abgrenzungen	Welche Bauteile grenzen an das Erdreich? Sind alle Flächen bekannt und erfasst? Welche Bauteile grenzen die Aufenthaltsräume gegen die Kellerräume ab?	Hinsichtlich Dichtungsmaßnahmen ist es nötig, sich den Verlauf der Grenzflächen zu vergegenwärtigen.
Keller	Modergeruch und Feuchte deuten auf ungenügenden Luftwechsel und/oder Feuchtelecks hin.	Beide Ursachen bergen die Gefahr einer erhöhten Radonkonzentration im Keller.
Aufenthaltsräume	Geruch und Feuchte in Aufenthaltsräumen.	Insbesondere bei Aufenthaltsräumen direkt über Erdreich gilt dasselbe wie bei Kellerräumen. In Erdgeschossräumen kann es in seltenen Fällen ein Indiz für eindringende, möglicherweise radonbelastete Kellerluft sein.
Boden im untersten Geschoss	Wie ist die Bodenkonstruktion zum Erdreich hin (Naturboden, Platten, Steine, durchgehende Beton-Bodenplatte)? Sind Risse oder Löcher vorhanden? Wie kann die Fugenbeschaffenheit beurteilt werden?	Es gilt flächige, linienförmige oder punktuelle Schwachstellen als mögliche Leckagezonen ausfindig zu machen. Der Zustand ist genau zu prüfen. Die Abdichtungswürdigkeit ist zu bewerten, dabei sollen alle Kelleraußenwände oder Wände, die an Aufenthaltsräume angrenzen, als Gesamtes beurteilt werden. Sind Möglichkeiten der Bodenentlüftung vorhanden?

Bauteil / Bauelement	Wahrnehmung / Prüfung	Mögliche Konsequenzen
Kellerwände gegen das Erdreich	Wie sind die Wandkonstruktionen in den einzelnen Kellerräumen (z. B. Hohlwände, Bruchstein, Stahlbeton)? Kann auf die Gründung geschlossen werden? Sind Risse, Löcher sichtbar? In welchem Zustand sind die Anschlussfugen an die Decke und den Boden?	Es gilt flächige, linienförmige oder punktuelle Schwachstellen als mögliche Leckagezonen ausfindig zu machen. Der Zustand ist genau zu prüfen.
Kellerwände gegen Aufenthaltsräume	Aus welchen Materialien und in welchem Zustand sind die Wände? Wie sehen die umlaufenden Anschlüsse aus?	Vor allem der obere Abschluss von Zwischenwänden ist oft undicht. Bei Holz-Ständerkonstruktionen oft die ganze Wand. Wandkonstruktionen aus Hohlkammersteinen o. ä. bzw. zwei- oder mehrschalige Wände bilden ideale Ausbreitungspfade und können die Ursache für erhöhte Radonkonzentrationen in den oberen Gebäudebereichen sein.
Kellerfenster, Lüftungsöffnungen	Aus welchem Material und in welchem Zustand befinden sie sich? Führen die Fenster direkt nach außen, werden sie meist offen oder geschlossen gehalten? Gibt es sonstige Lüftungsöffnungen in den Außenwänden?	Die Lüftungsmöglichkeiten, aber auch die überwiegende Lüftungssituation sind genau zu protokollieren.
Leitungen	Leitungen nach außen: Sind Leitungen und Rohre (Elektrohauptstrang, TV-Kabel, Gas-hauptstrang, Telefonkabel, Wasser-/Abwasserrohre, Ölleitung von erdverlegtem Tank, Lüftungsleitung von Erdregister, Erdsondenleitung der Wärmepumpe, Außenwitterungsfühler, Bodenabflüsse in Waschküche etc.) in sich radondicht und zum Mauerwerk hin radondicht verlegt?	In praktisch jedem Kellerraum sind Rohre und Leitungen anzutreffen. Von außen kommend können sie große Bodenvolumina erschließen und erhebliche „Radonfrachten“ in das Gebäude bringen.



Bauteil / Bauelement	Wahrnehmung / Prüfung	Mögliche Konsequenzen
	Rohre und Leitungen im Gebäudeinnern: Elektroleitungen, Abwasserfallstrang, Kalt-, Warmwasserrohre, Telefonkabel, Gasrohre, TV-Kabel, Schornsteine, Heizungsrohre.	Leitungsdurchführungen oder -schächte im Gebäudeinnern können erhebliche „Radonfrachten“ von Kellerräumen in Aufenthaltsräume transportieren.
Heizung	Wie wird die Verbrennungsluft zugeführt? Welche Klappen und Öffnungen weist der Schornstein auf? Ist die Explosionsklappe des Schornsteins geschlossen?	Im Keller sollten Ursachen, die zu Unterdruck führen, unterbunden werden.
Kriechkeller	In welchem konstruktiven und baulichen Zustand befindet sich der Kriechkeller? Ist er belüftet?	Geschlossene Kriechkeller oder unter dem Haus liegende Hohlräume können hohe Radonkonzentrationen aufweisen.
Kellerdecke / Boden im Aufenthaltsraum	Wie ist die Deckenkonstruktion in den einzelnen Kellerräumen (Holzbalken, Ausmauerungen, ausgefachte Stahlträger, Stahlbetondecke)? Sind Risse, Löcher sichtbar? Ist die Deckenkonstruktion in allen Kellerräumen einsehbar? In welchem Zustand sind die Anschlussfugen an die Wände? Wie ist die Beschaffenheit der Fugen? Kann ein Luftzug festgestellt werden? Wie ist der Bodenaufbau und dessen seitliche Anschlüsse in den darüber liegenden Räumen?	Es kann sein, dass der Haupt-radonpfad durch oder entlang den Fugen vom Keller in die Aufenthaltsräume führt. Insbesondere Leichtbau-Zwischendecken (z. B. Holzbalkendecken) sind oft sehr durchlässig.
Kellertüren	Ist das Untergeschoss über eine einzige Tür erschlossen? Sind Aufenthaltsräume unmittelbar angrenzend? Wie ist die Tür beschaffen? Ist sie auch im Schwellenbereich dicht schließend? Kann sie mit umlaufenden Dichtungen versehen werden? Kann das Schlüsselloch durch einen Sicherheitszylinder ersetzt werden? Wie ist der Türrahmen befestigt? Kann er nachträglich abgedichtet werden?	Je nach Situation ist der Kellertür besondere Beachtung zu schenken. Z.B. können allein durch ein Bartschlüsselloch erhebliche Radongas-mengen strömen.

Bauteil / Bauelement	Wahrnehmung / Prüfung	Mögliche Konsequenzen
Keller-aufgang	Führt der Kelleraufgang in einen Hauskorridor, nach außen oder direkt in den Wohnbereich? Kann die Innentreppe verschlossen werden?	Je nach Situation eine vielversprechende Alternative.
Lüftungstechnische Anlagen	Befinden sich im Keller Abluftventilatoren (z. B. in der Waschküche)? Sind die Wohnräume an ventilatorbetriebene Abluftanlagen angeschlossen, z. B. Küche oder Bad/WC? Wie ist die Nachströmung sichergestellt?	Ursachen, die zu Unterdruck im Keller und in den Nutzungsgeschossen führen, sind zu beheben.
Allgemeine Drucksituation, Luftströmungen im Gebäude	Ist der natürliche thermische Auftrieb über mehrere Geschosse wirksam? Wie beurteilen Sie die allgemeine Gebäudedichtheit? Gibt es andere, unterdruckerzeugende Elemente wie Schächte, Kamine, Öfen etc.?	Es ist schwierig, sich ein realistisches Bild von der Drucksituation in einem Gebäude (zu unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten!) zu machen. Trotzdem sind Hypothesen hilfreich für die Maßnahmenplanung.
	Woher stammt die Verbrennungsluft für Einzelöfen, Kamine etc.?	Die Feuerräume von Öfen und Kamine sollten gegen den Raum hin dicht abschließbar sein und die Verbrennungsluft sollte in großzügig dimensionierten Zuleitungen von außen herangeführt werden.







# Anhang A

## Die rechtliche Situation bezüglich Radon in Wohngebäuden

### Allgemeines

In Deutschland gibt es keine gesetzliche Regelung bezüglich der Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohn- und Aufenthaltsräumen. Grundlage für die Bewertung der Radonexposition sind die in der Empfehlung der Europäischen Kommission (EK) zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden vom 21. Februar 1990 genannten Radonkonzentrationen.

### Erhöhte Radonkonzentrationen

#### Richtwerte

Gemäß der Empfehlung der EK sollten die Jahresdurchschnittswerte der Radonkonzentration in existierenden Wohnräumen den Referenzwert von 400 Bq/m<sup>3</sup> und in neu zu errichtenden Wohnräumen den Planungswert von 200 Bq/m<sup>3</sup> nicht überschreiten. Es wird empfohlen, bei erhöhten Konzentrationen des Radons die Radonbelastung umso schneller zu senken, je höher die Werte der Konzentration sind. Radonkonzentrationen in Höhe von mehr als tausend Bq/m<sup>3</sup> sollten jedoch möglichst kurzfristig, im Zeitraum von drei Jahren, beseitigt werden. Die durchzuführenden Maßnahmen und die damit verbundenen Kosten sollten kritisch vor dem Hintergrund der existierenden Exposition und der unter wirtschaftlich vernünftigen Aspekten erreichbaren Radonkonzentration geprüft werden.

