

# Radonhandbuch Schweiz

## Vorwort

### Zum Gebrauch dieses Handbuches

#### **I Radon – was ist das?**

- 1.1 Gesundheitliche Auswirkungen
- 1.2 Ausbreitung von Radon
- 1.3 Situation in der Schweiz
- 1.4 Messen von Radon
- 1.5 Radon im Trinkwasser
- 1.6 Radioaktive Mineraliensammlungen

#### **II Radonsicheres Bauen**

- 2.1 Neubauten und Sanierungen
- 2.2 Grenz- und Richtwerte
- 2.3 Radongebiete
- 2.4 Strategien zum Schutz vor Radon

#### **III Ausgangslage erfassen**

- 3.1 Neubauten
- 3.2 Bestehende Gebäude

#### **IV Konzeptioneller Radonschutz**

- 4.1 Raumprogramm und Nutzungsanordnung
- 4.2 Wärmeschutz und Luftdichtigkeit
- 4.3 Leitungsführungen
- 4.4 Natürliche Unterlüftung

#### **V Radonschutz durch Abdichtungsmassnahmen**

- 5.1 Leckage oder Diffusion?
- 5.2 Radonleckstellen
- 5.3 Konstruktion und Bautechnik von Abdichtungen
  - 5.3.1 Absperrn des Erdreichs mit Dichtungsbahnen (bei Neubauten)
  - 5.3.2 Raumseitige Flächenabdichtung
  - 5.3.3 Abdichten von Durchführungen, Löchern und Rissen
  - 5.3.4 Dichten von Türen, Klappen, Schachtdeckeln u.Ä.

#### **VI Weglüften von Radon**

- 6.1 Unterdruck eliminieren
- 6.2 Unterlüften des Gebäudes
- 6.3 Künstlicher Überdruck im Gebäude
- 6.4 Weglüften von radonhaltiger Luft im Keller
- 6.5 Kontrollierte Luftzufuhr zu Brennräumen
- 6.6 Weglüften von radonhaltiger Luft aus Aufenthaltsräumen
- 6.7 Technische Hinweise zu den Lüftungsstrategien

#### **VII Massnahmenplanung und -ausführung**

- 7.1 Vorgehen
- 7.2 Radonprävention bei Neubauten
- 7.3 Radonsanierung bestehender Bauten
- 7.4 Synergien und Zielkonflikte

#### **VIII Sanierungsbeispiele**

- 8.1 Gebäude mit Kriechkeller
- 8.2 Gebäude mit bestehendem Drainagesystem
- 8.3 Installation eines schwimmenden Bodens
- 8.4 Flächenhafte Bodenabsaugung
- 8.5 Punktuelle Bodenabsaugung innen
- 8.5<sup>bis</sup> Variante zur punktuellen Bodenabsaugung innen
- 8.6 Punktuelle Bodenabsaugung aussen (Radonbrunnen)
- 8.7 Kontrollierte Ventilation
- 8.8 Absaugung unbewohnter Räume

# Anhang

- A** Kontakte und Unterlagen
  - A.1 Die Radonfachstelle des Bundes und die kantonalen Radonkontaktstellen
  - A.2 Drucksachen und Ausstellungen
- B** Checkliste Hausbegehung
- C** Die rechtliche Situation
- D** Radon in Baumaterialien
- E** Kauf, Verkauf, Steuervergünstigungen
- F** Empfehlungen des BAG für verschiedene Radon-Zonen

**Herausgeber:**

Bundesamt für Gesundheit  
Abteilung Strahlenschutz  
Sektion Radiologische Risiken  
3003 Bern  
Telefon 031 324 68 80, Fax 031 322 83 83  
www.ch-radon.ch  
E-Mail: radon@bag.admin.ch

**Arbeitsgruppe:**

Bundesamt für Gesundheit  
Fach- und Informationsstelle Radon, Bern  
G.-A. Roserens, H.-U. Johner, G. Piller, P. Imbaumgarten

Fachhochschule beider Basel, Institut für Energie, Muttenz  
A. Binz, F. Fregnan, G. Lehmann

Textbox, Bern  
P. Stucki

**Vertrieb:**

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern  
www.bbl.admin.ch/bundespublikationen  
Art.-Nr. 311.346.d

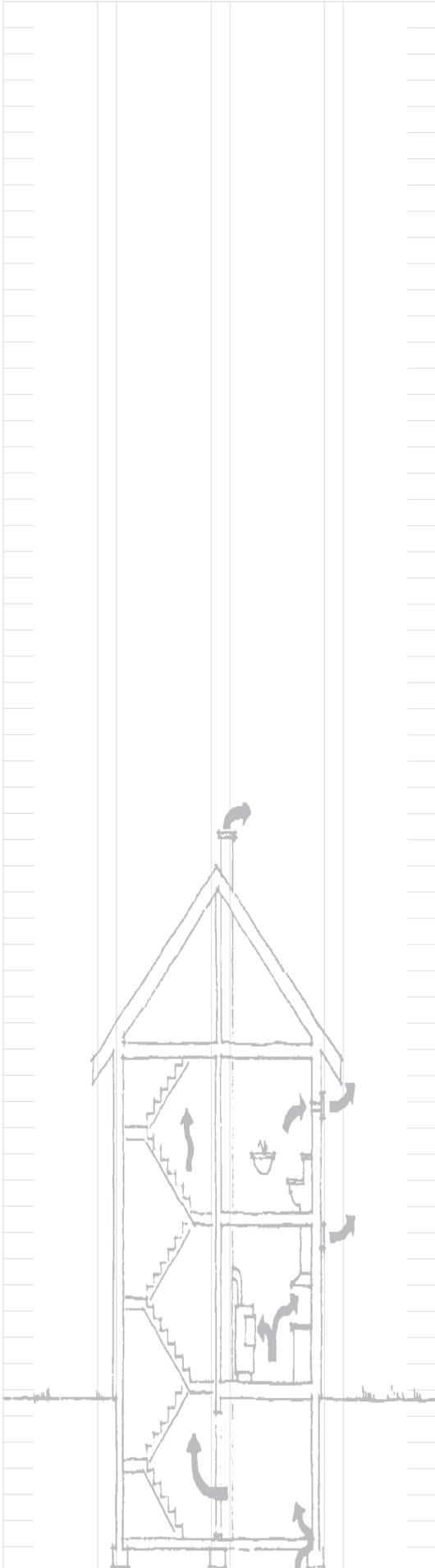
**BAG-Publikationsnummer:**

BAG VS 9.07 2500 d 1500 f 500 i 0 e 40EXT07009 u 40EXT07010

©BAG

Auszugsweises Kopieren mit Quellenangabe gestattet.

# Vorwort



In Gebäude eingedrungene radonhaltige Bodenluft verursacht rund 40-Prozent der durchschnittlichen Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Schweiz. Einige Prozente der Lungenkrebserkrankungen sind auf Folgeprodukte von Radon zurückzuführen, wie aktuelle Erkenntnisse belegen. Radon und seine Folgeprodukte sind nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs. Die Angabe der durchschnittlichen Radonbelastung verschleiern, dass grosse Teile der Bevölkerung einer kleinen Radonbelastung ausgesetzt sind, andere aber täglich hohe Strahlendosen erleiden. Weil wir Radon und die radonbedingte Strahlenbelastung mit unseren Sinnen nicht wahrnehmen können, wissen viele Betroffene nichts von ihrer Gefährdung.

Erst vor wenigen Jahren wurde erkannt, dass Radon in den verschiedensten Gebieten auftritt, in ganzen Landschaftsräumen ebenso wie unvermittelt auf einzelnen Bauplätzen. Und dies in Konzentrationen, die zu einer extrem grossen Strahlenbelastung von Hausbewohnern führt, wenn die radonhaltige Bodenluft in das Gebäude eindringt. Über die Gefährlichkeit der Radonbelastung ist sich die Wissenschaft weitgehend einig. Die Wirkung für den Einzelnen ist jedoch kaum feststellbar: Die Belastung ist nicht spürbar und der Schaden tritt erst nach Jahren oder Jahrzehnten auf.

Das Radonrisiko lässt sich abschätzen. Standort, Geologie, Bauweise geben Hinweise, aber nur die messtechnische Überprüfung gibt Gewissheit. In Neubauten kann die Radonbelastung präventiv und in bestehenden Gebäuden durch bauliche Massnahmen eliminiert werden.

Dieses Handbuch belegt, dass sowohl die nötigen Kenntnisse über Radon wie die geeigneten Massnahmen zur Verhinderung der Gesundheitsgefährdung vorhanden sind.

Dieses Handbuch richtet sich in erster Linie an Baufachleute. Sie haben es in der Hand, mit Hilfe dieser Unterlagen eine der heimtückischsten gebäudebedingten Gefahren für die Gesundheit effektiv zu eliminieren.

Bundesamt für Gesundheit  
Der Direktor  
Professor Thomas Zeltner

Bern, im Januar 2000

# Radonschutz – eine neue Aufgabe für Architekten?

Zum Gebrauch dieses Handbuches

Dieses Handbuch richtet sich in erster Linie an Architekten und andere mit Neubau und Sanierung von Gebäuden betraute Fachleute. Für sie stellt sich die Frage: Kommt mit dem Thema Radonschutz eine weitere Bürde an Verantwortung auf uns zu und ein noch höherer Anspruch an unser Fachwissen?

Die Antwort ergibt sich aus der Einschätzung der Radonproblematik:

Wer Radongas ausgesetzt ist, unterliegt einem erhöhten Lungenkrebsrisiko. Dabei gilt: je höher die Konzentration, desto höher das Risiko. Einen Schwellenwert für die Unschädlichkeit gibt es nicht.

In etwa einem Prozent der Bauten, das heisst in einigen tausend Gebäuden in der Schweiz, bildet die Radonbelastung ein übermässiges Gesundheitsrisiko (Grenzwertüberschreitung). Die Bewohner merken nichts davon. Diese Häuser müssen mittels Radonmessungen gefunden und saniert werden.

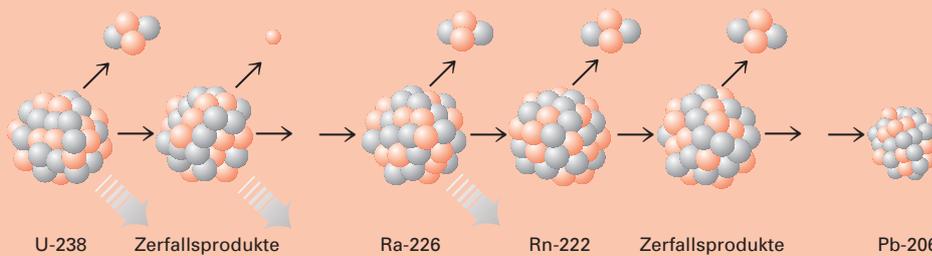
Für Baufachleute lässt sich daraus schliessen:

1. Die Radonproblematik muss publik gemacht und ernst genommen werden.
2. Wer mit bestehenden Bauten zu tun hat, muss sich über eine mögliche Radonbelastung Gewissheit verschaffen. Normalerweise bedeutet dies, die Radonbelastung zu messen. Die Messungen sind billig und einfach durchzuführen – bei grosser Wahrscheinlichkeit, dass die Radonbelastung unbedeutend ist und das Thema damit für die Sanierung erledigt ist.
3. Bei Neubauvorhaben gehört es zur Sorgfaltspflicht des Planers, abzuklären, ob das Grundstück als Radongebiet bezeichnet ist. Wenn in Radongebieten neu gebaut wird, sollte die Radonprävention gemäss diesem Handbuch vorgenommen werden.
4. Da es bei Radonbelastung keine untere Grenze der Schädlichkeit gibt, sind kostenneutrale oder zumindest kostengünstige Massnahmen immer sinnvoll, die den Schutz vor Radon erhöhen.

# 1. Radon – was ist das?

Radon ist ein Edelgas, das aus dem Zerfall von Radium entsteht, welches wiederum ein Zerfallsprodukt von Uran ist. Da Uran in unterschiedlichen Konzentrationen fast allgegenwärtig ist in der Erdkruste, ist auch Radon praktisch überall im Boden zu finden. Radon ist auch in hohen Konzentrationen unsichtbar, geruchlos, ungiftig, inert, weder brennbar noch explosiv, weder riech- noch schmeckbar. Es zerfällt mit einer Halbwertszeit von rund vier Tagen in radioaktive Folgeprodukte.

Abb. 1.1: Zerfallsreihe von Uran 238.



Erdreich besteht zu etwa einem Viertel aus Luft. Diese Bodenluft wird mit Radon angereichert, das nach dem Zerfall der Radiumatome aus dem Gestein bzw. aus den einzelnen Bodenpartikeln austritt. Damit wird die Bodenluft radioaktiv. Radioaktivität wird in Becquerel (Bq) gemessen. Ein Becquerel entspricht einem Atomzerfall pro Sekunde. Durchschnittliche Radonkonzentrationen in der Bodenluft verursachen eine Radioaktivität von einigen 10000 Bq/m<sup>3</sup>. Der Grenzwert in Wohnräumen liegt bei 1000 Bq/m<sup>3</sup>. Es braucht also meist nur geringe Mengen an Bodenluft, um eine unzulässige Radonbelastung zu schaffen.

## 1.1 Gesundheitliche Auswirkungen

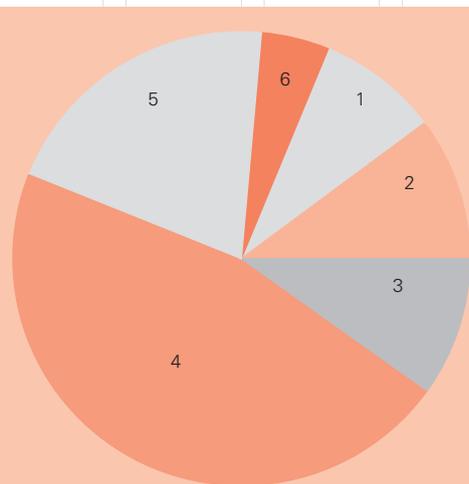
Den eigentlichen gesundheitlichen Schaden richtet nicht Radon selbst an, sondern seine wiederum radioaktiven Zerfallsprodukte, Isotope von Blei, Wismuth und Polonium. Radon wird ein- und wieder ausgeatmet. Die Radonatome, welche in der Lunge zerfallen, hinterlassen Folgeprodukte direkt auf dem Lungengewebe. Diese Zerfallsprodukte bestrahlen die Zellen aus nächster Nähe.

Radon verursacht im Mittel etwa 40 Prozent der jährlichen Strahlenbelastung in der Schweizer Bevölkerung. Hinzu kommen rund je ein Viertel aus medizinischen Anwendungen (Röntgen usw.) und übrigen Expositionen (kosmische Strahlung, Baumaterialien usw.). Radon belastet unsere Gesundheit mehr als der Reaktorunfall von Tschernobyl und alle bisher durchgeführten Atomwaffentests.

Erst in den Fünfzigerjahren wurde der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs entdeckt. Nach aktuellen Erkenntnissen sind einige Prozent der Lungenkrebserkrankungen der Belastung durch Radon in Aufenthaltsräumen anzulasten.

Radon und seine Folgeprodukte gelten nach dem Rauchen als die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs.

Radon ist heute ein weltweit bekanntes und anerkanntes Problem. Die Weltgesundheitsorganisation WHO weist darauf hin, dass Radon ein wichtiges Gesundheitsproblem darstellt, für den Menschen Krebs erregend ist und die Unsicherheit bei der Risikoabschätzung geringer ist als bei anderen Krebs erregenden Stoffen.



1	kosmische Strahlung	0,35 mSv
2	terrestrische Strahlung	0,45 mSv
3	innere Bestrahlung	0,4 mSv
4	Radon in Wohnräumen	1,6 mSv
5	medizinische Anwendung	1,0 mSv
6	übrige (Atombomben-Fallout, Tschernobyl-Kernanlagen, Industrien und Spitäler, Kleinquellen)	0,2 mSv
Total		4,0 mSv

Abb. 1.2: Durchschnittliche mittlere Belastung der Schweizer Bevölkerung.



Abb. 1.3: Todesfälle in der Schweiz 2000

Im Sinne der Gesundheitsvorsorge wurden 1994 in der eid. Strahlenschutzverordnung (StSV) Grenzwerte für die Radongaskonzentration festgelegt.

Bei Messwerten über 1000 Becquerel pro Kubikmeter ( $Bq/m^3$ ) in Wohn- resp. über  $3000 Bq/m^3$  in Arbeitsräumen sind Sanierung vorgeschrieben.

Für Neubauten, Umbauten und Sanierungen gilt ein Richtwert von  $400 Bq/m^3$ .

Die StSV erteilt den Kantonen (und damit mittelbar auch den Gemeinden) sehr klare und terminierte Vollzugsaufträge. Insbesondere die darin anvisierten Sanierungsprogramme (Art. 116) bedingen strukturierte Vollzugsmodelle.

## 1.2 Ausbreitung von Radon

Radon reichert sich in der Bodenluft in allen Bodenschichten an. Aus dem Erdinnern wird Radon zum Teil durch Klüfte und Spalten, vor allem aber durch durchlässiges Erdreich bis zur Haushülle transportiert. Je durchlässiger der Untergrund, desto eher gelangt Radongas in das Haus. Durch dichte Tonschichten dringt Radon kaum hindurch. Das Radonpotenzial des Bodens wird also im Wesentlichen bestimmt von der Durchlässigkeit des Bodens und dessen Radiumgehalt. Ausserdem führen Temperatur- und Luftdruckschwankungen zu jahreszeitlichen und täglichen Schwankungen.

Die Radongefährdung von Wohn- und Aufenthaltsräumen hängt einerseits von der Radonkonzentration im angrenzenden Erdreich ab und andererseits von der «Nachschubmöglichkeit», das heisst der (Gas-) Durchlässigkeit des Bodens. Dabei spielt die Durchlässigkeit die wichtigere Rolle: Wenig Radon in einem sehr durchlässigen Boden kann unter Umständen zu höheren Konzentrationen von Radongas führen als viel Radon in einem undurchlässigen Untergrund.

Der Radontransport im Boden ist von vielen Faktoren abhängig. Die Bodenluft steht in einem konstanten Austausch mit der Aussenluft und wird sehr langsam erneuert. Häufig bildet die oberste Bodenschicht von einem halben bis ganzen Meter Dicke eine weniger durchlässige Schicht als das darunterliegende Erdreich. Gebäude spielen in der Dynamik der Bodenluftbewegung eine aktive Rolle. Oft durchdringt das Gebäude die oberste Bodenschicht wie ein Abluftventil und saugt Bodenluft aus einem Umkreis von 10 bis 20 Metern an. Die Fliessgeschwindigkeiten der Bodenluft sind dabei sehr klein, beispielsweise 2 bis 3 Meter pro Tag. Eben deshalb kann sich die Bodenluft mit Radon so stark anreichern, dass auch geringe Mengen die Radonbelastung in Räumen unzulässig erhöhen.

Ein weiterer Transportmechanismus für Radon ist die Diffusion aus dem Boden oder aus Baumaterialien. Es hat sich aber gezeigt, dass die Werte über dem Richt- oder Grenzwert nicht mit diesem Prozess erklärt werden können.

Im Freien wird das Gas mit der Luft vermischt und stark verdünnt. Die Radonkonzentration in den Häusern ist wesentlich grösser als im Freien, wo der natürliche Radongehalt in Bodennähe etwa  $2-10 Bq/m^3$  beträgt.

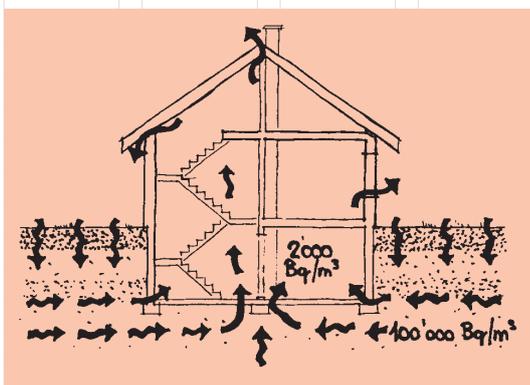


Abb. 1.4: Radonbelastete Bodenluft kann dem Gebäude aus einem weiten Umkreis zufließen.

**Aufgrund von Messungen und Hochrechnungen gilt für die Schweiz:**

■ in etwa 0,5% aller Häuser (d.h. in einigen tausend Bauten) liegt die Radongaskonzentration über dem Grenzwert von 1000 Bq/m<sup>3</sup>,  
■ in rund 1,5% liegt sie zwischen 400 und 1000 Bq/m<sup>3</sup>

### 1.3 Situation in der Schweiz

Aufgrund detaillierter Dokumentationen von zahlreichen Sanierungen in der Schweiz und im Ausland ist es jetzt möglich, für die schweizerische Baukultur geeignete Vorgehensweisen zu empfehlen und Sanierungsstrategien festzulegen.

Im Hinblick auf zehntausende von Messungen an Gebäuden können heute viele Gebiete mit natürlich erhöhtem Radongehalt im Boden ausgeschlossen werden. Nur in wenigen Häusern wurde bis heute eine massive Grenzwertüberschreitung gemessen. Vielerorts sind aber noch nicht genügend Messungen durchgeführt worden, um eine Gefährdung ausschliessen zu können.

Man geht davon aus, dass in der Schweiz in einigen tausend Gebäuden der Grenzwert überschritten wird.

Die mittlere Radongaskonzentration in bewohnten Gebäuden liegt in der Schweiz bei etwa 75 Bq/m<sup>3</sup>. Vereinzelt wurden Spitzenwerte von über 10000 Bq/m<sup>3</sup> gemessen. Basierend auf Messungen in über 30000 Gebäuden in der Schweiz, wird eine Radonkonzentration von <100 Bq/m<sup>3</sup> in bewohnten Räumen als normal angesehen.

### 1.4 Messen von Radon

Keine zwei Häuser sind gleich gebaut und keine zwei Häuser stehen auf dem gleichen Untergrund oder werden gleich genutzt. Die Untersuchungen in der Schweiz belegen, dass selbst eng beieinander stehende Gebäude gleicher Bauart völlig verschiedene Radonwerte aufweisen können. Die Ausbreitung von Radongas im Erdreich und dessen Eindringen in Gebäude gehen in sehr komplexer Weise vor sich. Deshalb ist es heute nicht möglich, die Radongaskonzentration in einem bestehenden Gebäude aufgrund der Bauweise oder der Zusammensetzung des Untergrunds abzuschätzen. Es gibt auch kein gültiges Vorgehen, Gebäude mit hohen Radongaskonzentrationen auf der Basis von allgemeinen Angaben aufzufinden. Nur eine Messung kann sichere Angaben liefern.

Radon kann man auf verschiedene Weise messen – mit Methoden für Spezialisten und ganz einfachen Radondosimetern, kleinen Bechern aus Kunststoff.

Das BAG empfiehlt eine 3-monatige Messung mit Dosimetern während der Heizperiode. Gemessen wird vorzugsweise ein Wohn- resp. Aufenthaltsraum im untersten Wohngeschoss und eventuell ein Kellerraum. Radondosimeter können bei anerkannten Messstellen bezogen werden.

