

**Zeitschrift:** Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera

**Herausgeber:** Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz

**Band:** - (1994)

**Rubrik:** Radon

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 26.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## 2. RADON

**W. Gfeller, G. Piller,**  
**G.A. Roserens, W. Zeller, (2.1.-2.3., 2.6., 2.7.)**

Sektion Physik und Biologie  
Bundesamt für Gesundheitswesen  
Postfach 2644, 3001 BERN

**H. Surbeck (2.5.), H. Völkle (2.4.)**

Sektion Überwachung der Radioaktivität  
Bundesamt für Gesundheitswesen  
Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

**H. Gäggeler (2.8.)**

Paul Scherrer Institut  
Labor für Radio- und Umweltchemie  
5232 VILLIGEN-PSI

### Zusammenfassung

*Radon und dessen Folgeprodukte verursachen in der Schweiz etwa die Hälfte der mittleren Strahlenbelastung. Nach aktuellen Kenntnissen wären beinahe 10 % der Lungenkrebserkrankungen der Radonexposition zuzuschreiben. Radon stellt ein mit Abstand grösseres Lungenkrebsrisiko dar als alle chemischen Kanzerogene. Es gibt momentan keine Hinweise für extrapulmonale Tumore.*

*Heutzutage bestreitet niemand mehr, dass hohe Radonkonzentrationen vermieden werden sollten. In der Schweiz gibt es einige tausend Wohnhäuser, bei denen der Grenzwert von 1000 Bq/m<sup>3</sup> überschritten wird. Die in Zusammenarbeit mit den Kantonen durchgeführten Messkampagnen haben zum Ziel, Radongebiete abzugrenzen und Häuser mit hohen Konzentrationen zu finden.*

*Die Radonkonzentration in einem Haus kann nur durch Messungen bestimmt werden. Die Schätzung des Radongehaltes aus Haus- und/oder geologischen Parametern ist sehr unsicher und nicht zu empfehlen.*

*In der Aussenluft sind die Radonkonzentrationen mit im Jahresmittel einige Bq/m<sup>3</sup> deutlich tiefer als im Hausinnern.*

### 2.1. Einleitung

Radon und seine kurzlebigen Folgeprodukte, die sich in der Innenluft von Häusern anreichern können, ergeben den grössten Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung. Die im Lungengewebe freigesetzte Alpha-Strahlung der Radon-Tochterprodukte kann das Lungenkrebsrisiko bei der Bevölkerung erhöhen. Der Radon-Gehalt in Häusern weist auch grosse örtliche Variationen auf und demzufolge zeigt die Radon-Dosis in der Schweiz im Jahresdurchschnitt einen Variationsbereich von rund drei Grössenordnungen. Der Erfassung des Radon-Gehaltes in Häusern und der Ermittlung der daraus resultierenden Strahlenexposition der Bevölkerung kommt daher eine besondere Bedeutung zu. Deshalb wurde auch in der neuen Strahlenschutzverordnung (StSV) eine entsprechende gesetzliche Regelung eingeführt.

## 2.2. Radonvorschriften

Die am 1. Oktober 1994 in Kraft gesetzte Strahlenschutzverordnung (StSV) befasst sich in den Artikeln Art. 110-118 mit dem Radon in Häusern:

- Für die Radongaskonzentrationen in Wohn- und Aufenthaltsräumen wurde ein Jahresgrenzwert von  $1000 \text{ Bq/m}^3$  eingeführt.
- Bei Neu- und Umbauten, sowie bei Sanierungen gilt ein Richtwert von  $400 \text{ Bq/m}^3$ .
- Im Arbeitsbereich gilt ein über die monatliche Arbeitszeit gemittelter Grenzwert von  $3000 \text{ Bq/m}^3$ .

Die Kantone erhalten mit der StSV neue Aufgaben. Sie sorgen dafür, dass genügend Radonmessungen durchgeführt werden. Anhand dieser Messungen grenzen sie Gebiete mit erhöhten Radongaskonzentrationen ab. In diesen Gebieten erlassen sie Bauvorschriften damit Grenz- und Richtwert eingehalten werden. Sie ordnen auf Gesuch von Betroffenen Messungen und/oder Sanierungen an. Sie führen bis spätestens 20 Jahre nach dem Inkrafttreten der StSV Sanierungsmassnahmen durch.

Radongaskonzentrationen müssen von anerkannten Messstellen ermittelt werden. Die Rückführbarkeit von Radonmessungen wird vom Eidg. Amt für Messwesen (EAM) festgelegt und überprüft. Das Anerkennungsverfahren für Messstellen und -geräte wird vom EAM, PSI und BAG ausgearbeitet.

Gemäss StSV betreibt das BAG eine *Fach- und Informationsstelle Radon* mit folgenden Aufgaben:

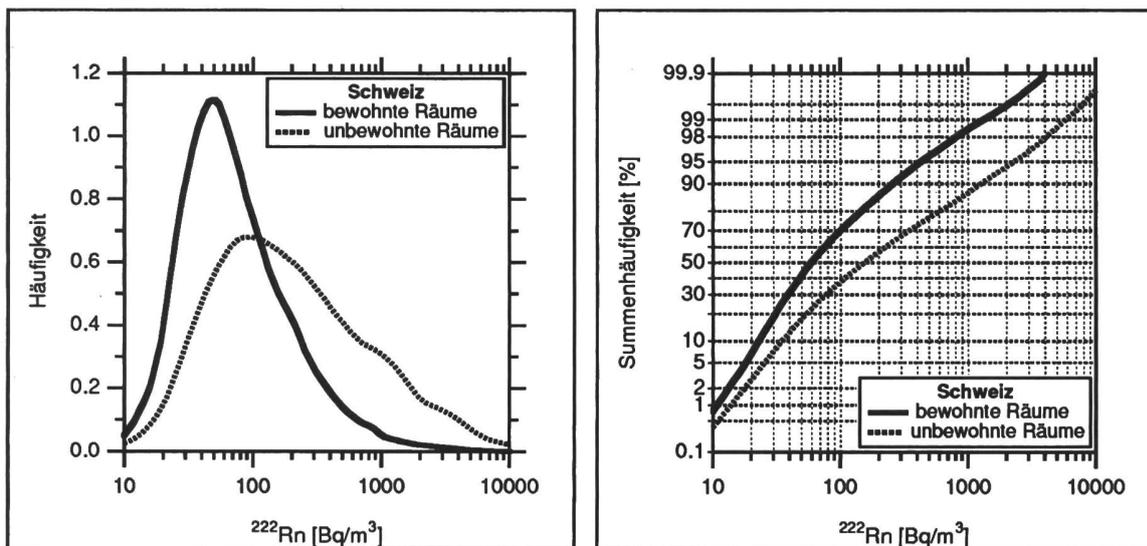
- Unterstützung der Kantone bei der Durchführung von Messkampagnen und Sanierungsprojekten,
- Zusammenstellung einer Dokumentation für Ausbildung, Vorträge, Ausstellungen, etc. zuhanden der Kantone, Baufachleute, Presse...
- Durchführung von Informationstagen und Weiterbildungskursen für Baufachleute, Schulen, höhere Lehranstalten...
- Hausbesitzer für Sanierungen motivieren, auch wenn dies mit finanziellem Aufwand verbunden ist,
- Regelmässige Kontrolle der Wirksamkeit der Informationstätigkeit,
- Koordination der Radonaktivitäten und Vertretung des BAG nach aussen.

Die StSV ist im Ausland generell auf positives Interesse gestossen. Besonders begrüsst wurde die Einführung eines verbindlichen Grenzwertes. Die meisten Länder begnügen sich mit einem Richtwert zwischen  $150$  und  $800 \text{ Bq/m}^3$ . Die nordischen Staaten haben sich schon 1986 für einen Grenzwert von  $800 \text{ Bq/m}^3$  für die Radongaskonzentration entschieden. Schweden hat seinen Grenzwert 1990 sogar auf  $400 \text{ Bq/m}^3$  heruntersetzt.