In Deutschland sollte zur Bewertung der Radonsituation in einem Wohngebäude der Mittelwert aus den in den wichtigsten Wohn- und Aufenthaltsräumen gemessenen Radonkonzentrationen mit den Richtwerten der EK verglichen werden.

### Messungen

- Die Radonkonzentration sollte durch Fachkräfte und geeignete Institutionen ermittelt werden,
- Messungen können durch den Eigentümer oder jede andere betroffene Person veranlasst werden,
- Betroffene sind Personen, bei denen Anhaltspunkte bestehen, dass in ihren Wohnräumen die Richtwerte überschritten sind,
- Die Kosten der Messungen gehen zu Lasten des Antragstellers.

### Pflichten der mit Messungen Beauftragten

- Es sind Messmethoden anzuwenden, die das Erreichen des Untersuchungszieles optimal gewährleisten,
- Das vorgesehene Messsystem muss dem Stand der Technik entsprechen und für die Messaufgabe geeignet sein,
- Es müssen den Erfordernissen entsprechende Qualitätssicherungsmaßnahmen durchgeführt werden.



## Anhang B

### Radon aus Baumaterialien

In allen Steinen und Erden kommt Radium vor. Radon als Zerfallsprodukt von Radium entsteht deshalb in den mineralischen Baustoffen laufend neu, wird an den Oberflächen freigesetzt und trägt zur Belastung durch erhöhte Radonkonzentrationen in Räumen bei. Allerdings ist die Aktivität des freigesetzten Radons in der Regel klein. Im allgemeinen tragen die raumumschließenden Baustoffe zwischen 5 und 30 Bq/m<sup>3</sup> zur Radonkonzentration in der Raumluft bei. Im Verhältnis zum Richtwert von 200 Bq/m<sup>3</sup> ist dieser Anteil relativ unbedeutend [1].

In einigen Ländern haben sich einzelne Baustoffe als wesentliche Radonquelle manifestiert. So wurde etwa in Schweden ein Porenbeton aus Alaunschiefer eingesetzt, der ein Vielfaches mehr an Radon als übliche Baustoffe an Radon freigesetzt hat [2]. Die Produktion wurde wegen der hohen Radioaktivität untersagt. In Großbritannien wurde ein spezieller Chemiegips (Rückstand der Phosphorsäureherstellung aus Phosphoriten) verwendet, der zu erhöhten Radonkonzentrationen in Häusern führte. In Deutschland wurden bisher lediglich in Bergbaugebieten Baumaterialien vorgefunden, die maßgeblich zur Radonbelastung in Räumen beitragen können.

Der Optimierungsspielraum zur Senkung der Radonbelastung durch die gezielte Wahl von Baumaterialien bzw. Baumaterialoberflächen liegt meist im Bereich von 10 bis 20 Bq/m<sup>3</sup>. Es ist jedem Bauherrn freigestellt, diesen Spielraum zu nutzen. Die folgenden Größen bestimmen die Belastung durch Radon aus raumumschließenden Bauteilen.

### Die Radonabgabe aus dem Baustoff

Baustoffe geben in unterschiedlichem Maße Radon ab. Dies wird mit der Radonexhalationsrate (in Bq/m<sup>3</sup> h) zum Ausdruck gebracht. Die Radonexhalationsrate hängt wiederum von der Radiumkonzentration im Material, der Porosität und Porenstruktur und teilweise sogar von der Bauteilfeuchte ab. Je weniger Radium ein Material enthält, umso weniger Radon kann entstehen und je undurchlässiger ein Material ist, desto mehr Radon zerfällt noch innerhalb des Baustoffes in das nichtflüchtige Polonium, das sich im Baustoff einlagert und somit nicht zur Belastung der Atemluft beitragen kann. Tabelle B1 zeigt Radiumkonzentrationen und Radonexhalationsraten einiger Baustoffe. Die Konzentrationen gängiger mineralischer Baustoffe liegen zum größten Teil im Bereich von <10 bis 100 Bq/kg und die Exhalationsraten zwischen 0,2 und 1,5 Bq/m<sup>3</sup> h.

### Das Oberflächen-Volumen-Verhältnis

Die Radonkonzentration hängt davon ab, wie viele Quadratmeter exhalierender Oberfläche pro Kubikmeter Raumvolumen wirksam sind. Aus geometrischen Gründen ist dieses Verhältnis ungünstiger bei kleinen als bei großen Räumen. Allerdings bestehen oft nur Teile, beispielsweise die Wände, aus mineralischen Baustoffen.

### Die Oberflächenbeschichtung

Da die Radonexhalation aus den Bauteilen relativ niedrig ist, wirken auch nicht diffusionsdichte Beschichtungen wie dicke Anstriche, Teppiche mit Kautschukrücken u. ä. als „Exhalationsbremse“.



Baumaterial	Konzentration des Radium-226 in Bq/kg	Radon-Exhalationsrate in Bq/(m <sup>2</sup> h)
Kalkstein	< 10–40	0,9–11 [3,4]
Ziegel, Klinker	40–150	1–10 [2]
Naturbims	< 20–200	0,6–6 [4]
Hüttenschlacke	10–2100	0,4–0,7 [3,5]
Beton	20–200	2–20 [2]
Porenbeton	10–130	1–3 [2]
Porenbeton mit Alaunschiefer	600–2600	50–200 [2]
Naturgips	< 10 – 70	0,2 [3]

Tab. B1: Radiumkonzentration und Radonexhalationsraten ausgewählter Baustoffe.

### Der Luftwechsel

Die raumumschließenden Bauteiloberflächen sind etwa konstante Radonquellen, da die Radonexhalation aus Bauteilen nicht wesentlich von den Druckverhältnissen im Gebäude abhängig ist. Durch Unterdruck im Raum ist deshalb, anders als bei der durch vorwiegend konvektive Transportvorgänge in Gebäude gelangenden radonhaltigen Bodenluft, kaum eine Erhöhung der Radonexhalation aus Baumaterialien feststellbar. Der Luftwechsel führt somit zu einem direkten Verdünnungseffekt, wenn die Radonkonzentration der Außenluft niedriger als die in Räumen ist.

### Literatur

- [1] Lehmann, R.: Strahlenbelastung durch natürliche Radionuklide in Baumaterialien, fossilen Brennstoffen und Düngemitteln. In: Siehl, A.: Umwelt-radioaktivität. ISBN 3-433-01813-8, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin 1996
- [2] Clavensjö, B.; Akerblom, G.: The Radon Book. ISBN 91-540-5649-7, Ljunglöfs Offset AB, Stockholm 1994
- [3] Keller, G.; Hoffmann, B.; Felgenspan, T.: Radon Permeability and Radon Exhalation of Building Materials. Radon in the Living Environment. In: Radon in the Living Environment, Proceedings, Athens, 19 – 23 April 1999
- [4] Folkerts, K.H., Keller, G.; Muth, H.: An Experimental Study on the Diffusion and Exhalation of <sup>222</sup>Rn and <sup>220</sup>Rn from Building Materials. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 9, No. 1, 1984
- [5] Keller, G.; Hoffmann, B.; Schütz, G.: Messung des Radons und seiner Folgeprodukte in Wohnräumen, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. St. Sch. 4085, 1999



## Anhang C

### Vergleich von Messwerten der Radonkonzentration in Wohnungen mit den Richtwerten der Europäischen Kommission<sup>4</sup>

#### 1. Ziel der Messungen

Bestimmung der für das Jahresmittel repräsentativen Radonkonzentration in Wohnungen zum Vergleich mit den Richtwerten der Europäischen Kommission (siehe Tabelle C1).

Die Messungen dienen zur Bewertung der vorliegenden Situation. Sie sollen dem Auftraggeber Auskunft über mit den Messergebnissen verbundene Konsequenzen und über eventuellen Handlungsbedarf geben.

#### 2. Charakterisierung der Untersuchungsobjekte

Von besonderem Interesse sind zu Wohnungen gehörende Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt oder geeignet sind. Hierzu zählen z. B. Wohn-, Schlaf-, Kinderzimmer, Esszimmer, Wohndielen, Wohnküchen, Arbeitsräume wie Büro- und Geschäftsräume.

Der nicht nur vorübergehende Aufenthalt ist auf den häuslichen Tagesablauf bezogen und im Verhältnis zu dem normalerweise ungleich kürzeren oder nur gelegentlichen Aufenthalt in anderen Räumen zu sehen. So sind z. B. nicht im Sinne der europäischen Empfehlung Nebenräume wie Gänge, Flure, Treppenträume, Toiletten, Bäder, Abstell- und Vorratsräume, Lagerräume, Heizungsräume, Wasch-, und Trockenräume, Saunen, Hobbyräume usw. zu bewerten.