Ein Dosimeter kostet etwa Fr. 60.–. Für das Ausmessen eines Einfamilienhauses werden mindestens zwei Dosimeter empfohlen.

### 1.5 Radon im Trinkwasser

Der Radongehalt in Trink- und Brauchwasser ist in der Schweiz von untergeordneter Bedeutung. Der natürliche Radongehalt im Wasser beträgt einige 1000 Bq/m<sup>3</sup>.

Der Anteil der Radonkonzentration in der Luft in bewohnten Räumen beträgt im Mittelland wenige Becquerel.

In Regionen mit Uranvererzungen können bei Gebäuden mit Einzelquellversorgung höhere Werte auftreten. Hier kann die Radonkonzentration infolge der Diffusion des Radons aus dem Wasser bis zu 30-Bq/m<sup>3</sup> in Wohnräumen steigen.

### 1.6 Radioaktive Mineraliensammlungen

Radioaktive Mineralien wie zum Beispiel Pechblende können zu erhöhten Radonkonzentrationen in Wohnräumen führen. Im Zweifelsfalle sind Informationen einzuholen und Messungen durchzuführen.

## 2. Radonsicheres Bauen

Gültigkeitsbereich	Grenzwert Bq/m <sup>3</sup>	Richtwert Bq/m <sup>3</sup>
Wohn- und Aufenthaltsräume	1000	400
Arbeitsräume	3000	

Tab. 2.1: Grenz- und Richtwerte nach eidg. Strahlenschutzverordnung (siehe auch Anhang C)

### 2.1 Neubauten und Sanierungen

Die Frage des Radonschutzes von Aufenthaltsräumen tritt in drei grundsätzlich unterschiedlichen Fällen auf:

- bei Neubauvorhaben,
- bei Sanierungs- und Renovationsprojekten und
- bei bestehenden Gebäuden, bei welchen an und für sich keine baulichen Eingriffe geplant sind. Sie werden zum Sanierungs- und Renovationsfall, wenn Radonbelastungen von mehr als 1000 Bq/m<sup>3</sup> gemessen wurden (oder wenn sich die Hauseigentümer auch bei tieferen Messwerten entschliessen, die Radonbelastung einzudämmen).

Die Radonprävention in Neubauten und die Sanierung von bestehenden Gebäuden erfolgen nach den gleichen Grundsätzen und auch mit den gleichen Hilfsmitteln. Während aber bei Neubauvorhaben die angemessenen Präventionsmassnahmen klar zugeordnet werden können und zuverlässig zum Erfolg führen, ist bei der Sanierung oft ein gewisses Abwägen von Alternativen unumgänglich und der Sanierungserfolg im ersten Anlauf ungewiss.

Die Massnahmen bei Neubauten sind also kalkulierbar. Sie sind auch in Radongebieten und bei anspruchsvollen Bauvorhaben verhältnismässig bescheiden. Bei Sanierungen hingegen kann vielleicht bereits das Aufsperrern bestehender Lüftungsöffnungen das Problem lösen, möglicherweise erbringt aber nicht einmal der Einbau eines ventilatorbetriebenen Abluftsystems genügende Resultate, weil eine Besonderheit in der Ausgangslage nicht erkennbar war.

Bei den in den folgenden Kapiteln dargestellten Radonschutzmassnahmen wird immer zwischen Neubau und Sanierung unterschieden. Der Akzent liegt allerdings bei der Sanierung. Erstens, weil sie heikler, ungewisser und oft aufwendiger ist als eine standardmässige Prävention bei Neubauten. Zweitens ist die Sanierung bestehender Gebäude vordringlich, weil deren Bewohner oft seit Jahren in den übermässig belasteten Räumen leben oder arbeiten.

### 2.2 Grenz- und Richtwerte

Die Schädlichkeit von Radon steigt mit zunehmender Konzentration. Es gibt keinen Schwellenwert, unter welchem Radon aus gesundheitlicher Sicht nützlich oder erwünscht wäre. Die Radonbelastung lässt sich aber doch etwas abstufen, wenn man sich an der natürlichen Belastung und an realistischen Schutzmöglichkeiten orientiert. Die eidg. Strahlenschutzverordnung vom 22. Juni 1994 (Anhang C) legt die Grenz- und Richtwerte fest. Architekten und andere Bauplaner sind damit verpflichtet, im Rahmen ihrer Planungsaufträge einen fachgerechten Radonschutz zu gewährleisten.

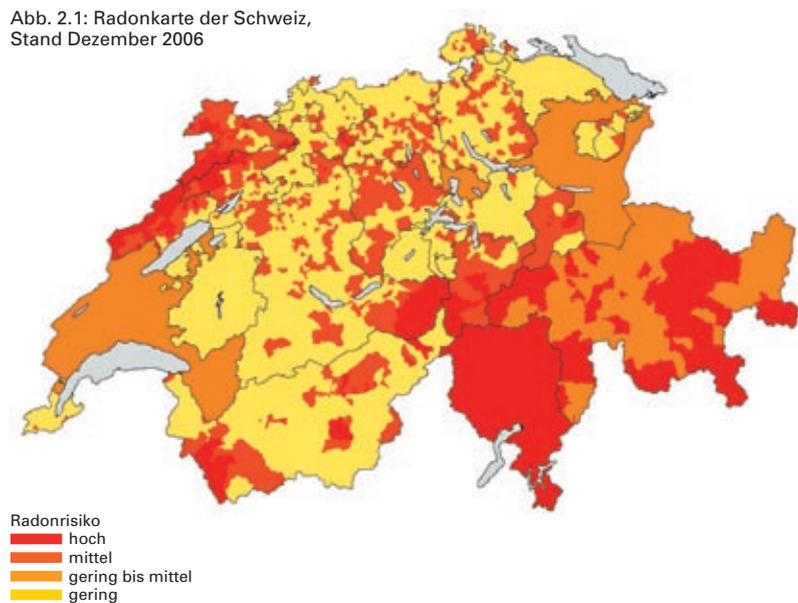
### 2.3 Radongebiete

Aufgrund geologischer Unterschiede tritt die Radonproblematik nicht überall mit gleicher Dringlichkeit auf. Heute sind fundierte Kenntnisse über die Zusammenhänge von geologischen Gegebenheiten und Radongas vorhanden. Weil die Zusammenhänge aber so vielfältig sind und die örtliche Oberflächengeologie nicht im Detail bekannt ist, lassen sich Radongebiete nicht aufgrund der Geologie festlegen. Radongebiete können damit örtlich sehr begrenzt sein. Selbst ein einzelnes Gebäude mit den erwähnten Messwerten ist ein kleines Radongebiet. Dies widerspiegelt die geologische Realität, die ebenfalls starke, lokal begrenzte Radonbelastungen kennt.

Radongebiete werden aufgrund von Messkampagnen durch die Kantone festgelegt. Diese Kadasterarbeiten wurden 2004 abgeschlossen; weitere gross angelegte Messkampagnen werden in den Radongebieten durchgeführt. Der gegenwärtige Stand bezüglich grossräumiger Radongebiete ist in Abb. 2.1 dargestellt. Die Karte wird jährlich nachgeführt. Für aktuelle und kleinräumige Angaben geben die kantonalen Radonkontaktstellen Auskunft.

In Gegenden, die messtechnisch als Nicht-Radongebiete bestimmt wurden, kann hinsichtlich der Radonproblematik entwarnt werden. In Radongebieten und in messtechnisch noch wenig untersuchten Gebieten kann die örtliche Geologie auf kleinstem Raum Strukturen aufweisen, die unvermittelt zu sehr hohen Radonbelastungen führen: so etwa auf Kiesschichten, Aufschüttungen oder wo die Baugrube mittels Felsprengungen bearbeitet wurde. Ein einzelnes Haus in einem Quartier gleichartiger Häuser kann hohe Radongaskonzentrationen aufweisen, während alle Nachbarhäuser unbelastet sind. Deshalb ist die fachgerechte Auseinandersetzung mit der Radonproblematik bei Gebäuden und Bauvorhaben auch in Gebieten angezeigt, in welchen keine hohe Radonbelastung erwartet wird. Dies trifft zum Beispiel für das schweizerische Mittelland zu.

Abb. 2.1: Radonkarte der Schweiz, Stand Dezember 2006



L+T Geostat 1990

Neubauten	Bestehende Gebäude
Grundregeln für radonsicheres Bauen notwendig, siehe Kap. 6.	Radonmessung notwendig.
Grundregeln für radonsicheres Bauen empfohlen, siehe Kap. 6	Radonmessung empfohlen.
Grundregeln für radonsicheres Bauen empfohlen, siehe Kap. 6	Radonmessung empfohlen.
Grundregeln für radonsicheres Bauen erwägen, siehe Kap. 6	Radonmessung erwägen.

Tab. 2.2: Verhalten bezüglich der Radonproblematik nach Radonrisiko.

## 2.4 Strategien zum Schutz vor Radon

Sowohl für Neubauten wie für die Sanierung bestehender Gebäude empfiehlt es sich, die nachstehende Strategie zu verfolgen. Die fünf Schritte umfassen von Fall zu Fall andere Aspekte, werfen spezifische Fragen auf und führen zu situationsbezogenen Lösungen. Die Reihenfolge jedoch bleibt sich gleich.

### Ausgangslage klären

Jedes Haus befindet sich in einem spezifischen Umfeld und jedes Bauprojekt hat seine besondere Ausgangslage (Radongebiet, Sanierungsbedarf, Grundwasser usw.). Die gründliche Analyse ist unumgänglich für eine erfolgreiche Sanierung.

### Konzeptionelle Massnahmen

In den frühen Planungsphasen fallen viele Entscheidungen, die das Radonproblem massgeblich entschärfen oder sogar lösen können (zum Beispiel keine Wohnräume im UG, Leitungsführung usw.)

### Abdichten

Durch dichte Baukonstruktionen bei Neubauten und durch Abdichtungsmassnahmen bei Sanierungen gegen das Erdreich hin oder gegen radonbelastete Räume soll das Eindringen von Radon verhindert werden.

### Weglüften von Radon

Mit geeigneten Öffnungen oder Leitungssystemen kann Radon auf der Gebäudeunterseite abgeführt werden, durch Überdruck im Gebäude nach aussen verdrängt oder wenigstens gezielt aus dem Untergeschoss weggelüftet werden.

### Erfolgskontrolle

Ohne messtechnische Überprüfung herrscht nie Gewissheit, ob die getroffenen Massnahmen auch tatsächlich wirksam sind.

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

## 3. Ausgangslage erfassen

### 3.1 Neubauten

Eine ganze Reihe von Rahmenbedingungen und Vorgaben für ein Bauvorhaben beeinflussen auch die Schutzmassnahmen gegenüber Radon. Prävention ist in jedem Fall billiger als nachträgliche Sanierung. Die folgenden Fragen müssen im Vorfeld der eigentlichen Projektierung abgeklärt werden, um die Radonfrage wirksam und kostenoptimal zu lösen:

■ Befindet sich das Grundstück in einem Radongebiet?

Auskunft erteilt vorerst die örtliche Bauverwaltung. Die verfügbaren Angaben hängen vom Stand der Untersuchungen ab, bei Bedarf wird an die kantonale Radonkontaktstelle verwiesen. Die Klassifizierung des Grundstückes beeinflusst das Ausmass der präventiven Massnahmen erheblich.

■ Gibt es Radonprobleme in der Nachbarschaft?

Die Situation von Nachbarhäusern kann zwar nicht unesehen übernommen werden. Sie gibt aber doch gewisse Hinweise.

■ Wird die Baugrube aus dem Fels gesprengt oder liegt sie in einem Aufschüttungs-, Kies- oder Sandgebiet?

Zerklüftete oder sonst gut durchlässige Baugründe bergen ein erhöhtes Radonrisiko, auch ausserhalb von Radongebieten.

■ Kommt die Foundation in dauernd feuchten oder lehmigen Boden zu liegen?

Eine lehmige Baugrube bietet gute Voraussetzungen für ein geringes Radonrisiko.

### 3.2 Bestehende Gebäude

Die Sanierung bestehender Gebäude mit übermässiger Radonbelastung ist meist wesentlich schwieriger, ungewisser und aufwendiger als eine korrekt durchgeführte Radonprävention bei Neubauten. Bei bestehenden Gebäuden prägen die Ausgangslage sehr vielfältige, teilweise sehr spezielle und oft sehr hinderliche Tatbestände, welche die Sanierungsmöglichkeiten weitgehend bestimmen:

■ Befindet sich das Gebäude in einem Radongebiet?

Auskunft erteilt die örtliche Bauverwaltung bzw. die kantonale Radonkontaktstelle. Radonmessungen in gefährdeten Räumen empfehlen sich immer, ausser in nachgewiesenen Nicht-Radongebieten.

■ Enthält das Gebäude radongefährdete Räume?

In Wohn- und Aufenthaltsräumen im Erd- oder Untergeschoss kann eine erhöhte Radonbelastung nie ausgeschlossen werden. In höher gelegenen Räumen ist eine erhöhte Radonbelastung selten. Unter besonderen Voraussetzungen, wie etwa bei offenen Treppenhäusern ins Untergeschoss oder sehr durchlässigen Deckenkonstruktionen (zum Beispiel Holzbalken, Tonhohlkörper, Leichtbeton-Fertigplatten usw.), kann wegen des thermischen Auftriebes radonhaltige Kellerluft auch in Obergeschosswohnungen transportiert werden.

--	--	--	--

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

Oft werden Radonmessungen gemäss «Fernanleitung» durch die Bewohner selbst durchgeführt (Vorbereiten, Plazieren und Einpacken der Dosimeter). Dabei kann auch etwas schief gehen. Vor aufwendigen Sanierungsmassnahmen, die sich auf Messungen abstützen, soll unbedingt ein zweites Mal gemessen werden. Spätestens dann muss auch an mehreren Orten im Untergeschoss gemessen werden.

**Wie ist die bauliche Ausgangslage?**

Je besser die Kenntnisse über das Gebäude, desto präziser die Analyse des Radonproblems, umso zielgerichteter die Radonsanierung. Möglichst genaue Informationen über Konstruktion, Materialien, Untergrund, Leitungen usw. sollten erfasst bzw. überprüft werden und in einer fachgerechten Baudokumentation festgehalten werden. Siehe dazu Checkliste Anhang B.

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

Vor allem umfangreichere Radonsanierungen sollten in einen übergeordneten Sanierungs- und Unterhaltsfahrplan eingebettet werden. Umgekehrt sollten natürlich auch Umbau- oder Sanierungsvorhaben Anlass bieten, die Radonsituation abzuklären.

**Besteht eine Sanierungspflicht und wer ist betroffen?**

Wenn der Grenzwert von 1000 Bq/m<sup>3</sup> überschritten wird, ist gemäss eidg. Strahlenschutzverordnung eine Radonsanierung obligatorisch. Mietende haben einen Rechtsanspruch auf Sanierung.

Die Kenntnis der radonspezifischen Ausgangslage bildet die Grundlage für die Planung von angemessenen Radonenschutzmassnahmen. Das heisst, dass Dichtungs- und Lüftungsmassnahmen vorgesehen werden, die machbar, kostengünstig und wirksam sind. Oft ist vor Bau- oder Sanierungsbeginn noch einiges unbekannt. Ob der Baugrund sehr radondurchlässig oder relativ dicht ist, wird sich erst nach Baubeginn zeigen und evtl. die Wahl der Abdichtungsstrategie beeinflussen. Wer aber die radonrelevante Ausgangslage gründlich erfasst hat, ist in der Lage, eine flexible Strategie zu entwickeln, welche für Eventualitäten gerüstet ist.

## 4. Konzeptioneller Radonschutz

Viele planerische Entscheidungen erhöhen oder vermindern die Gefährdung durch Radon, ohne dass dabei überhaupt an die Radonproblematik gedacht wird. Umgekehrt wird mit systematischem Nachdenken darüber, wie man «dem Radon aus dem Weg gehen kann», bereits sehr wirksamer Radonschutz betrieben. Im Laufe der Planung und Projektierung von Neubau- und Sanierungsvorhaben werden unzählige Entscheide gefällt. Sehr viele von ihnen beeinflussen die Radonproblematik mehr oder weniger direkt.

Anschliessend werden wichtige und direkte Zusammenhänge dargestellt. Erwünscht ist bei möglichst vielen Projektierungsentscheiden die Frage: Kann die aktuelle Entscheidung die Radonproblematik günstig beeinflussen?

### 4.1 Raumprogramm und Nutzungsanordnung

Übermässige Radonbelastung ist in der Regel ein Problem von Aufenthaltsräumen in Erdreichnähe, also in Untergeschossen, an Hanglagen. Betroffen sind aber auch Erdgeschosswohnungen über Keller- oder Hohlräumen. Jede Strategie, die Aufenthaltsräume vom Erdreich «abzukoppeln», entschärft deshalb die Radonfrage. Beispiele:

Verzicht auf den Ausbau von Kellerräumen zu Aufenthaltsräumen.

Bei Neubauten ist eine Prävention angemessen, die garantiert, dass auch in unbewohnten Kellerräumen keine übermässige Radonbelastung auftritt. Ob die Kellerräume ausgebaut werden oder nicht, spielt daher eine geringe Rolle. Für den Fall eines späteren Ausbaus ist so vorgesorgt. Ganz anders ist die Situation bei Renovationen und Umbauvorhaben, wo Aufenthaltsräume im Untergeschoss vorhanden sind oder eingebaut werden sollen.

Keine offenen Vertikalerschliessungen von Kellerräumen.

Grundrisse mit offenem Treppenhaus bis ins Untergeschoss machen die ganze Wohnung für den Radontransport zugänglich. Kellertreppen sollten an mindestens einem Ort mit einer dichten Türe abschliessbar sein. Noch besser ist ein separater Kellerzugang von aussen.

Belegungsintensität und Radonrisiko aufeinander abstimmen.

Oft sieht das Raumprogramm einzelne Nutzungen vor mit deutlich geringeren Aufenthaltszeiten als bei normalen Wohnräumen. Räume mit Radonrisiko oder mit einer mittleren bis leicht erhöhten Radonbelastung sind deshalb eher als Gästezimmer, Büro, Bastelraum usw. zu definieren.

### 4.2 Wärmeschutz und Luftdichtigkeit

Zu den zentralen Aufgaben eines Gebäudes gehört es, Schutz vor Kälte und Zugluft in den Aufenthaltsräumen zu bieten. Ein fachgerecht gebautes oder saniertes Gebäude sollte über eine Wärmedämmschicht einerseits und eine Luftdichtigkeitsschicht andererseits verfügen, welche den Nutzraum als geschlossene Körper umschliessen. Meist fallen Luftdichtigkeits- und Wärmedämmebene zusammen und werden von ein und demselben Bauteil erbracht, etwa der Aussenwand oder den Fenstern. Oft sind gerade im Kellerbereich die Verhältnisse nicht mehr so eindeutig. Die Dämmschicht verläuft evtl. unter der Fundamentplatte, obwohl der Keller unbeheizt ist, oder die Dämmung ist an der Kellerdecke zu finden, aber Treppenuntersicht und -seitenwände sind ungedämmt. Eine eigentliche Luftdichtigkeitsschicht ist im Untergeschoss ohnehin selten zu finden.

Eine Radonsanierung bietet Gelegenheit, eine konzeptionell durchgängige Dämm- und Dichtungsschicht zwischen beheizten und unbeheizten Räumen zu realisieren. Radon wird mit der Luft transportiert. Wie immer die Massnahmen gegen übermässige Radonkonzentrationen ausfallen, oft lassen sich Luftdichtigkeit und Radonschutz mit derselben Massnahme erreichen. Beide sollten aber immer die Wirksamkeit des Wärmeschutzes unangetastet lassen.

#### **4.3 Leitungsführungen**

Jede Durchdringung der Bauteile gegen das Erdreich hin stellt eine potenzielle Leckstelle für Radon dar, egal ob die Leitungen starr eingegossen oder dauerelastisch abgekittet werden.

Wasser- und Gasleitungen, Ölleitungen von erdverlegten Tanks usw. sollten wenn möglich durch die Wände und nicht durch den Boden zugeführt werden. Bei seitlichen Leitungsdurchführungen besteht oft die Möglichkeit, gezielt für eine Belüftung von oben zu sorgen (Kieshinterfüllung, Sickerplatten). Dasselbe gilt grundsätzlich auch für kleinere Leitungsdurchführungen wie Elektro- oder Antennenkabel. Oft verlaufen gerade diese Kabeldurchführungen in Leerrohren, die nicht versiegelt wurden. Eine Durchführung durch die Wand statt durch den Boden ist selbstverständlich kein Ersatz für eine gute Abdichtung.

Die Kanalisation sollte den Kellerboden an möglichst wenigen Stellen durchstossen. Dieses Anliegen wirkt sich aus bis zur Organisation der Nasszellen in den Obergeschossen und den Möglichkeiten, die Fallstränge oberhalb des Kellerbodens zusammenzuführen ohne Abflussprobleme zu schaffen.

Die Auffüllungen der Aushubkanäle für die Kanalisationsleitungen mit Erdreich erschliessen ein grosses Bodenvolumen und stellen oft ein eigentliches 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 der Fundamentsohle, sondern deutlich neben dem Gebäude angeordnet werden. Rohrzuführungen ins Gebäude können dann relativ einfach abgedichtet und aufsteigendes Radon kann weggelüftet werden.

#### **4.4 Natürliche Unterlüftung**

Auch die im Boden enthaltene und dort mit Radon angereicherte Luft war ursprünglich Aussenluft. Sie wird ständig erneuert und ausgetauscht. Es lohnt sich, diesen natürlichen Austausch ausserhalb der erdberührenden Wände und Böden zu begünstigen. Wenn etwa die (relativ durchlässige) Planieschicht unter der Fundamentplatte gezielt mit der ebenfalls durchlässigen Seitenhinterfüllung verbunden wird, erneuert sich die Bodenluft unter dem Gebäude rascher und die Radonkonzentration wird verringert.

## 5. Radonschutz durch Abdichtungsmassnahmen

Radon dringt vom Erdreich her in das Gebäude. Bevor im Einzelnen geplant wird, welche Bauteile mit welchen Massnahmen und Materialien gegen das Eindringen von Radon gewappnet werden, sollte man sich ein klares Bild davon machen, wo die Dichtungsschicht verläuft. Wie beim Wärmeschutz muss auch der Radonschutz ein geschlossenes «Gefäss» gegen das Erdreich bilden. Es kann sinnvoll sein, nebst einem primären Dichtungsperimeter (beispielsweise entlang den erdreichberührenden Bauteilen), einen sekundären Dichtungsperimeter zu definieren, etwa entlang den abgrenzenden Bauteilen 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 (offener Kellerabgang, Naturbodenpartien im Untergeschoss usw.).



Abb 5.1: Eindringen von radonhaltiger Bodenluft durch Leckstellen (links) und Diffusion von Radon durch Bauteile hindurch (rechts).