## 2.3. Radonsituation in der Schweiz

### 2.3.1. Messkampagnen

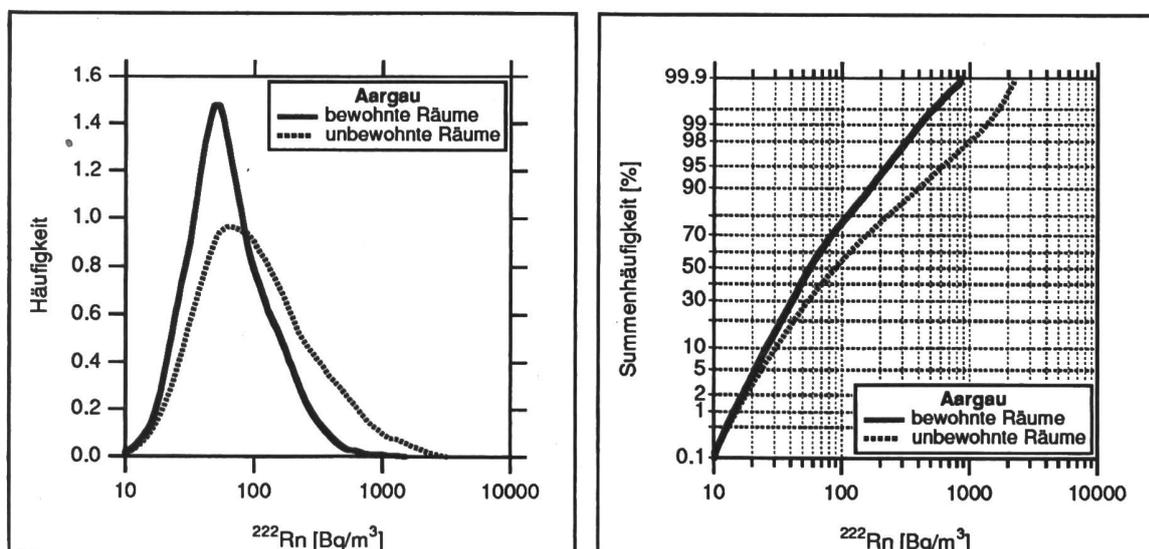
Bisher wurden in etwa 6000 Häusern Radonmessungen durchgeführt. 1 bis 2 % dieser Häuser weisen Radongaskonzentrationen über  $1000 \text{ Bq/m}^3$  auf. 95 % der Häuser haben Konzentrationen, die unterhalb des StSV-Richtwertes von  $400 \text{ Bq/m}^3$  liegen. Der Median der Messwerte liegt bei  $60 \text{ Bq/m}^3$ .



Die Kantone Aargau, Glarus, Uri, Schwyz, Obwalden, Nidwalden, Wallis und die Bündner Gemeinde Breil/Brigels haben im Winter 93/94 in Zusammenarbeit mit dem BAG Messkampagnen durchgeführt.

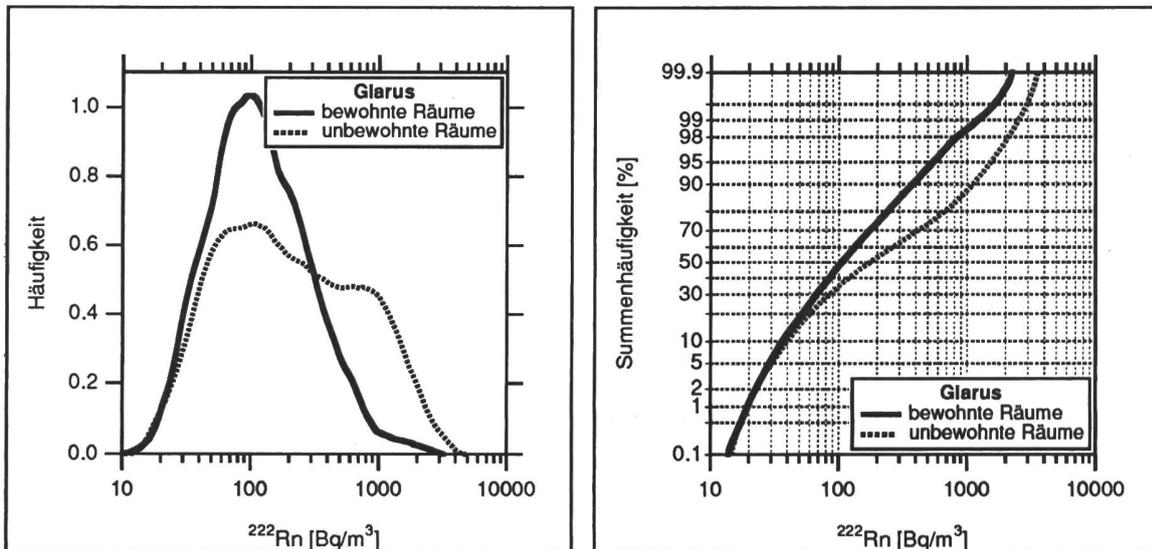
#### 2.3.1.1. Kanton Aargau

Die Radongaskonzentrationen in den bewohnten Räumen des Kantons Aargau sind mit dem schweizerischen Mittelland vergleichbar. Der Median liegt bei  $55 \text{ Bq/m}^3$ . In 2 Häusern wurden Radongaskonzentrationen über  $1000 \text{ Bq/m}^3$  gemessen. 99 % der Häuser haben Radongehalte, die unterhalb des Richtwertes der StSV liegen. Bisher wurden etwas über 900 Häuser (0.9‰) erfasst.



### 2.3.1.2. Kanton Glarus

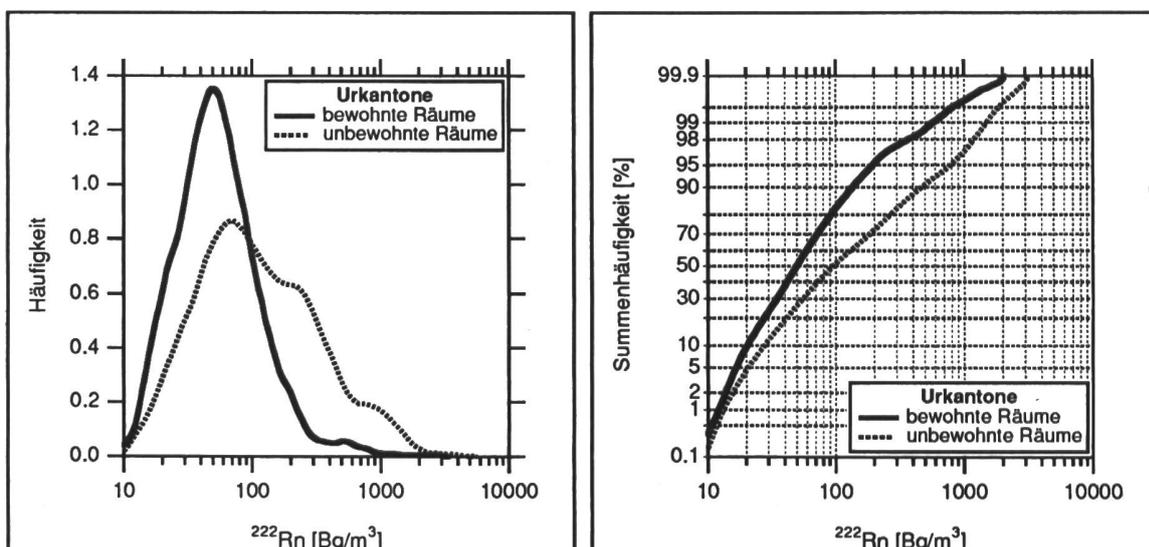
Die Radongaskonzentrationen in den bewohnten Räumen des Kantons Glarus sind generell höher als im schweizerischen Mittelland. Der Median liegt bei  $100 \text{ Bq/m}^3$ . In 3 Häusern wurden Radongaskonzentration über  $1000 \text{ Bq/m}^3$  ermittelt. 90 % der Häuser haben Radongehalte unterhalb des Richtwertes der StSV. Es wurden bisher 170 Häuser (1.6%) erfasst.



Für diese Kampagne wurde das Radonpotential der einzelnen Gemeinden a priori abgeschätzt. Die Messungen haben jedoch ergeben, dass diese Prognosen nicht gerade treffend waren.