Die Radonkonzentration in Wohnräumen ist nicht nur von den Radonquellen und den Ausbreitungswegen des Radons, sondern in hohem Maße auch von den Wetterverhältnissen, der Art der Raumnutzung und dem Nutzerverhalten abhängig und unterliegt deshalb starken zeitlichen Schwankungen.

Die Radonexposition erfolgt in der Regel nicht nur in einem, sondern in mehreren Räumen. Deshalb ergibt sich der für die Wohnung charakteristische Wert der Radonkonzentration (Wohnungswert) als arithmetischer Mittelwert aus den gemessenen Jahresmittelwerten der Radonkonzentrationen in den beiden Räumen, in denen sich die Bewohner täglich am längsten aufhalten (in der Regel Wohn- und Schlafzimmer). Besteht die Wohnung nur aus einem Raum, repräsentiert dieser den Wohnungswert der Radonkonzentration.

Die Radonexposition erfolgt in der Regel nicht nur in einem, sondern in mehreren Räumen. Deshalb ergibt sich der für die Wohnung charakteristische Wert der Radonkonzentration (Wohnungswert) als arithmetischer Mittelwert aus den gemessenen Jahresmittelwerten der Radonkonzentrationen in den beiden Räumen, in denen sich die Bewohner täglich am längsten aufhalten (in der Regel Wohn- und Schlafzimmer). Besteht die Wohnung nur aus einem Raum, repräsentiert dieser den Wohnungswert der Radonkonzentration.

<sup>4</sup> Inhaltliche Grundlage dieses Anhangs sind Ausarbeitungen des Arbeitskreises Uranbergbau und bergbauliche Atlanten des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. [1]

Bezeichnung des Bereiches	Jahresmittelwert der Radonkonzentration
Planungswert für Neubauten	200 Bq/m <sup>3</sup>
Referenzwert für bestehende Gebäude	400 Bq/m <sup>3</sup>

Tab. C1: Bereiche der Radonkonzentration in Wohnungen [2].

### 3. Anforderungen an die Untersuchungsmethoden

Da sich die europäischen Richtwerte auf Jahresmittelwerte der Radonkonzentration bei üblicher Nutzung und Lüftung der Räume beziehen, sollen die Messungen über die Dauer von einem Jahr erfolgen.

Aufgrund der in Wohnungen üblicherweise herrschenden klimatischen Bedingungen können handelsübliche Messgeräte problemlos eingesetzt werden. Durch die Messungen sollen die bei tatsächlicher Raumnutzung vorliegenden Radonkonzentrationen bestimmt werden. Daher kommen nur Methoden und Geräte in Frage, welche die Raumnutzung und die raumklimatischen Verhältnisse nicht beeinflussen.

Da die Messungen über einen langen Zeitraum erfolgen, müssen der mit den Untersuchungen verbundene Geräteservice und die insgesamt entstehenden Kosten beachtet werden.

In Hinblick auf die unter Pkt. 1 genannte Zielstellung ist zu fordern:

- Nachweisgrenze<sup>5</sup>: 50 Bq/m<sup>3</sup>,
- Messunsicherheit<sup>6</sup>: ≤ 20 %.

### 4. Empfohlene Methoden

Unter Beachtung der zu messenden Radonkonzentrationen, der unter 3. genannten Nachweisgrenze und maximalen Messunsicherheit, der notwendigen Untersuchungszeit, des Aufwandes und der Kosten sind für die Messungen in Übereinstimmung mit den in § 67 der Strahlenschutzverordnung [5] festgelegten grundsätzlichen Anforderungen an die Strahlenmessgeräte Kernspurdetektoren in Diffusionskammern zu empfehlen. Es ist eine Überexposition der Detektoren zu vermeiden. Erforderlichenfalls ist die

Untersuchungsperiode in mehrere Expositionszeiträume zu untergliedern.

Prinzipiell sind zur Ermittlung des Jahresmittelwertes der Radonkonzentration auch andere Methoden geeignet. Diese können jedoch mit vergleichsweise höherem Aufwand verbunden sein bzw. bei ihrem Einsatz das Einhalten weiterer spezieller Randbedingungen erfordern.

### 5. Qualitätssicherung

Für die Qualitätssicherung einschließlich der Kalibrierung gelten die Festlegungen gemäß DIN 25706-1 [6].

Wiederholungskalibrierungen können durch den Nachweis des positiven Abschneidens bei einer Teilnahme an Messvergleichen in international anerkannten Institutionen ersetzt werden, sofern dabei die Anforderungen gemäß DIN 25706-1 erfüllt werden.

Als Voraussetzung für Messungen und Bewertungen der Ergebnisse im Sinne der Zielstellung ist eine ausreichende Qualifikation der für diese Arbeiten Verantwortlichen notwendig. Es werden insbesondere Kenntnisse auf den Gebieten Strahlenschutz und Messtechnik vorausgesetzt, soweit sie für eine sachgerechte Problembearbeitung erforderlich sind.

Zu jedem exponierten Detektor sind in Verbindung mit den Messungen die für die Detektorauswertung und Messwertinterpretation notwendigen Informationen einzuholen. Dies sind neben der Adresse des zu untersuchenden Objektes Angaben über den Expositionszeitraum, die Etage und die Art der Raumnutzung (Wohnzimmer, Schlafzimmer, ...). Der Aufstellort im Raum ist zu beschreiben.

<sup>5</sup> Nachweisgrenze s. DIN 25 482 Teil 1 und Beiblatt [3]

<sup>6</sup> Messunsicherheit s. DIN 1319 Teil 3 [4]

Zur Qualitätssicherung ist außerdem ein ausreichender Service durch die für die Messungen Verantwortlichen zu fordern. Hierzu gehören z. B. die Angabe von Telefonnummern für Rückfragen und sich auf das Wesentliche konzentrierende, verständliche Informationen über die Diffusionskammern und deren Handhabung.

## 6. Methodische Hinweise

Es gilt DIN 25706-1.

Jedes Dosimeter sollte einzeln radondicht verpackt sein.

Die maximale Lagerzeit der Detektoren vor der Exposition sollte auch bei luftdichter Verpackung drei Monate nicht überschreiten.

Während der Exposition sind die Gerätestandorte grundsätzlich beizubehalten.

Die Messstellen sollen Laborbücher über den Ausgang, Eingang und die Auswertung der Detektoren führen.

## 7. Bewertung der Messergebnisse, Berichterstattung

Gemäß Zielstellung der Untersuchungen soll ein Vergleich der Messwerte mit den von der Europäischen Kommission empfohlenen Richtwerten erfolgen. Bei Messungen in Wohnungen wird der Wohnungswert (siehe oben) zugrunde gelegt. Es ist eine eindeutige Zuordnung der gemessenen Radonkonzentrationen zu einem bestimmten Expositionszeitraum und den untersuchten Räumen vorzunehmen.

Es sollten mitgeteilt werden:

- Messmethode
- Detektor-Nr.

- Etage und Raum
- Expositionszeitraum
- In jedem Raum gemessene Radonkonzentration in  $\text{Bq/m}^3$
- Mittelwert der Radonkonzentration in  $\text{Bq/m}^3$  aus den beiden wichtigsten Wohnräumen (soweit relevant)
- Messunsicherheit

Die Bewertung der Messergebnisse soll es dem Auftraggeber ermöglichen, seine Wohnung betreffende Radonkonzentrationen in das in Deutschland vorhandene Wertespektrum einzuordnen. Als notwendig wird deshalb die Information über den Mittelwert ( $50 \text{ Bq/m}^3$ ) und einige typische Konzentrationen des Radons in Wohnungen Deutschlands erachtet.

Zur Verfügung stehende Kenntnisse über die Situation (z. B. Informationen aus Fragebögen, Beratungsgesprächen oder Radonmessungen in vergleichbaren Gebäuden der Umgebung) sollten bei Bewertungen unbedingt als die Messergebnisse ergänzende Kriterien gewürdigt werden.

Die sich aus den Messwerten ergebenden Empfehlungen sind zu nennen. Bei der Ergebnisbewertung sollte ausdrücklich auf den lediglich empfehlenden Charakter hingewiesen werden.

Die Radonkonzentrationen, die in Nichtaufenthaltsräumen von Wohnungen (siehe 2.) gemessen wurden, sollten nicht im Sinne der europäischen Empfehlung bewertet werden.

Bei geplanten Nutzungsänderungen von Räumen ist die gemessene Radonkonzentration nicht von einer Nutzungsart auf eine andere übertragbar.

Ungeachtet der bestehenden Messunsicherheit wird ein direkter Vergleich der gerundeten Messwerte mit den Richtwerten in folgender Weise vorgenommen:

Liegt der Mittelwert aus den Ergebnissen der in den beiden wichtigsten zu einer Wohnung gehörenden Aufenthaltsräumen über ein Jahr gemessenen Radonkonzentration über  $200 \text{ Bq/m}^3$  oder  $400 \text{ Bq/m}^3$ , wird die definitive Aussage getroffen, dass die eine Wohnung charakterisierende Radonkonzentration über dem Planungswert für Neubauten bzw. über dem Referenzwert für existierende Häuser liegt.