### 5.1 Leakage oder Diffusion?

Radon kann auf zwei Arten in das Gebäude eindringen:

- als Bestandteil von Bodenluft, die durch Leckstellen oder Öffnungen in den erdberührenden Bauteilen eindringen kann
- indem Radongasatome durch Boden und Wände diffundieren.

Für den praktischen Radonschutz in bestehenden Gebäuden und die Radonprävention in Neubauten ist vor allem der Leakagevorgang von Bedeutung. Bei der Radongasdiffusion handelt es sich um einen grundsätzlich anderen Vorgang als bei der Leakage. Die Bedeutung der Radongasdiffusion wird kurz geschildert, um aufzuzeigen, wo sie allenfalls doch beachtet werden muss.

Die Radongasdiffusion ist vergleichbar mit der im Bauwesen bestens bekannten Wasserdampfdiffusion. Bei der Radongasdiffusion geht es allerdings lediglich um die eindringende Gasmenge und nicht um ein bauphysikalisches Schadenpotenzial wie bei der Wasserdampfkondensation, die als Folge übermässiger Wasserdampfdiffusion auftritt.

Gasdicht sind nur wenige Materialien, zum Beispiel Metalle und Glas. Die Gasdurchlässigkeit ist abhängig von der Materialdichtigkeit, aber auch von den Gaseigenschaften, insbesondere natürlich der Teilchengrösse. Die Wasserdampfdurchlässigkeit von Baumaterialien, Folien und Dichtungsbahnen ist daher ein Anhaltspunkt, erlaubt aber keine abschliessende Beurteilung hinsichtlich Radondurchlässigkeit. Beim Radongastransport kommt noch eine Besonderheit dazu. Wenn die durchschnittliche Diffusionszeit von Radonatomen durch einen Bauteil einige Tage überschreitet, findet der radioaktive Zerfall mehrheitlich innerhalb des Bauteils statt. Die Zerfallsprodukte sind nicht mehr gasförmig und bleiben im Bauteil gebunden und somit unschädlich.

Der Begriff «radondicht» ist nicht verbindlich festgelegt. G. Keller, Universität Homburg, schlägt vor, ein Material als radondicht zu bezeichnen, wenn die Diffusionslänge kleiner als ein Drittel der Materialdicke ist. Es sind Folien und Abdichtungsbahnen auf unterschiedlicher Materialbasis im Handel erhältlich, die nach dieser Definition radondicht sind (siehe Tabelle 5.1). Die Radondichtigkeit ist natürlich nicht mehr gegeben, wenn eine Dichtungsbahn oder Beschichtung Risse aufweist oder nicht dicht angeschlossen ist. In dieser Hinsicht sind besonders bei relativ spröden Beschichtungen grosse Vorbehalte zu machen.

Material	Dicke (mm)	Radondicht?
<b>Dichtungsbahnen</b>		
PEHD	1,5	ja
PVC legiert	1	ja
Polymerbitumen	3,8	ja
<b>Anstriche, Beschichtungen</b>		
Kunststofffarbe	0,2	nein
Epoxidharz	3	ja
<b>Baumaterialien</b>		
Stahlbeton	100	hemmend
Kalksandstein	150	nein
Baugips	100	nein
Backstein	150	nein

Tab. 5.1: Radondiffusivität von Baumaterialien (in unbeschädigtem, rissfreiem Zustand).

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

Mittels Radongasdiffusion werden keine grossen Mengen an Radon-gas durch Bauteile transportiert. Auch bei hohen Radonkonzentrationen in der Bodenluft ( $> 20000 \text{ Bq/m}^3$ ) und guter Porosität des Bodens (Kies) sowie relativ radongasdurchlässigen Bauteilen (Bruchsteinmauerwerk und Zementunterlagsboden) ist nur mit einer geringen Radonbelastung durch Radondiffusion zu rechnen (in der Grössenordnung von maximal einigen Dutzend  $\text{Bq/m}^3$ ).

**Fazit: Das Augenmerk ist auf die Luftdichtigkeit zu richten.**

Nur bei sehr hoher Radonkonzentration und Radonverfügbarkeit im Erdreich sollten die gewählten Dichtungselemente (Bauteile, Dichtungsbahnen) die Radondiffusion effektiv unterbinden. Tabelle 5.1 gibt Anhaltspunkte über den Radon-Diffusionswiderstand verschiedener Materialien.

**5.2 Radonleckstellen**

Ob radonhaltige Bodenluft ins Haus eindringen kann, hängt davon ab, wie riss- und fugenfrei die erdreichberührenden Bauteile sind. Wenn es nicht gelingt, diese Bauteile genügend abzudichten, kann es notwendig werden, die Aufenthaltsräume gegen radonbelastete Keller-räume abzudichten. Undichtigkeiten kommen in unterschiedlichster Art vor:

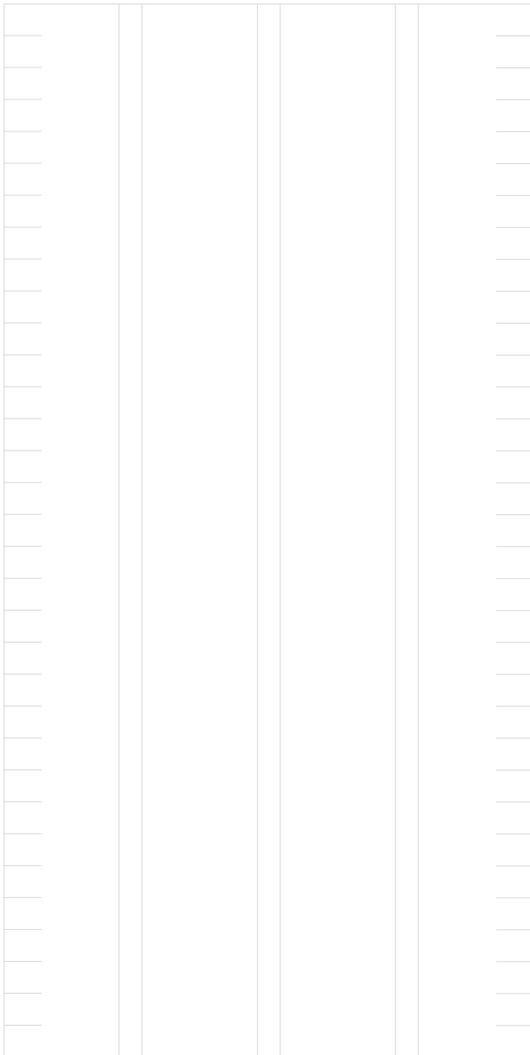
- Risse und Fugen in Böden und Wänden
- Durchführungen von Kabeln (v.a. mit Leerrohren) und Leitungen
- Kanalisationsrohre
- Bodenschächte und Kontrollöffnungen
- Licht- und andere Schächte an Soussol-Wänden
- Kamine
- grössere Schwachstellen wie Naturböden in Kellern aus Erde, Kies oder Bruchstein
- durchlässige Konstruktionen (Holzbalkendecken, Tonhohlkörperdecken, Bruchsteinmauerwerk u.Ä.)

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, begegnen zu können. Folgende Massnahmen sind denkbar:

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

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass Dichtungsmassnahmen mit einer erheblichen Unsicherheit belastet sind, vor allem bei Sanierungen. Es ist immer damit zu rechnen, dass der Erfolg nicht im geplanten Ausmass eintritt. Abdichtungsmassnahmen müssen deshalb äusserst vorsichtig konzipiert und mit ganz besonderer Sorgfalt ausgeführt werden. Oft führen sie erst in Kombination mit Lüftungstechnischen Massnahmen zum Erfolg.

Dichtungsmassnahmen allein genügen nur bis zu Konzentrationen von  $1000 \text{ Bq/m}^3$ .



### 5.3 Konstruktion und Bautechnik von Abdichtungen

Die in den folgenden Abschnitten gezeigten Konstruktionen sollen einen Überblick über die baukonstruktiven und bautechnischen Ansätze geben. Das Marktangebot in diesem Bereich ist sehr breit. Im Einzelfall 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, sollte besonders auf Qualität und Dauerhaftigkeit geachtet werden. Ausen liegende Dichtungsbahnen beispielsweise sollten ihren Dienst über viele Jahrzehnte leisten. Sie dürfen weder verrotten noch weggequetscht werden noch verspröden.

#### 5.3.1 Absperren des Erdreichs mit Dichtungsbahnen (bei Neubauten)

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

Bauteile, die wasserdicht ausgeführt werden, sind gleichzeitig auch radondicht. In Baugebieten mit hoch liegendem Grund- oder Hangwasserspiegel ist deshalb ein guter Radonschutz vorhanden. In Radongebieten mit hoher Radonverfügbarkeit (durchlässige Bodenstruktur) kann auf die gut eingeführte Abdichtungstechnologie von grundwasserdichtem Bauen zurückgegriffen werden. Die Lösungen umfassen nicht nur flächige Abdichtungen, sondern auch Spezialbauteile und -konstruktionen für dichte Rohrdurchführungen, Dilatationsfugen usw.

Der Einsatz von grossflächig und gasdicht verlegten Dichtungsbahnen aussenseitig eines Gebäudes ist angemessen,

- wenn das Bauvorhaben sich in einem Radongebiet befindet, bzw.
- wenn es nicht in durchgängig armerter Betonbauweise erstellt wird.

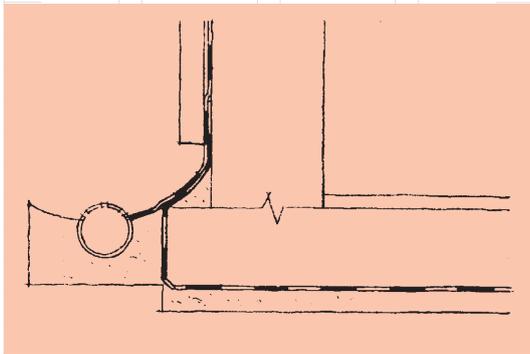


Abb. 5.2: Aussenseitige Abdichtung mit Dichtungsbahnen unter der Fundamentplatte (Neubauten).

Ausserhalb von Radongebieten bieten durchgängig armierte Betonkonstruktionen als Untergeschoss genügend Sicherheit vor Radon aus dem Erdreich.

Abdichtungen der Baugrube können mittels kunststoffmodifizierter Polymerbitumen-Dichtungsbahnen oder mittels Kunststoff-Dichtungsbahnen erfolgen. Zur Planung und Ausführung von Abdichtungen mit Dichtungsbahnen ist der Beizug von Experten bzw. von Beratern der verschiedenen Systemhalter 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.

#### 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 (Feinplanie, Sand, Magerbetonsohle mit Trennlagen usw.) erforderlich ist und welche Belastungsdifferenzen zulässig sind. Fundamentplatten sind Streifen- oder Einzelfundamente vorzuziehen. In Radongebieten sollten generell nur Plattenfundamente eingesetzt werden. Bei Einzel- oder Streifenfundamenten ist darauf zu achten, dass die Dichtungsbahnen nicht beschädigt werden, indem scharfkantige Abwicklungen vermieden werden.

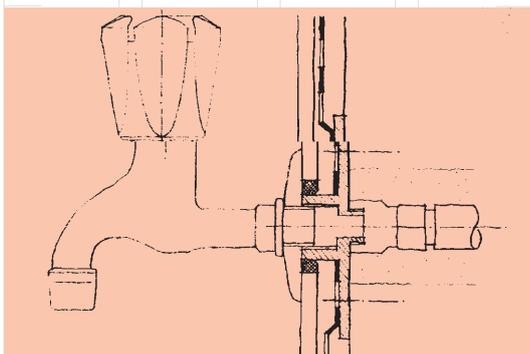


Abb. 5.3: Fachgerechte Abdichtung mit Dichtungsbahnen bei Durchstossungen, hier eine Wasserleitung, zum Beispiel für Waschbecken in Waschküche.

### 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 auch hier eine Folie verlegt und seitlich sorgfältig auf die Deckschicht der Unterterrain-Aussendämmung der Aussenwand geklebt werden.

### 5.3.2 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 usw. Bei Neubauten sollten deshalb wenn möglich Konstruktionen mit raumseitiger Abdichtung vermieden werden. Nebst Dichtungsbahnen stehen hier auch flüssige oder spachtelbare Dichtungssysteme zur Auswahl.

Abdichtungsmassnahmen allein nur unterhalb einer Konzentration von  $1000 \text{ Bq/m}^3$  anwenden!

Auch bei Innenabdichtungen gilt: Geeignet ist, was auch für Feuchteschutz taugt. Spröde Dichtungsschlämme 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 wärmegeprägten Bauteilen gegen das Erdreich kann die Dampfsperre auch den Radonschutz übernehmen.

### 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 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 usw.). 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 wärmegeprägten Bauteilen gegen Erdreich ist warmseitig der Dämmschicht eine Dampfsperre oder eine in ausreichendem Masse dampfbremsende Bauteilschicht 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, auch wenn Radon- und Dampfleitfähigkeit nicht identisch sind. Für die Radondichtigkeit von noch grösserer Bedeutung als für die Dampfdiffusionsrisiken ist die leckagedichte Montage der Dampfsperre.

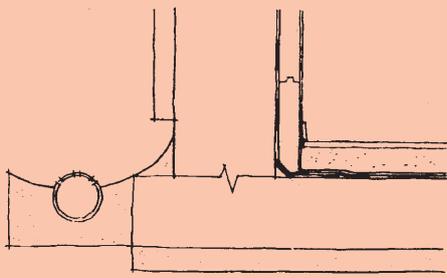


Abb. 5.4: Raumseitige Abdichtung mit Dichtungsbahnen.

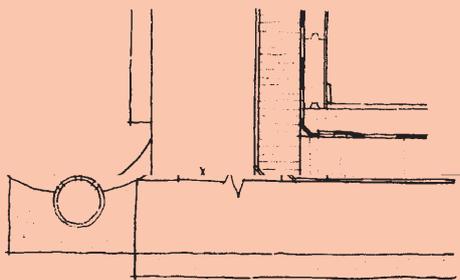


Abb. 5.5: Nachträgliche Wärmedämmung von Kellerboden und -wand mit Dampf- und Radonsperre.

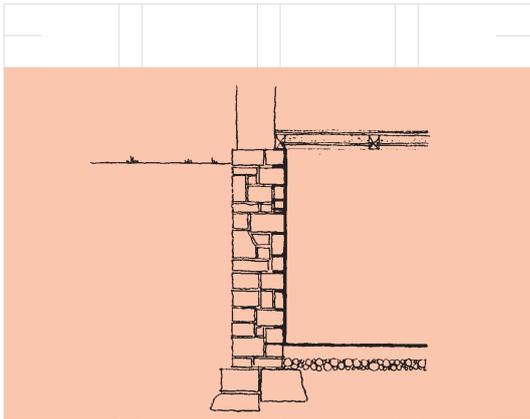


Abb. 5.6: Dichtungsschlämme oder Anstrichdichtung.

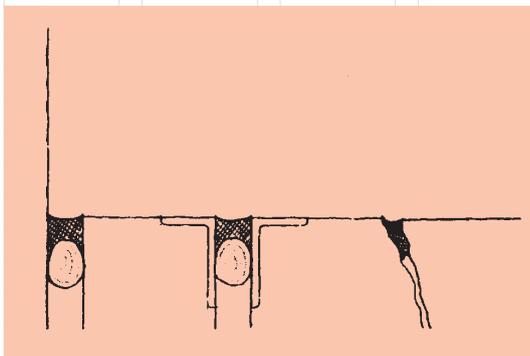


Abb. 5.7: Richtige Ausbildung von Fugenkörpern bei dauerelastischen Kittmassen.

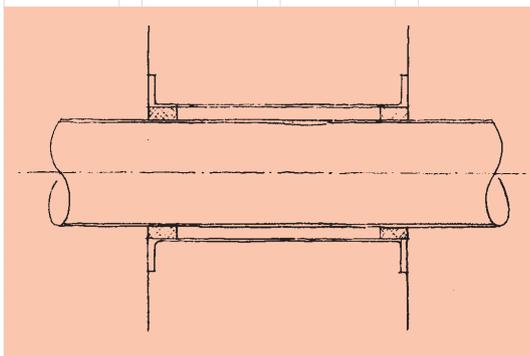


Abb. 5.8: Leerrohr für abgedichtete Leitungsdurchführung durch Wände.

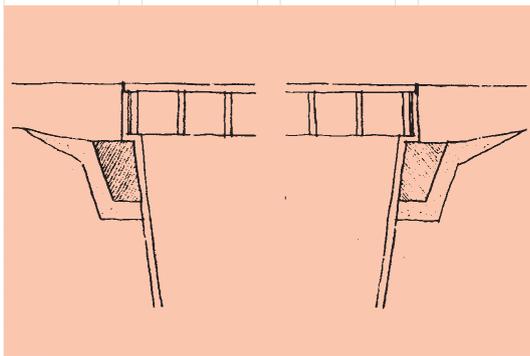


Abb. 5.9: Abdichten eines Bodenablaufs.

### Dichtungsschlämme, Anstriche u.Ä.

Gegen eindringende Feuchtigkeit werden oft auch flüssige oder plastische Dichtungsanstriche bzw. -schlämme eingesetzt. Sie wirken so lange auch als Radonbremse, als sie rissfrei und unverletzt bleiben. Die entsprechende Kontrolle ist schwierig. Undichtigkeiten werden nicht einfach feucht und können nachgedichtet werden, sondern bleiben unsichtbar und erhöhen einfach die Radonbelastung im Raum. Ausserdem müssen natürlich die entsprechenden Voraussetzungen gegeben sein, zum Beispiel eine stabile Grundlage, also keine Bewegungsrisse und -fugen. Dasselbe gilt für die Applikation von verhältnismässig dichten Innenverkleidungen, wie beispielsweise Fliesen, Dichtungstapeten (Raufaser auf Alufolien) oder gasbremsende Anstrichsysteme (zum Beispiel Chlorkautschuklack). Als unterstützende Massnahme sind diese Mittel aber durchaus nützlich.

Mit Injektionen, wie sie bei Feuchtigkeitsproblemen von altem Mauerwerk angewandt werden, konnten bisher keine Erfolge in der Radonsanierung erzielt werden.

### Deckenkonstruktionen gegen Aufenthaltsräume

Wenn die Radonbelastung in den Kellerräumen nur in unbefriedigender Masse abgesenkt werden kann, müssen die Trennbauteile, insbesondere die Kellerdecke unter den Aufenthaltsräumen, dicht ausgeführt werden. Stahlbetondecken können in der Fläche als genügend radondicht betrachtet werden. Bei alten Massivdecken kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein Sickerpfad über die Auflage im Mauerwerk vorhanden sein kann, der lokal gedichtet werden muss. Bei Leichtbaudecken (Balkendecken) muss genau untersucht werden, welche Schicht die Luft- bzw. Radondichtigkeit übernimmt und ob sie an allen Anschluss- und Nahtstellen dicht ist.

### 5.3.3 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 sind oder von besonderer Relevanz für die Radonproblematik sind. Es gibt eine unüberblickbare Fülle unterschiedlicher Dichtungsmaterialien, deren Materialqualität und Lebensdauer ebenso beachtet werden muss wie die fachgerechte Applikation.

### Dauerelastische Kittmassen

Dauerelastische Kittmassen sind geeignet, Ritzen, Fugen (beispielsweise Anschlüsse von Rohrdurchführungen) und kleine Löcher abzudichten, selbst wenn sie in geringem Masse Bewegungen aufweisen (zum Beispiel Temperaturdehnungen). Je nach Situation werden verschiedene dauerelastische Materialien eingesetzt (Silikon, Acryl, Polysulfid usw.). Beim Einbau sind die Fugenflanken zu reinigen und evtl. 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 usw.). Wenn die Anwendung entsprechend fachgerecht und sorgfältig gemacht wird, können punktuelle Undichtheiten auch von geübten Heimwerkern/innen selber behoben werden.

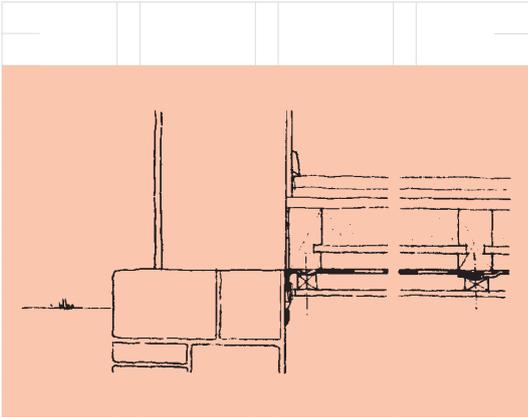


Abb. 5.10: Anschluss Deckenabdichtung.

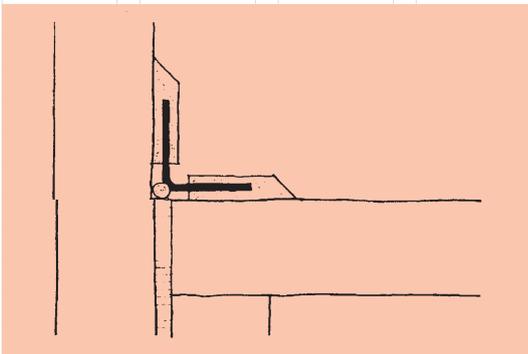


Abb. 5.11: Überbrücken von Dilatationsfugen.

### Elastische Fugen- und Klebbänder

Besonders für die (boden-)luftdichte Verbindung von Bauteilen, etwa von Dichtungsbahnen an Decken oder von Bodenbelägen zu Wandverkleidungsplatten usw., aber auch für die Überbrückung von Dilatationsfugen sind elastische Fugen- und Klebbänder geeignet.

Einseitig selbstklebende Bänder sind in der Regel nicht für eine dauerhafte luftdichte Verbindung geeignet. Doppelseitige Klebbänder, zum Beispiel Butylklebstreifen, sollten wenn möglich auf der Klebstelle mechanisch verpresst werden. So kann etwa die Verklebung von zwei Polyethylen-Dichtungsbahnen mit Butylklebband unter eine Lattung verlegt werden, welche die Verklebung dauerhaft anpresst. Klebbänder 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. Natürlich darf man nicht vergessen, das Leerrohr mit den Kabeln bzw. Leitungen mit dauerelastischem Dichtungsmaterial zu verpressen.

### 5.3.4 Dichten von Türen, Klappen, Schachtdeckel u.Ä.

Wenn die erhöhte Radonbelastung im Keller nicht ausreichend abgesenkt werden kann, etwa wenn nicht auf den Naturbodenkeller verzichtet werden soll oder wenn sich die Dichtungsmassnahmen als nicht optimal wirksam erwiesen haben, müssen die Trennbauteile zu den Aufenthaltsräumen abgedichtet werden. Dazu gehören in erster Linie die Verbindungstüren. Das können Kellertüren sein, aber auch Wohnungstüren gegen Treppenhäuser, die offen ins Untergeschoss führen. Weitere Öffnungen stellen Schachtdeckel dar, die zur periodischen Leitungskontrolle in den Kellerboden eingelassen sind.