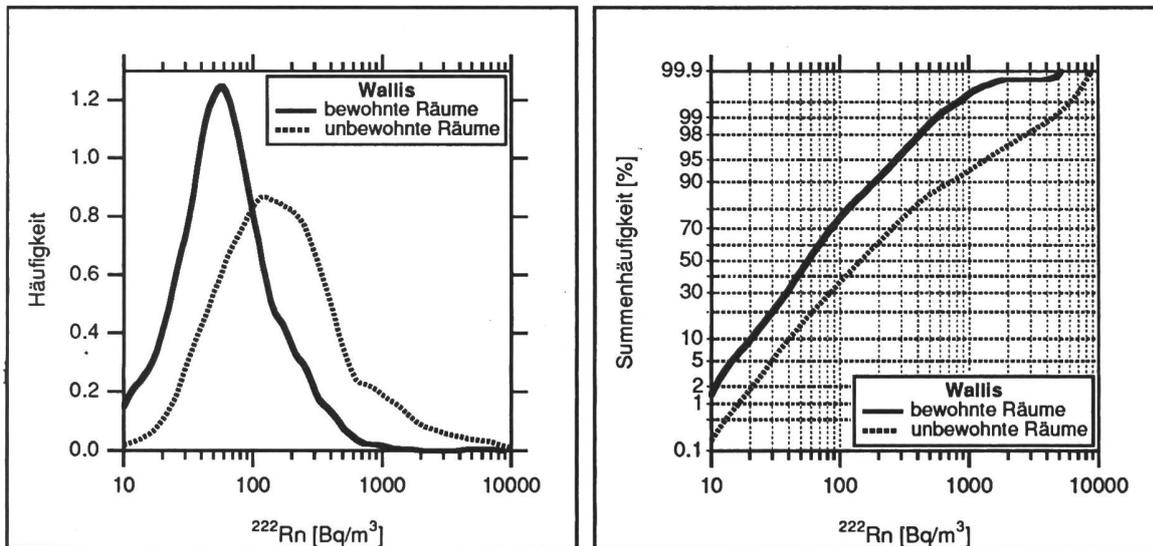
### 2.3.1.3. Urkantone

Die Radongaskonzentrationen in den bewohnten Räumen der Urkantone sind mit dem schweizerischen Mittelland vergleichbar. Der Median liegt bei  $50 \text{ Bq/m}^3$ . 2 Häuser weisen eine Radongaskonzentration über  $1000 \text{ Bq/m}^3$  auf. In 98 % der Häuser liegt der Radongehalt unterhalb des Richtwertes der StSV. 550 Häuser (1.4%) wurden bisher erfasst.



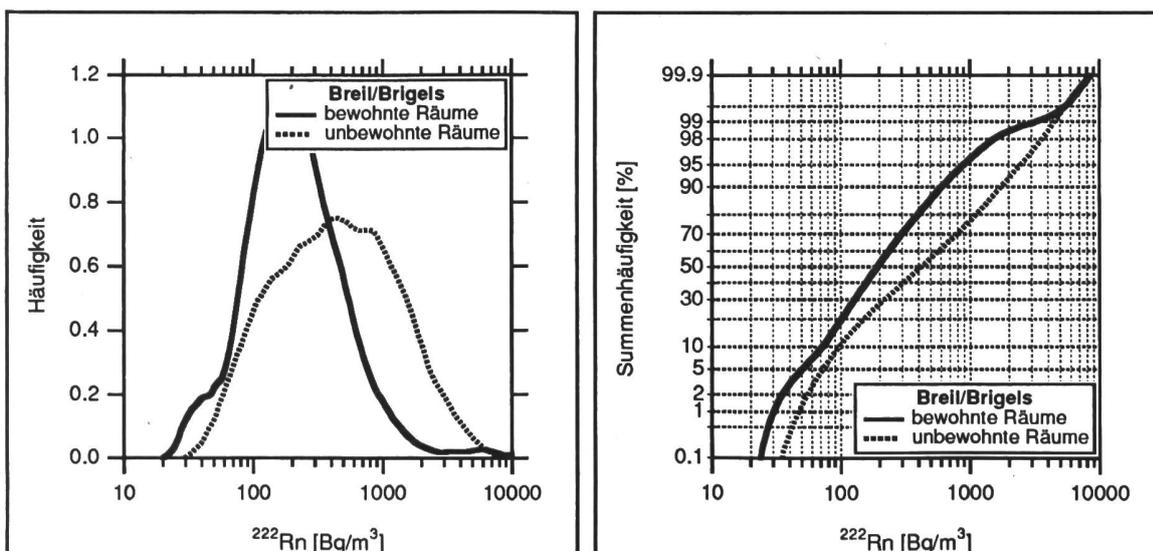
### 2.3.1.4. Kanton Wallis

Die Radongaskonzentrationen in den bewohnten Räumen des Kantons Wallis sind generell mit dem schweizerischen Mittelland vergleichbar. Der Median liegt bei  $55 \text{ Bq/m}^3$ . In dieser Kampagne wurden keine Häuser mit Konzentrationen über  $1000 \text{ Bq/m}^3$  gefunden, obwohl in "geologisch" verdächtigen Gebieten gemessen wurde. In 98 % der Häuser liegt der Radongehalt unterhalb des Richtwertes der StSV. 470 Häuser (7 %) wurden bisher erfasst.



### 2.3.1.5. Gemeinde Breil/Brigels

Die Radongaskonzentrationen in den bewohnten Räumen der Gemeinde Breil/Brigels sind generell erhöht. Der Median liegt bei  $200 \text{ Bq/m}^3$ . In 13 Häusern liegt die Radongaskonzentration über  $1000 \text{ Bq/m}^3$ . In 80 % der Häuser liegt der Radongehalt unterhalb des Richtwertes der StSV. In etwa zwei Drittel der 450 Häuser wurden erfasst.



Einige in Breil/Brigels häufig im Bau verwendete Bruchsteine wurden Gamma-spektrometrisch untersucht. Die höchste  $^{226}\text{Ra}$ -Aktivität liegt bei  $80 \text{ Bq/kg}$ , was auch bei konservativen Annahmen niemals zu sehr hohe Radongaskonzentrationen in der Innenluft führt.

### 2.3.2. *Aktuelle Kenntnisse*

Intensive Radonuntersuchungen wurden im Rahmen des nationalen Radon-Programmes RAPROS in der ganzen Schweiz durchgeführt. Die Resultate sind im Schlussbericht <sup>1)</sup> enthalten und können wie folgt zusammengefasst und ergänzt werden:

- Radon verursacht etwa die Hälfte der jährlichen Strahlenbelastung.
- Radon dringt hauptsächlich vom Untergrund her in die Häuser ein. Der Beitrag durch Baumaterialien und Wasser spielt eine untergeordnete Rolle.
- Die im Boden produzierte Radonmenge hängt von dessen Radiumgehalt ab. Hohe Radiumkonzentrationen bewirken aber nicht unbedingt eine Radongefährdung. Das produzierte Radon muss sich noch leicht bewegen können. Es ist also die Bodenpermeabilität, die massgebend ist.
- Die Temperaturdifferenz zwischen Innen und Aussen führt zu einem leichten Unterdruck im Haus, wodurch radonhaltige Luft vom Untergrund her ins Haus gesogen wird.
- Eine gut gegossene Betonplatte als Gebäudefundament vermag häufig das Eintreten von Radon zu hemmen.
- Die Radongaskonzentration nimmt von Stockwerk zu Stockwerk ab. Meist ist ab dem zweiten Stock nicht mehr mit hohen Radonwerten zu rechnen.
- Die Abdichtung der Gebäudehülle zur Einsparung von Heizenergie führt nicht unbedingt zu einer Erhöhung der Innenluftkonzentration.
- Der Innenluft-Radongehalt kann mit baulichen Massnahmen reduziert werden. Am erfolgreichsten bei hohen Konzentrationen ist eine Zwangsbelüftung kombiniert mit der Abdichtung des Hauses gegenüber dem Untergrund. Bei tieferen Konzentrationen reichen oft einfachere Massnahmen.
- Die Radongaskonzentration kann in benachbarten Häusern sehr unterschiedlich hoch sein. Ein Unterschied von einem Faktor 100 wurde schon angetroffen.
- Eine Voraussage der Radongaskonzentration für ein Einzelhaus ist nicht möglich. Der Radongehalt kann nur durch Messungen ermittelt werden.
- Die Vorhersage des Radonpotentials eines Gebietes mittels geologischer Kriterien ist unsicher und die in einer Region scheinbar geltenden "Regeln" lassen sich nicht ohne weiteres auf andere Gebiete übertragen.