Zu jeder Ergebnisbewertung sollte bemerkt werden: „Diese Bewertung erfolgte unter der Voraussetzung, dass die zu den Messungen gegebenen Hinweise, insbesondere die Informationen zur Aufstellung der Diffusionskammern, eingehalten wurden“.

## **8. Dokumentation, Speicherung, Verarbeitung und Weitergabe der Ergebnisse**

Es gilt DIN 25706-1.

Die Ergebnisse von Radonmessungen in Aufenthaltsräumen sind in Verbindung mit Namen und Adressen als personenbezogene Daten zu behandeln. Die dazu getroffenen Festlegungen in den Datenschutzgesetzen des Bundes [7] und der Länder sind zu beachten.

Generell sind die Nutzer und Eigentümer der Aufenthaltsräume sowie eventuelle Arbeitgeber berechtigt, über die Messergebnisse und deren Bewertung informiert zu werden. Darüber hinaus darf eine Weitergabe nur in dem gesetzlich festgelegten Rahmen erfolgen.

Wenn zum Zwecke der Messwertinterpretation und der Ableitung von Hinweisen, die über den „Richtwertevergleich“ hinausgehen, Zusatzinformationen zu den Gebäuden eingeholt werden, ist auf die Freiwilligkeit dieser Angaben hinzuweisen.

## **Literatur**

- [1] Fachverband für Strahlenschutz e.V. Übersicht über die Messung von Radon und Radonfolgeprodukten. Loseblattsammlung FS-94-75-AKURA
- [2] Kommission der Europäischen Gemeinschaften  
Empfehlung der Kommission zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 80/26 vom 27. März 1990.  
In Verbindung mit: Main action themes agreed by the article 31 Group of Experts at the meeting in Luxembourg on 4 November 1997.
- [3] DIN – Deutsches Institut für Normung Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen. DIN 25 482 Teil 1, Deutsche Norm vom April 1989 und Beiblatt, Deutsche Norm vom März 1992
- [4] DIN – Deutsches Institut für Normung „Grundbegriffe der Messtechnik“. DIN 1319 Teil 3, Deutsche Norm, August 1983
- [5] „Verordnung für die Umsetzung von EURATOM-Richtlinien zum Strahlenschutz“ Artikel 1, Teil 2 vom 20. Juli 2001, BGBl. I G 5702 S. 1714
- [6] DIN – Deutsches Institut für Normung „Passive Radonmessungen Teil 1: Kernspurmessverfahren“. DIN 25706-1, Deutsche Norm, November 1994
- [7] Gesetz zur Fortentwicklung der Datenverarbeitung und des Datenschutzes (Bundesdatenschutzgesetz) vom 20. Dezember 1990 (BGBl. I S. 2954)



## Anhang D

### Ermittlung der Ursachen erhöhter Radonkonzentrationen in Wohnungen<sup>7</sup>

#### 1. Zielstellung

Wenn auf der Grundlage geeigneter Messungen erhöhte Radonkonzentrationen in Wohnungen festgestellt wurden, ist die Ermittlung der Ursachen eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg von Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentrationen.

Zu den Ursachen erhöhter Radonkonzentrationen in Wohnungen zählen:

- die Radonquellen,
- die Eintrittswege des Radons in die Wohnung,
- die Ausbreitungswege des Radons innerhalb der Häuser.

#### 2. Charakterisierung der Untersuchungsobjekte

Es ist für Gebäude unterschiedlicher Nutzung keine einheitliche Charakterisierung möglich, aus der sich eine in allen Fällen geeignete Methodik zur Ermittlung der Ursachen erhöhter Radonkonzentrationen ableiten lässt. Somit ergibt sich in Abhängigkeit von der Aufenthaltsdauer von Personen, den baulichen Besonderheiten und speziellen technischen Bedingungen die Notwendigkeit, prinzipiell anwendbare Untersuchungsmethoden diesen Bedingungen anzupassen, um die Ursachen erhöhter Radonexpositionen bei Beachtung ihrer zeitlichen Variationen zu erkennen und optimale radonsenkende Maßnahmen projektieren und durchführen zu können.

Als Quellen für erhöhte Radonfreisetzungen können in Betracht kommen:

- ein geogen erhöhtes Radonpotenzial im Gebäudeuntergrund,
- oberflächennahe Grubenbaue, die an die Gebäude heranführen oder in geringer Entfernung von den Gebäuden verlaufen (z. B. Stollen aus dem historischen oder umgehenden Bergbau),
- Halden als Baugrund,
- Baumaterial mit erhöhter Radiumkonzentration,
- Material mit erhöhter Radiumkonzentration, das zur Gründung oder Hinterfüllung der Gebäude verwendet wurde,
- Wasser mit einer Radonkonzentration über 1000 Bq/l [2].

Wesentliche Radon-Eintrittspfade sind:

- erdberührter Gebäudebereich (z. B. Fußboden und Mauern des Kellers) nicht ausreichend dicht gegen Bodenradon,
- Undichtheiten in Wänden und Boden,
- Materialunstetigkeitsstellen, z. B. neben Ver- und Entsorgungsleitungen,
- mit dem Haus verbundene Kanalisationssysteme.

<sup>7</sup> Inhaltliche Grundlage dieses Anhangs sind Ausarbeitungen des Arbeitskreises Uranbergbau und bergbauliche Altlasten des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. [1]



Wesentliche Ausbreitungspfade des Radons innerhalb der Gebäude sind:

- freie bauliche Verbindungen innerhalb der Gebäude (Treppenbereiche, Türen, Versorgungsschächte, Rohrführungen),
- Geschossdecken,
- Mauerwerk,
- Materialundichtheiten und -unstetigkeitsstellen.

Die physikalischen Ursachen für die Radonausbreitung im Gebäude sind Konzentrationsunterschiede des Radons in den einzelnen Hausbereichen sowie Temperatur- und Luftdruckgradienten.

### **3. Empfohlene Untersuchungsmethoden**

#### **3.1 Allgemeines**

Im Zusammenhang mit der Ermittlung der Ursachen erhöhter Radonkonzentrationen in Gebäuden sind standortspezifische Informationen zur bergbaulichen und geologischen Situation sowie zu den bodenphysikalischen Gegebenheiten bei den entsprechenden Fachbehörden (z. B. Bergämter oder Landesämter für Umwelt und Geologie) einzuholen. Insbesondere ist zu prüfen, ob für die Aufstandsfläche und die nähere Umgebung des Gebäudes Hinweise auf bergbauliche Hinterlassenschaften (Halden, oberflächennahe bergmännische Auffahrungen u. ä.) sowie auf die Verwendung von Haldenmaterial als Baustoff oder zur Geländeauffüllung vorliegen.

Zusätzlich sollten bezüglich der Radonsituation wichtige Besonderheiten zur Geschichte des Gebäudes (Um- und Ausbau) und der Hausumgebung in Erfahrung gebracht werden.

Die nachfolgend vorgestellten Untersuchungsmethoden haben sich bei der Ermittlung der Ursachen erhöhter Radonkonzentrationen in Gebäuden bewährt. Es wird damit jedoch weder ein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, noch ist die Durchführung aller aufgeführten Messungen zwingend. Umfang und Ausgestaltung des Messprogramms sind wesentlich abhängig vom Erfahrungsstand der Ausführenden. Sind Kenntnisse über regional typische Radonquellen verfügbar, können ergänzende Messungen oft auf ein Minimum beschränkt werden. Weitere Untersuchungen sind auf Schwerpunkte konzentriert durchzuführen und dem Erkenntnisfortschritt für das betreffende Objekt operativ anzupassen.

In Verbindung mit eventuell durchgeführten Radon-Kurzzeitmessungen ist den meteorologischen Bedingungen unmittelbar vor und während der Messung sowie dem Heizungs-/Lüftungsregime im Gebäude ein besonderes Augenmerk zu widmen. Es besteht die Möglichkeit, dass sich wegen kurzzeitig atypischer Verhältnisse (z. B. vorherige Raumlüftung) Fehlbeurteilungen der Freisetzung des Radons in das Gebäude und der Radonausbreitung im Gebäude ergeben.

### 3.2 Messung der Radonkonzentration in der Raumluft

Wenn Messungen der Radonkonzentration nur in einem Teil des Gebäudes durchgeführt und dabei erhöhte Werte vorgefunden wurden, sollten im nächsten Schritt Messungen in allen Räumen des Hauses durchgeführt werden. Aus den Ergebnissen dieser Raumluftuntersuchung lassen sich bereits erste Rückschlüsse auf die Quellen und Ausbreitungswege des Radons ziehen und gegebenenfalls Empfehlungen zur Minimierung der Radonexposition geben.

Zu beachten:

Aus Gründen der direkten Vergleichbarkeit aller in einem Gebäude gemessenen Radonkonzentrationen sollten auch die bereits untersuchten Räume in die erneute Messkampagne einbezogen werden.