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

Türen mit erhöhten Schalldämmwerten weisen auch eine gute Luft- und damit Radondichtigkeit 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. Eine erhöhte Gasdichtigkeit ist aus Sicht des Brandschutzes auch nicht vordringlich.

Sollen Türen, Klappen, Schachtdeckel und ähnliche Elemente radondicht ausgebildet sein, ist Folgendes zu beachten:

#### Elastische Dichtungsprofile

Elastische Dichtungsprofile (Lippen- oder Hohlkammerprofile) sind der einzige richtige Ansatz, um einen offenbaren Bauteil, bzw. dessen Fälze, in genügendem Masse abzudichten. Allerdings müssen Dichtungsprofil und Falz aufeinander abgestimmt sein. Ausserdem muss die Dichtung lückenlos umlaufend und 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  $1000 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ) und die betreffende Türe häufig benutzt wird (Hauptabgangstüre 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 eingenetet werden und dass die Türe stabil genug ist, das heisst keine übermässigen jahreszeitlichen Verformungen auftreten, welche die Dichtungswirkung unterlaufen.

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 (Kellertüre) sollte daher ein automatischer Türschliesser eingebaut werden.

Einfache V-Dichtungen zum nachträglichen Einkleben in Fenster- und Türfälze können die Lüftungsraten erheblich absenken. Als Dichtungsmassnahme gegen Radon sind sie aber unbefriedigend.

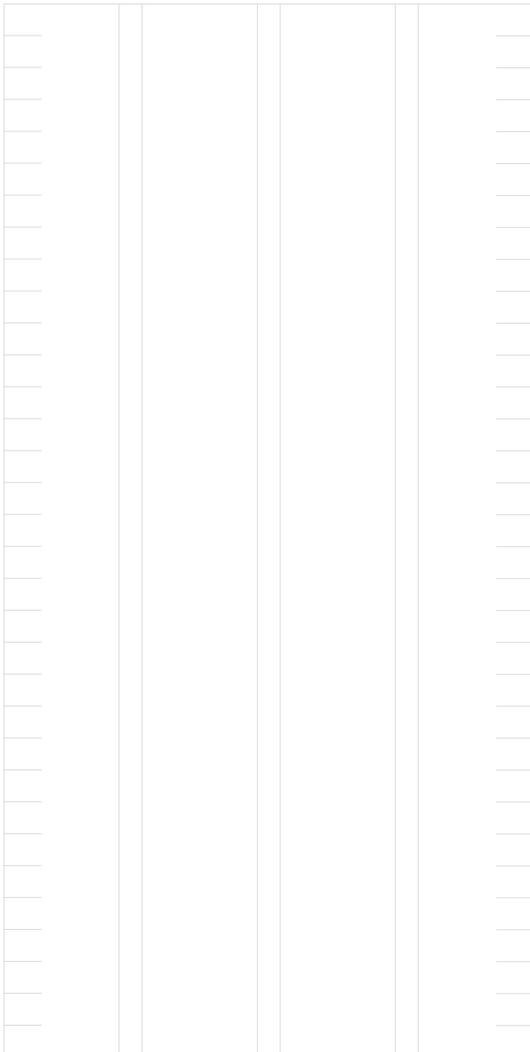


Abb. 5.12: Elastische Dichtungsprofile, eingenetet oder in aufgesetzten Metallprofilen.

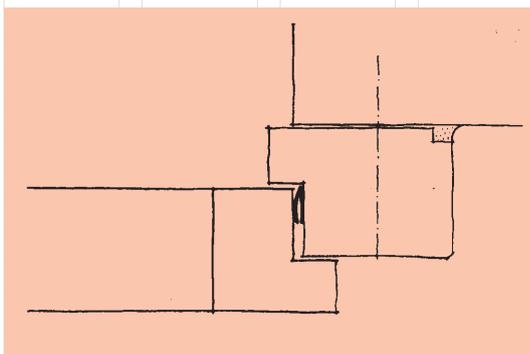


Abb. 5.13: V-Dichtungen für die nachträgliche Abdichtung von Fenstern.

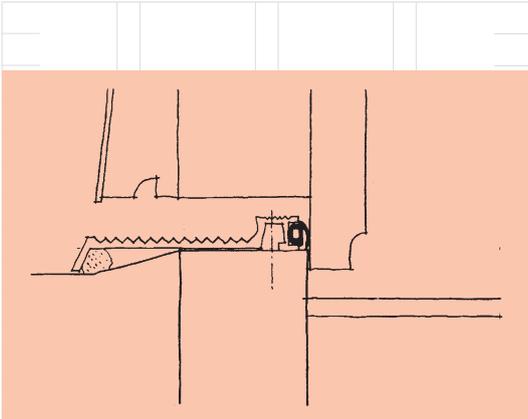


Abb. 5.14: Türschwellen mit Dichtungsprofilen, auch für den nachträglichen Einbau.

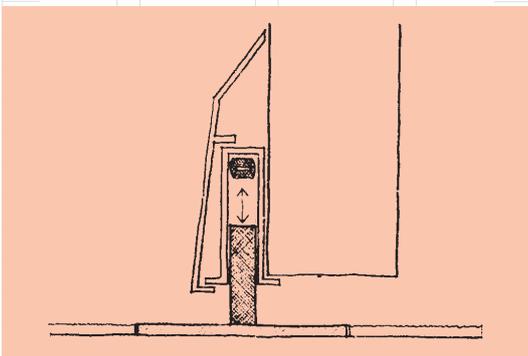


Abb. 5.15: Bewegliche Anpress-Schwelldichtung.

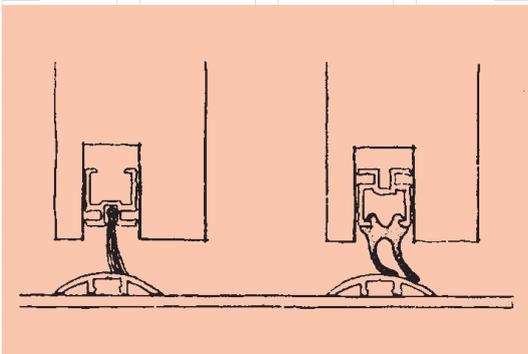


Abb. 5.16: Schleif- und Bürstendichtungen sind ungenügend.

### 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. Allerdings muss die Stelle, an welcher 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 Schlüssellocher auf, die bei einer Radonsanierung geändert werden sollten.

## 6. Weglüften von Radon

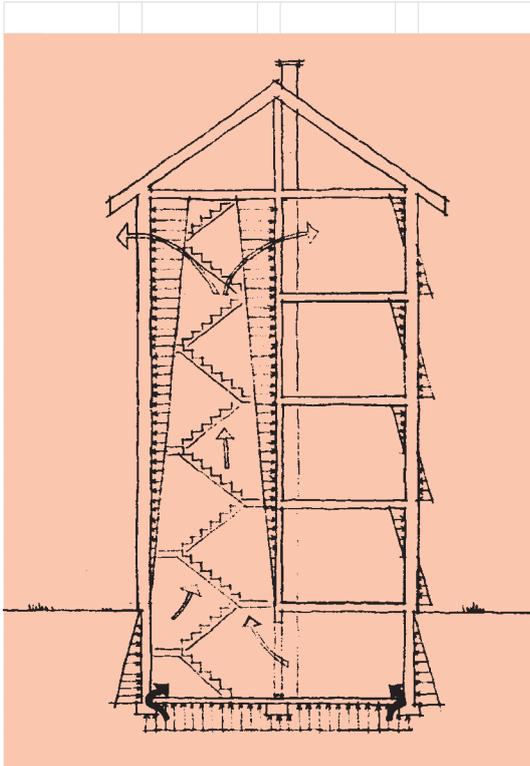


Abb. 6.1: Unterdruck an der Gebäudesohle durch thermischen Auftrieb.

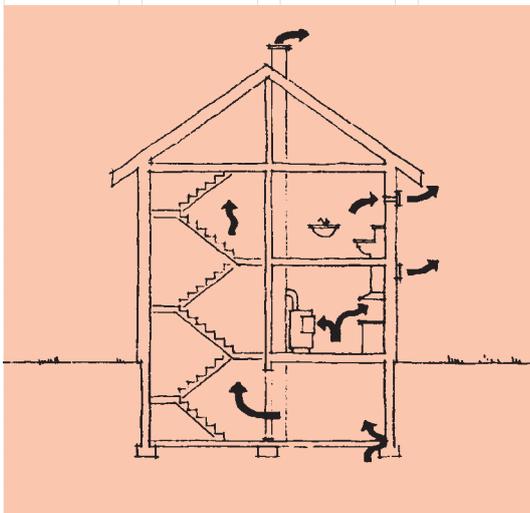


Abb.: 6.2: Unterdruck erzeugende Elemente wie Abluftanlagen, Cheminées usw.

Radonhaltige Bodenluft dringt nur in das Gebäude ein, wenn ein Druckgefälle vom Erdreich zum Gebäudeinneren besteht. Dieses Druckgefälle hat verschiedene Ursachen.

In jedem Gebäude besteht ein thermikbedingtes Druckgefälle von oben nach unten. Diese natürliche Druckdifferenz tritt im Winter stärker auf, ist in jedem einzelnen oder über mehrere Geschosse wirksam und kann durch Einbauten wie Lift- oder Lüftungsschächte verstärkt werden.

Unterdruckerhöhend wirken auch technische Anlagen wie Abluftventilatoren für Badezimmer, Küchenabzüge, Tumblerentlüfter usw., wenn ungenügende Nachströmöffnungen vorhanden sind.

Zimmeröfen, Speicheröfen und Cheminées erzeugen durch den Kaminzug ebenfalls Unterdruck, wenn sie keine separate Verbrennungsluftzufuhr von aussen aufweisen. Der Kaminzug ist in der Regel auch wirksam, wenn kein Feuer brennt, da dicht schliessende Öfen oder Kaminklappen die Ausnahme bilden.

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

Je nach Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen, Windverhältnissen und Durchlässigkeit 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. Für Gebäude im Mittelland überwiegen im Winter die gebäudethermischen Einflüsse gegenüber unregelmässig auftretenden Windkräften. Je nach Verhältnissen wird dadurch Kellerluft mit erhöhtem Radongehalt ins Gebäudeinnere gesaugt, möglicherweise sogar bis in die oberen Stockwerke. Windeffekte können dort eine Rolle spielen, wo sie stark und regelmässig auftreten, beispielsweise als sogenannte Talwinde im Berggebiet.

In diesem Kapitel geht es um die Möglichkeiten, die Druckverhältnisse im und am Gebäude so zu beeinflussen, dass radonhaltige Bodenluft gar nicht ins Gebäudeinnere gesaugt wird, an den Aufenthaltsräumen vorbeigeleitet oder zumindest auf ein zulässiges Mass verringert oder verdünnt wird. Bei Neubauten müsste der Ehrgeiz dahin gehen, Radon gar nicht einfließen zu lassen. In bestehenden Gebäuden mit erhöhten Radonkonzentrationen ist dies nicht immer mit angemessenem Aufwand zu erreichen.

Die möglichen Lüftungsstrategien können fünf Kategorien zugeordnet werden:

- Unterdruck erzeugende Faktoren eliminieren
- Unterlüften des Gebäudes
- Künstlichen Überdruck im Gebäude erzeugen
- Weglüften von radonhaltiger Luft im Keller
- Weglüften von radonhaltiger Luft aus Aufenthaltsräumen

Übermässige Radonbelastung wurde in dichten wie in undichten Gebäuden gefunden. Undichtigkeiten in der Gebäudehülle bewirken einen erhöhten Luftwechsel und damit tendenziell eine Verdünnung der Radonkonzentration. Gleichzeitig kann aber die Drucksituation im Untergeschoss verschlechtert werden, sodass vermehrt Radon

nachfließt. Insgesamt wird die Radonsituation dann nicht verbessert. Ausschlaggebend ist vielmehr die hausinterne Drucksituation, wie sie durch die Anordnung und die Verbindung der Aufenthaltsräume mit dem Kellergeschoss und die Durchlässigkeit über die Geschosse hinweg durch undichte Bodenkonstruktionen, offene Treppenhäuser oder Schächte und Abluftanlagen geschaffen wird. Abdichtungen am richtigen Ort, nämlich im oberen Bereich des Gebäudes, verbessern die Unterdrucksituation am Kellerboden ebenso wie Zuluftöffnungen im Erdgeschoss. In vielen Fällen genügt es, permanente Öffnungen zu schaffen oder sicherzustellen, dass radonbelastete Hohl- oder Keller Räume zuverlässig gelüftet werden.

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

■ Sie brauchen elektrischen Strom. Ein Ventilator mit 30 Watt Dauerleistung braucht im Jahr etwa 260 Kilowattstunden.

■ Sie 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, vor allem, wenn ihr Ausfall keine direkt feststellbaren Konsequenzen hat.

Aktive Lüftungssysteme sollten immer erst in einer zweiten Stufe eingerichtet werden, wenn passive Systeme einen ungenügenden Erfolg erbracht haben. Je nach Ausgangslage ist es allenfalls zweckmässig, bereits in der ersten Phase günstige Voraussetzungen für eine allfällige Nachrüstung mit einem Ventilator zu schaffen.

### **6.1 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 verantwortlichen Faktoren identifiziert und so weit als möglich entschärft werden. Bei Neubauprojekten soll dies bereits konzeptionell erfolgen, schliesslich aber auch richtig ausgeführt werden. Bei bestehenden Gebäuden kann dies von einfachen Bedienungsmassnahmen 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 Radongebieten nicht geeignet, da ein Unterdruck nötig ist, um sie zu öffnen. Bei Sanierungen muss im Minimum darauf geachtet werden, dass die Nachströmöffnungen grosszügig dimensioniert werden. Ausserdem sollten sie mit Massnahmen zur Erhöhung der Dichtigkeit gegenüber den erdberührenden Räumen kombiniert werden.

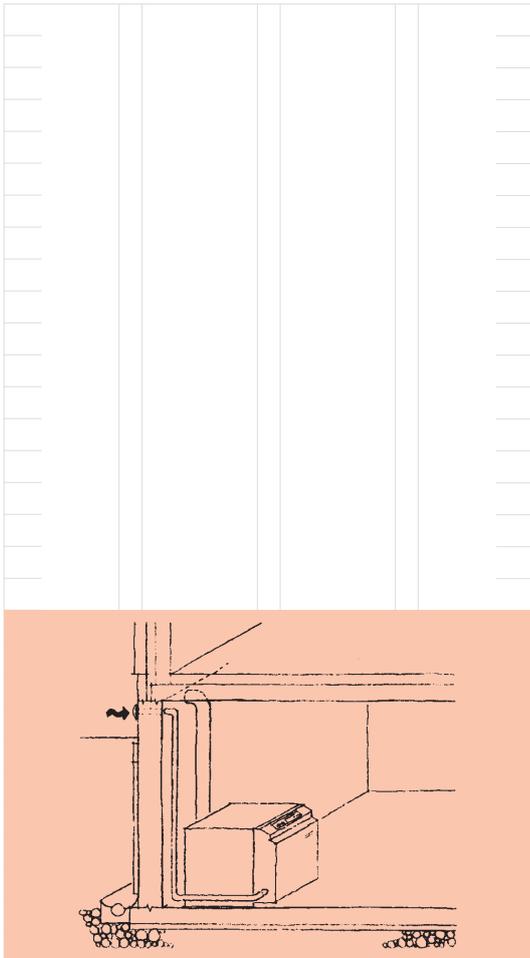


Abb 6.3: Direkte Aussenluftzufuhr für Brenner. (Das Aussenluftrohr sollte den gleichen Durchmesser wie das Abgasrohr aufweisen.)

### Schächte und Kamine im Untergeschoss abdichten

Um die Wirkung des thermischen Auftriebes von Schächten und Kaminen zu entschärfen, die über mehrere Geschosse verlaufen und bis ins Untergeschoss reichen, taugen zwei Massnahmen, allein oder gemeinsam:

Schächte und Kamine im Untergeschoss möglichst dicht ausführen. Dies ist allerdings nur möglich, wenn keine Druckregulierklappen, offene Kondensatablässe usw. im Kamin fuss nötig sind.

Man versieht Schächte und Kamine mit einer direkten Aussenluftzufuhr (mit Siphon). Ist dies nicht möglich, entspannen grosszügige Nachströmöffnungen von aussen in den Keller den Unterdruck gegenüber dem Erdreich. Auch diese Nachströmöffnungen werden mit Syphon bis zum Kellerboden geführt, damit übermässige Auskühlung vermieden wird.

### Direkte Aussenluftzufuhr für Öfen und Kessel

Öfen (Stahlöfen, Speicheröfen, Cheminées usw.) und Kessel, die sich in Aufenthaltsräumen befinden, sollten schon aus Energie- und Gesundheitsgründen mit direkter Aussenluftzufuhr ausgerüstet werden. 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 dicht schliessend. Sie unterbinden deshalb auch den Kaminzug und den daraus entstehenden Unterdruck nicht. Die zuständigen Feuerversicherungen der Kantone können dicht schliessende Kamin- oder Rauchrohrklappen bewilligen für nur kurzzeitig betriebene Feuerungen in dauernd beaufsichtigten Räumen. Dies gilt für neue und bestehende Cheminées und Einzelöfen, aber nicht für Koch- und Zentralheizungs-herde.

In Radongebieten sollten generell nur dicht schliessende Kaminklappen zum Einsatz gelangen. Cheminées und Zimmeröfen in Radongebieten sind nach Rücksprache mit den zuständigen Stellen unbedingt mit dicht schliessenden Rauchrohrklappen auszurüsten.

## 6.2 Unterlüften des Gebäudes

Beim Unterlüften von Gebäuden wird passiv oder aktiv (ventilatorbetrieben) radonbelastete Bodenluft abgeführt. Dabei kommen zwei grundsätzlich sehr verschiedene Vorgänge zum Einsatz:

Hohlräume oder sehr durchlässige Füllungen werden entlüftet. Die nachfliessende Frischluft verdünnt die geringen, aus dem Untergrund austretenden Radonmengen in genügendem Masse. Voraussetzung dafür bilden entsprechend grosse Lüftungsöffnungen.

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 die Wohnräume einfließt.

Je nach Anwendungsfall überwiegt der eine oder der andere Vorgang.

**Für Angaben zu Luftleckage,  
Kondensatvermeidung und Schalldämmung  
siehe 6.6**

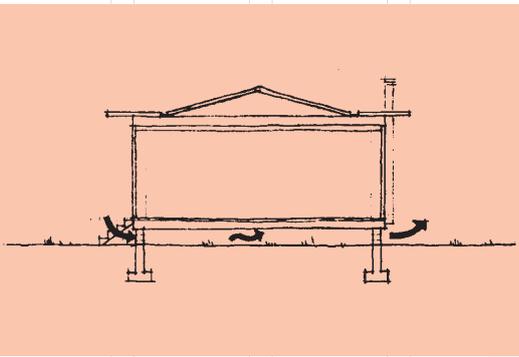


Abb. 6.4: Entlüften von Hohlräumen unter Gebäuden.

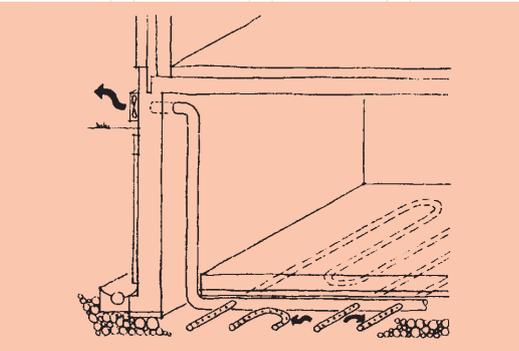


Abb. 6.5: Bodenentlüftung unter der Gebäudesohle mittels Drainagesystem.

Es kann auch sein, dass eine der beiden Strategien vorgesehen ist, die andere dann aber aufgrund der Betriebsdaten zum Zuge kommt. Wenn sich etwa das Erdreich oder die Hinterfüllung als so durchlässig erweist, dass der vorgesehene Unterdruck nicht mit vernünftigem Aufwand erzeugt werden kann, wird der Radonschutzeffekt durch die Spülung mit Luft erfolgen. In vielen Fällen wirkt auch die Kombination beider Effekte.

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**

Nicht unterkellerte Gebäude sind häufig über einem Hohlraum errichtet, 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 genügen für eine ausreichende Radonableitung. 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 Unterdruckeffekt gesetzt werden. Der Ventilator muss im Unterdruckbetrieb (bis  $-40$  Pa) energieeffizient und geräuscharm arbeiten. Auch unter Terrassenhäusern sind oft durchgängige Hohlräume zu finden, die manchmal sogar bekriechbar sind. Neben Lüftungsöffnungen beim untersten und beim 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) gesammelt und ins Freie geleitet. Im Gegensatz zur Entlüftung von Hohlräumen unter Gebäuden wird hier nicht Aussenluft nachgeführt, sondern weitere, natürlich radonbelastete Bodenluft. Die Wirksamkeit hängt deshalb davon ab, ob gegenüber den darüberliegenden Kellerräumen vollflächig ein Unterdruck errichtet 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 zum Beispiel bei starker Hanglage des Gebäudes Vorteile bieten.

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

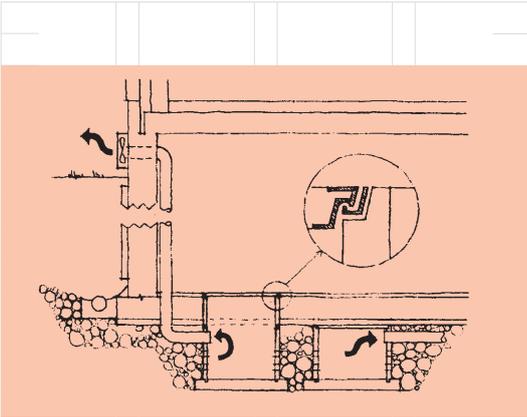


Abb.6.6: Bodenentlüftung unter der Gebäudesohle mittels Sammelschacht.

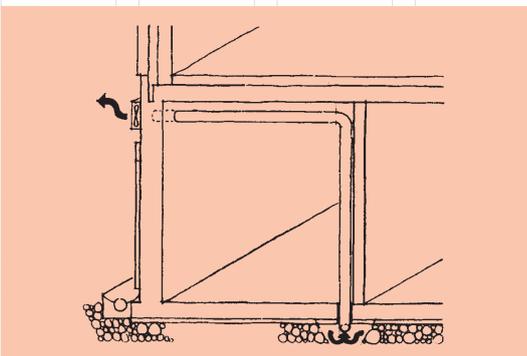


Abb. 6.7: Bodenentlüftung unter der Gebäudesohle mittels einzelner Ansaugstellen.