---

1) *Radonprogramm Schweiz "RAPROS", Bericht über die Jahre 1987-1991, Abteilung Strahlenschutz, Bundesamt für Gesundheitswesen, CH-3001 Bern, ISBN 3-905235-00-5*

## 2.4. Gesundheitliche Auswirkungen

Im Durchschnitt beträgt die Strahlendosis der Schweizer Bevölkerung durch Radon im Wohnbereich 1.6 milli-Sievert pro Jahr und weist Extremwerte bis 100 milli-Sievert auf. Radon ist somit der grösste Einzelbeitrag zur Strahlenexposition. Bei der Berechnung der Radon-Dosis wird nebst der durchschnittlichen Radonkonzentration im Hausinnern auch ein Gleichgewichtsfaktor von 0.4 (Konzentrationsverhältnis Radon-Folgeprodukte zu Radon-Gas) und eine mittlere Aufenthaltszeit im Hausinnern berücksichtigt. Gemäss den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP (Publikation Nr. 65; Vol. 23/2 von 1993) wird dabei eine Dosisfaktor von 0.023 mSv/Jahr pro Bq/m<sup>3</sup> Radon-Gas verwendet. Für die Dosis durch das Thoron (Rn-220), das Edelgas aus der Thorium-Zerfallsreihe wird ein Zuschlag von 10 Prozent gemacht.

Über die Atemluft gelangt Radon und seine an Aerosole angelagerten Folgeprodukte in die Lunge, wo sich die letzteren vor allem in den Bronchiolen und im Lungengewebe ablagern. Die beim radioaktiven Zerfall emittierten Alphateilchen bestrahlen das Gewebe und können Krebs auslösen. Ein positiver Zusammenhang zwischen erhöhter Radonexposition und der Lungenkrebsinzidenz bei Minenarbeiter gilt seit längerem als gesichert: Die sogenannte «Bergsucht» wurde schon 1576 von Paracelsus erwähnt und ist als «Schneeberger Krankheit» bei Grubenarbeitern im westlichen Erzgebirge seit dreihundert Jahren bekannt. Auch quantitativ wurde der Zusammenhang anhand mehrerer epidemiologischer Studien an Minenarbeitern erhärtet.

Wenngleich auch die Verhältnisse im Wohnbereich bezüglich Staubgehalt, Luftfeuchte und Atemraten von jenen in den Minen stark abweichen, sind die Fachleute dennoch der Meinung, dass erhöhte Radonkonzentrationen auch im Wohnbereich zu einer Zunahme des Lungenkrebsrisikos führen. Amerikanische Fachleute haben 1988 im National Research Council Report BEIR-IV die Resultate aller epidemiologischer Studien über Lungenkrebs bei Minenarbeitern auf die Verhältnisse im Wohnbereich umgerechnet. Wendet man das Ergebnis dieser Analyse auf die Schweiz an, dann wäre in unserem Lande jeder sechste Lungenkrebs dem Radon zuzuschreiben. Dabei wird ein multiplikatives Risikomodell vorgeschlagen, d.h. das (zusätzliche) Radon-Lungenkrebsrisiko ist umso grösser, je grösser dasjenige aus allen andern Ursachen wie Schadstoffe in der Luft, Rauchen, Exposition am Arbeitsplatz, ist.

Bekanntermassen liegt die Hauptursache für Lungenkrebs beim Rauchen, während die Belastung der Atemluft mit Schadstoffen in den dicht besiedelten Gebieten und z.T. am Arbeitsplatz die zweitwichtigste Ursache sein dürfte. Global gesehen hat dies zur Folge, dass in den Agglomerationen des Mittellandes, wo die Luft mehr mit Schadstoffen belastet, der Radongehalt aber eher tiefer ist, die Lungenkrebsinzidenz höher ist als in den Land- und Bergregionen mit teilweise höherem Radongehalt in den Häusern. Eine stichhaltige Beweisführung ist daher schwierig und erfordert umfangreiche Studien auf der Basis nationaler oder regionaler Krebsregister. Eine 1994 von G. Pershagen und Mitautoren im *New England Journal of Medicine* (Pershagen et al. in Nr. 330 (1994) pp. 159-164) veröffentlichte schwedische Untersuchung kommt zu einer positiven Korrelation zwischen Radon und Lungenkrebs im Wohnbereich, und ergibt, bezogen auf die Schweiz, einen Radonanteil bei der Lungenkrebsinzidenz von 6 Prozent. Dieser Wert ist zwar tiefer als jener der BEIR-IV-Studie, bedeutet aber immer noch rund 200 Fälle pro Jahr in unserem Lande.

Ein Radonpegel im Wohnbereich von  $1000 \text{ Bq/m}^3$ , wie er in der neuen StSV als Grenzwert festgelegt wurde, entspricht einer effektiven Dosis von 20 milli-Sievert pro Jahr, bzw. einem jährlichen Lungenkrebsrisiko von 1 Promille. Lungenkrebsrisiken durch Radon im Wohnbereich von mehr als 1 Promille pro Jahr sollten gemäss WHO-Empfehlung von 1993 durch geeignete Massnahmen vermieden werden. Das schweizerische Radonprogramm hat denn auch zum Ziel, durch Sanierung der Häuser mit hohen Radonwerten, das Lungenkrebsrisiko der Bewohner auf ein tragbares Mass zu senken.

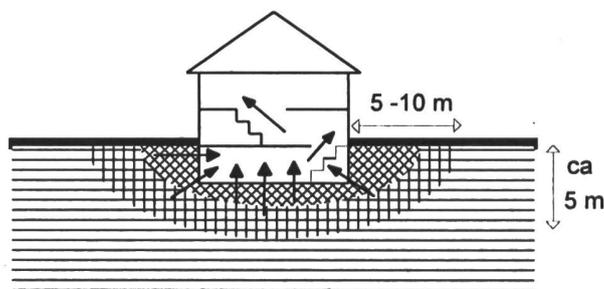
## 2.5. Wie gelangt das Radon in die Häuser ?

Der **Baugrund** bestimmt wesentlich die Radonkonzentration in den Räumen eines Hauses.

**Baumaterialien** haben sich bisher in der Schweiz **nicht** als **wesentliche Radonquellen** erwiesen.

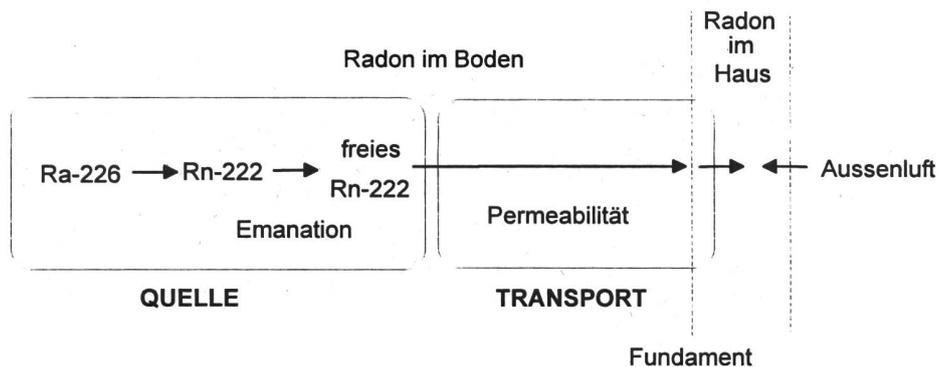
Normaler **Wasserverbrauch** (Kochen, Waschen und Duschen) führt selbst bei den höchsten in der Schweiz gemessenen Radon-Konzentrationen im Wasser nur zu einer **unwesentlichen Erhöhung** der Innenluft-Radonkonzentration.

Das Radon in einem Haus stammt in den meisten Fällen aus der **unmittelbaren Umgebung**. Lokale Unterschiede des Baugrundes können daher zu **grossen Unterschieden** der Radonkonzentrationen in **benachbarten Häusern** führen.