Zweckmäßigerweise werden diese Messungen in Wohnungen entsprechend Anhang D durchgeführt, um die Ergebnisse nach der Sanierung als Grundlage zur Bewertung des Sanierungserfolges nutzen zu können.

In nur zeitweilig von Personen genutzten Räumen sind Messungen von Bedeutung, welche die zeitlichen Änderungen der Radonkonzentration anzeigen.

Ist die Radonkonzentration im Kellergeschoss oder anderen erdberührenden Bereichen des Gebäudes höher als in den darüber liegenden Etagen, so weist dies in der Regel auf eine ungenügende Dichtheit des Hauses gegenüber Radon aus dem Boden hin. In diesem Zusammenhang sollte nach Unstetigkeits- und Schadstellen (Rissstrukturen, Undichtheiten an Durchbrüchen für Versorgungsleitungen u.ä.) gesucht werden.

### 3.3 Radon-Sniffing

An sichtbaren Rissen und Unstetigkeitsstellen im Material durchgeführtes Radon-Sniffing (Aufspüren von begrenzten Radon-Eintrittsstellen mittels ansaugender Sonden) kann Hinweise darüber geben, ob diese Stellen für die Radonausbreitung relevant sind.

Radon-Sniffing ist außerdem einsetzbar für das Auffinden von zunächst nicht erkannten radonführenden Rissen in Wänden und Böden. Für diese Messungen eignen sich vorzugsweise aktive Messsysteme.

### 3.4 Messung der Gamma-Ortsdosisleistung (ODL)

Mit ODL-Messungen wird das Ziel verfolgt, Materialien mit erhöhten Radium-226-Konzentrationen festzustellen.

Deshalb sollten ODL-Messungen erfolgen:

- in der näheren Umgebung des Gebäudes zur Suche nach Anschüttungen von Material mit erhöhter Konzentration des Radium-226 sowie zur Suche nach ausstreichenden Gängen und Schichten mit erhöhter Radiumkonzentration oder anderen geogen bedingten Radiumanomalien,
- innerhalb des Gebäudes zum Lokalisieren von Baustoffen mit erhöhter Konzentration des Radium-226.

Zu beachten:

Bei Radonkonzentrationen oberhalb von  $1000 \text{ Bq/m}^3$  sind die betreffenden Räume vor der Ausführung der ODL-Messungen intensiv zu lüften.

Als primärer Messpunkt sollte die Raummitte in einer Höhe von 1 m oberhalb des Fußbodens gewählt werden. Sekundäre Messpunkte sollten ein repräsentatives Abbild der ODL in 10 cm Entfernung vom Boden, der Decke und den Wandflächen des Raumes liefern.

Als Indiz für erhöhte Radiumkonzentrationen im Material können  $\text{ODL} > 170 \text{ nSv/h}$  angenommen werden.

An Messorten mit anomalen ODL-Werten können die Exhalationsraten gemessen werden oder es sind Materialproben (Putz und darunter liegendes Material getrennt) zur Bestimmung ihrer Radium-226-Konzentration zu entnehmen. Bei nachgewiesenen erhöhten Konzentrationen des Radium-226 sollte die Radon-

exhalationsrate an dem Probenmaterial untersucht werden.

Zur Orientierung sind in Abb. D1 die Häufigkeitsverteilungen der ODL in Räumen mit unterschiedlichem Außenwandmaterial zusammengestellt [3].

Die Nachweisgrenze der ODL-Messungen muss bei  $\leq 50 \text{ nSv/h}$  liegen.

An die ODL-Messgeräte sind folgende Anforderungen zu stellen:

- lineares Ansprechvermögen im Bereich zwischen der unteren Messbereichsgrenze und  $500 \text{ nSv/h}$ ,
- Kalibrierung von einer autorisierten Stelle in einem geeigneten Energiebereich,
- Verwendung bauartzugelassener Geräte und keine Durchführung von Änderungen an den Geräten, welche die Bauartzulassung beeinflussen,

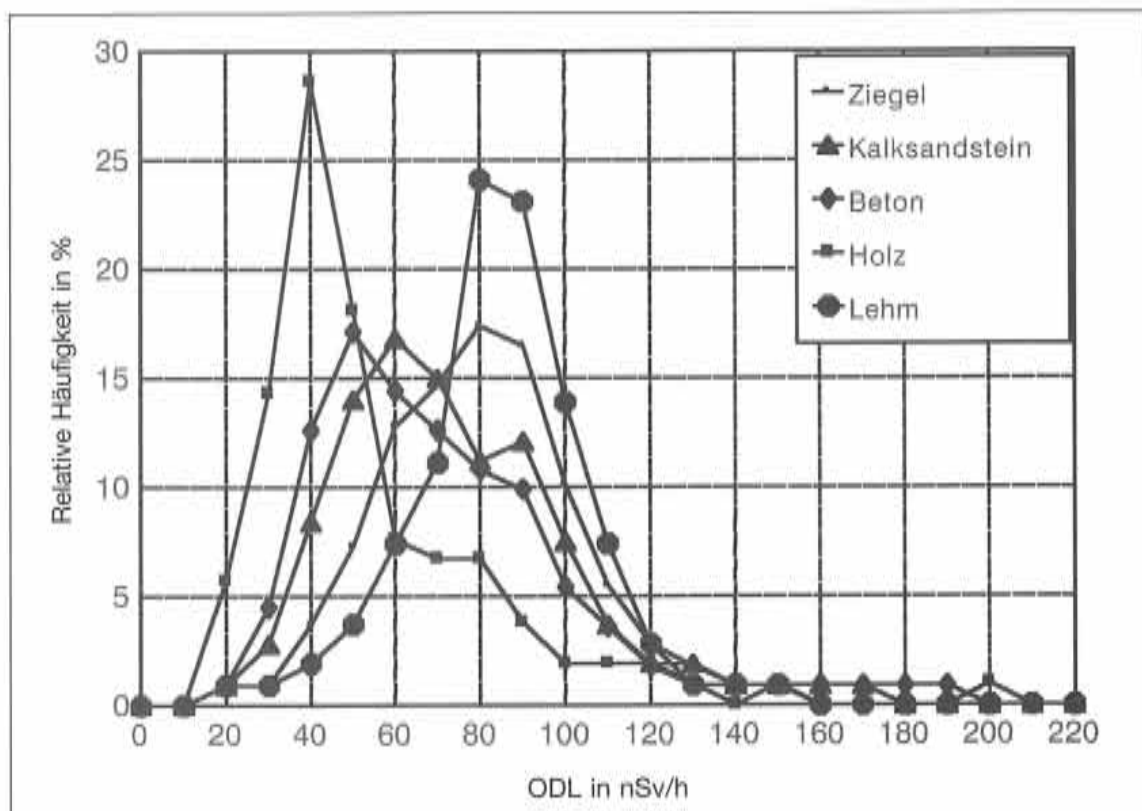


Abb. D1 ODL in Räumen mit unterschiedlichem Material der Außenwände [3].

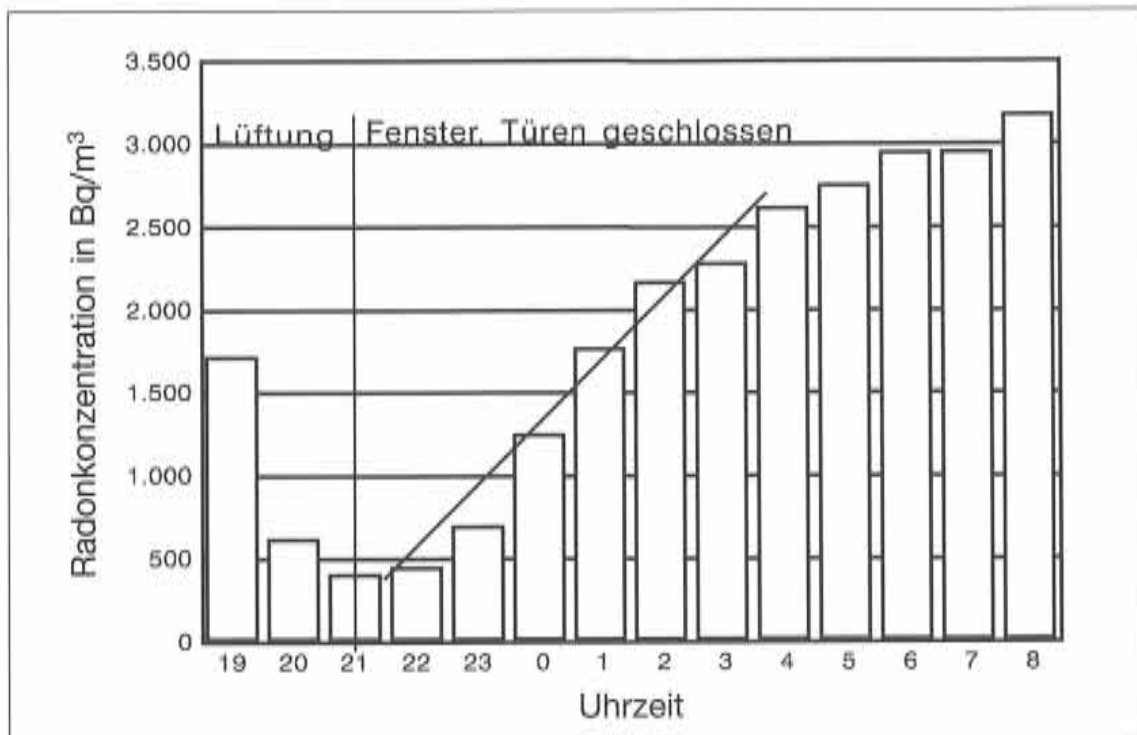


Abb. D2 Messung des Anstieges der Radonkonzentration in der Raumluft [4].