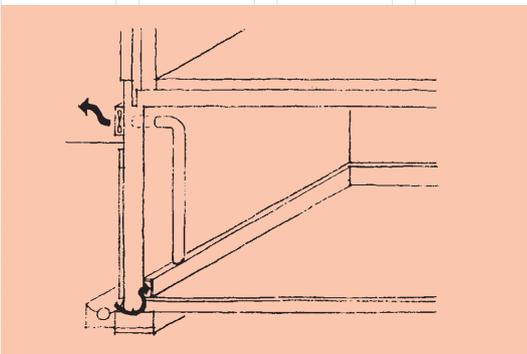


Abb. 6.8: Unterdruckerzeugung unter der Bodenplatte durch Absaugkanal entlang der Bodenplattenfuge.

### Bodenentlüftung mit zentralem Sammelschacht

Die Bodenluft wird unterhalb von bestehenden Fussbodenkonstruktionen in einem einfachen Schacht gesammelt und abgesaugt. Das Verfahren ist wirksam, wenn zwischen dem Boden und dem Untergrund ein zusammenhängender durchgängiger Hohlraum existiert (zum Beispiel Holzfußboden auf Lagerhölzern) oder wenn der Untergrund eine hohe Permeabilität aufweist (zum Beispiel Kiesbett). Der Einzugsbereich eines Radonschachtes ist davon abhängig, ob er auf die richtige Tiefe abgetäuft wird, das heisst bis zur durchlässigen Bodenschicht. Bei ungünstigen Verhältnissen müssen mehrere Schächte gesetzt werden.

### Bodenentlüftung an einzelnen Stellen

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

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

Auch bei Bodenentlüftungen muss auf möglichst gute Dichtigkeit der Bodenkonstruktion geachtet werden. Bei Neubauten kann diese Abdichtung mit einer durchgehenden Folie unter dem Bodenaufbau erfolgen. Die Ansaugstellen für die Bodenluft befinden sich 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 zum Beispiel 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 Dilatationsfugen zwischen Aussenwänden und dichter Bodenplatte. Oftmals stellt die fehlende Berücksichtigung der Wände einen problematischen Schwachpunkt dar.

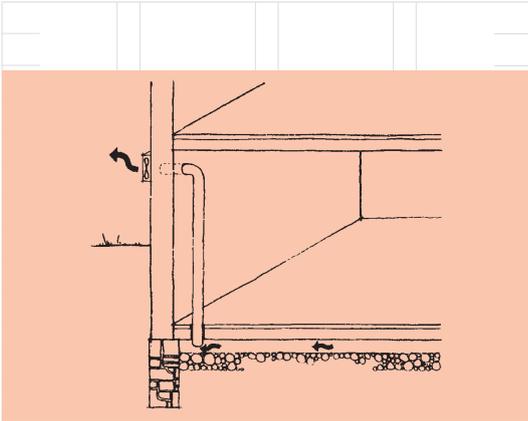


Abb. 6.9: Entlüftung von bestehenden Hohlräumen.

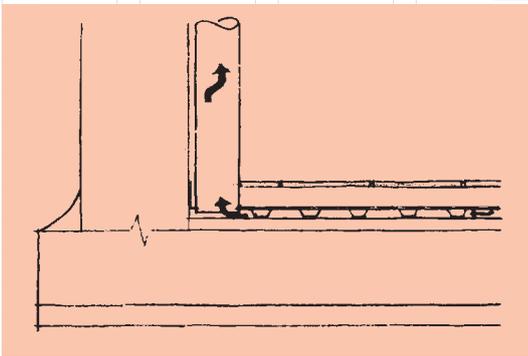


Abb. 6.10: Entlüftung eines nachträglich aufgebauten Hohlbodens.

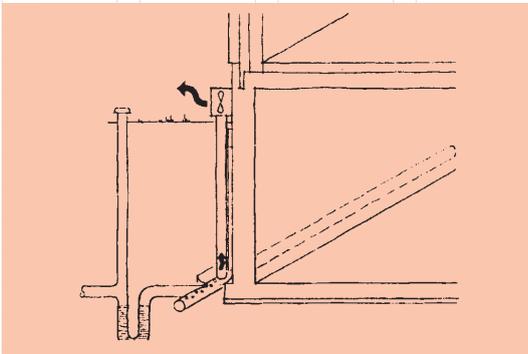


Abb. 6.11: Unterdruckerzeugung über die bestehende Sickerleitung.

### 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. Dies ist sowohl bei Soussol-Aufenthaltsräumen wie bei Kellerräumen möglich. 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.

### Bodenentlüftung über eine bestehende Sickerleitung

Es sind Sanierungen bekannt, wo mit einem Abluftventilator Bodenluft aus der Sickerleitung abgesaugt und damit die Infiltration von Radon in den Keller erfolgreich unter den Richtwert gesenkt werden konnte. Sickerleitungen bilden allerdings ein lufttechnisches System, dessen Verhalten unbekannt ist und das von Fall zu Fall völlig variiert. In jedem Fall braucht es Siphons gegen Luftzufuhr aus dem öffentlichen Kanalisationsnetz und der Dachwassereinleitung. Bei Sanierungen sollte aber in jedem Fall ein Entlüftungsversuch gemacht werden (mit provisorischem Abdichten der Kanalisationsverbindung), weil der Eingriff insgesamt relativ kostengünstig bleibt.

### Radonbrunnen ausserhalb des Gebäudes

Je nach Bodenbeschaffenheit wurden gute Erfahrungen gemacht mit Radonbrunnen, die ausserhalb des Gebäudes errichtet werden. Dank der verhältnismässig dichten Humusschicht baut sich ein ausgedehnter Unterdruckbereich im Erdreich der ganzen näheren Umgebung des Brunnens auf, und damit auch unter dem Gebäude. Freistehende Radonbrunnen können so zur weitaus kostengünstigsten Radonsanierung werden, da an den Gebäuden selbst keine baulichen Eingriffe mehr nötig sind.

### 6.3 Künstlicher Überdruck im Gebäude

Um radonhaltige Bodenluft am Eindringen ins Gebäude zu hindern, kann auch im Gebäudeinneren ein leichter Überdruck erzeugt werden anstelle eines Unterdruckes unter der Bodenplatte.

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. Bei Radonproblemen soll darauf geachtet werden, dass die Zuluftmenge etwas grösser ist als die Abluftmenge. Der Überdruck in Räumen mit Zuluft bzw. der Unterdruck in solchen mit Abluft sollte den Wert von 2 Pa nicht überschreiten. Für Anlagen mit Abluftwärmepumpen gelten die Aussagen für Luftnachströmöffnungen in der Gebäudehülle gemäss Abschnitt 6.7. Bei mechanischen Zu- und Abluftanlagen sollte die Gebäudehülle möglichst dicht sein ( $nL50 < 1$ ).

#### 6.4 Weglüften radonhaltiger Luft aus dem Keller

Da Radon im Untergeschoss ins Gebäude eintritt, kann versucht werden, durch einen erhöhten Luftwechsel die Radonkonzentration so zu verringern, dass die Kellerluft unbedenklich wird und auch kein namhafter Radontransport mehr vom Keller in die Aufenthaltsräume stattfinden kann. Das Problem liegt darin, dass Kellerlüftungen im Winter bei starker Auskühlung reduziert werden: Fenster werden geschlossen, Ventilatoren abgestellt. Die Massnahme kann deshalb nur als Sofortmassnahme im Sinne eines Provisoriums bis zur Realisierung definitiver Massnahmen empfohlen werden.

#### Als Sofortmassnahme (Provisorium): Fenster öffnen im Keller

Durch Querlüften wird radonbelastete Luft verdünnt und gelangt schneller ins Freie. Im Haus entstehende Unterdrücke können im Keller nicht wirksam werden. Wenn ein Abluftventilator eingesetzt wird, kann sich zwar ein Unterdruck im Keller aufbauen, der den Zustrom von Bodenluft vergrössert. Der Unterdruck wirkt aber auch gegen die Aufenthaltsräume, sodass das Radon von dort ferngehalten und ins Freie geblasen wird. Der Keller wird durch intensivierte Lüftung im Winter kälter. Auf eine gute Wärmedämmung der Bauteile gegen die beheizten Räume (Kellerdecke, Treppenhauswände und Treppenunterseite usw.) sowie von Heizleitungen ist deshalb zu achten. Die Lüftung von Kellerräumen ist als Sofortmassnahme sinnvoll. Sie taugt aber nicht als definitive Sanierung.

#### 6.5 Kontrollierte Luftzufuhr zu Brennräumen

Kontrolliertes Zuführen von Aussenluft zum Heizkessel vermindert den Unterdruck durch Gebläsebrenner und Kaminzug. Bei einem Cheminée oder einem Cheminéeofen soll mit einer grosszügig dimensionierten Frischluftzufuhr verhindert werden, dass Unterdruck entsteht im Keller- und im Bodenbereich und radonbelastete Luft in bewohnte Räume bringen kann.

#### 6.6 Weglüften von radonhaltiger Luft aus Aufenthaltsräumen

Wenn das Eindringen von Radon nicht in genügendem Masse verhindert werden kann, bleibt nur noch die Verdünnung der Konzentration durch erhöhten Luftwechsel. Die Erhöhung des Luftwechsels bringt tatsächlich eine momentane Absenkung des Radonpegels (ca. eine Stunde). Da im Winter mit erhöhtem Luftwechsel durch vermehrtes Öffnen der Fenster die Zimmertemperatur sinkt und der Wohnkomfort beeinträchtigt wird, ist diese Strategie nur als Sofortmassnahme bis zu einer definitiven Sanierung zu empfehlen

Etwas positiver kann der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung beurteilt werden. Die Abluft wird in geruchsbelasteten Räumen gefasst und ins Freie geblasen. Mittels Wärmetauscher oder Wärmepumpe wird ihr zuvor Wärme und Feuchtigkeit entzogen und die Wärme der Frischluft übertragen. Mit Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sind auch im Winter komfortabel hohe Luftwechsel (zur allenfalls notwendigen Radonverdünnung) ohne übermässige Energieverluste möglich. Zudem ist der Luftwechsel ununterbrochen gewährleistet und nicht vom Benutzerverhalten abhängig.

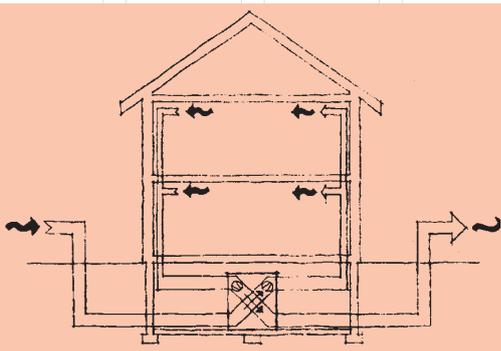


Abb. 6.12: Erhöhung des Luftwechsels mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

## 6.7 Technische Hinweise zu den Lüftungsstrategien

### Lüftungssysteme

Die folgenden Hinweise sollen bei der Projektierung und der Ausführung von Lüftungstechnischen Anlagen helfen.

### Zuluftplanung bei Abluftanlagen

Bei Abluftanlagen muss die Zuluftseite sorgfältig geplant werden und darf nicht undefinierten Undichtigkeiten in der Gebäudehülle überlassen werden. Dies gilt allgemein, ist aber bei Radonsanierung besonders wichtig. 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 5–10 Pa, wie sie beim Betrieb von Nachströmeinbauten auftreten, sind aber nicht optimal. Für diese Fälle soll ein Zuluftventilator oder ein Zu- und Abluftgerät (es gibt Zimmergeräte) eingesetzt werden. 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 Radongebieten für das Erd- und das erste Obergeschoss nicht ratsam. Nachströmöffnungen mit Filter müssen regelmässig gemäss den Werkangaben gewartet werden.

Soll die Dichtheit der Gebäudehülle bestimmt oder sollen Luftlecks getortet werden, kann eine so genannte «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 Radon- und auch in Nicht-Radongebieten sollten aber in jedem Fall Kunststoffrohre mit gasdichten Stössen eingesetzt werden. Mit erheblichem Radonrisiko belastet und deshalb möglichst zu vermeiden ist das Ansaugen von Luft- über Drainagerohre oder Sickerleitungen, auch in Nicht-Radongebieten.

### Thermischer Auftrieb statt Ventilatoren

Wenn der Kanal in beheizten Räumen nach oben geführt wird, muss er minimal wärmegeämmt werden, um Kondensat zu vermeiden.

### Betrieb und Wartung

Zu jeder Lüftungsanlage gehören eine klare Dokumentation und eine 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 Dauerbetriebs sollte auf die Widerstandsfähigkeit des Geräts geachtet werden. Es gibt Geräte, für die eine Mindestlebensdauer von 80000 Stunden angegeben wird.

### Reguliermöglichkeit

Für die Einregulierung, aber auch für etwaiges späteres Nachregulieren sollte eine Drehzahländerung wenigstens von Hand vorgenommen werden können. Eine einfache Möglichkeit mit gutem Wirkungsgrad besteht bei Gleichstrommotoren (elektronisch kommutierte Motoren).

### Betriebsanzeige

Weil der Radongehalt bei Anlageausfall schnell wieder ansteigt, muss an sichtbarer Stelle eine Betriebsanzeige (zum Beispiel 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.

### 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 Leistung der Ventilatoren liegt zwischen 10 und 100 W für Einfamilienhäuser.

### Leckluftströmungen vermeiden

Zur Vermeidung der Gefahr von Leckluftströmungen (Austritt von radonhaltiger Luft ins Gebäude) ist darauf zu achten, dass der Ventilator ausserhalb der Aufenthaltsräume montiert wird (sodass die druckseitigen Kanäle nicht durch Aufenthaltsräume führen). Die Stösse von Blechkanalnetzen müssen ausschliesslich mit Gummilippendichtungen ausgeführt werden. Damit lassen sich Dichtheitswerte unter 50% der Leckageklasse C erreichen. Bei Netzen mit vielen Formstücken oder bei extrem hohen Anforderungen sind geschweisste Kunststoffrohre zu verwenden. Ist der zu fordernde Garantiewert von 50% der Dichtheitsklasse C nicht durchsetzbar oder aufgrund der Anlagengrösse nur mit unverhältnismässigem Aufwand überprüfbar oder gelten höchste Anforderungen, so ist ein Kanal in geschweisstem Kunststoff zu realisieren. Kommt der druckseitige Kanalteil im Aufenthaltsraum zu liegen, sollte wenigstens dieser Kanalteil aus Sicherheitsgründen in Kunststoff gefertigt werden.

### Schallschutz

Zur Vermeidung von Geräuschbelästigungen durch den Lüftungsbetrieb sind die erforderlichen Schallschutzmassnahmen anzuwenden (zum Beispiel schallgeschützte Ventilatoren). Es ist zweckmässig, den Ventilator im Dachraum unterzubringen, wo er wettergeschützt und auch hinsichtlich Schallausbreitung gut abgeschirmt ist. Noch besser ist die Montage ausserhalb der Gebäudehülle. 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. Bei Dauerbetrieb soll der Dimensionierungswert mindestens 5 dB (A) unter den erhöhten Anforderungen gemäss SIA 181 liegen.

#### ■ Kondensat

Beim Einbau von Lüftungssystemen mit Ventilatoren müssen nachteilige Auswirkungen von Kondenswasserbildungen vermieden werden. Dies kann durch die folgenden Massnahmen erfolgen:

■ In Gebäude und Dachraum geführte Kanalnetze müssen eine minimale Wärmedämmung zur Vermeidung von Kondensat aufweisen.

■ Einbau von Kondensableitungen in das Steigrohr, um das Eindringen von Kondensat in den Ventilator und ev. in die Baukonstruktion zu verhindern,

■ Leitungen mit durchgängiger Steigung, damit das Kondensat in den Schacht abfließt.

■ Evtl. Anlage von Kondensatgruben unterhalb der Steigleitungen zur Aufnahme von Kondensat, das im Abluftrohr entsteht.

■ Bei ungedämmten Leitungen kann Kondensat im Rohrrinnern auftreten

- in einem kühlen Keller im Winter,
- im unbeheizten Estrich im Winter.

■ Auf der Rohroberfläche

- in einem kühlen Keller im Sommer,
- in beheizten Räumen im Winter.

# 7. Massnahmenplanung und -ausführung

## 7.1 Vorgehen

Konzeptionelle Abdichtungs- und Lüftungsmassnahmen müssen sowohl bei Neubauten wie bei Sanierungen in Paketen aufeinander abgestimmt zu sinnvollen Strategien zusammengestellt werden. Die Massnahmenplanung bei der Prävention bei Neubauvorhaben unterscheidet sich natürlich sehr von jener bei der Sanierung bestehender Gebäude. Gemeinsam sind beiden immerhin die fünf Grundelemente eines zweckmässigen Vorgehens:

### Beurteilung der Radonbelastung

Bei Neubauten bedeutet dies die Beschaffung der Informationen darüber, ob das Bauvorhaben in einem Radongebiet liegt und welche Bodenbeschaffenheit (Kies, Grundgestein, Lehm) zu erwarten ist. Bei bestehenden Gebäuden bilden die Ergebnisse der Radonmessung die Grundlage der Massnahmenplanung. Die Einschätzung der Radonbelastung bestimmt massgeblich mit, wie aufwendig der Radonschutz konzipiert werden soll bzw. ob überhaupt Massnahmen nötig sind.

### Ausweichmöglichkeiten festhalten

Im Rahmen der frühen Planungsphasen von Neubauten und Sanierungen muss geklärt werden, ob und in welchem Umfang die Bauherrschaft bevorzugt, «dem Radon auszuweichen», wenn ihr die Problematik bekannt gemacht wird. Zur Diskussion gestellt werden kann der Verzicht auf Aufenthaltsräume im Soussol-Bereich, aussenliegende Kellererschliessung usw. Diese Ausweichmöglichkeiten sind keine Notwendigkeit. Es gehört aber zu einer seriösen Planung, sie der Bauherrschaft als Option zur Kenntnis zu bringen.

### Geordnete und abgestufte Massnahmenpakete einsetzen

Je nach Radonbelastung bzw. Radonrisiko und je nach baulicher Ausgangslage sollen danach Massnahmen, geordnet nach Kapitel 4, 5 und 6 (konzeptionelle Massnahmen, Dichtungs- und zuletzt Lüftungsmassnahmen) zu abgestimmten Paketen zusammengestellt werden. Vor allem bei Sanierungen kann es zweckmässig sein, mit (evtl. provisorischen) Sofortmassnahmen zu beginnen und in der definitiven Planung bereits eine weitere Verbesserungsstufe vorzusehen, falls die Massnahmen nicht den erwarteten Erfolg bringen.

### Überwachung der Ausführung

Ähnlich wie andere Spezialelemente am Bau, zum Beispiel die Dämmschicht, sollten die Massnahmen zum Radonschutz von der Bauleitung und der Bauführung besonders beachtet werden. Zwischenabnahmen von ausgeführten Abdichtungen sollten vorgeschrieben und durchgeführt werden, bevor weitere, zudeckende Arbeiten ausgeführt werden dürfen.

### Erfolgskontrolle

Allein die Messung von Radon nach Abschluss der Arbeiten gibt Aufschluss über den Erfolg der Radonschutzmassnahmen.

Der Ablauf eines Bauvorhabens ist nach dem Leistungsmodell 95 des SIA in die folgenden Phasen gegliedert:

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

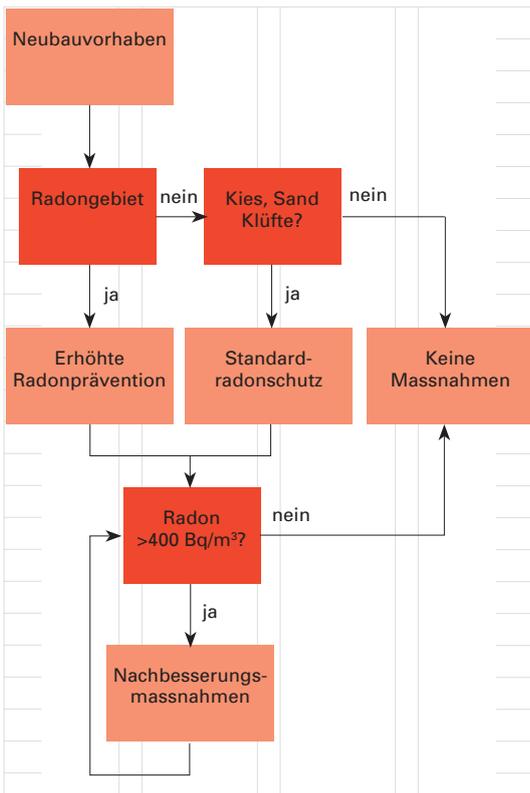


Abb. 7.1: Ablaufschema für die Planung und die Ausführung des Radonschutzes bei Neubauvorhaben.

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. Der Entscheid, Leitungen durch die Seitenwand statt durch die Bodenplatte ins Gebäude zu führen, ist konzeptionell, kann aber unter Umständen sehr spät erfolgen.

Nachfolgend wird der Verlauf bei einer zweckmässigen Radonprävention bzw. Radonsanierung für Neubauvorhaben einerseits und für bestehende Bauten andererseits in vereinfachter Weise dargestellt, illustriert durch die Zusammenstellung typischer Massnahmen.

## 7.2 Radonprävention bei Neubauten

Es ist zweckmässig, die Radonprävention je nach Ausgangslage mit unterschiedlichem Aufwand zu betreiben. Ob keine besonderen Vorkehrungen, ein «Standardradonschutz» oder eine «erhöhte Radonprävention» angezeigt ist, hängt in erster Linie davon ab, ob die Parzelle als Radongebiet bezeichnet ist und welche geologischen Gegebenheiten in der Baugrube angetroffen werden.

Die folgende Auswahl von häufigen und typischen Massnahmen illustriert, was zur Radonprävention bei Neubauten gehören kann. Es handelt sich dabei um eine Auswahlliste: Wenn sich etwa die konzeptionelle Massnahme, keine Aufenthaltsräume im Untergeschoss anzuordnen, realisieren lässt, entfallen die meisten anderen Massnahmen. Nur am konkreten Objekt kann das passende Massnahmenpaket zusammengestellt werden.