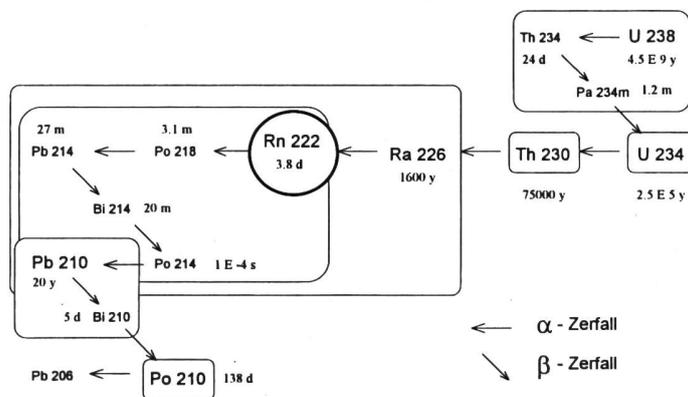


Dennoch können geologische Eigenheiten eines Gebietes Hinweise auf ein erhöhtes regionales Radon-Risiko liefern.

Der Weg des Radons von seiner Produktion bis in die Innenluft eines Hauses kann in einen Quellen- und einen Transport-Teil aufgespalten werden.

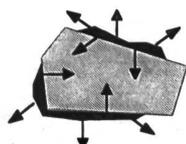


2.5.1. *Quelle*



<sup>222</sup>Radon entsteht beim **Zerfall des <sup>226</sup>Ra**, einem Mitglied der <sup>238</sup>U-Reihe. Ein Gleichgewicht innerhalb dieser Reihe besteht nur bei Proben, die über mehrere 100'000 Jahre keinen geochemischen Einflüssen ausgesetzt waren. Uran ist z.B. unter oxidierenden Bedingungen und insbesondere bei Anwesenheit von CO<sub>2</sub> gut löslich. **In Böden ist ein Gleichgewicht eher die Ausnahme als die Regel.** Die <sup>226</sup>Ra Aktivität kann daher nicht aus chemischen oder massenspektrometrischen Uranbestimmungen hergeleitet werden.

Wesentlich für die Produktion ist nicht nur die <sup>226</sup>Ra Konzentration, sondern auch die **Emanation**, das Verhältnis des für den Transport verfügbaren Radons zum total produzierten Radon. Das Verhältnis hängt stark davon ab, in welcher Form das <sup>226</sup>Ra vorliegt. In **Schwermineralien** eingeschlossenes Radium wird nur **wenig** transportierbares Radon produziert.



Radium im Goethit an der Oberfläche  
Radon kann sehr gut entweichen



Radium in Schwermineralien  
Radon bleibt im Korn stecken

Hohe Radonkonzentrationen im Boden sind zu erwarten bei Böden oder Lockergesteinen mit <sup>226</sup>Ra Konzentrationen > 100 Bq/kg, falls sich das Radium mehrheitlich an Kornoberflächen befindet.

Als Gebiete mit eindeutig erhöhter Radonproduktion haben sich bis jetzt erwiesen :

**Verrucano** ( insbesondere Ilanzer Verrucano)  
**Hochjura** ( ab ca. 900 m.ü.M.)  
Gebiete mit **Fe-Hydroxid** Ablagerungen in offenen Klüften in der **Molasse**  
Deponien mit **Radium-Abfällen** aus der Uhrenindustrie

Aufgrund von Erfahrungen im Ausland müssen zudem als verdächtig eingestuft werden :

Gebiete mit **Permo-Karbon-Sedimenten** allgemein  
Gebiete mit **Uranvererzungen**  
Gebiete mit **Zweiglimmer-Gneisen**  
Gebiete mit **Mylonit-Zonen**  
Gebiete mit **Bleivererzungen**  
Gebiete mit **Barytvorkommen**  
Gebiete mit **Kohlevorkommen**

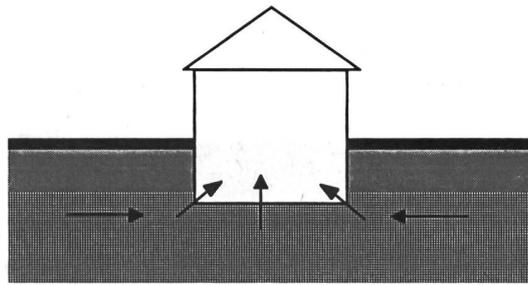
Hinweise für erhöhte Radonproduktion im Boden können Messungen der **Radonkonzentration im Grund- oder Quellwasser** geben. Werte > 30 Bq/Liter sind für Schweizer Verhältnisse deutlich erhöht. Weitere Angaben über Radon in Wässern sind im Kap. 3.8 zu finden.

**Radonkonzentrationen im Bodengas** können ebenfalls einen Hinweis auf Risikogebiete liefern. Eine ausführliche Diskussion der Bodengas-Messungen findet sich im Bericht "Ueberlegungen zum Radonrisiko eines Baugrundes", der bei der SUEr erhältlich ist.

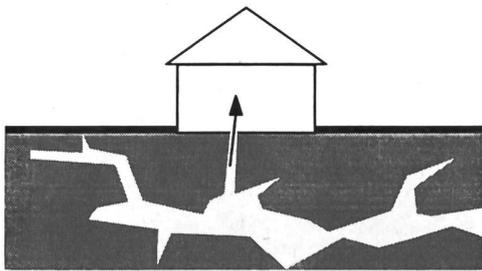
### 2.5.2. *Transport*

Entscheidend für das Gefährdungspotential ist neben der Radonkonzentration im Bodengas vor allem die **Gasdurchlässigkeit (Permeabilität)** des Baugrundes. Sie kann nach unseren Messungen um mindestens **4 Größenordnungen** variieren. Die Variationsbreite der Permeabilität ist damit wesentlich grösser als die Variationsbreite der Radon-Konzentration im Bodengas, die kaum mehr als 2 Größenordnungen umfasst. Selbst hohe Radonkonzentrationen in einem dichten Lehm führen nicht zu einem Radonproblem, da das Radon kaum transportiert wird. Dagegen können selbst "normale" Radonkonzentrationen im Bodengas problematisch sein, wenn die Gaspermeabilität sehr hoch ist.

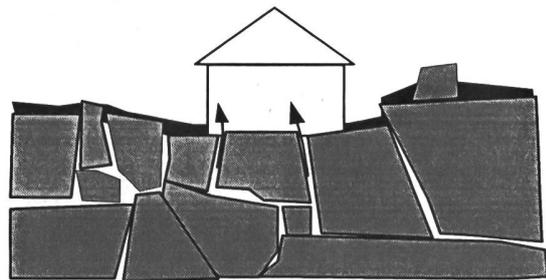
Risikogebiete sind daher vor allem **Gebiete mit grosser Permeabilität** des Baugrundes. Wichtig ist dabei die Permeabilität auf dem tiefsten Niveau des Gebäudes. Häufig ist die oberste Bodenschicht mit Schwemm- oder Verwitterungslehm durchsetzt und damit schlecht durchlässig. Da beim Bau die oberste Bodenschicht abgetragen wird, bildet das Haus ein Fenster in diesem "Deckel". Tieferliegende Schichten mit grosser Permeabilität werden damit erst recht wirksam.