### 3.5 Messung des Anstiegs der Radonkonzentration

Durch das Messen des Anstiegs der Radonkonzentration in vorher belüfteten Räumen ist der Radonzustrom in Bq/h bestimmbar (s. Abb. D2). Bei parallelen Messungen in mehreren Räumen können wesentliche Erkenntnisse über die Radonquellen, die Eintrittspfade des Radons in die Gebäude und die Ausbreitungswege des Radons im Gebäude gewonnen werden.

Spätestens 30 min nach Abschluss einer intensiven Belüftung des zu untersuchenden Raumes mit Außenluft ist mit der zeitaufgelösten Messung der Radon-Raumluftkonzentration zu beginnen.

Zu beachten:

Die Messungen beginnen zweckmäßigerweise am späten Nachmittag oder gegen Abend, um den üblicherweise nachts vorhandenen Anstieg der Radonkonzentration für eine konservative Beurteilung der Situation zu nutzen.

Während der gesamten Messung ist für einen dichten Verschluss des Raumes, insbesondere der Fenster, Türen und anderen Belüftungseinrichtungen zu sorgen. Erforderlichenfalls ist deren Dichtheit durch zusätzlich angebrachte Klebestreifen sicherzustellen.

Die Messungen sollten bis zum deutlichen Abflachen des Anstieges der Konzentration des Radons durchgeführt werden.

### 3.6 Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft

Radonmessungen in der Bodenluft empfehlen sich insbesondere bei Feststellung von erhöhten Radonkonzentrationen im Kellergeschoss oder im nicht unterkellerten Hausbereich. Sie können Aufschluss über ein geogen oder anthropogen erhöhtes Radonpotenzial am Gebäudestandort geben.

Die Messpunkte sollten sich jeweils in ca. 1 m Abstand vom Gebäude befinden. Je Gebäudeseite ist mindestens eine aus 1 m Tiefe entnommene Bodenluftprobe zu analysieren. Bei unbefestigtem Kellerfußboden ist eine Entnahme von Bodenluft aus dem darunter gelegenen Bodenbereich zu bevorzugen.

Zu beachten:

Bodenluftmessungen sind generell nicht an gefrorenen oder stark durchnässten Böden auszuführen.

Neben der Radonkonzentration sollte auch die Gaspermeabilität der betreffenden Bodenschicht beachtet werden. Zur Permeabilitätsbestimmung eignen sich z. B. Messungen an ungestörten Bodenproben, Differenzdruckmessungen (in situ) oder zu einer geeigneten Klassifizierung führende Korngrößenanalysen.

### 3.7 Messungen unter Anwendung eines Spurengasmesssystems mit Einsatz von Indikatorgasen

Eine Ergänzung der zeitaufgelösten Radonmessungen durch den Einsatz von Indikatorgasen und sogenannten Spurengasmesssystemen oder von passiven

PFT (Polyfluorcarbon-Tracergas)-Methoden ermöglicht eine quantitative Beschreibung von Austauschvorgängen zwischen Gebäude- und Außenluft und zwischen verschiedenen Räumen des betreffenden Gebäudes. Durch diese Untersuchungen lassen sich Erkenntnisse zur Bestimmung der Eintritts- und Ausbreitungswege sowie der Transportströme des Radons in detaillierter Form gewinnen.

Der Vergleich der Luftwechselzahl eines Raumes mit der simultan ermittelten Radonkonzentration ermöglicht Aussagen darüber, inwieweit mit einer verstärkten Raumlüftung die Radonkonzentration des Raumes erniedrigt werden kann bzw. mit welchen Konzentrationserhöhungen des Radon-222 bei einer reduzierten Luftwechselzahl, z. B. nach dem Einbau dichter Fenster, zu rechnen wäre.

Bei zwangsbelüfteten Räumen (z. B. Gewerberäume mit technologisch bzw. arbeitshygienisch erforderlichen Absaug- und Belüftungsanlagen) geben derartige Untersuchungen Aufschluss über die Funktions- und Leistungsfähigkeit der installierten lufttechnischen Anlagen und deren Einfluss auf die sich in Abhängigkeit von ihrer Fahrweise einstellende Radon-Raumluftkonzentration.

Die Methodik ist ausführlicher in [5] beschrieben.

Zu beachten:

Tracergasexperimente erfordern den Einsatz von aufwendigen Gerätesystemen und setzen eine entsprechende Sachkunde bei der Realisierung der Messungen und bei der Interpretation der Ergebnisse voraus.

#### **4. Qualitätssicherung**

Als Voraussetzung für die Durchführung der Untersuchungen ist eine ausreichende Qualifikation der für diese Arbeiten Verantwortlichen notwendig. Es sind insbesondere Kenntnisse auf den Gebieten Radon und Strahlenschutz sowie praktische Erfahrungen beim Umgang mit der zum Einsatz gelangenden speziellen Messtechnik erforderlich.

Grundsätzlich sind die VDI-Richtlinie „Messen von Innenluftverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Messstrategie“ [6] sowie die Messungen betreffende Normen, z. B. DIN 25706-1 „Passive Radonmessungen Teil 1: Kernspurmessverfahren“ [7], zu beachten.

Die Dokumentation über die Messungen muss neben anderen Angaben enthalten:

- die Gebäudeadresse,
- eine ausführliche Beschreibung (eventuell mit Fotodokumentation) der die Ursachen erhöhter Radonkonzentration bestimmenden Faktoren, z. B. Unterkellerung, Kellerbeschaffenheit, baulicher Zustand, Durchführung von Ver- und Entsorgungsleitungen, Baumaterial, Verbindung des Kellers mit den darüber liegenden Etagen,
- eine Skizze zur Lage der Messpunkte in den untersuchten Räumen,
- Angaben über relevante meteorologische Parameter (Windgeschwindigkeit und -richtung, Lufttemperatur im Gebäude und im Freien, Luftdruck und seine Tendenz, Niederschlag). Diese können von amtlichen, möglichst nahe gelegenen Stationen in Erfahrung gebracht oder vor Ort gemessen werden.

#### **5. Bewertung der Messergebnisse**

In der Bewertung der Messergebnisse müssen die Quellen, Eintrittspfade und Ausbreitungswege des Radons so quantifiziert dargestellt werden, dass auf dieser Grundlage die Erstellung eines optimalen Sanierungsprojektes möglich ist.

Bei der Bewertung der Ergebnisse von Radon-Kurzzeitmessungen ist zu beachten, dass z. B. die Exhalationsraten und die Radonausbreitung in den Gebäuden sowie die Konzentrationen des Radons infolge während der Messungen vom Jahresmittel abweichender meteorologischer Bedingungen stark von der durchschnittlichen Situation abweichen können. Es ist ein Vergleich der meteorologischen Momentanwerte mit den typischen Mittelwerten über ein Jahr, die von den Wetterstationen erhältlich sind, zu empfehlen.

#### **6. Umgang mit den Messergebnissen**

Die Ergebnisse von Messungen in Wohnräumen sind in Verbindung mit Namen und Adressen als personenbezogene Daten zu behandeln. Die dazu getroffenen Festlegungen in den Datenschutzgesetzen des Bundes [8] und der Länder sind zu beachten.

Generell sind die Eigentümer der Wohnungen und Gebäude sowie deren Nutzer berechtigt, über die Messergebnisse und deren Interpretation informiert zu werden. Darüber hinaus darf eine Weitergabe nur in dem gesetzlich festgelegten Rahmen erfolgen.