Standardradonschutz	Zusatzmassnahmen für erhöhte Radonprävention
<p><b>Strategische Planung und Vorstudien</b> Keine offenen Verbindungen vom Untergeschoss ins Erdgeschoss und weiter. Abschluss des Treppenhauses gegen das Untergeschoss vorsehen.</p>	
<p><b>Vorprojekt und Projekt</b> Dichte Bodenkonstruktion wählen, zum Beispiel Betonfundamentplatte. Möglichst wenig Bodendurchdringungen durch Leitungen, Schächte usw. Evtl. zweite Dichtungsebene: Stahlbetondecken über Untergeschoss und abgeschlossener Kelleraufgang. Schächte (Leitungen, Lifte) und Kamine so planen, dass sie nicht zu Transportkanälen für Radon in Aufenthaltsräumen werden (zusammengefasst, abdichtbar). Raum- und Lüftungskonzept, das möglichst keinen Unterdruck im Erd- und im Untergeschoss erzeugt. Wenn Abluftanlagen im UG-/EG-Bereich nötig, dann als Überdrucksystem konzipieren.</p>	<p>Aussenliegende Dichtungsbahn (Radonbremse) unter dem Fundament mit vorbereiteter Absaugstelle in der Kieszwischenlage. Sekundärer Dichtungsperimeter (Kellerdecke/Kelleraufgang) durchgängig vorsehen. Radondrainageleitung unter der Gebäude- sohle mit Anschlussmöglichkeit für die spätere eventuelle Absaugung von Bodenluft. Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung prüfen und planen.</p>
<p><b>Realisierung (der geplanten Massnahmen)</b> Separate Abnahme ausgeführter Dichtungsarbeiten.</p>	
<p><b>Nutzung</b> Radonmessung zur Erfolgskontrolle. Information der Bewohner bzw. Betreiber sowie Instruktion und Dokumentation über installierte Massnahmen, insbesondere technische Einrichtungen.</p>	<p>Inbetriebsetzung und Abnahme lüftungstechnischer Anlagen. Zweite und periodische Kontrollmessungen im Fünfjahresabstand.</p>

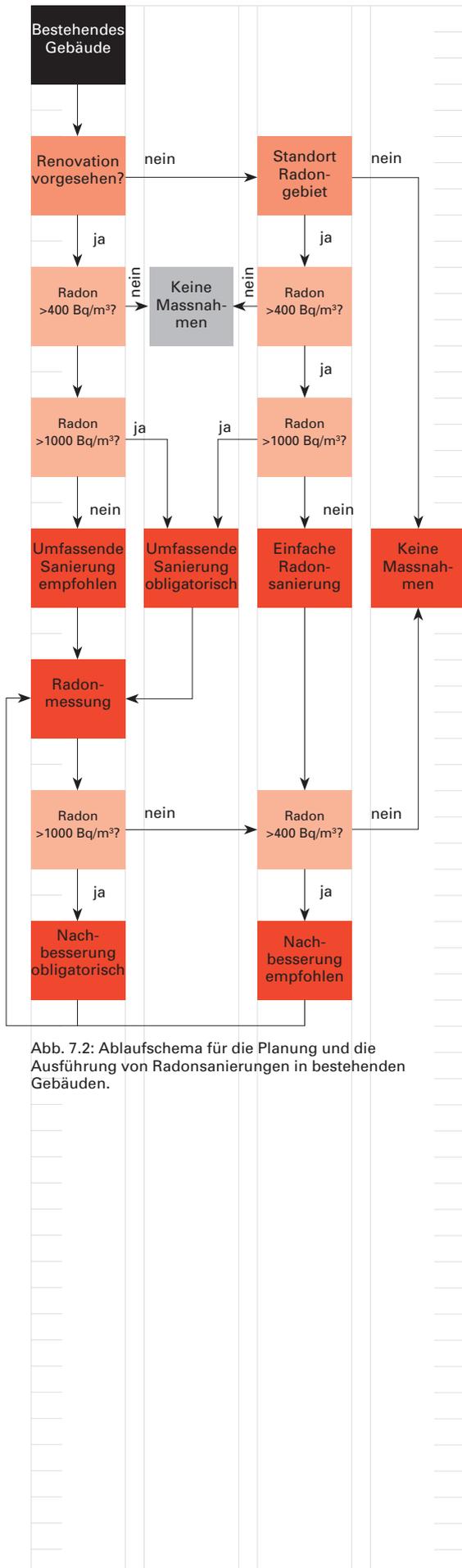


Abb. 7.2: Ablaufschema für die Planung und die Ausführung von Radonsanierungen in bestehenden Gebäuden.

### 7.3 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 Begriff des Radongebietes in den Hintergrund, weil bei bestehenden Gebäuden von konkreten Radonbelastungen ausgegangen werden kann. Ein für die Massnahmenplanung massgeblicher Unterschied besteht darin, ob Umbau- oder Sanierungsarbeiten in den Unter- und Erdgeschossräumen vorgesehen sind. Bei Totalrenovationen sind viel durchgängigere und konsequentere Radonschutzmassnahmen realisierbar, als wenn das Gebäude allein aus Gründen der Radonbelastung saniert wird. Mehr noch als bei der Radonprävention bei Neubauten hat es bei der Sanierung bestehender Bauten einen Sinn, stufenweise vorzugehen bzw. zwischen einer «einfachen Radonsanierung» und einer «umfassende Radonsanierung» zu unterscheiden. Siehe dazu auch die Begehungs-Checkliste im Anhang B.

Bestehende Bauten haben ihre Sanierungszyklen. Besonders vorteilhaft durchzuführen ist eine Radonsanierung, wenn ein Gebäude ohnehin total renoviert wird. Besonders unglücklich ist die Situation, wenn die übermässige Radonbelastung kurz nach einer Renovation (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 definitiven Massnahmen Abhilfe geschaffen wird. Mit etwas Glück können einfache Sofortmassnahmen sogar über Erwarten gut wirken und sich als definitive Lösung erweisen. Als Sofortmassnahmen gilt alles, was nicht viel kostet und keine schwerwiegenden und präjudizierenden Eingriffe in die Gebäudestruktur bedeutet.

Typische Beispiele:

- Abdichten von Fugen und Ritzen mit Dichtungsmassen.
- Vorübergehendes Aufheben von Soussol-Aufenthaltsräumen.
- Gezieltes Lüftungsverhalten (Kellerfenster offen halten, Kellertüre geschlossen halten usw.
- Thermischen Auftrieb des Treppenhauses und von Abluftanlagen durch Nachströmöffnung im Erdgeschoss brechen (Klappe).
- Passive oder aktive Belüftung von Kriechkellern und Unterbodenhöhlräumen.
- Türabdichtungen und Türschliesser.

Eine Auswahlliste typischer und möglicher Massnahmen zur gezielten Sanierung von bestehenden Bauten mit übermässiger Radonbelastung kann etwa Folgendes umfassen:

<b>Einfache Radonsanierung</b>	<b>Umfassende Radonsanierung</b>
<b>Strategische Planung und Vorstudien</b> Keine offenen Verbindungen vom Untergeschoss ins Erdgeschoss und weiter. Abschluss des Treppenhauses gegen das Untergeschoss vorsehen.	Aufenthaltsräume im Untergeschoss nur mit speziellen Massnahmen. Aussen liegender Kellerabgang. Keine Naturbodenkeller ohne spezielle Massnahmen.
<b>Vorprojekt und Projekt</b> Festlegen von primärem und sekundärem Dichtungspereimeter. Wahl der Dichtungsmittel (Dichtungsbahnen, Beschichtungen, Fugendichtungen usw.). Massnahmen zur Entspannung des Unterdrucks im Untergeschoss konzipieren (Nachströmöffnungen für Abluftanlagen, Treppenhauseauftrieb usw.).	Möglichkeiten zur Unterdruckerzeugung unter dem Gebäude prüfen und planen (Schacht, Rohrregister). Evtl. Versuch mit Sickerleitung anordnen. Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung prüfen und planen.
<b>Realisierung (der geplanten Massnahmen)</b> Direkte Verbrennungsluftzufuhr für Heizkessel installieren. Direkte Verbrennungsluftzufuhr für Einzelfeuerstellen (Öfen, Cheminées). Dichte Rauchrohrklappen bei Einzelöfen, sofern zulässig. Abdichten von Durchstossungen, Fugen und Ritzen an Bauteilen gegen Erdreich (primärer Dichtungspereimeter). Je nach Ausgangslage mit Fugendichtungsmitteln (Kitte, Dichtungsbänder) oder mit flächigen Abdichtungen (Dichtungsbahnen, Beschichtungen). Abdichten von Wänden, Decken und Türen zwischen Aufenthalts- und Kellerräumen (sekundärer Dichtungspereimeter). Abdichten und/oder direkte Aussenluftzufuhr im Untergeschoss für mehrgeschossige Schächte.	Lüftungstechnische Anlagen gemäss Projekt und bei der Sanierung auftretende Besonderheiten ausführen.
<b>Nutzung</b> Radonmessung zur Erfolgskontrolle. Information der Bewohner bzw. Betreiber sowie Instruktion und Dokumentation über installierte Massnahmen, insbesondere technische Einrichtungen. Inbetriebsetzung und Abnahme lüftungstechnischer Anlagen. Zweite und evtl. periodische Kontrollmessungen im Fünfjahresabstand.	Dauerauftrag an Radonmessfirma für periodische Messungen oder zumindest periodische Erinnerungsmeldung. Wartungsvertrag mit Lüftungsfirma für periodische Kontrolle der Lüftungsanlage, v.a. hinsichtlich Überdruckbetrieb.

#### **7.4 Synergien und Zielkonflikte**

Radonprävention bei Neubauten und Radonsanierung von bestehenden Gebäuden sind Bauaufgaben, die erst seit wenigen Jahren ernsthaft in die Planung miteinbezogen werden. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass ein befriedigender Radonschutz in der Regel keinen allzu grossen Zusatzaufwand verursacht, 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 erwünscht (bzw. gemäss Wärmeschutzverordnungen sogar notwendig), einen klaren Perimeter zwischen beheizten und unbeheizten Räumen zu definieren und zu dämmen. Das kommt dem Radonschutz entgegen, da dieser Perimeter in der Regel mit der primären oder sekundären Dichtungsebene gegen Radon zusammenfällt. Dämmschichten sind zwar nicht automatisch auch radondicht. Die Anliegen lassen sich aber gut verbinden.

##### **Luftdichtigkeit**

Der Luftwechsel in modernen Neubauten und zeitgemäss sanierten Altbauten sollte nicht mehr über undefinierte Undichtigkeiten der Gebäudehülle stattfinden. Die Frischluftzufuhr sollte über dafür vorgesehene Öffnungen oder allenfalls Lüftungstechnische Anlagen erfolgen und die Herkunft der Frischluft sollte genauso definiert sein wie der Abfluss der Abluft. Die beheizten Räume sollten daher 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 parallel zu den Anliegen des Radonschutzes. Der Unterschied besteht im Wesentlichen darin, dass beim Feuchteschutz Undichtigkeiten sehr gut und rasch lokalisiert und nachgebessert werden können. Radonlecks sind sehr viel schwieriger aufzufinden. Übertriebene Exaktheit ist daher prophylaktisch angebracht.

##### **Schallschutz**

Schallbrücken scheinen eine ähnliche Wirkungsweise zu haben wie Radonleckstellen. Bereits kleine Löcher und Öffnungen dezimieren den Schutz einer Massnahme erheblich. Bewährte Schalldämmelemente sind daher in ähnlicher Weise radondicht, etwa als Schallschutztüren zwischen Untergeschoss und Aufenthaltsräumen.

##### **Geruch, Hygiene, Gesundheit**

Miefgeruch ist eine Folge von Feuchtigkeit oder unzulänglichem Luftwechsel oder von beidem zusammen. Miefgeruch ist ein Hinweis darauf, dass Radon im betreffenden Raum ein Problem sein könnte. Umgekehrt führt eine fachgerechte Radonsanierung dazu, dass auch Feuchte- und Luftwechsel-Unzulänglichkeiten behoben werden und somit ungesunde Gerüche und feuchtes Innenklima mit mikrobiellen Folgerisiken tendenziell reduziert werden.

##### **Brandschutz**

Auch der Brandschutz arbeitet mit Abschlüssen. Für normale Brandrisiken werden allerdings keine rauchgasdichten Öffnungselemente verlangt. Elastische Dichtungen, wie sie aus der Sicht des Radon-



## 8. Sanierungsbeispiele

### 8.1 Gebäude mit Kriechkeller

Allgemeines:

- Eine gute Belüftung der Kriechkeller sicherstellen.
- Natürliche Belüftung verbessern.
- Falls a und b nicht genügen, mit einem Ventilator absaugen (Erzeugung eines Unterdrucks, nur eine Öffnung).
- Ausblasöffnung an einer geschützten Stelle (Schnee, Regen), mindestens 2 Meter von Fenstern und Türen entfernt, damit die stark radonhaltige Luft nicht wieder ins Innere gelangt.

**Bemerkung:** Falls der Kriechkeller aus mehreren Teilen besteht, müssen sie entweder verbunden oder separat belüftet werden.

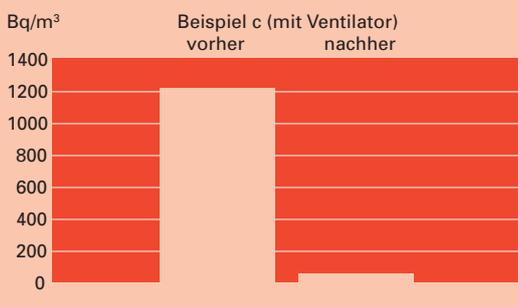
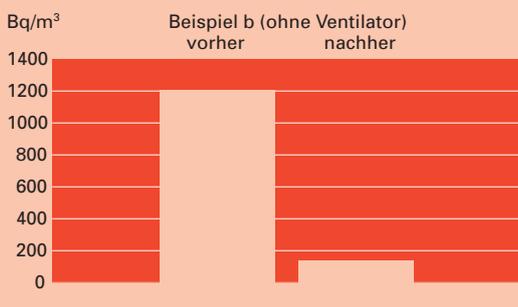
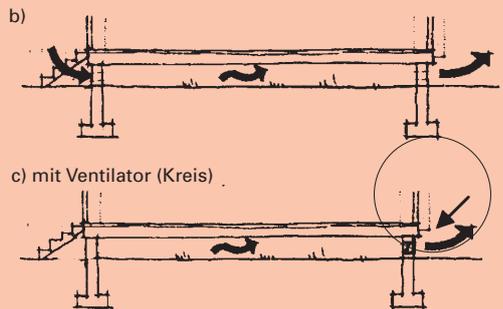
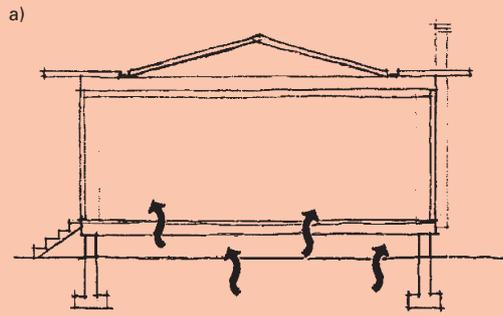
**Zusätzliche Massnahme:** Falls der Kriechkeller zugänglich ist, kann eine Verbesserung durch Abdichten mit einer Folie erreicht werden. Die Folie von mind. 0,5 mm wird auf dem Boden verlegt, verschweisst und gegen die Wände abgedichtet.

Eine Absaugung entsprechend c kann auch in Kellern angewendet werden. So wird ein Unterdruck im Keller erzeugt, der einen Transport der Kellerluft in obere Stockwerke verhindert. Dies funktioniert nur ohne unbefriedigende Energieverluste, falls keine grosse Öffnungen zwischen Keller und oberem Stockwerk bestehen.

**Zusätzliche Informationen:** Kap. 2.4, 3.2, 5.1, 6.2, 8.8

Axialventilator, 10 bis 100 W mit Regulierung.

Bei Anwendung eines Ventilators steigt die Radonkonzentration in Keller und Kriechkeller im Allgemeinen an. Bei ungenügender Ventilatorleistung kann das die Situation verschlechtern.



Resultate: Radonkonzentration in bewohnten Räumen.

## 8.2 Gebäude mit bestehendem Drainagesystem.

### Allgemeines:

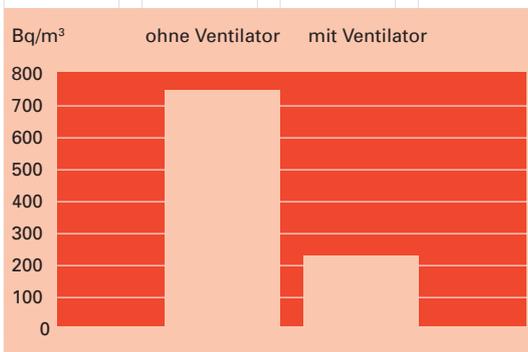
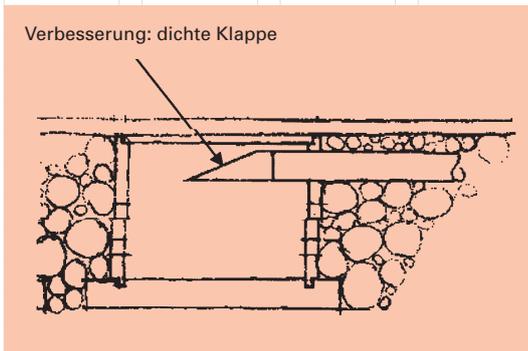
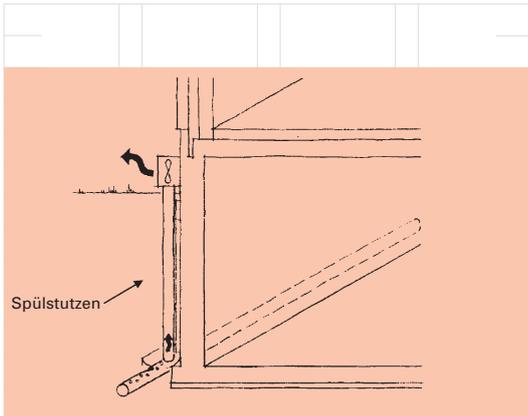
Die Öffnung sollte an der zugänglichsten Stelle realisiert werden, mindestens 2 Meter von Fenstern und Türen entfernt, damit die stark radonhaltige Luft nicht wieder ins Innere gelangt.

Das Drainagesystem wird mit einem Ventilator abgesaugt. Bei guter Bodendurchlässigkeit dehnt sich die Wirkung bis unter das Haus aus.

Eine dichte Klappe an jedem Ausgang des Drainagesystems installieren. Eine genügende Menge Wasser öffnet die Klappe gegen den Unterdruck des Ventilators.

### Zusätzliche Informationen: Kap. 2.4, 3.2, 6.2

Radialventilator (Rohrventilator) 10 bis 100 W mit Regulierung.



Resultate: Radonkonzentration in bewohnten Räumen.

### 8.3 Installation eines schwimmenden Bodens

#### Allgemeines:

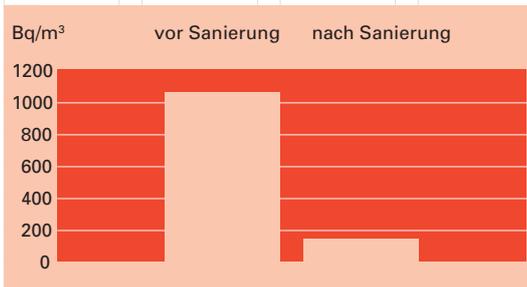
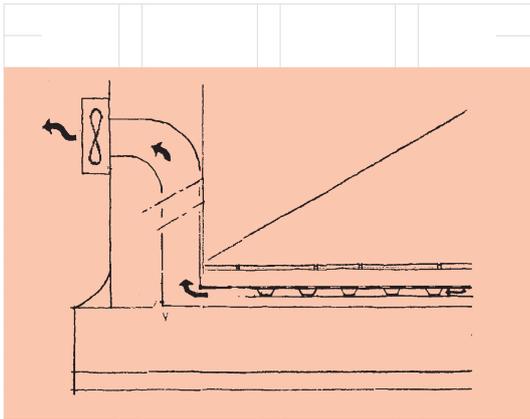
Das Radon, das in den Zwischenraum (ca. 1 cm) des schwimmenden Bodens eindringt, wird durch den schwachen Unterdruck eines kleinen Ventilators nach aussen transportiert. Die Ausblasöffnung sollte geschützt (Schnee, Regen) und mindestens 2 Meter von Fenstern und Türen entfernt sein. Die obere Lage des schwimmenden Bodens sollte so dicht wie möglich ausgeführt werden, damit nicht Warmluft abgesaugt wird.

Undichte Wände in Bodenkontakt können ebenfalls so saniert werden. Gleichzeitig kann die thermische Isolation mit geringen Kosten verbessert werden.

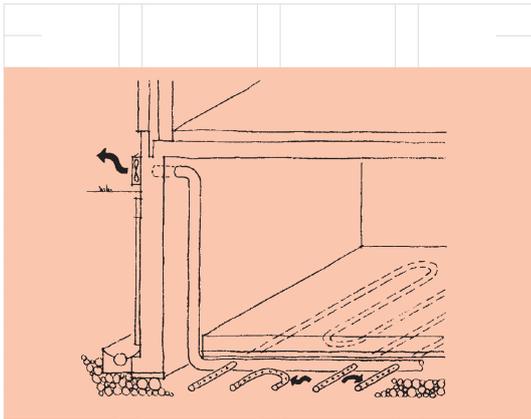
**Zusätzliche Massnahme:** Gleichzeitig kann die thermische Isolation mit geringen Kosten verbessert werden.

**Zusätzliche Informationen:** Kap. 2.4, 3.2, 6.2

Radialventilator (Rohrventilator) 10 bis 100 W mit Regulierung.



Resultate: Radonkonzentration in den bewohnten Räumen.



#### 8.4 Flächenhafte Bodenabsaugung

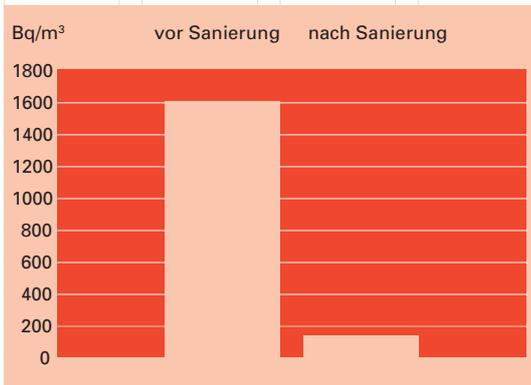
##### Allgemeines:

Dieses System ist ideal für Umbauten geeignet. Die Bodenluft wird durch perforierte Drainagerohre abgesaugt. Die Rohre werden in grobem Kies in einem Abstand von ca. 1,5 m verlegt und haben einen Durchmesser von ca. 10 cm. Wird die Auslassöffnung genügend hoch verlegt, zum Beispiel über Dach, kann sich unter Umständen ein Ventilator erübrigen. Andernfalls sollte die Ausblasöffnung geschützt (Schnee, Regen) und mindestens 2 Meter von Fenstern und Türen entfernt sein.

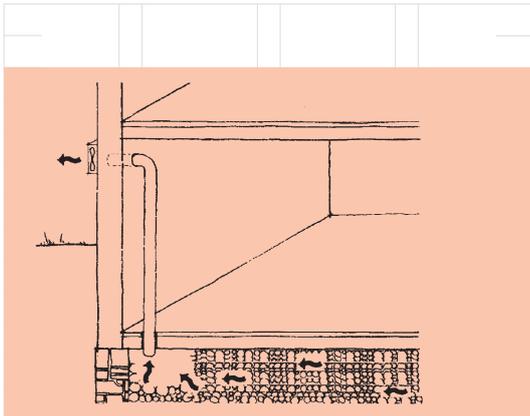
**Zusätzliche Massnahme:** Eine dichte Folie von mindestens 0,5 mm Dicke kann unter den Rohren verlegt werden.

##### Zusätzliche Informationen: Kap. 2.4, 3.2, 5.1, 6.2

Radialventilator (Rohrventilator) 10 bis 100 W mit Regulierung.