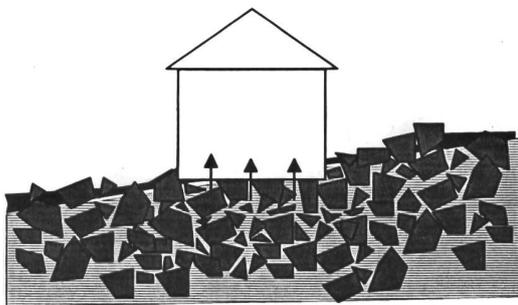
Grosse Permeabilitäten sind insbesondere in folgenden Gebieten zu erwarten :



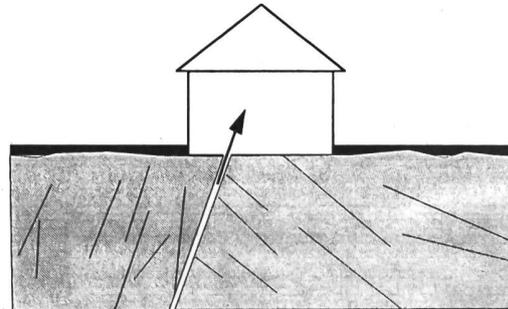
**Karst mit Bodenbedeckung**  
(bei grösseren Bergstürzen sind die Sturzmassen häufig stark verdichtet)



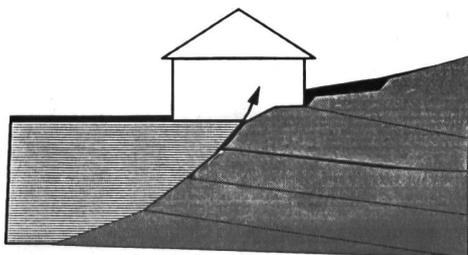
**Sackungen, kleinere Berstürze**



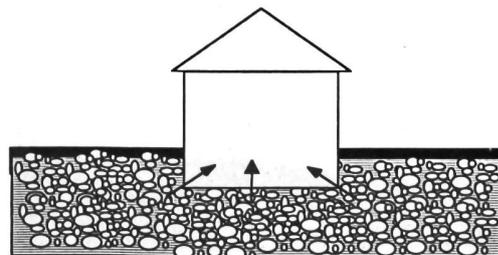
**Blockschutt in Murgang-Kegeln**



**Offene Klüfte**

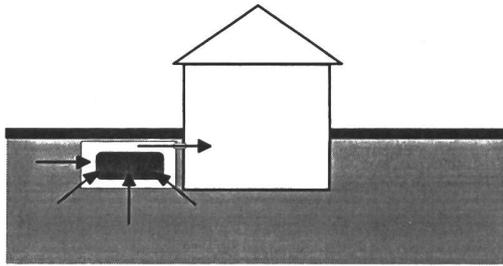


**Randzonen von Trogfüllungen**

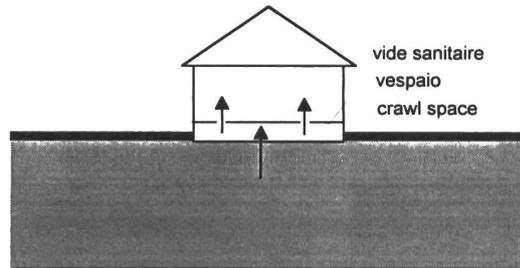


**Schotterterrassen mit kleinem Feinanteil**

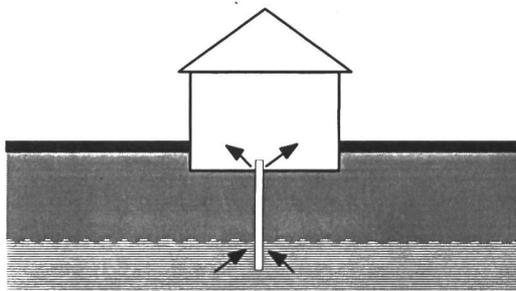
Hohe Permeabilitäten können lokal aber auch durch **bauliche Eigenheiten** bedingt sein , hier einige Beispiele:



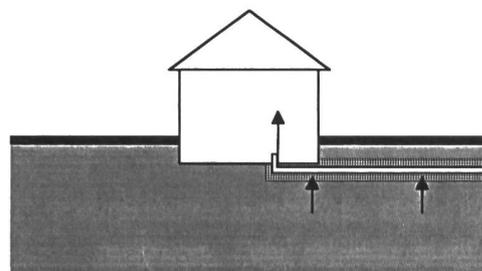
**Erdverlegter Oeltank**



**Unbelüfteter Hohlraum unter dem Gebäude, oder seitlich nicht entlüftetes Schotterbett**



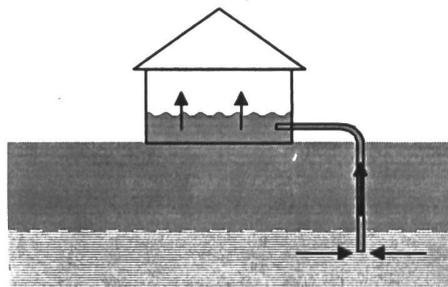
**Erdwärme-Sonde  
(Grundwasser-Wärmesonde)**



**Schotter-Verfüllung  
der Zuleitungen**

Ebenfalls lokal kann **Radon mit dem Wasser** in ein Gebäude **transportiert** werden.

Im Wasser gelöstes Radon kann im Innern der Gebäude ausgasen und zu einer Erhöhung der Radonkonzentration führen. Normaler Wasserverbrauch (Kochen, Waschen und Duschen) führt aber selbst bei den höchsten in der Schweiz gemessenen Radon-Konzentrationen im Wasser nur zu einer unwesentlichen Erhöhung der Innenluft-Radonkonzentration. Anders sieht es bei **Bädern, Wasserwerken oder Quelfassungen im Innern eines Hauses** aus. Hier kann die grosse Oberfläche und die grosse Wassermenge einen erheblichen Radoneintrag liefern. Da die Löslichkeit des Radons im Wasser mit steigender Temperatur stark abnimmt muss insbesondere in **Thermalbädern** mit erhöhten Radonkonzentrationen gerechnet werden.



## 2.6. Wie wird Radon gemessen ?

### 2.6.1. Allgemeines

Radon und seine radioaktiven Tochterprodukte (Polonium, Wismut und Blei) senden beim Zerfall  $\alpha$ -,  $\beta$ - und/oder  $\gamma$ -Strahlung aus. Diese Strahlung kann gemessen werden und anhand der  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Strahlung das Nuklid identifiziert und dessen Aktivität bestimmt werden.

Bei der Messung macht man sich die physikalische Wirkung der Strahlung in Materie zunutze. So unter anderen:

- das Erzeugen geladener Teilchen in Luft: Ionisation,
- das Erzeugen von Licht in speziellen Leuchtstoffen: Szintillation,
- das Erzeugen von Schäden in Kunststoffen-Folien durch  $\alpha$ -Strahlung: Kernspurverfahren.

Normalerweise interessiert bei einer Radonmessung der durchschnittliche Pegel über eine bestimmte Zeit. Dazu werden einfach zu handhabende, relativ günstige Messgeräte (passive Dosimeter) benutzt.

Zum Verfolgen des zeitlichen Verlaufes von Radongas- oder Radontöchterkonzentrationen gibt es spezielle Messgeräte. Diese werden beispielsweise in stark radonbelasteten Häusern oder bei wissenschaftlichen Untersuchungen eingesetzt.

### 2.6.2. Radonmessungen in Häusern

Radonpegel in Häusern schwanken recht stark z.B. einerseits infolge des Tag/Nacht-Unterschiedes, andererseits Schwankungen, die mit der Wetterlage oder den Jahreszeiten zusammenhängen.

Daher ist es nötig, das Radon in einem Raum während längerer Zeit zu messen. Zu diesem Zweck werden passive Radondosimeter verwendet. Hier wird die Konzentration des Radongas gemessen, das im Unterschied zu den Radontöchtern elektrisch neutral und im Raum gleichmässiger verteilt ist.

Mit einem Filter wird verhindert, dass auch die Radontöchter ins Innere des Dosimeters gelangen; es werden also nur Radongas und im Dosimeter entstandene Töchter gemessen. Zum 'Zählen' der Zerfälle im Dosimeter wird in der Regel eines der folgenden Verfahren verwendet:

- Kernspurdosimetrie:

Die  $\alpha$ -Teilchen, die beim Zerfall im Dosimeter entstehen, erzeugen auf einer Kunststofffolie Spuren, welche nach der Exposition durch einen Ätzprozess sichtbar gemacht und im Mikroskop ausgezählt werden können.

- ELEKTRET-Ionisationskammer:

Das Dosimeter enthält ein Teflonplättchen (Elektret), das mit einer positiven Oberflächenladung versehen ist. Beim Zerfall von Radongas oder Radontöchtern im Innern des Dosimeters wird die Luft ionisiert. Die negativen Ionen bewegen sich im elektrischen Feld zum

Elektret hin und verringern dessen Oberflächenladung. Zum Bestimmen des Radongaspegels wird die Spannung vor und nach der Messung sowie die Messdauer benötigt. Diese Dosimeter können mehrmals eingesetzt und an Ort und Stelle mit einem entsprechenden Gerät ausgewertet werden.