## 7. Literatur

- [1] Fachverband für Strahlenschutz e.V. Übersicht über die Messung von Radon und Radonfolgeprodukten. Loseblattsammlung FS-94-75-AKURA
- [2] Nazaroff, W. W.; Doyle, S. M.; Nero, A. V.; Sextro, R. G. Radon Entry via Potable Water. In: Nazaroff, W. W.; Nero, A. V.: Radon and its Decay Products in Indoor Air. John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1988
- [3] Lehmann, R. Strahlenbelastung durch natürliche Radionuklide in Baumaterialien, fossilen Brennstoffen und Düngemitteln. In: Siehl, A.: Umwelt-radioaktivität. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin, 1996
- [4] Hamel, P.; Lehmann, R.; Kube, G.; Couball, B., Leißring, B. Modellhafte Sanierung radonbelasteter Wohnungen in Schneeberg. BfS-ST-10/96
- [5] Hamel, P.: Komplexe Abnahmeuntersuchungen zur Bewertung des Erfolges von Radonsanierungen von Einfamilienhäusern. Bundesamt für Strahlenschutz, Jahresbericht 1992
- [6] Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN. Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Messstrategie. VDI 4300 Blatt 1, Dezember 1995
- [7] DIN Deutsches Institut für Normung „Passive Radonmessungen Teil 1: Kernspurmessverfahren“. DIN 25706-1, Deutsche Norm, November 1994
- [8] Gesetz zur Fortentwicklung der Datenverarbeitung und des Datenschutzes (Bundesdatenschutzgesetz) vom 20. Dezember 1990 (BGBl. I S. 2954)





## Anhang E

### Messungen in Begleitung von Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration in Wohnungen<sup>8</sup>

#### 1. Allgemeines

Eine Entscheidung für Maßnahmen zur Verminderung der Radonkonzentration in der Raumluft basiert auf vorangegangenen Messungen, deren Ergebnisse über den Richtwerten der Empfehlung der Europäischen Kommission [2] liegen. Unter Berücksichtigung der Radonquellen und der Eintrittswege des Radons in die Gebäude sowie seiner Ausbreitungswege in den Häusern wird ein Sanierungsprojekt erstellt.

#### 2. Ziel der Messungen

Messungen in Begleitung von Sanierungsarbeiten dienen deren Qualitätssicherung und zum Nachweis des Sanierungserfolges. Hierbei kann es notwendig sein, neben den Radonkonzentrationen auch andere Parameter und Randbedingungen hinreichend genau zu erfassen.

#### Messungen vor Beginn der Sanierungsarbeiten (Projektierungsphase)

- Prüfung der Radondichtheit von Materialien und von vorhandenen baulichen Konstruktionselementen, wie z. B. von Türen.
- Prüfung des vollständigen Ausbaus von Material mit erhöhter Radium-226-Konzentration.

### Messungen während der Sanierungsarbeiten (Ausführungsphase)

Überprüfung:

- der Radondichtheit neu eingebauter Konstruktionselemente,
- der Dichtheit von Radon-Sperrschichten (z. B. Erkennen von Leckagen in Abdichtbahnen) bzw. der Wirksamkeit von Injektionen,
- der Gasdichtheit von Übergangsbereichen zwischen eingebrachten Sperrschichten und/oder der übrigen Bauwerkskonstruktion,
- der Gasdichtheit im Bereich von Boden-, Wand- und Deckendurchdringungen durch Versorgungs-/Entsorgungsleitungen und andere technische Einrichtungen,
- der Wirksamkeit von Lüftungstechnischen Anlagen und der Dichtheit ihrer Verbindungsstellen.

### Messungen nach Abschluss der Sanierungsarbeiten (Bewertungsphase)

Untersuchungen zur Optimierung des Betriebes der Lüftungstechnischen Systeme, abschließende Bewertung des Sanierungserfolges vor der Projektabnahme.

Zu beachten:

Alle Messungen sind entsprechend den unterschiedlichen Zielstellungen auf den zeitlichen Fortschritt des Sanierungsvorhabens abzustimmen.

<sup>8</sup> Inhaltliche Grundlage dieses Anhanges sind Ausarbeitungen des Arbeitskreises Uranbergbau und bergbauliche Altlasten des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. [1]

### **3. Messaufgaben in Verbindung mit Radonsanierungen**

#### **3.1 Allgemeines**

Bei komplexen Sanierungsvorhaben kann es sinnvoll sein, mit Abschluss der einzelnen Sanierungsetappen deren Wirksamkeit zu verifizieren. Hierbei sollte geprüft werden, inwieweit bereits einfache Maßnahmen zu einer merklichen Reduzierung der Radonkonzentration geführt haben und ob eventuell auf weitere, kostenintensivere Arbeiten verzichtet werden kann.

Begleitende Messungen sind insbesondere dann zu empfehlen, wenn damit zu rechnen ist, dass nachfolgende bautechnische Arbeiten eine detaillierte Prüfung der Wirksamkeit vorangegangener einzelner Sanierungsmaßnahmen erschweren oder verhindern würden.

Im Interesse eines raschen Fortganges der Sanierungsarbeiten kommen für die genannten Prüfungen nur Untersuchungen in Frage, die höchstens Stunden bis einige Tage in Anspruch nehmen.

#### **3.2 Messungen vor Beginn der Sanierungsarbeiten**

##### **Nachweis der radonsperrenden Wirkung von Materialien und Materialverbindungen**

Ist der Einsatz von Sperrschichten im Rahmen von Sanierungen vorgesehen, ist deren radonsperrende Wirkung nach-

zuweisen. Die Bewertung erfolgt anhand der Relaxationslänge (R). Es wird eine Materialdicke von mindestens 3 R gefordert.

Die Methodik und die gerätetechnischen Anforderungen sind in [3] beschrieben.

##### **Messungen der Gamma-Ortsdosisleistung (ODL)**

Mit ODL-Messungen wird das Ziel verfolgt, den vollständigen Ausbau von Materialien mit erhöhten Radium-226-Konzentrationen zu überprüfen.

Die Messungen sollten in 1 m Abstand vom Material erfolgen. Bei ODL über 170 nSv/h über ebenen Flächen besteht der Verdacht, dass Material mit erhöhter Konzentration an Radium-226 vorhanden ist.

Die Nachweisgrenze der ODL-Messungen muss bei  $\leq 50$  nSv/h liegen.

An die ODL-Messgeräte sind folgende Anforderungen zu stellen:

- lineares Ansprechvermögen im Bereich zwischen der unteren Messbereichsgrenze und 500 nSv/h,
- Kalibrierung von einer autorisierten Stelle in einem geeigneten Energiebereich,
- Verwendung bauartzugelassener Geräte und keine Durchführung von Änderungen an den Geräten, welche die Bauartzulassung beeinflussen.

### 3.3 Messungen während der Sanierungsarbeiten

#### Allgemeines

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungsmethoden haben sich bei der Realisierung von Sanierungsvorhaben bewährt. Es wird damit jedoch weder ein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, noch ist die Durchführung aller aufgeführten Messungen zwingend. Umfang und Ausgestaltung des Messprogramms sind wesentlich abhängig vom Erfahrungsstand der Projektanten und Bauausführenden. Die Arbeiten sind dem Erkenntnisfortschritt für das betreffende Sanierungsobjekt operativ anzupassen.

#### Technische Messungen

Vor der Durchführung von Radonmessungen ist zu empfehlen:

- Prüfung der Naht- und Stoßverbindungen von radonsperrenden Schichten mit Methoden, wie sie z. B. in DIN 18 195 [4] genannt sind,
- Messungen des Unterdruckes und Volumenstromes in der Anschlussleitung eines Ventilators an ein Dränagesystem und soweit zugänglich in den einzelnen Abschnitten (Abzweigungen) des Rohrsystems (möglichst in Abhängigkeit von der Auslegung/Fahrweise des Ventilators) zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Systems.

#### Messungen der Radonkonzentration über die Dauer bis zu 3 Tagen

Diese Messungen ermöglichen nur eine qualitative Aussage über den Erfolg einer Sanierungsmaßnahme<sup>9</sup>.

Um mit erhöhter Sicherheit falsch-negative Aussagen zu vermeiden (wie „die durchgeführte Sanierungsmaßnahme war

erfolgreich“, obwohl dies nicht zutrifft) ist zu empfehlen:

Während der Messungen sind die Fenster und Außentüren der Gebäude geschlossen zu halten. Bei Außentemperaturen unter 10 °C ist diese Forderung im allgemeinen ohne Einschränkung der Lebensgewohnheiten der Wohnungsnutzer zu gewährleisten.

Messungen über kürzere Zeiträume von bis zu einem Tag sollten bei geschlossenen Fenstern und Türen des zu untersuchenden Raumes stattfinden. Der Austausch der Gebäude-Innenluft mit der Außenluft sollte im gesamten Gebäude, beginnend mindestens 10 Stunden vor Messbeginn, auf das Notwendigste beschränkt bleiben.

Die Verwendung von Geräten zur zeit-aufgelösten Messung gibt wertvolle Hinweise über die Schwankungen der Radonkonzentration im Expositionszeitraum und ermöglicht damit eine realistischere Bewertung der Situation als integrierende Messungen.

#### Messung des Anstieges der Radonkonzentration

Durch das Messen des Anstiegs der Radonkonzentration in vorher belüfteten Räumen ist der Radonzustrom in Bq/h undifferenziert im gesamten Raum bestimmbar (s. Abb. E1). Der Anstieg der Radonkonzentration kann durch Vergleich mit einem vor den zu kontrollierenden Arbeiten gemessenen Wert wesentliche Hinweise über deren Erfolg geben.

<sup>9</sup> Es muss stets in Betracht gezogen werden, dass infolge sich ändernder meteorologischer Bedingungen die Exhalationsraten, Ausbreitungsbedingungen und Konzentrationen des Radons kurzzeitig stark variieren und zu Fehlinterpretationen der Messergebnisse führen können. Besonders bei der Sanierung von Häusern mit einer Beeinflussung durch Wetter von unter Tage ist dies zu beachten.