Resultate: Radonkonzentration in bewohnten Räumen.



### 8.5 Punktuelle Bodenabsaugung innen

#### Allgemeines:

Die Bodenluft wird unter dem Boden abgesaugt. Die Durchführung des Rohres muss dicht ausgeführt werden. Je nach Bodenbeschaffenheit und Grösse des Gebäudes genügt eine Absaugstelle oder es müssen mehrere installiert werden. Wird die Auslassöffnung genügend hoch verlegt, zum Beispiel über Dach, kann sich unter Umständen ein Ventilator erübrigen. Andernfalls sollte die Auslassöffnung geschützt (Schnee, Regen) und mindestens 2 Meter von Fenstern und Türen entfernt sein.

#### Verbesserung:

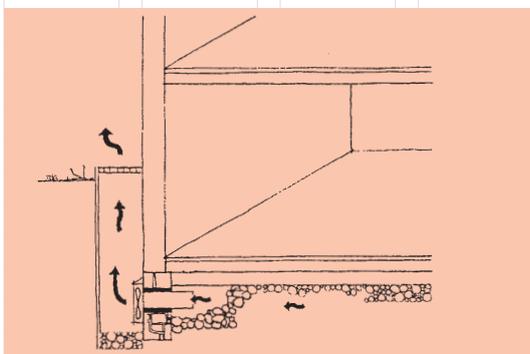
Um das Rohr wird im Boden von Hand oder mit Staubsauger, ein möglichst grosser Hohlraum geschaffen.

#### Zusätzliche Informationen: Kap. 2.4, 3.2, 6.2

Radialventilator (Rohrventilator) 10 bis 100 W mit Regulierung.



Resultate: Radonkonzentration in bewohnten Räumen.



### 8.5<sup>bis</sup> Variante zur punktuellen Bodenabsaugung innen

#### Allgemeines:

Mit dieser Variante lassen sich alle Arbeiten ausserhalb des Gebäudes durchführen.

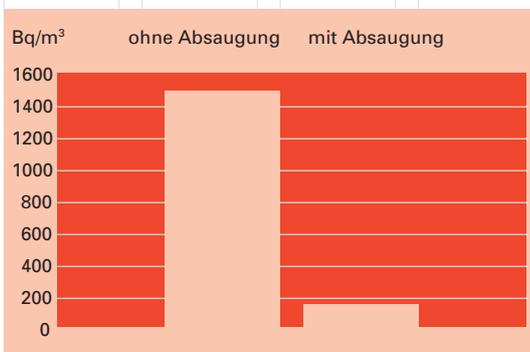
Die Bodenluft wird unter dem Haus abgesaugt. Die Durchführung des Rohres muss dicht ausgeführt werden. Je nach Bodenbeschaffenheit und Grösse des Gebäudes genügt eine Absaugstelle oder es müssen mehrere installiert werden. Die Auslassöffnung sollte geschützt (Schnee, Regen) und mindestens 2 Meter von Fenstern und Türen entfernt sein, damit die stark radonhaltige Luft nicht wieder ins Innere gelangt.

#### Verbesserung:

Um das Rohrende wird im Boden von Hand oder mit Staubsauger, ein möglichst grosser Hohlraum geschaffen.

#### Zusätzliche Informationen: Kap. 2.4/3.2/6.2

Radialventilator (Rohrventilator) 10 bis 100 W mit Regulierung.



Resultate: Radonkonzentration in bewohnten Räumen.

## 8.6 Punktuelle Bodenabsaugung aussen (Radonbrunnen)

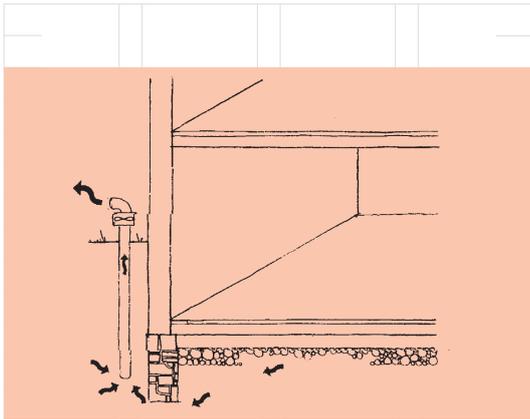
### Allgemeines:

Die Bodenluft wird mit Hilfe eines Ventilators abgesaugt. Wird die Auslassöffnung genügend hoch verlegt, zum Beispiel über Dach, kann sich unter Umständen ein Ventilator erübrigen. Andernfalls sollte die Ausblasöffnung geschützt (Schnee, Regen) und mindestens 2 Meter von Fenstern und Türen entfernt sein, damit die stark radonhaltige Luft nicht wieder ins Innere gelangt. Es ist darauf zu achten, dass die Luft nicht direkt auf die Terrasse, einen Spielplatz oder an einen sonst regelmässig belebten Ort abgeblasen wird.

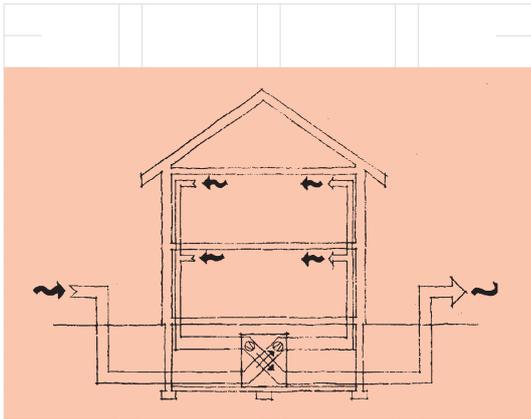
**Zusätzliche Massnahmen:** Je nach Bodenbeschaffenheit und Grösse des Gebäudes genügt eine Absaugstelle oder es müssen mehrere installiert werden.

### Zusätzliche Informationen: Kap. 2.4, 3.2, 6.2

Radialventilator (Rohrventilator) 10 bis 100 W mit Regulierung.



Resultate: Radonkonzentration in bewohnten Räumen.



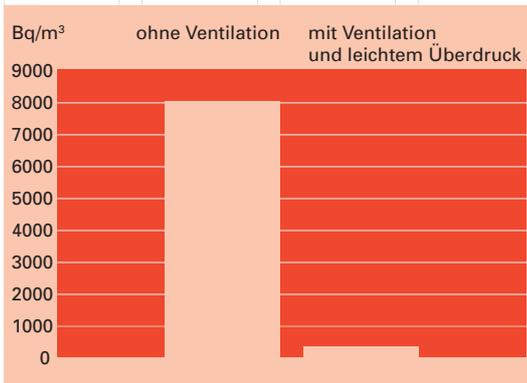
## 8.7 Kontrollierte Ventilation

### Allgemeines:

Dieses System erneuert auf kontrollierte Art die Raumluft und mischt sie mit Frischluft. Wird die Luftmenge verdoppelt, verringern sich die Schadstoffe in der Raumluft um einen Faktor 2.

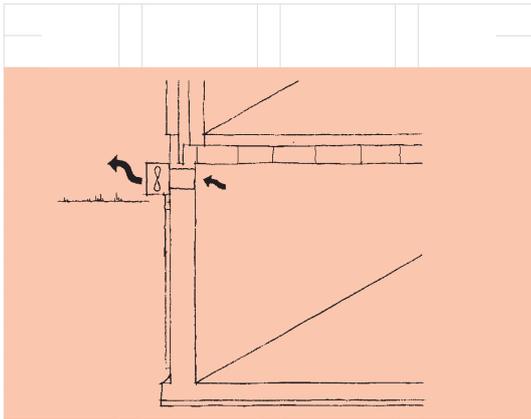
Zusätzlich ergibt sich eine Veränderung der Druckverhältnisse im Haus. Überwiegt die Zuluftmenge ein wenig die Abluftmenge, verringert sich der Unterdruck gegenüber dem Boden und es wird weniger Radon in das Haus transportiert.

Dieses System wird im untersten bewohnten Stockwerk installiert und reduziert automatisch die Radonkonzentration höherer Stockwerke. Im Mittel fallen die Radonkonzentrationen im nächsthöheren Stockwerk um 15% niedriger aus.



**Zusätzliche Informationen: Kap. 2.4, 3.2, 6.3**

Resultate : Radonkonzentration in bewohnten Räumen.



### 8.8 Absaugung unbewohnter Räume

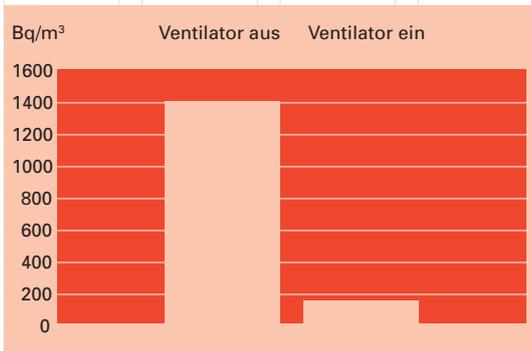
**Allgemeines:**

Ist die Kellerdecke aus durchlässigem Material wie Holz, Hurdis usw. wird die Kellerluft durch die Decke in die oberen Räume gesaugt. Dieser natürliche Unterdruck kann durch eine Absaugung im Keller ausgeglichen werden.

Es sollten keine grösseren Öffnungen zwischen Keller und bewohnten Räumen oder aussen bestehen, damit ein kleiner Ventilator genügt und keine zu grossen thermischen Verluste entstehen.

**Achtung:** Befinden sich Öfen oder Brenner in den betreffenden Keller-räumen, besteht die Gefahr einer schlechten Verbrennung und somit einer CO-Vergiftung. Dies sollte sorgfältig abgeklärt werden und eventuell sollte ein CO-Detektor verwendet werden.

**Zusätzliche Informationen: Kap. 2.4, 3.2, 6.2, 8.1**  
Axialventilator 10 bis 150 W mit Regelung.



Resultate: Radonkonzentration in unbewohnten Räumen.

# Anhang

## Anhang A Kontakte und Unterlagen

### A.1 Die Radonfachstelle des Bundes und die kantonalen Radonkontaktstellen

#### Fach- und Informationsstelle Radon des Bundes

Das Bundesamt für Gesundheit BAG ist für alle Radonmassnahmen auf nationaler Ebene zuständig. Es hat zu diesem Zweck eine «Fach- und Informationsstelle Radon» eingerichtet. Sie

- berät bei Messungen, Sanierungen und bei der Planung von Neubauten,
- informiert über die Radonproblematik in der Schweiz,
- koordiniert die Radonaktivitäten in der Schweiz.

Bundesamt für Gesundheit  
Fach- und Informationsstelle Radon  
3003 Bern  
Telefon 031 324 68 80  
Fax 031 322 83 83  
E-Mail: radon@bag.admin.ch  
www.ch-radon.ch

#### Radonkontaktstellen in den Kantonen

Mit der Einführung der Strahlenschutzverordnung StSV haben die Kantone folgende Aufgaben erhalten:

- Sie sorgen dafür, dass auf ihrem Gebiet genügend Radonmessungen durchgeführt werden, damit Gebiete mit erhöhten Radonkonzentrationen festgestellt werden.
- Sie bestimmen aufgrund der Messungen, welche Gebiete als Radongebiete zu bezeichnen sind.
- Sie erlassen Bauvorschriften, damit Grenz- und Richtwerte eingehalten werden.
- Sie ordnen auf Gesuch hin Messungen oder Sanierungen an
- Sie führen in öffentlichen Gebäuden selbst Messungen und Sanierungen durch.
- Sie kontrollieren nach Beendigung der Bauarbeiten stichprobenweise, ob die Grenzwerte eingehalten sind.
- Sie gewähren jeder Person Einsicht in die Radongebietspläne des Kantons.
- Sie informieren im Kanton über die Radonsituation.

## A.2 Drucksachen und Ausstellungen

<b>Medium</b>	<b>Titel</b>	<b>Bestellen</b>
<b>Drucksachen</b>	Radonhandbuch Schweiz	BBL 311.346.d
	Radon-Informationen Allgemeine Information zu einem strahlenden Thema	BBL 311.341.d gratis
	Radioaktivität und Strahlenschutz Allgemeine Informationen zum obigen Thema	BBL 311.322.d gratis
	Informationen für Bauherren zu radonsicherem Bauen und Sanieren	BBL 311.349.d gratis
	Rechtliche Informationen für Immobilien- und Baufachleute	BBL 311.350.d gratis
<b>Ausstellung</b>	Wanderausstellung	Kann beim BAG ausgeliehen werden
<b>Übriges</b>	Anschauungsmodelle «Sanierung»	Können beim BAG ausgeliehen werden

### **Bestelladressen**

BBL, Verkauf Bundespublikationen  
CH-3003 Bern  
Telefon 031 325 50 50  
Fax 031 325 50 58  
[www.bbl.admin.ch/bundespublikationen](http://www.bbl.admin.ch/bundespublikationen)  
E-Mail: [verkauf.zivil@bbl.admin.ch](mailto:verkauf.zivil@bbl.admin.ch)

Bundesamt für Gesundheit  
3003 Bern  
Telefon 031 324 68 80  
Fax 031 322 83 83  
E-Mail: [radon@bag.admin.ch](mailto:radon@bag.admin.ch)

## Anhang B Checkliste Hausbegehung

Gebäude mit hohen Radonwerten oder mit Verdacht darauf sollten systematisch analysiert werden, um eine erfolgsversprechende Sanierung in die Wege leiten zu können. Die nachfolgende Begehungs-Checkliste bietet eine Hilfe für diese Zustandserfassung und Analyse. Bei der Begehung gilt es, sich die möglichen Ein- und Durchtrittswege des Radongases und die denkbaren Ursachen vorzustellen und aufzuspüren. Für die zu planenden Sanierungsschritte ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Transportbahnen 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 die Grenzflächen als geschlossene Perimeter zu vergegenwärtigen.
Keller	Geruch und Feuchte im Keller. Miefgeruch und hohe Feuchtigkeiten deuten auf ungenügenden Luftwechsel und/oder Feuchtelecks.	Beide Ursachen des Feuchtegeruchs bergen die Gefahr der Radonanreicherung im Keller.
Aufenthaltsräume	Geruch und Feuchte in Aufenthaltsräumen.	Insbesondere bei Aufenthaltsräumen direkt über Erdreich gilt dasselbe wie bei Kellerräumen. Aber auch in Erdgeschossräumen kann es ein Indiz für eindringende, evtl. radonbelastete Kellerluft sein.
Boden im untersten Geschoss	Wie ist die Bodenkonstruktion in den einzelnen Kellerräumen: Naturboden, Platten, Steine, durchgehende Bodenplatte? Sind Risse oder Löcher aufgefallen?	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 taxiert werden. Wie sieht es aus mit Möglichkeiten der Bodenentlüftung?
Kellerwände gegen das Erdreich	Wie sind die Wandkonstruktionen in den einzelnen Kellerräumen (Bruchstein, Stahlbeton). Kann auf die Foundation 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 Holzständerkonstruktionen oft die ganze Wand.
Kellerfenster	Aus welchem Material und in welchem Zustand befinden sie sich? Führen die Fenster direkt nach aussen oder münden sie in einen Lichtschacht? Sind sie gängig? Werden sie offen oder geschlossen angetroffen?	Die Lüftungsmöglichkeiten, aber auch die angetroffene Situation ist genau zu protokollieren. Offene, in einen Lichtschacht mündende Fenster können einen Radoneintrittspfad darstellen.

Bauteil / Bauelement	Wahrnehmung / Prüfung	Mögliche Konsequenzen
Leitungen	Leitungen nach aussen: Elektrohauptstrang, TV-Kabel, Gashauptstrang, Telefon, Wasser, Ölleitung von erdverlegtem Tank, Kanalisationsleitung, Lüftungsleitung von Erdregister, Erdsondenleitung der Wärmepumpe, Aussenwärmefühler, Bodenabflüsse in Waschküche usw.	In praktisch jedem Keller- raum sind Leitungen anzu- treffen. Leitungen von aus- sen können grosse Boden- volumina erschliessen und namhafte Radonfrachten in das Gebäude bringen.
	Leitungen im Gebäude- innern: Elektrotrassees, Abwasser- fallstrang, Kalt-, Warm- und Warmwasserzirkulation, Telefon, Gas, TV-Kabel, Ka- mine, Heizungsrohrtrassees.	Leitungsdurchführungen oder -schächte im Gebäude- innern können namhafte Radongasfrachten von Kellerräumen in Aufent- haltsräume transportieren.
Heizung	Wie wird die Verbrennungs- luft zugeführt? Welche Klap- pen und Öffnungen weist der Kamin auf? Ist die Ex- plusionsklappe des Kamins geschlossen?	Im Keller sollten Ursachen, die zu Unterdruck führen, unterbunden werden.
Kriechkeller	In welchem konstruktiven und baulichen Zustand be- findet sich der Kriechkeller. Ist er belüftet?	Geschlossene Kriechkeller oder unter dem Haus liegen- de Hohlräume können hohe Radongaswerte aufweisen.
Kellerdecke Aufenthaltsraumboden	Wie ist die Deckenkon- struktion in den einzelnen Kellerräumen (Holzbalken, Hourdiskonstruktion, 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 Beschaf- fenheit der Fugen? Kann mit blosser Hand ein Luftzug festgestellt werden? Wie der Bodenaufbau und dessen seitliche Anschlüsse in den darüberliegenden Räumen?	Es kann sein, dass der Hauptradonpfad durch die oder entlang den Fugen vom Keller in die Aufent- haltsräume führt. Insbe- sondere Leichtbau-Zwi- schendecken (zum Beispiel Holzbalkendecken) sind sehr durchlässig.
Kellertüre	Ist das Untergeschoss über eine einzige Türe erschlos- sen? Sind Aufenthaltsräume unmittelbar angrenzend? Wie ist die Türe beschaffen? Ist sie auch im Schwellen- bereich dicht schliessend? Kann sie mit umlaufenden Dichtungen versehen wer- den? Wie ist der Türrahmen befestigt? Kann er nachträg- lich abgedichtet werden?	Je nach Situation ist der Kellertüre besondere Be- achtung zu schenken. Zum Beispiel können alleine durch ein Bartschlüsselloch namhafte Radongasfrachten gelangen.
Kellertreppe	Sind Aufenthaltsräume unmittelbar angrenzend? In welchem Zustand und aus welchem Material ist die Treppenuntersicht? Wie ist der Anschluss an die Treppenseitenwand? Wie ist der Aufbau der Wand? In welchem Zustand sind Fugen und Anschlüsse? Kann mit vertretbarem Aufwand nachträglich abgedichtet werden?	Eine dichte Kellertüre nützt wenig, wenn der Kellerauf- gang undicht ist.
	Verfügt der Keller über Tü- ren und Treppen nach aus- sen? Kann die Innentreppe verschlossen werden?	Je nach Situation eine viel versprechende Alternative.

				<b>Bauteil / Bauelement</b>	<b>Wahrnehmung / Prüfung</b>	<b>Mögliche Konsequenzen</b>
				Lüftungstechnische Anlagen	Befinden sich im Keller Abluftventilatoren (zum Beispiel in der Waschküche)? Befinden sich in den Wohnräumen Ventilatoren, zum Beispiel in der Küche oder im 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, Unterdruck erzeugende Elemente wie Schächte, Cheminées, Öfen usw.? Woher stammt die Verbrennungsluft für Einzelöfen, Cheminées usw.?	Es ist schwierig, sich ein wahrheitsgemäßes Bild der Drucksituation in einem Gebäude (in unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten!) zu machen. Trotzdem sind Hypothesen dazu hilfreich für die Massnahmenplanung. Die Feuerräume von Öfen und Cheminées sollten gegen den Raum hin dicht abschliessbar sein und die Verbrennungsluft sollte in grosszügig dimensionierten Zuleitungen von aussen herbeigeführt werden.

**Die eidgenössische Strahlenschutzverordnung**

Seit 1994 gilt in der Schweiz die neue Strahlenschutzverordnung (StSV, SR 814.501), welche die Strahlenbelastung der Bevölkerung zu Hause und am Arbeitsplatz regelt und begrenzt. Die Verordnung verfolgt bezüglich Radon das Ziel, die Menschen vor übermässiger Strahlenbelastung durch Radon in Innenräumen zu bewahren. Dies gilt für Eigentümer und Mieter von Wohnungen und Wohnhäusern ebenso wie für die Situation am Arbeitsplatz bzw. in der Schule oder in anderen Aufenthaltsräumen. Die Verordnung hat daher Einfluss auf grosse Teile der Immobilienbranche, namentlich auf Architekten, Bauherrschaften und Baubehörden.

**Auszug aus der Verordnung vom 22. Juni 1994 über den Strahlenschutz**

**3. Abschnitt: Erhöhte Radonkonzentrationen**

**Art. 110 Grenzwerte und Richtwert**

- 1 Für Radongaskonzentrationen in Wohn- und Aufenthaltsräumen gilt ein über ein Jahr gemittelter Grenzwert von 1000 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m<sup>3</sup>).
- 2 Für Radongaskonzentrationen im Arbeitsbereich gilt ein über die monatliche Arbeitszeit gemittelter Grenzwert von 3000 Bq/m<sup>3</sup>.
- 3 Ist eine beruflich strahlenexponierte Person bei der Ausübung ihres Berufes zusätzlich Radongaskonzentrationen von über 1000 Bq/m<sup>3</sup> ausgesetzt, so ist die durch Radon zusätzlich akkumulierte Dosis bei der Berechnung der zulässigen Jahresdosis nach Artikel 35 mitzuberechnen.
- 4 Bei Neu- und Umbauten (Art. 114) sowie bei Sanierungen (Art. 113 und 116) gilt ein Richtwert von 400 Bq/m<sup>3</sup>, soweit dies mit einfachen baulichen Massnahmen erreicht werden kann.

**Art. 111 Messungen**

- 1 Die Radongaskonzentration muss durch anerkannte Messstellen ermittelt werden.
- 2 Messungen können durch den Eigentümer oder jede andere betroffene Person veranlasst werden.
- 3 Wenn eine Messung nicht nach Absatz 2 erfolgt, wird sie auf Geheiss des Betroffenen durch die Kantone angeordnet. Die Kantone sorgen dafür, dass das Resultat der Messung dem Betroffenen mitgeteilt wird.
- 4 Als Betroffene gelten Personen, bei denen Anhaltspunkte bestehen, dass die Grenzwerte infolge Aufenthalts in Räumen oder Bereichen nach Artikel 110 überschritten sind. Dies gilt insbesondere für Personen, die sich in Gebieten mit erhöhten Radongaskonzentrationen nach Artikel 115 aufhalten.
- 5 Die Benutzer von Gebäuden müssen die Räume für Messungen zugänglich machen.
- 6 Die Kosten der durch die Kantone angeordneten Messungen gehen zu Lasten des Eigentümers.