- **Aktivkohledosimeter:**

Für Kurzzeitmessungen (2-3 Tage) werden auch Aktivkohledosimeter eingesetzt, bei denen das Radon auf der Aktivkohle adsorbiert wird. Die Radonkonzentration in der Kohle muss dann - wegen der recht kurzen Halbwertszeit von Radon - rasch ermittelt werden. Dazu wird das Flüssigszintillationsverfahren oder die Gamma-Spektrometrie verwendet.

Dieses Verfahren wird beispielsweise verwendet, um den Radongaspegel aller Räume in einem Haus gleichzeitig und möglichst rasch zu messen (Screening). Für Langzeitmessungen ist es wegen der kurzen Halbwertszeit des Radon dagegen nicht brauchbar.



**Passive Radon-Dosimeter:** 1) Spaltspur-Dosimeter; 2) Spaltspur-Dosimeter; 3) Elektret-Dosimeter; 4) Aktivkohle-Dosimeter für die Flüssigszintillationsmessung; 5) Aktivkohle-Dosimeter für die Personenüberwachung.

Ende 1995 werden in der Schweiz die ersten Radondosimetertypen und Messstellen durch das BAG anerkannt sein. Es gibt aber schon seit mehreren Jahren eine Liste mit Firmen, die in der Schweiz Radondosimeter anbieten. Diese Liste kann beim BAG bezogen werden.

## 2.7. Was tun wenn der Grenzwert überschritten ist ?

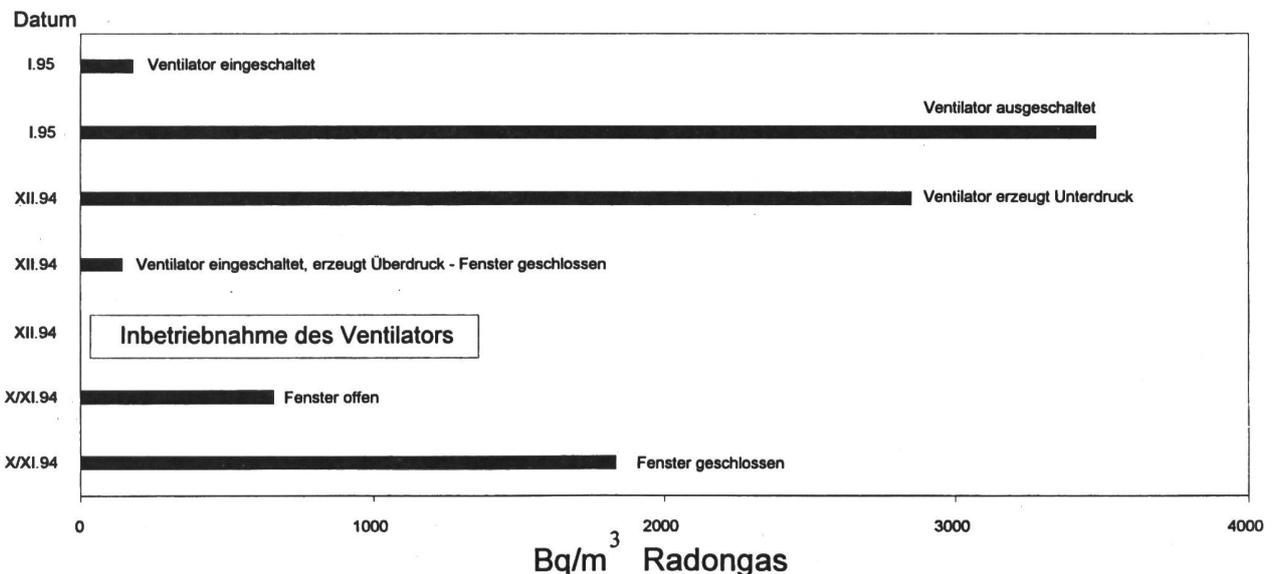
Ist der Radongaspegel in einem Wohnhaus höher als  $1'000 \text{ Bq/m}^3$ , müssen die entsprechenden Räume saniert werden. Von den international bekannten Sanierungsmethoden sind schon mehrere in der Schweiz angewandt oder auf schweizer Verhältnisse angepasst worden. Je nach Haus und Radongaspegel kostet eine Sanierung zwischen 2'000 und 20'000 Franken, in Ausnahmefällen auch mehr.

Eine Beschreibung von Sanierungsmethoden ist beim BAG erhältlich. Im Folgenden wird ein Sanierungsverfahren am Beispiel eines tessiner Hauses beschrieben.

In den meisten Räumen beträgt der Radongaspegel 300-400 Bq/m<sup>3</sup>. Im 'Kellergeschoss' (Hanglage, von unten ist dieses Geschoss das Erdgeschoss) sind die Werte jedoch erhöht: ein Keller mit Naturboden und Kiesabdeckung hat einen Radongaspegel von 6'000 Bq/m<sup>3</sup>, ein anderer Raum mit Zementboden einen solchen von 1'700 Bq/m<sup>3</sup>. Dieser zweite Raum soll den Kindern als Spielzimmer zur Verfügung stehen und musste deshalb saniert werden. Versuchsweise wurde im offenen Fenster ein Ventilator eingebaut, der Aussenluft in diesen Raum einbläst. Bereits mit ganz wenig Luftzufuhr konnte das Radon auf 100 Bq/m<sup>3</sup> gesenkt werden; nach dem Ausschalten stieg der Radonpegel innert 5 Stunden wieder auf 1'100 Bq/m<sup>3</sup>. Aufgrund dieses Ergebnisses wurde im Fenster ein einfacher Küchenventilator fest eingebaut. Schon auf der untersten Stufe betrieben bringt dieser das gewünschte Resultat. Zusätzlich wurde die Tür zum anschliessenden Raum besser abgedichtet. Damit konnte dieser Raum sehr kostengünstig saniert werden. Allerdings muss der Ventilator bei grosser Kälte ausgeschaltet werden, weil es sonst in diesem Raum zu kalt wird. Dieses Problem könnte mit einer Wärmerückgewinnung gelöst werden.

In der folgenden Graphik sind der Sanierungserfolg sowie ein paar andere interessante Zusammenhänge zu sehen wie

- Fensteröffnen bewirkt eine beträchtliche Reduktion des Radonpegels,
- Luft aus dem Raum absaugen nützt nichts,
- Im Januar wurde gegenüber dem Herbst doppelt soviel Radon gemessen.



Tagesmittelwerte des Radongaspegels im oben beschriebenen Raum.

## 2.8. Radon in der Atmosphäre

In den natürlichen Zerfallsketten von Uran und Thorium werden drei verschiedene Isotope von Radon gebildet. Es sind dies  $^{222}\text{Rn}$  (Halbwertszeit 3.8 Tage) aus dem Zerfall von  $^{238}\text{U}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  (Halbwertszeit 56 Sekunden) aus  $^{232}\text{Th}$ , sowie  $^{219}\text{Rn}$  (Halbwertszeit 4 Sekunden) aus  $^{235}\text{U}$ . Die drei Isotope besitzen die Trivialnamen "Radon" für  $^{222}\text{Rn}$ , "Thoron" für  $^{220}\text{Rn}$  und "Actinon" für  $^{219}\text{Rn}$ .

In der planetaren Grenzschicht, d.h. der untersten etwa 1.5 km dicken Luftschicht, besitzt  $^{222}\text{Rn}$  (im folgenden Radon genannt) die höchste Aktivitätskonzentration aller normalerweise vorkommender atmosphärischen Radionuklide. Es ist deshalb auch aus Strahlenschutzgründen ein wichtiges Radionuklid. Radon kann direkt wie auch über seine kurzlebigen Zerfallsprodukte  $^{214}\text{Pb}$  (Halbwertszeit 26.8 min),  $^{214}\text{Bi}$  (Halbwertszeit 19.9 min), resp.  $^{214}\text{Po}$  (Halbwertszeit 164 Mikrosekunden) nachgewiesen werden. Diese nichtgasförmigen Zerfallsprodukte sind in der freien Atmosphäre meist quantitativ an etwa 200 nm grosse Aerosolteilchen angelagert und können deshalb leicht mittels Luftfilter gesammelt und über ihren  $\beta/\gamma$ - resp.  $\alpha$ -Zerfall detektiert werden. Allerdings treten in den bodennahen Luftschichten, d.h. den untersten maximal 10 Meter, sogenannte "Plate-out" Effekte auf, bei denen diese Zerfallsprodukte an der Erdoberfläche adsorbiert werden, bevor sie sich an ein Aerosolteilchen angelagert haben [1]. Es ist deshalb wichtig, bei atmosphärischen Radonmessungen via dessen Zerfallsprodukte, die Luftansaugung einige Meter über Grund anzuordnen.