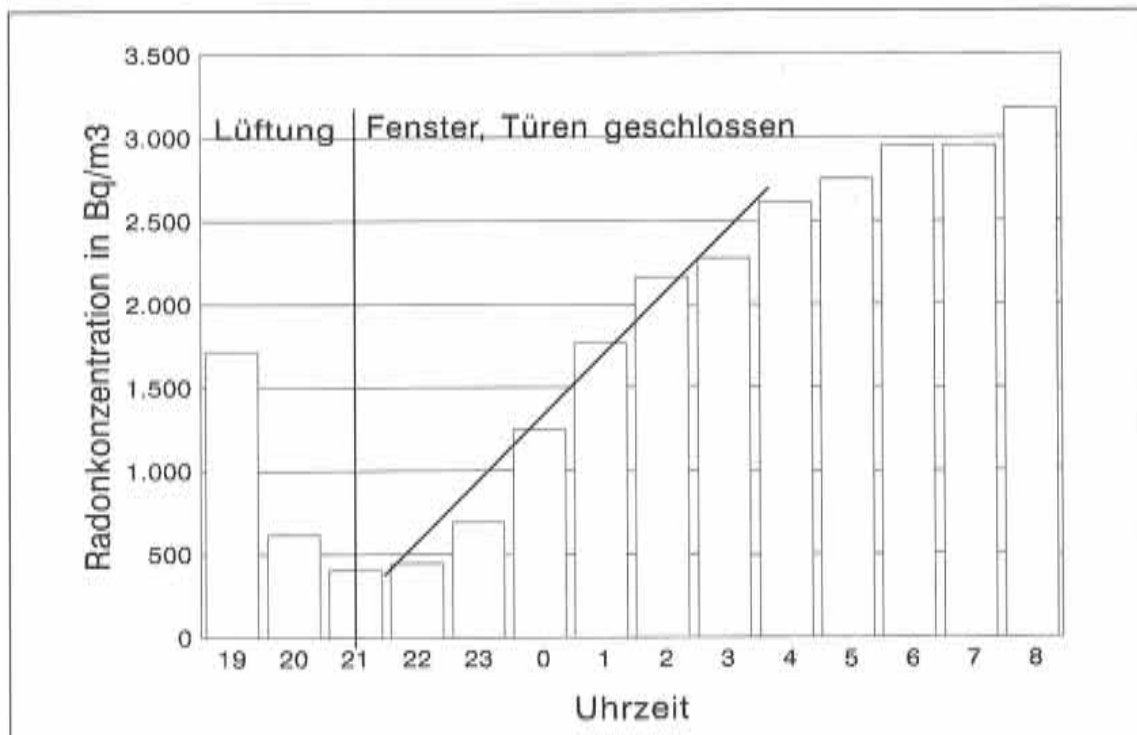


Abb. E1 Messung des Anstieges der Radonkonzentration in der Raumluft [5].

Mit der zeitaufgelösten Messung der Radon-Raumluftkonzentration ist spätestens 30 min nach Abschluss einer intensiven Belüftung des zu untersuchenden Raumes mit Außenluft zu beginnen.

Zu beachten:

Die Messungen beginnen zweckmäßigerweise am späten Nachmittag oder gegen Abend, um den üblicherweise nachts vorhandenen Anstieg der Radonkonzentration für eine konservative Beurteilung der Situation zu nutzen.

Während der gesamten Messung ist für einen dichten Verschluss des Raumes, insbesondere der Fenster, Türen u. a. Belüftungseinrichtungen zu sorgen. Gegebenenfalls ist deren Dichtheit durch zusätzlich angebrachte Klebestreifen sicherzustellen.

Die Messungen sollten bis zum deutlichen Abflachen des Anstieges der Konzentration des Radons durchgeführt werden.

Die Anwendung dieser Methode ist problematisch, wenn mit stark schwankenden Exhalationsraten aufgrund sich ändernder meteorologischer Bedingungen zu rechnen ist (z. B. in Häusern, die durch Wetter von unter Tage beeinflusst sind).

### Messungen der Radonexhalationsrate

Diese Methode kann vorteilhaft in nicht geschlossenen Bauten zum gezielten Aufspüren von Undichtheiten in Materialien und an Materialübergängen (Verbindungen) angewendet werden.

Mit der gleichen Zielstellung sind Exhalationsmessungen als ergänzende Messungen zweckmäßig, wenn die unter 3.1 oder 3.2 genannten Methoden in Folge Rest-Undichtheiten keine ausreichende Wirksamkeit von eingebautem Material mit radonsperrender Funktion vermuten lassen.

Die meteorologischen Bedingungen sind zu beachten.

### **Radon-Sniffing**

Messungen unter Anwendung eines Spurengasmesssystems mit Einsatz von Indikatorgasen.

Eine Ergänzung der zeitaufgelösten Radonmessungen durch den Einsatz von Indikatorgasen und sogenannten Spurengasmesssystemen oder von passiven PFT (Polyfluorcarbon-Tracergas)-Methoden ermöglicht eine quantitative Beschreibung der Eintrittswege sowie der Transportströme des Radons durch Restundichtheiten.

Derartige Untersuchungen geben Aufschluss über die Funktions- und Leistungsfähigkeit der installierten lufttechnischen Anlagen und deren Einfluss auf die sich in Abhängigkeit von ihrer Fahrweise einstellende Radon-Raumluftkonzentration.

Die Methodik ist ausführlicher in [6] beschrieben.

Zu beachten:

Indikatorgasexperimente erfordern den Einsatz von aufwendigen Gerätesystemen und setzen eine entsprechende Sachkunde bei der Realisierung der Messungen und bei der Interpretation der Ergebnisse voraus.

### **3.4 Messungen nach Beendigung der Sanierung**

Nach der vollständigen Realisierung der Sanierungsmaßnahmen sind in den betreffenden Gebäuden Messungen zum Nachweis des Sanierungserfolges auszuführen. Gegebenenfalls bilden diese Messungen auch die Basis für weitere Optimierungen des Lüftungstechnischen Regimes.

Dieser Zielstellung dienen:

### **Messungen des Anstiegs der Radonkonzentration in vorher belüfteten Räumen**

Zu beachten:

Bei Feststellung eines weiterhin ungünstigen Anstiegsverhaltens der Radonkonzentration machen sich detaillierte Untersuchungen zum Auffinden verbliebener Radon-Eintrittspfade erforderlich. Hierfür eignen sich unter bestimmten Voraussetzungen auch Tracergasexperimente.

### **Blower Door**

Durch Messungen der Radonkonzentration in der Abluft einer Blower Door vor und nach einer Sanierung ist eine kurzfristige Überprüfung des Sanierungserfolges möglich [7].

### **Langzeitmessungen der Radonkonzentration**

Zu beachten:

Die Messungen sollten möglichst zeitgleich in allen von den Sanierungsmaßnahmen betroffenen Räumen erfolgen. Darüber hinaus sollten zu Vergleichszwecken auch stets von den Sanierungsmaßnahmen unberührte Räume in diese Messkampagne einbezogen werden.

Zur Beurteilung der Langzeitstabilität des Sanierungserfolges sollten diese Messungen nach 5 Jahren wiederholt werden.

### **Messungen mit Indikatorgasen**

Die Messungen dienen der Optimierung der Leistungsparameter von in ein Dränagesystem integrierten Ventilatoren.

#### 4. Literatur

- [1] Fachverband für Strahlenschutz e.V.  
Übersicht über die Messung von Radon und Radonfolgeprodukten.  
Loseblattsammlung FS-94-75-AKURA
- [2] Kommission der Europäischen Gemeinschaften  
Empfehlung der Kommission zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden.  
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 80/26 vom 27. März 1990
- [3] Keller, G.; Schütz, M.: Messung des Radons und seiner Folgeprodukte in Wohnräumen und im Freien, alte Bundesländer – Studie West.  
Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben St.Sch. 4045, Homburg Saar, Dezember 1994
- [4] Normenausschuss Bauwesen im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.  
Bauwerksabdichtungen.  
DIN 18195, August 1983
- [5] Hamel, P.; Lehmann, R.; Kube, G.; Couball, B., Leißring, B.: Modellhafte Sanierung radonbelasteter Wohnungen in Schneeberg. BfS-ST-10/96
- [6] Hamel, P.: Komplexe Abnahmeuntersuchungen zur Bewertung des Erfolges von Radonsanierungen von Einfamilienhäusern. Bundesamt für Strahlenschutz, Jahresbericht 1992
- [7] Maringer, F.; Akis, M.C.; Kaineder, H.; Kindl, P.; Krallik, C.; Lettner, H.; Ringer, W.; Stadtmann, H.; Winkler, R.: Ein robustes und schnelles Verfahren zur Abschätzung der langfristig mittleren Radonkonzentration in einem Gebäude (erweiterte Blower-Door-Methode). Tagungsband der 30. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz „Radioaktivität und Umwelt“, Lindau am Bodensee, 28.09.–02.10.1998