**Art. 112 Anerkennung und Pflichten der Messstellen**

- 1 Die Messstellen werden durch das BAG anerkannt, wenn das vorgesehene Messsystem dem Stand der Technik entspricht und an nationale oder internationale Normale angeschlossen ist (Rückführbarkeit).
- 2 Die Rückführbarkeit wird im Einzelfall durch das EAM festgelegt und durch eine von ihm anerkannte Stelle überprüft.
- 3 Die Messstellen sind verpflichtet, die Resultate der Messungen der zuständigen kantonalen Stelle mitzuteilen.

#### Art. 113 Schutzmassnahmen

- 1 Auf Gesuch eines Betroffenen muss der Eigentümer bei einer Überschreitung des Grenzwerts nach Artikel 110 die erforderlichen Sanierungen innerhalb von drei Jahren vornehmen.
- 2 Bei unbenutztem Ablauf der Frist oder bei Weigerung des Eigentümers ordnen die Kantone die erforderlichen Sanierungen an. Sie bestimmen für die Durchführung der Sanierungen eine Frist von längstens drei Jahren nach der Dringlichkeit des Einzelfalls.
- 3 Die Kosten der Sanierungen gehen zu Lasten des Eigentümers.
- 4 Vorbehalten bleiben Sanierungsmassnahmen, welche durch die SUVA nach dem Unfallversicherungsgesetz getroffen werden.

#### Art. 114 Bauvorschriften

- 1 Die Kantone treffen die notwendigen Massnahmen, damit Neu- und Umbauten so erstellt werden, dass der Grenzwert von 1000 Bq/m<sup>3</sup> nicht überschritten wird. Sie sorgen dafür, dass mit geeigneten baulichen Massnahmen angestrebt wird, dass die Radongaskonzentration den Richtwert von 400 Bq/m<sup>3</sup> nicht überschreitet.
- 2 Nach Beendigung der Bauarbeiten kontrollieren die Kantone stichprobenweise, ob der Grenzwert eingehalten wird.

#### Art. 115 Radongebiete

- 1 Die Kantone sorgen dafür, dass auf ihrem Gebiet eine genügende Anzahl von Messungen durchgeführt wird.
- 2 Sie bestimmen die Gebiete mit erhöhten Radongaskonzentrationen und passen diese aufgrund der Daten der Messungen laufend an.
- 3 Die Kantone sorgen dafür, dass in Gebieten mit erhöhten Radongaskonzentrationen in einer genügenden Anzahl von Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräumen in öffentlichen Gebäuden Messungen durchgeführt werden.
- 4 Die Pläne der Gebiete mit erhöhten Radongaskonzentrationen können von jeder Person eingesehen werden.

#### Art. 116 Sanierungsprogramme

- 1 In Gebieten mit erhöhten Radongaskonzentrationen legen die Kantone die zu treffenden Sanierungsmassnahmen fest für Räume, in denen der Grenzwert nach Artikel 110 Absatz 1 überschritten ist.
- 2 Sie bestimmen die Frist, innerhalb welcher die Sanierungsmassnahmen durchzuführen sind, entsprechend der Dringlichkeit des Einzelfalls und der wirtschaftlichen Tragbarkeit.
- 3 Die Sanierungsmassnahmen müssen bis spätestens 20 Jahre nach dem Inkrafttreten dieser Verordnung durchgeführt sein.
- 4 Die Kosten der Sanierungsmassnahmen gehen zu Lasten der Eigentümer.

#### Art. 117 Information

- 1 Die Kantone übergeben dem BAG die Pläne mit den Radongebieten spätestens zehn Jahre nach dem Inkrafttreten dieser Verordnung.
- 2 Sie informieren das BAG regelmässig über den Stand der Sanierungen.

#### Art. 118 Fach- und Informationsstelle Radon

- 1 Das BAG betreibt eine Fach- und Informationsstelle Radon.
- 2 Es nimmt dabei folgende Aufgaben wahr:
  - a. Es macht regelmässig zusammen mit den Kantonen Messempfehlungen und Messkampagnen;
  - b. Es berät Kantone, Hauseigentümer und weitere Interessierte bei Radonproblemen;
  - c. Es informiert die Öffentlichkeit regelmässig über die Radonproblematik in der Schweiz;
  - d. Es berät die betroffenen Personen und interessierten Stellen über die geeigneten Schutzmassnahmen;
  - e. Es evaluiert regelmässig die Auswirkungen der Massnahmen;
  - f. Es kann Untersuchungen über Herkunft und Wirkung des Radons durchführen;
  - g. Es gibt den Kantonen regelmässig einen Überblick über die ihm nach Artikel 115 gemeldeten Radongebiete.
- 3 Das BAG stellt den Kantonen auf Gesuch die bisher gesammelten Messdaten zur Verfügung.
- 4 Das BAG kann Ausbildungskurse durchführen.

#### **Vollzug der Radon-Artikel der Strahlenschutzverordnung und Stand der Umsetzung**

Der Vollzug der Strahlenschutzverordnung liegt auch bei den Kantonen. Sie werden verpflichtet, Informationen über Radongebiete auf ihrem Territorium zu vermitteln und leiten die notwendigen baurechtlichen Massnahmen ein, damit die Radonschutzziele bei Neubauten und in bestehenden Häusern in angemessener Frist erreicht werden. Die Vollzugsaufgaben des Bundes sind in der StSV klar als Unterstützungs- und Koordinationsaufgaben erkenntlich, namentlich in Form der Pflichten der Fach- und Informationsstelle Radon (Art. 118). Die Vollzugsaufgaben der Kantone sind allerdings etwas eingeschränkt, indem die SUVA für Arbeitsräume zuständig ist.

Die Radonartikel der Strahlenschutzverordnung sind sehr detailliert und beschreiben die Aufgaben der Kantone relativ genau. Je nach Kanton ist es in unterschiedlichem Masse notwendig, diese Bestimmungen im eigenen Gesetzeswerk zu verankern und allenfalls zu präzisieren.

In der ersten, jetzt langsam zu Ende gehenden Phase der Umsetzung galt es vor allem, mit Messungen eine sanitätspolitische Einschätzung im Kanton vornehmen zu können und die Grundlagen für die Ausscheidung von Radongebieten zu schaffen. Die kantonalen Radonkontaktstellen sind deshalb häufig in den Sanitätsdirektionen angesiedelt oder den Kantonsärzten zugeordnet. Langfristig rücken eher die baulichen Aspekte in den Vordergrund. Es werden deshalb vermehrt Kontaktstellen in den Baudirektionen geschaffen, welche den Vollzug der baulichen Massnahmen bei Neubauten und bestehenden Bauten bautechnisch und baurechtlich organisieren.

Der baugesetzliche Vollzug liegt, mit allerdings erheblichen kantonalen Unterschieden, zu einem guten Teil bei den Gemeinden. Die Gemeinde ist in der Regel zuständig bei bewilligungspflichtigen Bauvorhaben (Neu- und Umbau) und sie ist die erste Anlaufstelle bei Radonverdacht in bestehenden Bauten. Einzelne Gemeinden haben deshalb auch begonnen, in Baubewilligungen darauf hinzuweisen, dass die Strahlenschutzverordnung einzuhalten sei. Ausser der Festlegung von Radongebieten wird es weder notwendig noch sinnvoll sein, in kommunalen Bauordnungen Festlegungen zu treffen, die über die Strahlenschutz-

verordnung hinausgehen bzw. diese präzisieren. Die Ziele sind dort quantitativ und verbindlich definiert. Die Wege zur Zielerreichung im Rahmen der Baugesetzgebung können den Bauherrschaften und Bauplanern überlassen bleiben.

**Die Bedeutung für Architekten, Bauunternehmer, Bauherrschaften, Hauseigentümer und Mieter**

Der mit der Planung beauftragte Architekt (oder sonstige Bauplaner) hat eine getreue und sorgfältige Erfüllung seines Auftrages zu garantieren. Eine fachgerechte Planung in diesem Sinne setzt voraus, dass er die Regeln der Technik kennt und anwendet. Seit der Inkraftsetzung der eidg. Strahlenschutzverordnung 1994 wurde insbesondere durch die Radonfachstelle des Bundesamtes für Gesundheit intensive Öffentlichkeitsarbeit, aber auch Sachabklärung betrieben. Ein Grundwissen über die Notwendigkeit und die Grundsätze der Radonprävention bei Neubauten wie der Radonsanierung bei Umbauvorhaben gehört daher heute zu den Regeln der Technik, die bei professionellen Architekten vorausgesetzt werden müssen. Ähnliches gilt für die werkvertraglichen Vereinbarungen mit Bauunternehmen. Unsorgfältige Ausführung oder Abweichungen von Planvorgaben, die zu Radon-Grenzwertüberschreitungen in Aufenthaltsräumen führen, werden in Zukunft immer eindeutiger als Mangel im Rechtssinne gelten und die klassischen Mängelrechte begründen. Im Fall des Radonschutzes wird wohl am ehesten das Recht auf Nachbesserung gelten gemacht werden.

Die Bauherrschaft hat ein finanzielles Interesse, dass keine Immobilienentwertung durch übermässige Radonbelastung entsteht. Dabei handelt es sich eher um eine moralische und rechtliche Verpflichtung, auf die Unbedenklichkeit der Aufenthaltsräume zu achten. Immerhin dürfen etwa Kinder als Schutzbefohlene von Eltern und Schulbehörden erwarten, dass sie keinem erhöhten Radonrisiko ausgesetzt werden. Komplizierter wird der Sachverhalt bei vermieteten Objekten. Mieter gelten zweifellos als «Betroffene» im Sinne von Art. 113 (StSV) und haben einen Rechtsanspruch auf gesunde und unbedenkliche Räume. Sie können also eine Radonsanierung auf Kosten des Eigentümers verlangen, wenn die Grenzwerte überschritten sind.

Die Strahlenschutzverordnung erteilt den Kantonen (und damit mittelbar auch den Gemeinden) sehr klare und terminierte Vollzugsaufträge. Insbesondere die darin anvisierten Sanierungsprogramme (Art. 116) rufen nach strukturierten Vollzugsmodellen. So ist damit zu rechnen, dass im Bauvollzug die entsprechenden Auflagen in Baubewilligungen wie auch die dazugehörigen Hilfsmittel (zum Beispiel Formulare) auftauchen werden.

## Anhang D Radon in Baumaterialien

	Radon-Exhalationsrate [Bq/(m <sup>2</sup> h)]
Natursandstein	1,0
Porphy	3,3
Kalksandstein	0,9
Ziegel, Klinker	0,2
Naturbims	1,5
Hüttenschlacke	0,6
Beton	1,1
Gasbeton	1,0
Naturgips	0,2
Chemiegips, Apatit	0,4
Chemiegips, Phosphorit	24,1

Tabelle D1: Radonexhalationsraten ausgewählter Baustoffe, nach HOH.

Radium kommt in fast allen Steinen und Erden vor. Radon als Zerfallsprodukt von Radium entsteht deshalb laufend neu in den mineralischen Baustoffen, wird an den Oberflächen freigesetzt und trägt zur Radonkonzentration in Räumen bei. Allerdings ist die Menge des freigesetzten Radons in der Regel minimal. Im Durchschnitt tragen die raumumschliessenden Baustoffe zwischen 5 und 20 Bq/m<sup>3</sup> zur Gesamtbelastung bei. Im Verhältnis zum Richtwert von 400 Bq/m<sup>3</sup> oder dem Grenzwert von 1000 Bq/m<sup>3</sup> ist dies wenig.

In der Schweiz wurden bisher noch in keinem Fall Baumaterialien entdeckt, die massgeblich zur Radonbelastung in Räumen beigetragen hätten.

Der Optimierungsspielraum zur Senkung der Radonbelastung durch die gezielte Wahl von Baumaterialien bzw. Baumaterialoberflächen beträgt also maximal ein bis zwei Dutzend Becquerel pro Kubikmeter. Wer diesen Spielraum nutzen möchte, kann die einzelnen Einflussfaktoren zu beeinflussen versuchen. Die folgenden Grössen bestimmen die Belastung durch Radon aus raumumschliessenden Bauteilen:

**Die Radonabgabe aus dem Baustoff**  
Baustoffe geben in unterschiedlichem Mass Radon ab. Dies wird mit der Radonexhalationsrate (in Bq/(m<sup>2</sup>\*h)) zum Ausdruck gebracht. Die Radonexhalationsrate hängt wiederum von mehreren Faktoren ab, etwa von der Radiumkonzentration im Material, der Porosität und Porenstruktur und teilweise sogar von der Bauteilfeuchte. Je undurchlässiger ein Material ist, desto mehr Radon zerfällt noch innerhalb des Baustoffes in das nichtflüchtige Polonium, das sich im Baustoff einlagert und keinen Schaden anrichten kann. Auch die später daraus entstehenden Spaltprodukte sind nichtflüchtig. Tabelle D1 zeigt Radonexhalationsraten einiger Baustoffe. Es ist ersichtlich, dass die gängigen mineralischen Baustoffe sich im Bereich von 0,2 bis 1,5 Bq/(m<sup>2</sup>\*h) bewegen.

**Das Oberflächen-Volumen-Verhältnis**  
Es ist offensichtlich, dass die Radonkonzentration davon abhängt, wie viele Quadratmeter exhalierender Oberfläche pro Kubikmeter wirksam sind. Aus geometrischen Gründen ist dieses Verhältnis ungünstiger bei kleinen als bei grossen Räumen. Allerdings sind ja immer nur Teile, beispielsweise die Wände oder die Decke, aus mineralischen Baustoffen.

**Die Oberflächenbeschichtung**  
Da die Radonbelastung aus den Bauteilen relativ niedrig ist, wirken auch nicht diffusionsdichte Beschichtungen wie dicke Anstriche, Teppiche mit Kautschukrücken u.Ä. als erhebliche Exhalationsbremse.

**Der Luftwechsel**  
Die raumumschliessenden Bauteiloberflächen stellen eine konstante Radonquelle dar. Der Luftwechsel führt daher zu einem direkten Verdünnungseffekt (falls der Radongehalt der Aussenluft tiefer ist). Die Radonexhalation aus Bauteilen ist nicht merklich von den Druckverhältnissen im Gebäude abhängig. Anders als bei der eindringenden radonhaltigen Bodenluft müssen deshalb auch keine negativen Sekundärwirkungen befürchtet werden.

--	--	--	--

Die aus anderen Ländern berichteten Fälle von übermässiger Radonbelastung durch Baustoffe sind sehr speziell. Nebst dem Beton aus Rückständen der Aluminiumproduktion werden etwa Phosphorit (spezieller Industriegips) genannt oder Luftheizungssysteme mit Steinspeicher. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass in der Schweiz Fälle gefunden werden, wo Radon aus Baustoffen eine Rolle spielt. Aufgrund des gegenwärtigen Wissensstandes besteht für den Bauplaner aber keine Veranlassung, eine besondere Baustoffwahl zu treffen.

**Zur Bedeutung der Radonproblematik für Architekten,  
Bauunternehmer, Bauherrschaften, Hauseigentümer und Mieter**

Bis heute sind keine Rechtsentscheide zur Frage von überhöhten Radonkonzentrationen bekannt.

**Grundsätzliches**

In der Strahlenschutzverordnung vom 22. Juni 1994 (StSV, SR 814.501) ist der gesundheitsgefährdende Radonwert in Wohn- und Geschäftsräumen, die dem dauernden Aufenthalt von Menschen dienen, festgelegt. Wird dieser überschritten, sind diese Räume mit einem Mangel im Sinne von Artikel 256, 259a OR behaftet und konstituieren die entsprechenden Mängelrechte.

Bis im Jahre 2004 sollen gemäss StSV alle Radongebiete messtechnisch erfasst sein. Falls geografische, geologische oder andere Gründe vorliegen, kann es bis zum vorgesehenen Datum für Mieter, Käufer und Arbeitnehmer ratsam sein, vor Vertragsabschluss die Radonkonzentration messen zu lassen.

**Kauf und Verkauf von Bauland**

Beim Verkauf eines unbebauten Grundstücks besteht üblicherweise eine Gewährleistung lediglich für die zugesicherten Eigenschaften wie bereits genehmigte Bauprojekte u.Ä. Grundsätzlich ist es Sache des Käufers, sich darüber zu informieren, ob die Parzelle als Radongebiet gilt, falls dies für ihn eine wichtige Information hinsichtlich des Kaufentscheides ist.

Verlangt der Käufer die Zusicherung, dass das Grundstück nicht in einem Radongebiet liegt, müsste der Verkäufer diese Information liefern und vertragsrechtlich dafür geradestehen.

**Verkauf von Liegenschaften**

Beim Verkauf einer Liegenschaft haftet der Verkäufer für zugesicherte und in guter Treue anzunehmende Eigenschaften. Also auch dafür, dass die Liegenschaft nicht körperliche oder rechtliche Mängel hat, die den Wert der Baute oder ihre Tauglichkeit zu dem vorausgesetzten Gebrauche aufheben oder erheblich mindern. Grenzwertüberschreitende Radonbelastungen in Räumen dürften in diesem Sinne als klare Wertverminderung bezeichnet werden.

In Radongebieten oder bei offensichtlichen Schwachstellen der Gebäudekonstruktion wird empfohlen, den Radongehalt vor dem Verkauf einer Immobilie messen zu lassen. Auch soll ungefragt über die Messresultate und Sanierungsmassnahmen informiert werden. Ein gesundes Haus mit tiefen Werten kann auf dem Markt mehr Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Die Messresultate sollten aufbewahrt werden und über die Schritte und Kosten einer allfällig erfolgten Radonsanierung sollten Dokumente vorhanden sein. Auch das könnte ein Verkaufsargument sein.

**Erstellen oder Sanieren eines Bauobjektes**

Aus juristischer Sicht liegt im Werkvertragsrecht ein Mangel vor, wenn eine vereinbarte, eine zugesicherte oder eine vorausgesetzte Eigenschaft fehlt. Bei den vorausgesetzten Eigenschaften darf der Besteller in guter Treu erwarten, dass das Werk die normale Beschaffenheit aufweist, handwerklich einwandfrei erstellt wird und gebrauchstauglich ist. Nach dem heutigen Bekanntheitsgrad der Radonproblematik in der Öffentlichkeit kann das Einhalten eines bestimmten Richt- oder Grenzwertes unter die vorausgesetzten Eigenschaften subsummiert werden. Sicherheitshalber kann die Einhaltung des Grenzwerts im Werkvertrag ausdrücklich vereinbart werden.



**Liste anerkannter Messstellen  
Services de mesures agréés  
Servizi di misura riconosciuti**

**Kantonale  
Radon-Kontaktstellen  
Services cantonaux  
responsables du radon  
Servizi cantonali  
responsabili del radon**

Die aktuellen Listen finden Sie unter:  
Les listes actuelles:  
Le liste attuali si trovano sotto:

**[www.ch-radon.ch](http://www.ch-radon.ch)**

**Anhang F**  
**Empfehlungen des BAG für verschiedene Radon-Zonen**

				<b>Hohes Radonrisiko (Radongebiet)</b>	<b>Mittleres Radonrisiko</b>	<b>Geringes Radonrisiko</b>
<b>Bestehende Bauten</b>	Übliche Benutzung von Wohn- und Aufenthaltsräumen			- Messung notwendig	- Messung empfohlen	- Messung erwägen
	Umnutzung von Kellerräumen in Wohn- und Aufenthaltsräume			- Messung in betroffenen Räumen vor Planungsarbeiten notwendig	- Messung in betroffenen Räumen vor Planungsarbeiten empfohlen - Allfällige bauliche Massnahmen treffen* - Nach Realisierung Kontrollmessungen empfohlen	- Messung in betroffenen Räumen vor Planungsarbeiten erwägen - Allfällige bauliche Massnahmen treffen* - Nach Realisierung Kontrollmessungen erwägen
	Renovation von Wohnräumen			- Allfällige bauliche Massnahmen treffen* - Nach Realisierung Kontrollmessungen notwendig - Vor Renovationsarbeiten Messung notwendig - Allfällige bauliche Massnahmen treffen* - Nach der Renovation Messung notwendig	- Messung vor Renovation empfohlen - Allfällige bauliche Massnahmen treffen* - Nach der Renovation Messung empfohlen	- Messung vor Renovation erwägen - Allfällige bauliche Massnahmen treffen* - Nach der Renovation Messung erwägen
	Handänderungen von Liegenschaften			- Messung vor oder nach Handänderung notwendig - Artikel zu Radon im Handänderungsvertrag notwendig	- Messung vor oder nach Handänderung empfohlen - Artikel zu Radon im Handänderungsvertrag empfohlen	- Messung vor oder nach Handänderung erwägen
<b>Neubauten</b>	Planung und Ausführung			- Stand der Technik mit präventiven Massnahmen. - SIA-180 Ziff. 3.1.4.** - Empfehlung: Durchgehende Betonplatte mit perforiertem Rohr unter der Fundamentplatte und mit einer Anschlussmöglichkeit für eine allfällige Bodenentlüftung - Kontrollmessung nach Fertigstellung	- Stand der Technik - SIA-180 Ziff. 3.1.4.**	- Stand der Technik
	<p><b>Empfehlungen gelten vorwiegend für Einfamilienhäuser, Bauernhäuser, kleine Mehrfamilienhäuser (bis 3 Stockwerke), Kindergärten, Schulen.</b></p> <p>* Massnahmen gemäss «Radon: Technische Dokumentation» 311.347d, unter <a href="http://www.ch-radon.ch">www.ch-radon.ch</a> ist diese Dokumentation als pdf-File abrufbar.</p> <p>** SIA-Norm 180 Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau, Ziff. 3.1.4.3: Die Abdichtung zwischen Wohnbereich und Keller oder dem Erdreich muss in Gegenden mit hoher Radonbelastung besonders sorgfältig ausgeführt werden.</p>					



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI  
**Bundesamt für Gesundheit BAG**

Bitte frankieren

Absender

---

---

---

---

---

**Bundesamt für Gesundheit (BAG)**  
Abteilung Strahlenschutz  
Sektion Radiologische Risiken  
3003 Bern



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI  
**Bundesamt für Gesundheit BAG**

Bitte frankieren

Absender

---

---

---

---

---

**Bundesamt für Gesundheit (BAG)**  
Abteilung Strahlenschutz  
Sektion Radiologische Risiken  
3003 Bern

Wenn Sie wünschen, dass wir Ihnen weiterhin Unterlagen zu Ihrem Radon-Ordner zukommen lassen, oder wenn Sie Informationen über Aktivitäten wünschen, ist es unerlässlich, dass Sie das Gewünschte unten ankreuzen und die Karte an uns zurücksenden.

**Ordner**

Ordner aufdatieren

**Aktivitäten**

Ausstellungen

Konferenzen

Kurs für Gebäudedefachleute

---

Datum

Unterschrift

Wenn Sie wünschen, dass wir Ihnen weiterhin Unterlagen zu Ihrem Radon-Ordner zukommen lassen, oder wenn Sie Informationen über Aktivitäten wünschen, ist es unerlässlich, dass Sie das Gewünschte unten ankreuzen und die Karte an uns zurücksenden.

**Ordner**

Ordner aufdatieren

**Aktivitäten**

Ausstellungen

Konferenzen

Kurs für Gebäudedefachleute

---

Datum

Unterschrift