Radon emaniert aus der Lithosphäre mit etwa einem Atom/cm<sup>2</sup>s. Dies entspricht  $2 \times 10^{-4}$  Bq/cm<sup>2</sup>s [1]. Es verteilt sich anschliessend in der planetaren Grenzschicht hauptsächlich durch Eddy-Diffusion (turbulente Durchmischung), einem Prozess, der stark durch lokale mikrometeorologische Verhältnisse bestimmt wird. Daraus resultieren in einem Tagesgang häufig variable Radonkonzentrationen in den untersten Luftschichten. Typisch sind bei sommerlichen Schönwetterlagen Minima am Nachmittag und Maxima während der Nacht [2]. Dies wird durch die advective Durchmischung der Luft während den Nachmittagsstunden verursacht, die zu einem Verdünnen der Radonkonzentration führt. Während der Nacht bleiben die untersten Atmosphärenschichten dann wieder stabil geschichtet.

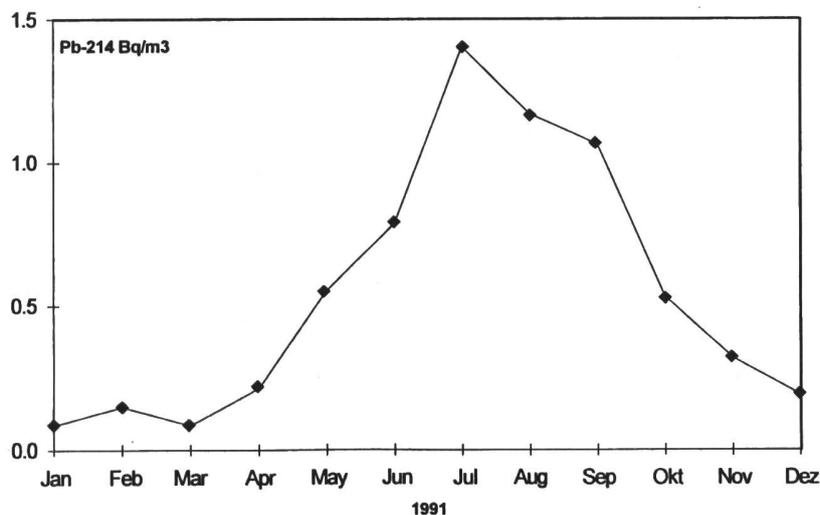
Wegen den unterschiedlichen, jahreszeitlichen Durchmischungen der untersten Luftschichten ist unklar, ob die Emanationsrate von Radon aus Böden jahreszeitliche Fluktuationen besitzt. Gewisse Arbeiten deuten auf konstante Werte hin [4] während andere auf erhöhte Emanationsraten im Spätsommer hinweisen [5]. Nur an Orten mit winterlichen Frostperioden, resp. mit permanenter Eisbedeckung ist die Emanation von Radon reduziert resp. fehlt [7]. Dasselbe gilt für maritime Standorte: Über dem Meer ist die Emanationsrate von Radon etwa um zwei Grössenordnungen geringer als über Böden [3]. Dies führt zu einem Gradienten der mittleren jährlichen Radonkonzentrationen für meeresnahe und kontinentale Standorte. Typische Radonaktivitätskonzentrationen in den untersten Luftschichten waren beispielsweise für 1980 - 1983 0.8 Bq/m<sup>3</sup> auf der Forschungsplattform Nordsee, 3.3 Bq/m<sup>3</sup> in Waldhof, 5 Bq/m<sup>3</sup> in Heidelberg und 6.5 Bq/m<sup>3</sup> in Krakau [6]. Die Monatsmittelwerte für diese Orte besitzen keinen Jahresgang [6]. Für Meeresstandorte mit grosser Entfernung von Kontinenten sind typische Radon Aktivitätskonzentrationen 0.1 Bq/m<sup>3</sup>. In der Antarktis sind sie 10 - 30 mBq/m<sup>3</sup> [8]. Leider gibt es für die Schweiz keine kontinuierlichen Messdaten. Dies ist bedauerlich, insbesondere auch im Hinblick auf die Frage, ob sich die grossen geologischen Unterschiede

in den verschiedenen Gebieten der Schweiz auf die lokalen Aktivitätskonzentrationen auswirken.

Wegen diesen erheblichen globalen Konzentrationsunterschieden wird Radon gerne verwendet als Tracer zur Modellierung grossräumiger Luftmassentransporte, z.B. aus kontinentalen Gegenden zu maritimen oder auch zu arktischen Standorten [9].

Die Konzentration von Radon nimmt mit der Höhe exponentiell ab. In etwa 4 km Höhe beträgt sie noch etwa 10 - 20 % derjenigen über Grund [10]. Dies gilt allerdings nicht für Messstationen an festen Standorten im Gebirge: Wegen thermisch-konvektiver Transportprozesse können während des Sommerhalbjahres Luftschichten aus geringen Höhen bis zu sehr hochgelegenen Standorten transportiert werden (Berg/Tal Winde). Auf dem Jungfraujoch (3450 m ü.M.) wird beispielsweise ein Jahresgang der monatlichen Radon Aktivitätskonzentrationen beobachtet, mit Maxima von etwa 1.5 Bq/m<sup>3</sup> im Sommer und Minima von 0.1 Bq/m<sup>3</sup> im Winter (s. Abbildung) [5]. Dabei zeigen die mittleren Tagesgänge, dass im Sommer am späten Nachmittag maximale Konzentrationen auftreten, verursacht durch die lokale Thermik. Im Winter sind die Konzentrationen während eines Tages konstant.

**Figur:** Monatsmittelwerte der Radon Aktivitätskonzentrationen - gemessen via dem Zerfallsprodukt <sup>214</sup>Pb - für das Jahr 1991 auf dem Jungfraujoch (aus [5]).



An der Tropopause und in den unteren Schichten der Stratosphäre betragen typische Radon Aktivitätskonzentrationen 10 bis 100 mBq/m<sup>3</sup> NTP (Luft unter Normalbedingung) [11].

## Referenzen

- [1] W. Jacobi, *Health Physics*, **22**, 441(1972)
- [2] J. Porstendörfer, G. Butterweck, A. Reineking, *Health Physics* (im Druck)
- [3] W. Jacobi: Die natürliche Radioaktivität in der Luft und ihre Bedeutung für die Strahlenbelastung des Menschen, Report HMI-B21 (1962)
- [4] G. Butterweck, A. Reineking, J. Kesten, J. Poerstendörfer, *Atmos. Environ.*, **28**, 1963(1994)
- [5] H.W. Gäggeler, D.T. Jost, U. Baltensperger, M. Schwikowski, P. Seibert, *Atmos. Environ.*, **29**, 607(1995)
- [6] H.J. Volpp: Untersuchung des grossräumigen atmosphärischen Transports in Mitteleuropa mit Hilfe von Radon; Dissertation, Universität Heidelberg (1984), unveröffentlicht
- [7] J. Porstendörfer, *J. Aerosol Sci.*, **25**, 219(1994)
- [8] E.B. Pereira, *Tellus*, **42B**, 39(1990)
- [9] siehe z.B: M. Heimann, P. Monfray, G. Polian, *Tellus*, **42B**, 83(1990)
- [10] G. Lambert, G. Polian, J. Sanak, B. Ardouin, A. Bouisson, A. Jegou, J.C. Le Roulley, *Ann. Géophys.* **38**, 497(1982)
- [11] G. Lambert, J.-C. Le Roulley, M. Kritz, *Tellus*, **42B**, 135(1990)